Universidad Nacional Agraria La Molina

MANEJO Y GESTIÓN DE CUENÇAS HIDROGRÁFICAS





Absalón Vásquez Villanueva
Abel Mejía Marcacuzco
Jorge Faustino Manco
Ruben Terán Adriazola
Issaak Vásquez Romero
Jorge Díaz Rimarachin
Cristian Vásquez Romero
Andrés Castro Abanto
Manuel Tapia Muñoz
Julio Alcántara Ramos

MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Absalón Vásquez V.
Abel Mejía M.
Jorge Faustino M.
Ruben Terán A.
Issaak Vásquez R.
Jorge Díaz R.
Cristian Vásquez R.
Andrés Castro A.
Manuel Tapia M.
Julio Alcántara R.

Universidad Nacional Agraria La Molina

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ph. D. Enrique Ricardo Flores Mariazza *Rector*

Ph. D. Jorge Alfonso Alarcón Novoa
Vicerrector Académico

Dra. Carmen Eloisa Velezmoro Sánchez
Vicerrectora de Investigación

Dr. José Carlos Vilcapoma *Jefe*
del Fondo Editorial

Absalón Vásquez V. - Abel Mejía M. - Jorge Faustino M. - Ruben Terán A. - Issaak Vásquez R. - Jorge Díaz R. - Cristian Vásquez R. - Andrés Castro A. - MSc. Manuel Tapia M. - Julio Alcántara R.

MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Lima: Fondo Editorial-UNALM. 2016; 646 p.
ISBN: 978-612-4147-55-5

© Absalón Vásquez V. - Abel Mejía M. - Jorge Faustino M. - Ruben Terán A. - Issaak Vásquez R. - Jorge Díaz R. - Cristian Vásquez R. - Andrés Castro A. - MSc. Manuel Tapia M. - Julio Alcántara R.

© Universidad Nacional Agraria La Molina Av.
La Molina s/n La Molina

Derechos reservados

ISBN: Nº 978-612-4147-55-5
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 2016-15051
Primera Edición: Noviembre 2016 - Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en Perú- Printed in Perú

Diseño y diagramación:
Roxana Perales Flores

Impresión:
Ad Printing S.A.C.
Jr. Cailloma 438, Of. 3 - Lima 1 ad.printing.sac@gmail.com
Noviembre, 2016

Queda terminantemente prohibida por la Ley del Perú la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, químico, óptico, incluyendo sistema de fotocopiado, sin autorización escrita del autor. Todos los conceptos expresados en la presente obra son responsabilidad del autor.



INDICE

CAPÍTULO 1

ASPECTOS BÁSICOS SOBRE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

1.1. Definición de cuenca hidrográfica 13

1.2. Elementos básicos de una cuenca hidrográfica 14

1.3. Partes de una cuenca hidrográfica 18

1.4. División de una cuenca hidrográfica 19

1.5. Características básicas de las cuencas alto andinas 21

1.6. Tipos de cuencas hidrográficas en el Perú 23

1.7. Ordenamiento territorial 26

1.7.1. Instrumentos técnicos para el ordenamiento territorial 27

1.7.2. Principios rectores del ordenamiento territorial 28

1.8. La erosión de los suelos 29

1.8.1. Principales agentes y tipos de erosión 29

1.8.2. La erosión hídrica 30

1.8.3. La erosión eólica 71

1.9. Trazo de curvas a nivel o a mínima pendiente 78

1.9.1. El nivel en “A” 78

1.9.2. El nivel de manguera 89

1.9.3. El nivel de caballete 92

1.10. Lluvia ácida 97

CAPÍTULO 2

EVOLUCIÓN DE LA CONCEPCIÓN Y EL CONOCIMIENTO SOBRE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

2.1. Época del Imperio Incaico 101

2.2. Época del coloniaje español 102

2.3. Etapa republicana 102 CAPÍTULO 3

MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE

3.1. Principios básicos en la formulación de políticas nacionales para lograr un desarrollo sostenible 105
3.2. Manejo de cuencas y desarrollo sostenible 109
3.2.1. Requisitos de una estrategia sustentable 123
3.2.2. Manejo de las cuencas alto andinas en el imperio incaico 123
3.3. Gestión de cuencas hidrográficas 126
3.3.1. Pasos a llevarse a cabo para la gestión de una cuenca 132
CAPÍTULO 4
PRINCIPALES PROBLEMAS Y ACCIONES A DESARROLLAR EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA ALCANZAR UN DESARROLLO SOSTENIBLE
4.1. Principales problemas de las cuencas hidrográficas 149
4.2. Principales acciones a desarrollar en la búsqueda de un manejo sustentable de las cuencas hidrográficas 160
CAPÍTULO 5
HIDROLOGÍA DE CUENCAS
5.1. El ciclo hidrológico 172
5.2. Sistema hidrológico 176
5.3. Modelos hidrológicos 177
5.4. La precipitación 178
5.5. Clasificación de la precipitación 178
5.6. Determinación de eventos extremos 195
5.6.1. Avenida 195
5.6.2. Prevención de Inundaciones 196
5.6.3. Período de retorno y riesgo 196
5.6.4. Fundamentos de los métodos estadísticos 199
5.6.5. Factores de frecuencia en el análisis de eventos extremos 201
5.6.6. Límites de confianza para las distribuciones de valores extremos 203
5.6.7. Análisis de lluvias intensas 207

5.6.8. Variación de la intensidad con la duración 208
5.6.9. Relaciones entre la intensidad, duración y frecuencia 212

5.7. Determinación de las curvas I - D - F para la sierra peruana 217
5.7.1. El coeficiente de escorrentía 222
5.7.2. El caudal 222
5.8. Estudio de disponibilidad de agua 224
5.8.1. Cálculo de la disponibilidad de agua 227
5.9. Estudio de abastecimiento de agua o balance hídrico 228
5.9.1. Estudio de máximas avenidas 229
5.9.2. Miscelánea de problemas de hidrología de cuencas 240

CAPÍTULO 6

CUBIERTA VEGETAL Y REVEGETACION

6.1. Cobertura vegetal existente 263
6.2. Rol de la cobertura vegetal en una cuenca hidrográfica 270
6.3. Sistemas de cobertura vegetal o revegetación en las cuencas hidrográficas 272
6.4. Caracterización de las áreas a revegetar 277
6.5. Factores básicos a ser considerados para la revegetación 279
6.6. Muestreo y análisis del suelo de áreas a revegetar 287
6.7. Nutrientes del suelo y fertilización de áreas a revegetar 287
6.8. Selección de especies de plantas para revegetar 290
6.9. Semillas para la revegetación: viabilidad y cantidad 294
6.10. Recolección y almacenamiento de las semillas para revegetar 295
6.11. Métodos de siembra y plantación en revegetación 298
6.12. Uso del riego en áreas revegetadas 303
6.13. Importancia de la cubierta vegetal en la captación e infiltración del agua de lluvia y nieblas 304

CAPÍTULO 6

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA EROSIÓN EN LOS CAUCES Y RIBERAS DE LOS RÍOS 338

7.1. Medidas agronómicas 338

7.1.1. Defensas vivas naturales 338

7.1.2. Defensas vivas forestadas 338

7.2. Medidas estructurales 339

7.2.1. Permanentes 340

7.2.2. Medidas temporales 343

7.3. Estrategias para la gestión y el manejo de una cuenca hidrográfica 346

7.3.1. Evaluación de áreas susceptibles a erosión 346

7.3.2. Geomorfología 347

7.3.3. Hidrología aplicada a defensas ribereñas 350

7.3.4. Hidráulica en la protección de cauces y riberas 352

7.3.5. Topografía 353

7.3.6. Aspecto económico 356

7.4. Consideraciones en la construcción de un dique enrocado 358

7.4.1. Aspectos preliminares 358

7.4.2. Armado de terraplén y excavación de uña 360

7.4.3. Acabado de la plataforma o terraplén 362

7.4.4. Enrocado 364

7.5. Consideraciones en la construcción de espigones 372

7.5.1. Criterio de ubicación de los espigones 372

7.5.2. Tipo de espigón respecto al río 372

7.5.3. Deflectores disipadores 375

7.6. Consideraciones en la construcción de gaviones 377

7.6.1. Trazado y preparación del terreno 377

7.6.2. Armado de gaviones 378

7.6.3. Selección y acopio de cantos rodados 378

7.6.4. Llenado de gaviones 378

7.6.5. Llenado de colchones 380

7.7. Mantenimiento de defensas ribereñas 383

7.7.1. Obras temporales 383

7.7.2. Obras permanentes 397

7.8. Evaluación, programación y ejecución 418

7.8.1. Evaluación 418

7.8.2. Programación 418

7.8.3. Cronograma de ejecución 418

7.9. Mantenimiento y conservación vías de acceso 422

7.9.1. Separación entre vías 422

7.9.2. Puentes y alcantarillas 423

7.9.3. Riesgos de no tener vías 423

7.9.4. Obras de defensa como vía alterna 424

7.10. Labores de prevención 425

CAPÍTULO 8

COSECHA DE AGUA DE LLUVIAS EN CUENCAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS ALTO ANDINAS

8.1. Técnicas para la cosecha del agua de lluvia 387 a. Construcción de pequeños y medianos reservorios de agua 388 b. Incremento de la capacidad de almacenamiento de lagunas naturales 392 c. Construcción de mini reservorios y reservorios familiares 399 d. Construcción de zanjas o acequias de infiltración 406 e. Forestación y reforestación 414 f. Regeneración o instalación de pastizales 425 g. Construcción de terrazas

de absorción y rehabilitación de andenes 431 h. Captación de excedentes de agua de río e infiltración en bosques y

desiertos de la costa 441 i. Aprovechamiento de las fallas geológicas existentes en las partes altas y

medias de las cuencas 444 j. Acueductos o galerías filtrantes 448 k. Las chacras elevadas o Waru Waru 452 l. Cosecha de agua de nieblas 453 m. Ahorro de agua en su manejo y gestión 460

8.2. Beneficios a lograrse con la implementación de dichas acciones 468 a. Protección y mejoramiento de la disponibilidad de los recursos agua y

suelo 468 b. Mejoramiento del medio ambiente y paisaje natural 482 c. Mejoramiento de las condiciones socio – económicas 493

8.3. Modelo de desarrollo rural integrado 515

CAPÍTULO 9

CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

9.1. Gases de efecto invernadero (GEI) 542

9.2. Concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera 544

9.2.1. Fuentes de emisión de GEI 545

9.3. Elementos básicos relacionados con el calentamiento global 548

9.3.1. El ciclo del carbono 548

9.3.2. El ciclo del nitrógeno (N) 549

9.3.3. Atmósfera en la tierra 549

9.3.4. Cobertura del suelo 550

9.3.5. Energía del Sol 550

9.3.6. Los océanos 550

9.4. Efecto invernadero (EI) 550

9.4.1. ¿Cómo funciona el efecto invernadero? 552

9.5. Calentamiento global (CG) 553

9.6. Cambio climático 556

9.7. Impactos y cambios observados en el sistema climático 557

9.8. Predecibles impactos en un planeta con una temperatura 3 ºC mayor 559

9.8.1. Aumento de las concentraciones del CO2 y la acidificación de los océanos 559
9.8.2. Aumento del nivel de las aguas del mar. 560
9.8.3. Alteración profunda del sistema climático mundial 560
9.8.4. Alteraciones de los ciclos productivos en la agricultura, ganadería y acuicultura 560
9.8.5. Alteración profunda del ciclo hidrológico 561
9.8.6. Aparición de nuevas plagas y enfermedades en la producción agropecuaria y acuícola 561
9.8.7. Incremento de problemas en la salud humana 561
9.8.8. Incremento de la deforestación, el sobre pastoreo y las áreas áridas en el mundo 561
9.8.9. Masivos flujos migratorios humanos en el mundo 562
9.8.10. Inestabilidad y conflictos socio políticos en diversas regiones del mundo 562
9.8.11. Contaminación de acuíferos costeros debido a intrusiones marinas 562
9.8.12. Aumento de la contaminación de los mares 562
9.8.13. Desaparición de muchos nevados y glaciares 563
9.9. Tareas prioritarias a desarrollar para hacer frente con éxito a los impactos del cambio climático 563
9.9.1. Reducción de las emisiones de GEI y eliminación de subsidios a los combustibles fósiles 563
9.9.2. Decisión política de las autoridades: Buena gobernabilidad 563
9.9.3. Avances tecnológicos para la “guerra biológica” en la producción de alimentos 563
9.9.4. Avances tecnológicos para lograr especies bióticas nitrificantes para la producción de alimentos 564
9.9.5. Desarrollo de la biotecnología e ingeniería genética 564

9.9.6. Mejoramiento de especies vegetales 564
9.9.7. Mejoramiento de las eficiencias en el uso y aprovechamiento del agua dulce 564
9.9.8. Nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas servidas 564
9.9.9. Nuevas tecnologías para la desalinización de las aguas marinas 564
9.9.10. Impulsar la toma de conciencia y promoción de una cultura de protección y cuidado del medio ambiente: Desarrollar una cultura ambiental. 564
9.9.11. Velar por una seguridad alimentaria para los países más pobres 565
9.9.12. Construir una sociedad más justa 565
9.9.13. Modificación del patrón energético mundial 565
9.9.14. Avances tecnológicos para el ahorro de energía 565
9.9.15. Masiva reforestación y regeneración de pastizales 566
9.9.16.Cosecha de agua de lluvia en zonas áridas y semiáridas 566
CAPÍTULO 10
APLICACIÓN DE LA GEOMÁTICA EN ESTUDIOS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
10.1. Aplicación de la Geomática en estudios ambientales 567
10.1.1. La Geomática y los modelos espaciales 568
10.1.2. Geomática y Geoprocesamiento 569
10.1.3. Geoprocesamiento según ESRI (Environmental Systems Research Institute) 570
10.1.4. Sistema de Información Geográfica (GISs) 571
10.1.5. Funcionamiento de un SIG 571
10.2. Aplicación de técnicas de geoprocesamiento en estudios ambientales 573
10.2.1. Geoprocesamiento en los proyectos ambientales 573
10.2.2. Técnicas de groprocesamiento y los sistemas de información geográfica en proyectos ambientales 574
10.2.3. Sensores remotos y teledetección 574

10.2.4. Levantamiento de imágenes multiespectrales 576
10.2.5. Levantamiento de imágenes hiperespectrales 579
10.2.6. Procesamiento digital de imágenes satelitales 581
10.2.7. Clasificación digital de imágenes 582
10.2.8. Imágenes de sensores remotos de visión tridimensional 583
10.3. Aplicación de técnicas de geoprocesamiento en cuencas hidrográficas 585
10.3.1. Conceptos de cuenca hidrográfica 585
10.3.2. Modelamiento hidrológico en cuencas hidrográficas 587
10.3.3. Análisis hidrológico mediante aplicación de las técnicas de geoprocesamiento y el uso de los sistemas de información geográfica SIG ArcGIS 593
10.4. Caracterización morfométricas de cuencas hidrográficas 597
10.4.1. Determinación de variables morfométricas de una cuenca hidrográfica 599
10.4.2. Estudio de la cuenca hidrográfica del río Angasmarca 604
10.4.3. La caracterización morfométrica de la sub-cuenca del río Angasmarca 604
10.5. La erosión hídrica en cuencas hidrográficas 612
10.5.1. Ecuación universal de pérdidas de suelo (EUPS) 614
10.5.2. El potencial natural de erosión (PNE) 614
10.5.3. Diagnóstico de la erosión hídrica de la sub-cuenca del río Angasmarca, región La Libertad 615

BIBLIOGRAFÍA REVISADA

CAPÍTULO 1

ASPECTOS BÁSICOS SOBRE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

1.1. Definición de cuenca hidrográfica

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal.

Otra definición sostiene que es todo un sistema complejo, abierto donde ocurre el ciclo hidrológico y cuyos elementos naturales, sociales, ambientales, económicos, políticos e institucionales son variables en el tiempo; y se encuentran en estrecha interrelación. Sin embargo, los efectos que resultan de las interacciones entre los diferentes componentes producen algo que es más que la suma de sus partes; tal como ocurre con el cuerpo humano que también es considerado como un sistema complejo. Por otro lado, una cuenca hidrográfica es un sistema abierto a flujos, influencias y líneas de acción que atraviesan sus fronteras; es decir que puede recibir y dar; pues una cuenca hidrográfica es solo una parte ínfima de la tierra. Además, se debe tener siempre presente que no existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica.

En la figura siguiente, se muestra un esquema de las interacciones de los diferentes elementos de una cuenca hidrográfica como un sistema hidrográfica.

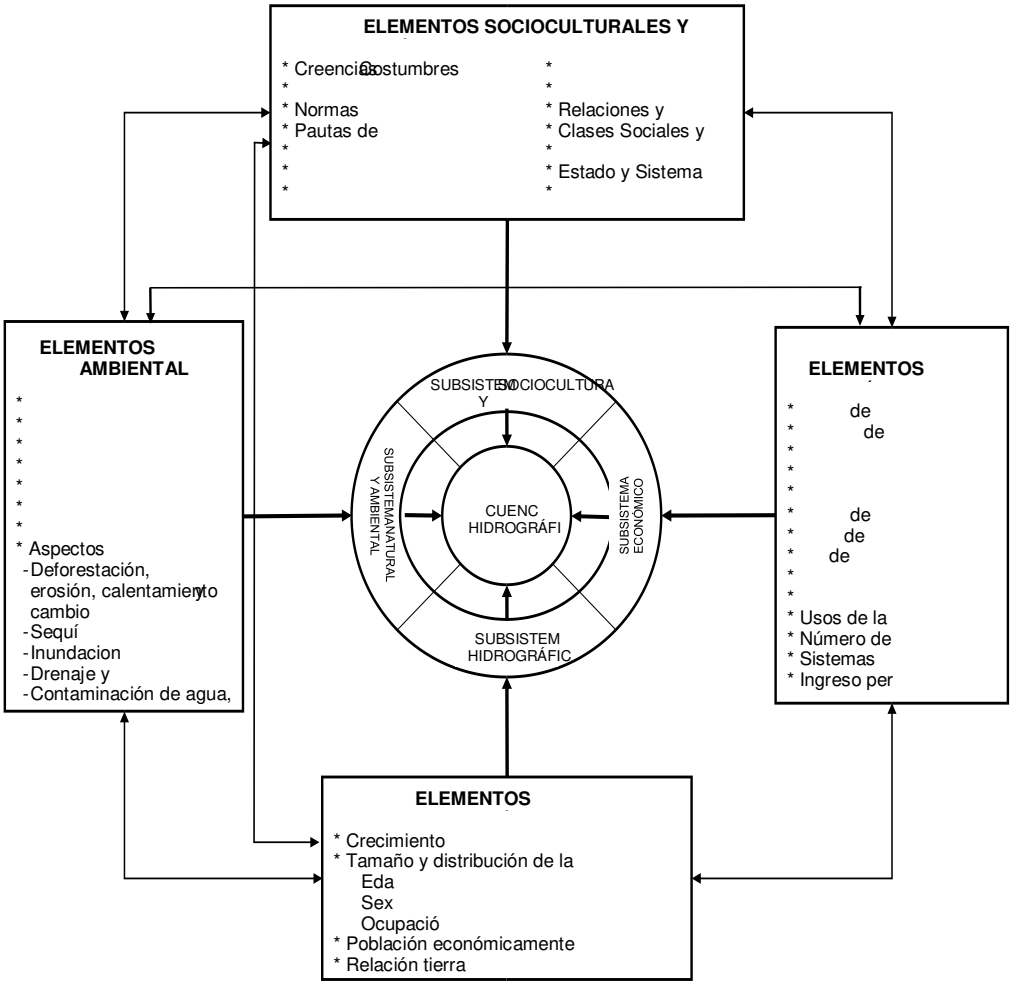


Figura Nº 1.- Esquema de las interacciones de los elementos de una cuenca hidrográfica

1.2. Elementos básicos de una cuenca hidrográfica

Los elementos que normalmente caracterizan a las Cuencas Hidrográficas se muestran en la figura 2 y se pueden agrupar en:

a) Recursos naturales

Se consideran como recursos naturales a todo componente de la naturaleza susceptible de ser aprovechado por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades y que tenga un valor actual o potencial en el mercado. Los recursos naturales se pueden agrupar en:

- **Recursos naturales renovables:** Dentro de ellos se tienen: El agua, suelo, flora, fauna, clima, paisaje, recursos ictiológicos, etc.
- **Recursos naturales no renovables:** teniéndose dentro de ellos: Los minerales, petróleo, carbón, gas, etc.
- **Recursos naturales inagotables:** teniéndose dentro de ellos: Luz solar, vientos, endotérmica, oleaje, etc.

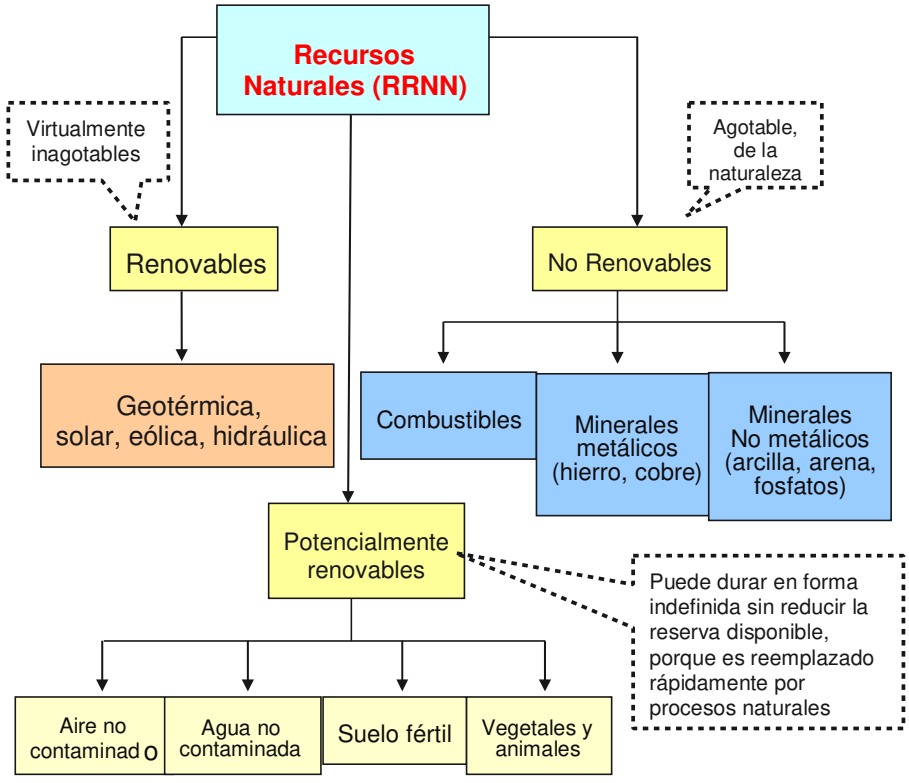
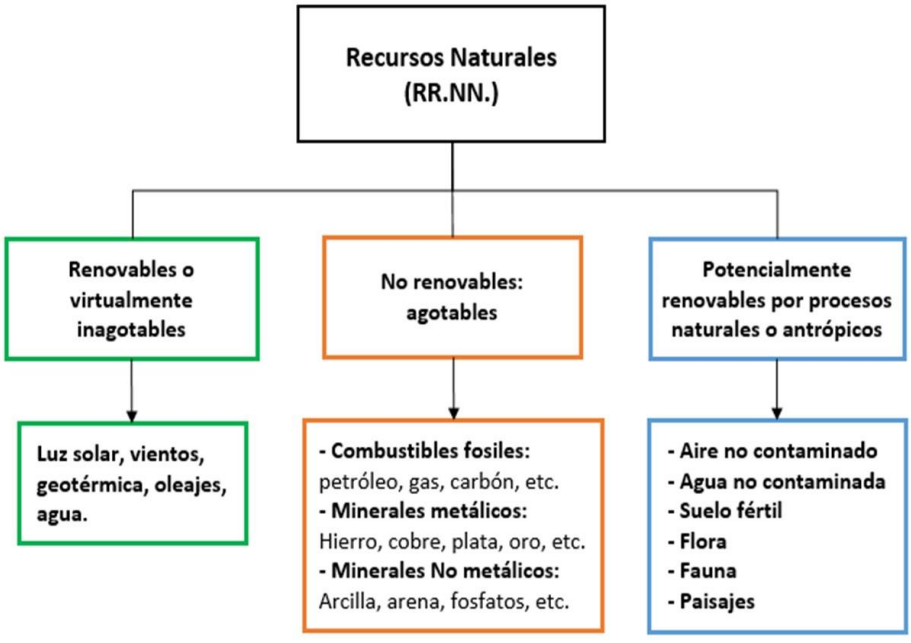


Figura Nº 2.- Clasificación de los recursos naturales

Otra forma de presentar la clasificación de los recursos naturales es la siguiente:



b) Elementos antropogénicos, teniéndose dentro de ellos a los elementos desarrollados, construidos o llevados a cabo por el hombre ; destacándose entre ellos:

Reservorios, canales de riego, relaves contaminantes, vertimientos, emisiones, residuos, plantaciones forestales, cultivos alimenticios, pastizales cultivados, piscigranjas, instalaciones y actividades mineras, industriales, centrales hidroeléctricas, centrales nucleares, centrales térmicas, parques eólicos, plantas solares, carreteras, caminos y aeropuertos, servicios, etc. Además, algunos elementos importantes que también deben ser tomados en cuenta son los restos arqueológicos, costumbres creencias, aspectos culturales, intelectuales y finalmente la tecnología con la que se pueda disponer.

c) Elementos institucionales, que siendo aspectos antrópicos, merecen ser resaltados y dentro de ellos se tienen:
Organización institucional, coordinación inter institucional, marco normativo y legal relacionado al manejo o tratamiento de las cuencas, etc.

d) Aspectos gubernamentales, un elemento importante y que normalmente no ha sido tomado en cuenta pero que gravita decididamente en el manejo y aprovechamiento del espacio físico y de los recursos naturales existentes en una cuenca hidrográfica es la decisión política y el buen gobierno que pueda

llevarse a cabo para dar, aplicar y supervisar la aplicación del marco legal y normativo que permita un buen manejo y gestión de la cuenca, mediante la aplicación plena de dichas normas, evitando la corrupción que puedan cometer funcionarios favoreciendo a empresas o individuos en forma ilegal ya sea para depredar, contaminar o para evadir impuestos afectando la sostenibilidad de los recursos y la recaudación de impuestos.

En forma general y resumiendo, los elementos naturales más importantes de una cuenca son:

- **El agua**, que es el elemento clave e integrador de los demás elementos de la cuenca y que permite el desarrollo de la vida, las actividades productivas, económicas y ambientales. Si se maneja y aprovecha adecuadamente este recurso natural se obtendrá grandes beneficios para la población y el propio desarrollo sostenible de la cuenca: agua potable, riego, pesca, producción de energía, actividades industrial,, minera, navegación, turismo, biodiversidad, servicios diversos, etc. En caso contrario se presentará: erosión, huaycos, deslizamientos, inundación, contaminación, deterioro del paisaje y medio ambiente, etc.

- **El suelo**, es otro de los elementos importantes de una cuenca, ya que si se relaciona adecuadamente con el agua de buena calidad, favorece la vida humana, animal y vegetal; en caso contrario pueden producirse fenómenos dañinos como la erosión, huaycos, contaminación, deslizamientos, sedimentación de reservorios, salinización, problema de drenaje, etc.

- **El clima**, es otro elemento que actúa en la cuenca y que define el nivel de la temperatura, radiación, horas de sol, precipitación, el viento, nubosidad y otros fenómenos climatológicos favorables o adversos para la actividad biológica, productiva, turismo y de servicios.

- **La vegetación**, muy importante es el ciclo hidrológico debido a la evapotranspiración que origina y a la acción de amortiguamiento y protección del impacto directo del agua sobre el suelo así como a la infiltración del agua en el suelo, a la estabilización del suelo y a la captura y almacenamiento del CO_2 existente en la atmósfera.

- **La topografía y la pendiente**, de la superficie del terreno permiten que el agua, al discurrir, adquiera determinadas velocidades. Para lograr un aprovechamiento racional del agua y el suelo es indispensable la aplicación de prácticas conservacionistas adecuadas, ya sea tanto en zonas planas como en laderas, que permitan disminuir la velocidad del agua y evitar o disminuir la erosión de los suelos.

- **La fauna, la población animal** que habita en una cuenca no sólo proporciona posibilidades s la vida humana, sino que también otorga condiciones para que la cuenca mantenga un equilibrio con respecto a sus otros recursos naturales. En casos excepcionales de sobrepoblación (sobrecarga), puede ocasionar el deterioro de la misma por la excesiva utilización de los pastizales, llamado también sobrepastoreo. El manejo de dichos recursos es fundamental.

- **Recursos naturales que sirven para la actividad no agropecuaria**, existen diferentes recursos naturales que no necesariamente sirven a la actividad agropecuaria y que son partes significativas de las cuencas. El agua sirve para generar electricidad, sirve para abastecer con agua a las poblaciones para su consumo, para desarrollar la actividad acuícola, para el desarrollo de las otras actividades productivas y de servicios, etc. El suelo sirve como parte del hábitat de las ciudades, construcción de carreteras, aeropuertos, trenes y caminos en general, así como también para la construcción de centros de recreación y de servicios varios. Así mismo existen recursos mineros que sirven para la industria y el mejoramiento del producto bruto interno (PBI). En una cuenca también existen paisajes, vientos, horas de sol entre otros recursos naturales que pueden ser de utilidad para el hombre.

- **El hombre**, es el elemento más importante de la cuenca porque es el único que puede planificar el uso racional de los recursos naturales para su aprovechamiento y conservación y en otros casos es el causante de su destrucción.

1.3. Partes de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica alto andina normalmente consta de tres partes; tal como se puede observar en la figura 3:

a) **Partes altas**.- Estas partes comprenden altitudes superiores a los 3,000 metros sobre el nivel del mar, llegando en algunos casos hasta los 6,500 msnm. En tales áreas se concentra el mayor volumen de agua ya sea en forma de nevados o de lluvia, dado que allí la precipitación pluvial es intensa y abundante; es frecuente asimismo la formación de nevados. La topografía de estas zonas es sumamente accidentada y escarpada; en consecuencia, su potencial erosivo es sumamente alto, pero al mismo tiempo su potencial para la producción hidroenergética también es alta. La precipitación total anual promedio alcanza los 800 hasta 1,600 mm por año. En esta parte es frecuente observar lagos y lagunas con abundante actividad biológica. Aquí se ubican los pastores y campesinos pobres que normalmente desarrollan una economía de autoconsumo y subsistencia; pero al mismo tiempo en estas zonas se encuentra un gran potencial con recursos mineros.

A estas partes altas también se le llama **"cabecera de cuenca**", que son las zonas de mayor disponibilidad de agua y de muy buena calidad y que a partir de allí fluyen hacia las partes medias y bajas de las cuencas, ya sea en forma superficial o subterránea. Estas partes altas son claves para su preservación y protección por ser abastecedoras de agua para el resto de la cuenca.

b) **Partes medias.-** Son las comprendidas entre los 800 y 3000 msnm. Las precipitaciones promedio que caen en estas zonas varían entre los 100 – 800 mm/año. En estas zonas están los valles interandinos, caracterizados por el clima benigno y variado. La función de estas partes de la cuenca está relacionada fundamentalmente con el escurrimiento del agua, siendo frecuente en dicho ámbito la presencia de pequeñas ciudades que la circundan, dándose además como característica, una gran actividad económica.

c) **Partes bajas.-** Abarcan desde el nivel del mar hasta los 800 msnm. La precipitación promedio que cae en la zona es muy escasa (< 100 mm/año), su pendiente es igualmente baja. En este ámbito están los amplios valles costeños, donde se desarrolla una intensa actividad agropecuaria así como también se ubican las medianas y grandes ciudades consumidoras. En estas zonas se ubican los grandes proyectos de irrigación con importantes sistemas de embalse. El potencial de aguas subterráneas de estas zonas es alto.

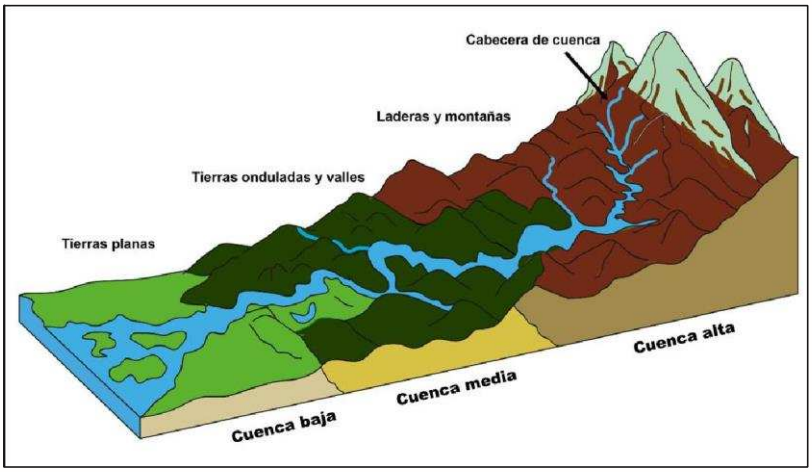


Figura Nº 3.- Esquema donde se muestran las partes de una cuenca hidrográfica

1.4. División de una cuenca hidrográfica

Un tema de permanente discusión es lo referente a los conceptos de cuenca, sub cuenca y micro cuenca. El punto de partida para dicho análisis es el grado

de ramificaciones de los cursos de agua que pueden existir; así por ejemplo se pueden considerar como micro cuencas a los cursos de agua de primer,

segundo y tercer orden; a sub cuencas, los cursos de agua de cuarto y quinto orden y a cuencas los cursos de agua de sexto orden y más. El número de orden de un curso de agua o río se inicia a partir del cauce más pequeño y teniendo como punto de referencia los límites definidos por el "Divortium Acuarum". Desde el punto de vista práctico en algunos casos el grado de ramificación de los curso de agua puede ser rebasado por la magnitud del área de cada una de sus unidades, tal es el caso de la cuenca del río Amazonas en que las sub cuencas que la forman (Marañón, Huallaga, etc.), son realmente unas "cuencas" cada una de ellas, pues la magnitud de su área es tan grande que resultaría muy dificultoso su análisis en base al grado de ramificaciones de sus cursos de agua. Es decir las divisiones en cuencas o micro cuencas, deben hacerse con criterio técnico y práctico.

Por ello, observando la figura 4 se puede considerar como áreas de referencia para diferentes unidades hidrográficas a las siguientes:

Unidad Hidrográfica	**Área (miles de has)**
Cuenca	> 50
Sub cuenca	5 – 50
Micro cuenca	< 50

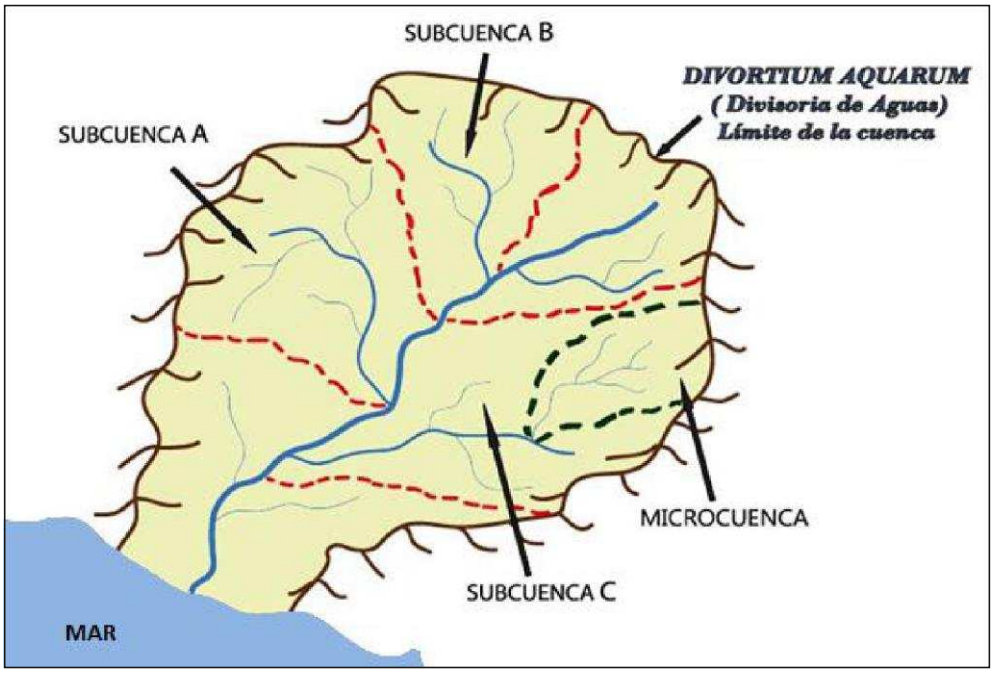


Figura Nº 4.- División de una cuenca hidrográfica: Subcuencas y microcuencas

1.5. Características básicas de las cuencas alto andinas

Las cuencas hidrográficas alto andinas están influenciadas por los siguientes factores físicos:

- La Cordillera de los andes
- Los Océanos Pacíficos y Atlántico
- La Presencia de la Amazonía tropical

Cualquier parte de las cuencas hidrográficas alto andinas están influenciadas en mayor o menor grado por estos tres elementos naturales.

- **La cordillera de los Andes**

La presencia de la cordillera de los andes define notoriamente la dinámica en las partes altas y medias de las cuencas, influye en sus partes bajas en lo que se llama costa y selva, al proporcionar el agua que requieren para su agricultura y otras actividades (electricidad, industria, consumo de agua potable, etc.), garantizar la estabilidad física de sus poblaciones (posibilidad de inundaciones y huaycos), permitir el traslado masivo de productos, animales y personas desde la cordillera, y en la salud de las especies del mar al llevar los sedimentos provenientes de la erosión del ande e influir en la calidad del agua mediante los ríos que vienen del ande y se descargan en el Océano Pacífico o en los ríos rumbo al Atlántico.

La producción de cultivos y de crianza provenientes de las partes altas y medias de las cuencas, por su gran poder nutricional y de transformación en insumos para la agroindustria (quinua, kiwicha, maca, mashua, lana y piel de alpaca y vicuña, entre otros productos) en la actualidad, tiene un gran potencial exportador por ser productos que pueden tener ventajas comparativas en el mundo. Algunos de estos productos, también podrían industrializarse en las partes bajas de las cuencas.

Asimismo, al haber una población significativa en las partes altas de las cuencas, aquella cumple el papel de un ejército industrial y comercial de reserva, y aparece también como una masa consumidora potencial de los productos industriales y agrarios que generan las ciudades y el campo, en caso de que se multipliquen las actividades de las partes bajas de las cuencas. Paradójicamente, también existe un potencial deterioro del agua y del suelo en caso de que se manejen de manera inadecuada los recursos naturales en las partes altas y medias, por una alta demanda de productos agropecuarios desde las partes bajas de las cuencas, sin el debido aporte económico de las ciudades de la costa para la realización de obras de protección, en las partes altas y medias.

La presencia de la cordillera de los andes define en gran medida las características de la mayoría de fenómenos físicos y socioculturales del territorio peruano. Además, alrededor del 60% de tierras de cultivo, el 90% de los pastizales, el 80% de tierras de protección y el 97% del volumen de agua utilizada en el país se encuentran o se generan en el ámbito de influencia de la misma, por tanto es el tronco que marca los fenómenos físicos y poblacionales del país, sin descuidar la influencia tan importante de los Océanos Pacífico, Atlántico y la Amazonía.

- **Los Océanos Pacífico y Atlántico**

Las tierras de las partes bajas de las cuencas hacia el lado de los océanos Pacífico y Atlántico, lo que se los conoce como costa y selva, aún irrigadas con el agua de las partes medias y altas, están impactadas por la evaporación y la presencia del mar, ocasionando posibilidades inminentes de salinización a sus suelos en caso de que no se tomen las medidas pertinentes en la operación de los sistemas de riego, por la subida del nivel del mar debido al calentamiento global que viene afectando al planeta, etc.

Las islas del océano Pacifico, también representan una buena fuente de fertilizantes para mejorar los suelos de cualquiera de las partes de las cuencas; la agricultura de sus costas, una fuente de alimentación para el Perú y el mundo y una puerta de entrada y salida de productos que se producen o que se requieren en las cuencas, ya sea en sus partes altas, medias o bajas.

Asimismo, en relación a las cuencas del Atlántico, las partes altas y medias influyen en la selva amazónica, al dotarle de una enorme cantidad de agua y al proporcionarle estabilidad física si es que se cuidara las partes altas de sus cuencas, que se encuentran en la sierra y que podríamos llamar vertiente oriental. Además, estas zonas presentan una dificultad para un fluido traslado e intercambio de los productos y en la calidad del agua de sus ríos al juntarse los que provienen de la cordillera con los que circulan en ella.

Globalmente, consideramos que las cuencas alto andinas se caracterizan por disponer de partes altas y sumamente accidentadas, donde las laderas predomina altamente sobre los valles, con una alta variabilidad de sus climas al estar escalonadas desde las partes bajas hasta las altas en una serie de zonas agroecológicas y de zonas de producción, formando una enorme cantidad de pisos y subpisos ecológicos altitudinales y zonas de producción muy variadas y muy sensibles a lo que ocurra en la estrategia de tratamiento de la cobertura vegetal, de la fauna, del agua y del suelo.

Asimismo, como las precipitaciones se concentran en tan sólo unos 3 a 5 meses del año, lo cual hace que las partes altas y medias de estas cuencas tengan unas características semiáridas; es decir, las partes altas son altamente accidentadas, variables y con intensas precipitaciones concentradas en tan sólo 3 a 4 meses del año. A diferencia de las partes bajas que dan hacia el Pacifico, que son totalmente áridas o las partes que dan hacia el amazonas que son húmedas, semiplanas y colindantes con la selva amazónica o el Atlántico.

- **La Presencia de la Amazonía Tropical**

  La región amazónica que comprende la selva tropical o selva amazónica y que constituye el bosque tropical más extenso del mundo, con una extensión total del orden de los 6 millones de kilómetros cuadrados y que forman parte de 8 países, de los cuales Brasil y Perú poseen la mayor extensión de la Amazonía, seguidos por Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana, Venezuela y Suriman. En esta región amazónica se encuentra la mayor biodiversidad del planeta y que es considerado como el pulmón de la humanidad o del planeta por su función en la absorción del CO_2 de la atmósfera y su consecuente liberación del oxígeno para la respiración humana. Desde el año 2011, la selva amazónica es considerada como una de las siete maravillas del mundo.

  La Amazonía al unirse con la cordillera de los andes, generan innumerables pisos altitudinales y que al mismo tiempo poseen climas y microclimas muy particulares, favoreciendo así existencia de la mayor reserva biológica del planeta, destacándose la existencia de innumerables especies vegetales y animales (aves, mamíferos, anfibios, insectos, etc.). En esta región se encuentran más del 20% de las especies vegetales del planeta.

La región Amazónica se caracteriza por sus altas temperaturas, poseer mucha cantidad de agua dulce, fuente de oxígeno y absorción de CO_2 y una riquísima biodiversidad. La región amazónica constituye una de las reservas más importantes de agua de buena calidad del mundo y que debemos protegerla y cuidarla.

1.6. Tipos de cuencas hidrográficas en el Perú

Existen notoriamente tres tipos de cuencas según la derivación de las aguas de los ríos, las cuencas de la vertiente del Pacífico, del Atlántico y las del Titicaca, que en total suman 159 cuencas en todo el sistema hidrográfico nacional.

- **Cuencas del Pacífico**

  Las 62 cuencas del Pacífico se caracterizan por la morfología muy accidentada, angosta y corta de sus partes altas, compuesta por cañones muy pronunciados, que se vuelven muy pedregosos en las partes medias, facilitando los torrentes y por una limitada amplitud en sus partes bajas por la presencia de desiertos. Es por ello que la necesidad de agua se torna imprescindible para sustentar la agricultura especialmente en las partes bajas de estas cuencas, que son desiertos, lo que ha obligado a recurrir a la construcción de importantes obras de infraestructura hidráulica, tales como grandes reservorios de agua, canales de irrigación que han permitido ganar tierra al desierto, ampliando de esta manera la frontera agropecuaria en la costa del Pacífico, la cual más se asemejan a una oasis dentro de un largo desierto.

  Los ríos que discurren hacia el Pacifico, son paralelos, torrentosos y siguen enormes pendientes, lo que les da cierta peculiaridad a los cursos de agua de no navegables.

  Como contraparte, en las partes bajas no se han realizado significativas acciones para mejorar la ecología de las partes medias o altas, constatándose un avance de la erosión al haberse abandonado la cobertura vegetal de cultivos, al haberse aumentado la carga animal generando sobrepastoreo y una avance descontrolado de la deforestación.

- **Cuencas del Atlántico**

  Las 84 cuencas del Atlántico se caracterizan por una mayor precipitación pluvial en las partes altas, contar con valles interandinos más anchos y un recorrido más largo y amplio de sus ríos en sus partes medias y por las partes bajas que son tropicales húmedas. Interesa no tanto el uso racional del agua sino la construcción de una infraestructura que permite la captación de la misma al contar con suelos más fértiles y con mayores posibilidades de desarrollo. La calidad del agua sólo interesa a las partes altas y para la

actividad pesquera de las partes medias compuestas por monte con alta vegetación por la extrema precipitación de las partes bajas, en contraste con la aridez de las partes medias y bajas de las cuencas del Pacífico. En muchos lugares de estas cuencas de la vertiente de4l Atlántico, existe un gran potencial para la producción de energía hidroeléctrica que deben ser aprovechadas adecuadamente. Al mismo tiempo el problema mayor de estas cuencas es la deforestación acelerada, la contaminación, creciente por la minería legal e ilegal y el narcotráfico.

- **Cuencas del Titicaca**

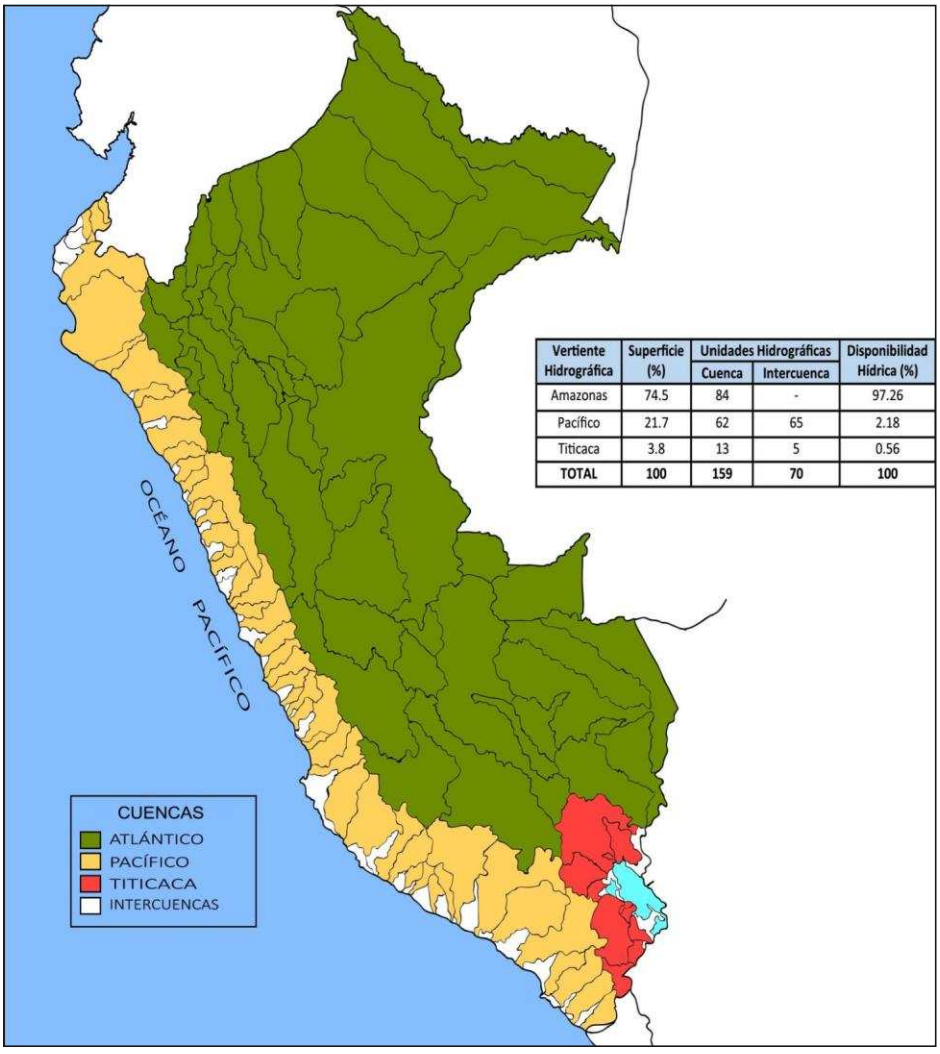
  Las 13 cuencas del Titicaca se caracterizan por estar impactadas por el lago navegable más alto del mundo, a una altura promedio de 3809 msnm; por la irregularidad de los torrentes de sus cursos de agua que provienen también de las partes altas de la cordillera occidental que desemboca en el lago, teniendo periodos de escasez de agua que se alternan con las inundaciones, que han hecho que los alrededores del lago se dediquen más a la ganadería que a la agricultura. De esta manera, se reproduce la pobreza porque esta ganadería tiene una limitada rentabilidad al estar muy lejos de los mercado más importantes que son Arequipa, Lima y el exterior y que al mismo tiempo los pastizales y demás cubierta vegetal está muy deteriorada o simplemente ya no existe. Lo que se ha venido paliando es con su intenso intercambio comercial de productos provenientes de Bolivia. Sin embargo, la reconstrucción de los camellones construidos en la época prehispánica, la obtención de variedades de semillas resistentes a las heladas y la construcción de invernaderos, viene dando cierta esperanza de utilizar las partes bajas para el desarrollo de una agricultura intensiva. Todo ello está favoreciendo a la repoblación de esta cuenca en sus partes bajas y una esmerada atención de diversas organizaciones no gubernamentales por apoyar técnica y organizativamente al campesinado empobrecido del Altiplano.

  Las partes altas, menos importantes que las bajas, son sumamente escarpadas y accidentadas, lo que obliga a un tratamiento más fino de su espacio a fin de aumentar la cobertura vegetal necesaria para lograr un equilibrio mayor del ciclo hidrológico.

  Esta parte semiplana con algunas colinas, sujeta a desastres ocasionados por las continuas heladas, aunque con gran potencialidad, si se recupera la vegetación perdida y la construcción de zanjas de infiltración u otras prácticas conservacionistas para retornar y aumentar la infiltración del agua de lluvia. En las figuras 5 y 6 se muestran las 3 vertientes y la red hidrográfica en el Perú.



Figura Nº 5.- Vertientes hidrográficas en el Perú



Vertiente Hidrográfica	Superficie (%)	Unidades Hidrográficas		Disponibilidad Hídrica (%)
		Cuenca	Intercuenca	
Amazonas	74.5	84	-	97.26
Pacífico	21.7	62	65	2.18
Titicaca	3.8	13	5	0.56
TOTAL	**100**	**159**	**70**	**100**

Figura Nº 6.- Vertientes y red hidrográfica del Perú

1.7. Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial es un proceso técnico, administrativo y político que sirve de base para poder llevar a cabo una adecuada planificación, una ocupación ordenada del territorio y un aprovechamiento y utilización sostenible de los recursos naturales y del espacio territorial de una micro cuenca, sub cuenca, cuenca, región o un país. El ordenamiento territorial debe ser el resultado de una verdadera concertación con los actores que operan o que tienen algo que ver con la micro cuenca, sub cuenca, cuenca, región o país : actores sociales, políticos, institucionales, culturales, económicos y técnicos; además, dicha concertación debe tener como base

los recursos naturales con que se cuenta en el espacio físico, las condiciones ambientales, sociales, culturales y económicas propias de la zona y que deben aprovecharse de tal forma que permitan lograr un desarrollo sostenible en todas sus áreas y con los mínimos impactos ambientales negativos que podrían ocasionar las diversas actividades y procesos de desarrollo que se puedan llevar a cabo.

Se debe tener muy en cuenta que el conjunto de actividades que se programan o acuerdan llevar a cabo a lo largo del territorio deben permitir **lograr un desarrollo sustentable y el bienestar común de la población**.

Según la carta europea de ordenación del territorio, el **ordenamiento territorial** es **"la expresión espacial de las políticas: económica, social y ecológica de toda la sociedad".**

El ordenamiento territorial, debe llevarse a cabo tomando como base la zonificación económica y ecológica (ZEE) que se haya efectuado a la cuenca, sub cuenca o región. Una ZEE, toma en consideración criterios ambientales, económicos, sociales, culturales, institucionales y geopolíticos; buscando como objetivo un desarrollo sostenible y una adecuada calidad de vida de la persona que le permita un desarrollo integral. Por ello, el ordenamiento ambiental del territorio es un instrumento que forma parte de la política del ordenamiento territorial de la cuenca o región y que permite la definición de criterios e indicadores ambientales que se deben tener en cuenta para una adecuada y ordenada ocupación del territorio, según los usos que se hayan establecido en base al estudio técnico que previamente se hayan llevado a cabo.

El crecimiento desordenado que caracteriza a la mayoría de las cuencas de los países pobres o subdesarrollados se debe a la falta de un **plan de ordenamiento territorial** que permita planificar el desarrollo y facilite llevar a cabo los programas y actividades que se programen, con lo cual se pueda abaratar costos en los servicios básicos e infraestructura y lograr un verdadero desarrollo sostenible.

1.7.1. Instrumentos técnicos para el ordenamiento territorial

Entre los principales instrumentos técnicos, se tienen:

a) Zonificación ecológica y económica (ZEE)

Es el instrumento técnico que permite la caracterización del territorio, principalmente de los aspectos físicos y biológicos, sociales, económicos, culturales, institucionales y geopolíticos; buscando como objetivo un desarrollo sostenible y una adecuada calidad de vida de la persona.

b) Estudios especializados (EE)

Los estudios especializados son los instrumentos técnicos de carácter estratégico que enfatizan el análisis de las dinámicas, relaciones y funcionalidad que se evidencian en el territorio bajo estudio y su articulación con otros territorios.

c) Diagnóstico integrado del territorio (DIT)

El DIT es un instrumento técnico que integra y analiza la información generada en la ZEE y en los EE, permitiendo completar los conocimientos de las condiciones y características ambientales y sociales; así como de las dinámicas y tendencias de crecimiento económico de un determinado ámbito geográfico y de sus implicancias en los ecosistemas.

d) Plan de ordenamiento territorial (POT)

El POT es el instrumento técnico que orienta la planificación y gestión del territorio, que promueva la ocupación ordenada del territorio, a fin de lograr un desarrollo sostenible de los RRNN y la protección del medio ambiente. El ordenamiento territorial se concreta una vez que se implementan y ejecutan los POT.

1.7.2. Principios rectores del ordenamiento territorial

Se consideran como los principios rectores del ordenamiento territorial a los siguientes aspectos:

1. Soberanía y unidad nacional,
2. Autonomía, dentro de los límites de la constitución política y la ley,
3. Descentralización, fundamentalmente política y económica; abordando finalmente en una regionalización ordenada y armónica,
4. Integración,
5. Sostenibilidad,
6. Participación activa, responsable y transparente de los principales líderes, autoridades y actores,
7. Solidaridad y equidad territorial a fin de lograr una justicia social y un equilibrio territorial y medio ambiental,
8. Gradualidad y flexibilidad,
9. Paz y convivencia social,
10. Asociatividad,
11. Diversidad,
12. Economía y buen gobierno,
13. Multietnicidad.

1.8. La erosión de los suelos

Erosión es el proceso que comprende el desprendimiento, el traslado o arrastre y la sedimentación o colmatación de las partículas de suelo. La erosión es causada ya sea por acción del agua, del viento o por la actividad del hombre.
La erosión puede ser natural (normal o geológica) y acelerada.

La erosión es natural cuando se produce por los cambios naturales en el ambiente y en largos periodos geológicos, contribuyendo a la formación de los suelos y del relieve terrestre. Se considera como una erosión normal porque se presenta en una situación de balance natural entre la formación del suelo y la erosión en sí.

La erosión acelerada es uno de los problemas más serios que tiene que enfrentar cualquier acción encaminada a lograr el desarrollo agrario, ya que además de ser la causa de bajos rendimientos de los cultivos, acorta la vida útil de las obras de regulación debido a la cantidad de sedimentos que acarrea el agua que se almacena; asimismo colmatando el lecho de los ríos, favoreciendo, en muchos casos, las inundaciones, los problemas de drenaje y la salinización de las tierras. Este tipo de erosión es impulsada fundamentalmente por el hombre.

En la figura 7 se muestra un esquema de una situación de equilibrio en los procesos naturales.



Figura Nº 7.- Estado de equilibrio en los procesos naturales

1.8.1. Principales agentes y tipos de erosión

a.- Agentes de la erosión

Entre los principales agentes de la erosión se tienen: **el agua, el viento y el hombre.**

b.- Tipos de erosión

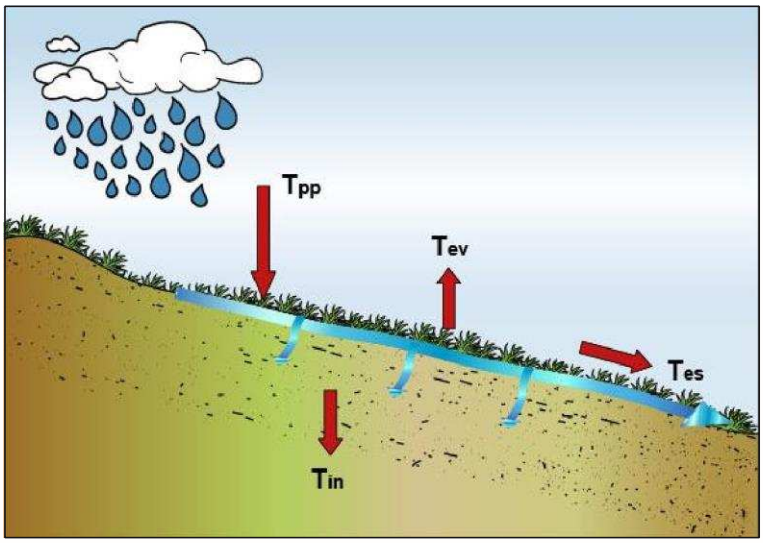
Existen dos tipos de erosión: **Eólica e hídrica**.

c.- La Erosión eólica

Es la erosión causada por el viento. Este tipo de erosión se presenta mayormente en zonas planas y áridas.

1.8.2. La erosión hídrica

Es la erosión causada por el agua. Predomina en zonas de ladera, donde la



precipitación es de alta intensidad y donde están ausentes las buenas prácticas agronómicas y el manejo adecuado del agua en el riego y de la cubierta vegetal. En la figura 8, se muestra los diferentes componentes en que se divide el agua de lluvia que cae en una ladera.

Figura Nº 8.- Esquema de una ladera con lluvia y sus demás componentes

Donde:
Tpp = tasa de precipitación o aplicación de agua (mm)
Tin = tasa de infiltración del agua en el suelo (mm)
Tes = tasa de escorrentía superficial (mm)
Tev = tasa de evaporación o evapotranspiración (mm) La ecuación de equilibrio será:

Tpp – Tin – Tev = Tes

En consecuencia habrá escurrimiento cuando:

Tpp > (Tin + Tev)

a.- Factores que influyen en la erosiona hídrica

Los principales factores que determinan la magnitud de este tipo de erosión son: el suelo, la topografía, el clima, la vegetación y el hombre mismo.

- **El suelo**. Las características físicas del suelo (estructura, textura, contenido de materia orgánica, etc.) determinan el grado de resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y transporte por efecto del impacto del agua sobre el suelo, de la escorrentía y la capacidad de infiltración del suelo.

- **La topografía**. Las características topográficas que inciden en la erosión hídrica son la pendiente y la longitud de la ladera, así como la forma y tamaño del área de drenaje.

- **El clima**. Entre los factores climáticos que más inciden en la erosión hídrica están la precipitación, la humedad, el viento y la temperatura. Existe una estrecha relación entre las características de la precipitación y la escorrentía. El viento en muchos casos cambia la velocidad de la lluvia y su ángulo de impacto sobre el suelo, afectando su fuerza erosiva.

- **La vegetación**. La vegetación protege a la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea esta proveniente de lluvia o escorrentía. La vegetación protege al suelo mediante:
  - La intercepción y disminución o anulamiento de la energía cinética con la que caen las gotas de lluvia ya sea mediante las hojas, tallos o los residuos de las plantas.
  - La reducción de la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la resistencia hidráulica debido al “colchón” que forman los residuos vegetales o cubierta vegetal.
  - El aumento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua en el suelo debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por efecto de las raíces, los residuos vegetales y la actividad microbiana.

- El aumento de la resistencia del suelo a la erosión debido al "amarre" de las partículas de suelo que producen las raíces de las plantas.

- **El hombre**. El hombre es el agente principal y decisorio en todo proceso erosivo, debido fundamentalmente a su rol y participación en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, agua, suelo y cubierta vegetal, por ello se lo considera como el factor antrópico de la erosión.

b.- Formas de erosión hídrica

La erosión hídrica se presenta en diferentes formas: **laminar, por surcos y por cárcavas.**

- **Erosión laminar**

El impacto de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo produce el desprendimiento de sus partículas, las que al encontrarse sueltas y al ser trasladadas, "sellan" los poros del suelo, formando una delgada capa o costra poco permeable, lo cual disminuye en forma importante la capacidad de infiltración del suelo. Cuando la cantidad de lluvia que cae excede a la tasa de infiltración del suelo, el agua empieza a fluir – correr- como escorrentía en el sentido de la pendiente, transportando las partículas finas del suelo que inicialmente ya fueron desprendidas. Existe una relación directa entre la cantidad de lluvia, la velocidad de la escorrentía y la capacidad erosiva.

La erosión laminar es una pérdida imperceptible del suelo, lo cual al mismo tiempo es sumamente peligroso, pues es difícil observar dichas pérdidas.

- **Erosión por surcos**

En las pequeñas ondulaciones de la superficie del terreno se va concentrando el agua de escorrentía y luego por efecto de la pendiente, el suelo y el estado de la cubierta vegetal, se produce el movimiento del agua en el sentido de la pendiente y, en consecuencia, la remoción, el arrastre y finalmente el transporte de las partículas del suelo va originando pequeñas "zanjas" o surcos: **erosión por surcos**.

- **Erosión por cárcavas**

Una vez ya formados en la superficie del terreno, los pequeños surcos o zanjas, éstos se van agrandando por efecto de la escorrentía ya que continúa el arrastre de suelo en el lecho de los surcos o zanjas y el consecuente desprendimiento en los taludes, con lo cual se van agrandando los surcos hasta que se van convirtiendo en verdaderos zanjones o cárcavas.

c.- Efectos de las prácticas conservacionistas en los procesos erosivos del agua

Mediante la ejecución de prácticas de conservación de suelos y aguas, se modifican los factores del proceso de la erosión y con ello se logra:

- Proteger la superficie del suelo contra el impacto directo de las gotas de lluvia y el arrastre de las partículas de suelo por el agua de escorrentía.
- Disminuir o anular la concentración del agua en la superficie del terreno,
- Aumentar la capacidad de infiltración del suelo para reducir la cantidad de agua de escorrentía,
- Reducir o anular la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la disminución de la longitud y grado de la pendiente de la ladera,

d.- Principios básicos del control de la erosión hídrica

Para que una práctica de control de la erosión hídrica sea efectiva debe cumplir los siguientes principios básicos:

- Proteger la superficie del suelo contra el impacto directo del agua de lluvia.
- Anular o minimizar la velocidad del agua de escorrentía (energía cinética),
- Aumentar la tasa de infiltración del agua en el suelo,
- Anular o minimizar el escurrimiento de agua sobre la superficie del terreno, y
- Anular o minimizar la concentración del agua en la superficie del terreno (energía potencial).

Los trabajos de control de la erosión deben iniciarse siempre desde las partes más altas de la cuenca o ladera hacia abajo, nunca en sentido contrario; salvo que inicialmente en la cabecera de la zona a ser tratada se construya una zanja o acequia a nivel o con una ligera pendiente, a fin de que intercepte el agua procedente de la parte más alta (zona no tratada). Cuando la zanja o acequia tiene una ligera pendiente, las aguas deben drenarse hacia lugares apropiados a fin de no generar cárcavas en su parte final.

Aplicando estos principios básicos se logra un efectivo control de la erosión hídrica. En caso contrario, se recomienda una revisión de la práctica conservacionista ubicando las fallas para corregirlas. El método más adecuado para evaluar la efectividad de estas prácticas, es la observación durante las lluvias e inmediatamente después de ocurridas éstas. Lo que se observa en la cantidad de flujo de agua superficial y la cantidad de sedimentos que contiene

e.- Principales prácticas conservacionistas de la erosión hídrica

Las principales prácticas de conservación de suelos y aguas pueden resumirse en tres grandes grupos: **mecánico - estructurales, agronómicas y forestales**.

- **Prácticas mecánico-estructurales**

  Entre las principales prácticas mecánicas-estructurales se pueden mencionar:
  - Zanjas o acequias de infiltración
  - Espejos de agua o "cochas",
  - Terrazas de absorción, de formación lenta, etc.,
  - Andenes,
  - Muros de contención, enrocados y gaviones para la estabilización de taludes y laderas, defensas ribereñas y obras de encauzamiento, - Diques para el control de cárcavas, y - Represas o reservorios de agua.

- **Prácticas agronómicas**

  Entre las principales prácticas agronómicas se pueden mencionar:
  - Barreras vivas,
  - Surcos en contorno,
  - Cultivo en fajas,
  - Ordenación territorial de cultivos,
  - Regeneración de la cobertura vegetal,
  - Labranza conservacionista o mínima labranza,
  - Rotación de cultivos y cultivos asociados,
  - Incorporación de materia orgánica al suelo,
  - Aplicación de fertilizantes y enmiendas químicas al suelo, y - Manejo de pastos.

- **Prácticas forestales**

  Manejo y plantaciones forestales

f.- Descripción de las prácticas conservacionistas

1. Zanjas o acequias de infiltración

Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, generalmente asimétricos. Se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno. El fondo de estos canales debe estar a nivel, salvo que se trate de acequias o canales de desviación, en los que la pendiente recomendable es de 1 a 3‰ (1 a 3 por mil) y su desembocadura debe efectuarse en una zona protegida a fin de evitar la formación de una gran cárcava.

- **Objetivos de la práctica**

- Interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera, anulando su velocidad y permitiendo una distribución uniforme y una mayor infiltración en el suelo.
- Aumentar la producción de pastos, árboles o cultivos.
- Reducir la erosión hídrica del suelo,
- Aumentar el número de manantiales y el caudal de agua que descarguen en las partes más bajas, y
- Disminuir los riesgos y mitigar los efectos de las inundaciones y deslizamientos en las partes aguas abajo.

- **Condiciones de uso**

  Las zanjas de infiltración se pueden usar en:

- Laderas con profundidad de suelo mayor de 30 cm y subsuelo permeable
- Zonas con plantaciones forestales, con pasturas y en algunos casos en zonas agrícolas

- **Diseño**

  El diseño de una zanja de infiltración consiste en determinar el ancho del borde superior, ancho de la base, profundidad, inclinación de los taludes, espaciamiento entre zanjas y la gradiente longitudinal de la misma, este último aspecto sólo si fuera necesario, cuando se trata de zonas con precipitaciones mayores de unos 1,200 a 1,500 mm/año.

  El ancho del borde superior, profundidad, ancho de la base y la inclinación del talud-características que determinan la sección transversal-dependen principalmente del tipo de suelo y de la intensidad de la lluvia de la zona.

  Para el caso de las laderas de la sierra peruana, el ancho promedio del borde superior normalmente es de 40 – 70 cm. El ancho de la base es de aproximadamente 30 – 40 cm y la profundidad varía entre 30 – 50 cm. Cuando las zanjas de infiltración son construidas con tractor, el ancho del borde superior puede alcanzar los 100 – 120cm. La inclinación del talud en terrenos de textura suelta generalmente varía entre 1:1 a 2:1 (horizontal: vertical), dependiendo del ángulo de reposo de los diferentes tipos de suelo. Cuando los suelos son de textura arcillosa o franco arcillosa sus taludes varían entre 1:1 a 0:1 (horizontal – vertical).

  En cuanto a la gradiente longitudinal de la zanja, normalmente debe ser cero (a nivel), salvo condiciones especiales de suelo y precipitación, casos en los que se puede optar por una gradiente máxima hasta de 3‰ (3 por mil); en estas condiciones la zanja debe desembocar en una zona protegida o totalmente estabilizada. Cuando

la zanja está a nivel debe construirse a lo largo de ésta, pequeños tabiques de tierra (o dejarse pequeños espacios sin excavar), a fin de impedir que el agua corra de un lado a otro, distribuyéndose de este modo en forma uniforme el agua captada. La separación o espaciamiento entre estos tabiques debe ser de 5 a 10 m a lo largo de la zanja. Los tabiques o espacios sin excavar deben ser pequeños y tener en promedio entre 10 – 15 cm de espesor.

El espaciamiento entre zanjas está determinado por la pendiente del terreno, tipo de cultivo, tipo de suelo y características de precipitación de la zona, sobre todo en lo referente a la intensidad y duración. El espaciamiento adecuado promedio para las condiciones de la sierra peruana varía entre 10 a 20 m; resaltando que para un espaciamiento de 20m, las características de las zanjas de infiltración deben ser mucho mayores a las mencionadas líneas arriba.

Trazo y construcción

El trazo de las zanjas de infiltración se hace con el nivel en “A”, en forma transversal a la máxima pendiente de la ladera.

El trazo debe iniciarse desde el extremo superior del campo, manteniendo fija una pata del nivel en “A” y moviendo la otra hacia arriba o hacia abajo hasta lograr que el cordel de la plomada coincida con la marca del nivel, lo que indicará que dichos puntos están a nivel. Luego se continúa trasladando el nivel en el mismo sentido y se van marcando los puntos con una herramienta para finalmente trazar o marcar la línea base a nivel.

No es recomendable marcar con piedras o estacas las líneas trazadas, ya que pueden ser retiradas por extraños, borrándose el trazo.

Una vez marcadas las zanjas, se inicia su construcción con zapapico, pico y lampa y en otros casos, con ayuda de la yunta o tractor. Si la construcción es con yunta, la operación consiste en pasar el arado por la línea base trazada y marcada; luego cuando se llega al final de la línea marcada, se regresa pasando el arado junto a la marca de la primera pasada, para dar así el ancho adecuado del borde superior de la zanja.

Luego se repite las pasadas del arado de una a tres veces más, según sea necesario, para remover el suelo y dar así una mayor profundidad a la zanja.

En zonas con pastos y cuando la construcción de las zanjas se realiza con la ayuda de la yunta, el espaciamiento apropiado puede ser de 5

m a fin de infiltrar el agua más uniformemente en la ladera. La profundidad de las zanjas podrá ser entre 20 a 30 cm.

Si la pendiente de la zanja es cero, es decir a nivel, se recomienda construir tabiques o pequeños espacios sin excavar de uno 10 a 15 cm de espesor a lo largo de la misma, a fin de facilitar que se uniformice la distribución e infiltración del agua captada. El espaciamiento entre tabiques a lo largo de las zanjas, normalmente es de 5 a 10 m.

En el borde superior (aguas arriba) de la zanja se recomienda sembrar plantas de macollaje tupido (barrera viva) para darle mayor protección respecto de la sedimentación.

Luego de removido el terreno, se abre la zanja con una lampa o pico, dándosele al final el acabado según las características deseadas. En algunos casos y siempre que la naturaleza del terreno lo permita, después de abrir la zanja, se vuelve a pasar el arado para obtener mayor profundidad y posteriormente realizar el acabado respectivo. La tierra extraída debe ser colocada en el borde superior aguas abajo de la zanja, a fin de darle una sobrelevación “ceja”, aumentando así la capacidad de captación de la misma.

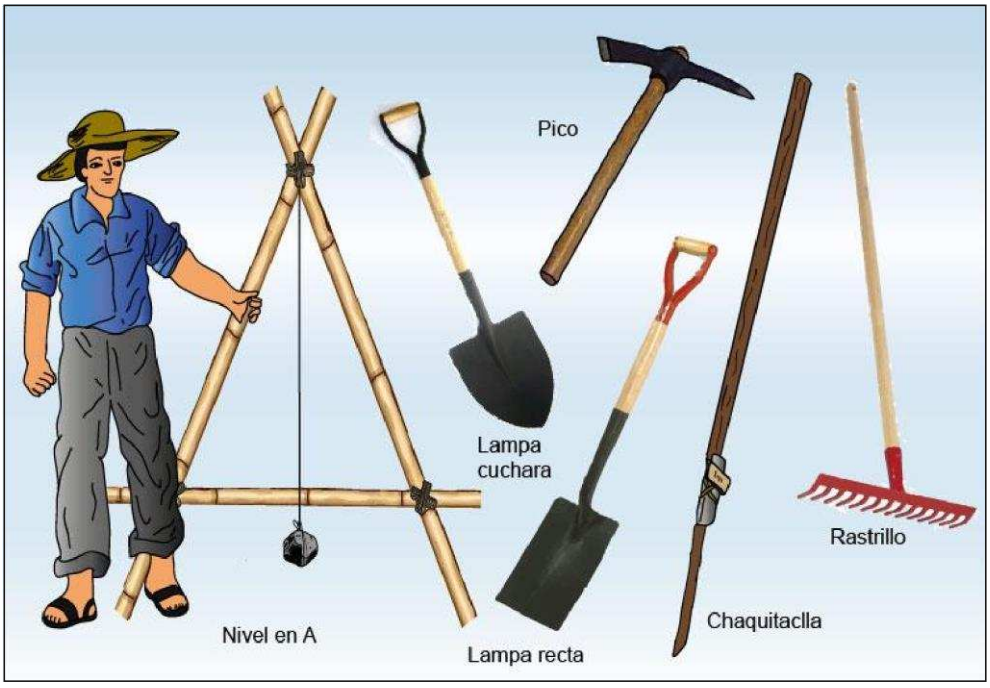


Figura Nº 9.- Materiales y herramientas utilizadas para el trazo y construcción de zanjas y terrazos de absorción

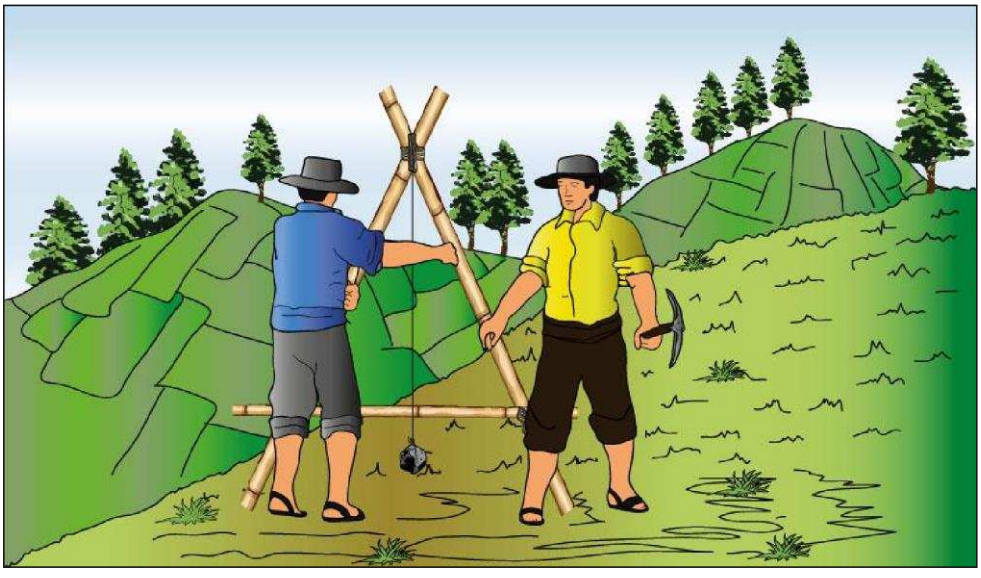


Figura Nº 10.- Trazo de líneas a nivel para la construcción de zanjas o terrazos

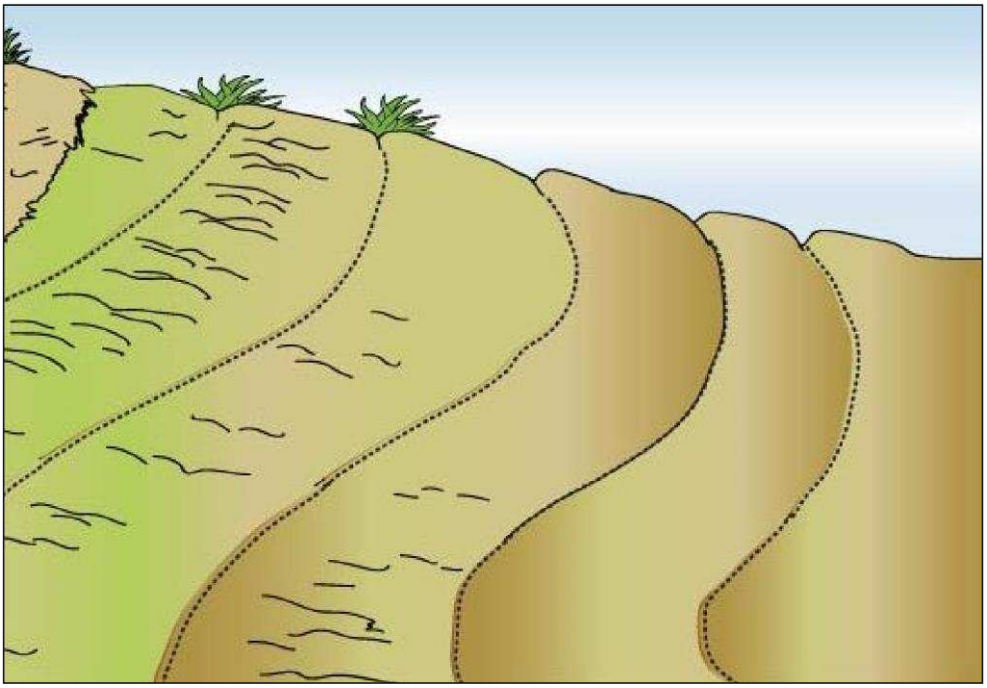


Figura Nº 11.- Construcción de zanjas de infiltración con yunta

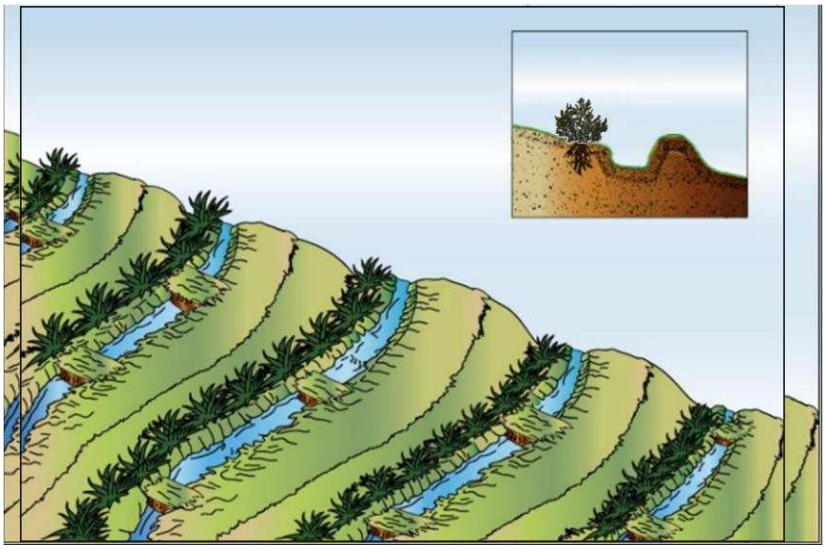


Figura Nº 12.- Zanjas de infiltración ya construídas

2. Terrazas de absorción

- **Descripción**

  Las terrazas de banco o llamadas también terrazas de absorción son una serie sucesiva de plataformas (bancos o terraplenes), dispuestas a manera de escaleras en las laderas. Los terraplenes pueden construirse a nivel o con una ligera inclinación hacia adentro.

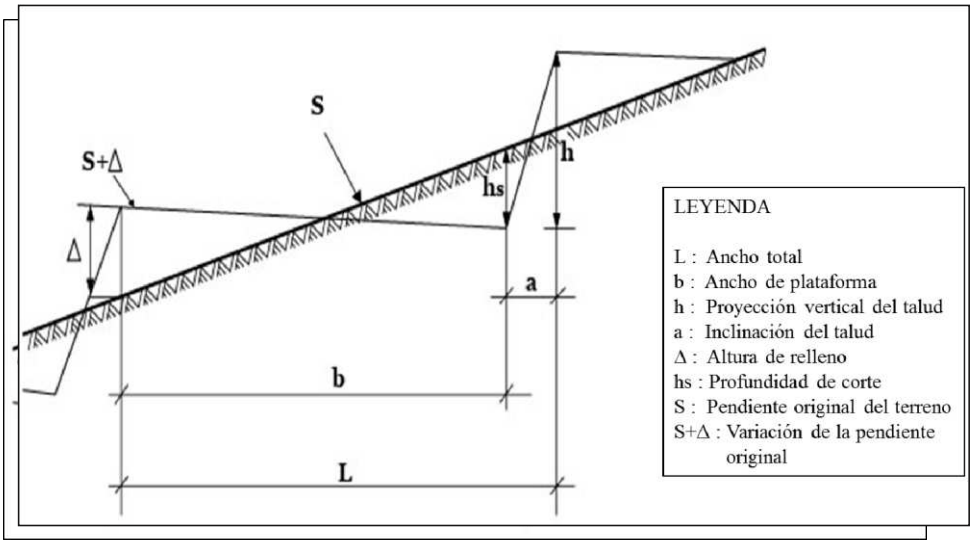


Figura Nº 13.- Elementos típicos de una terraza de absorción

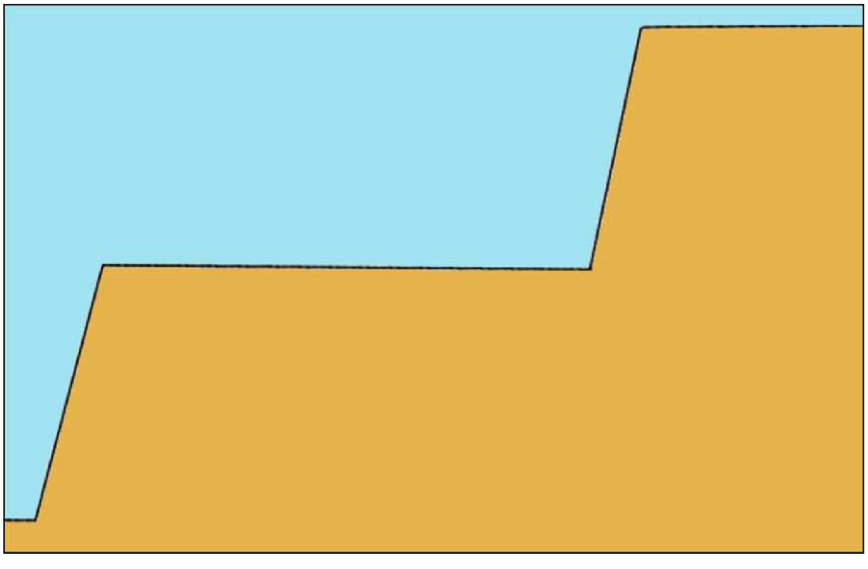


Figura Nº 14.- Terraza de adsorción construída para cultivo de secano

La inclinación del banco o terraplén hacia adentro evita el rebalse del agua de lluvia durante los aguaceros fuertes o lluvias prolongadas. La nivelación de los bordes impiden que el agua escurra hacia un lado u otro; de este modo el agua de lluvia que cae en las terrazas se infiltra total y uniformemente en éstas, evitando totalmente la erosión.
Cuando se construyen estas prácticas en zonas de alta precipitación (>1000 mm/año), se debe contemplar un sistema de drenaje superficial.

Se pueden distinguir y cumplir en las terrazas los siguientes elementos y requisitos:

- El borde interno de la terraza, pie o borde inferior del talud aguas arriba (debe estar a nivel).
- El borde externo de la terraza o borde superior del talud aguas abajo (debe estar a nivel).
- La profundidad del borde interno o desnivel (debe permitir almacenar el agua de lluvia que recibe).
- El suelo del terraplén o terraza propiamente dicha, debe ser removido o "preparado" para que pueda absorber el agua de lluvia.
- El talud debe ser sembrado con plantas perennes y cuya altura preferentemente no debe ser mayor de 1.50 m.

A fin de mantener la capa superior del suelo en la parte de arriba del perfil (horizonte A o capa arable), se debe efectuar la remoción lateral del suelo durante la construcción de la terraza, siguiendo los pasos que se explicaran más adelante.

La siembra del cultivo principal se hace en el terraplén. En el talud se debe instalar otras plantas de tipo permanente, principalmente pastos o plantas aromáticas, con la finalidad de estabilizarlo y aprovecharlo económicamente.

En las terrazas construidas en zonas de secano, el borde interno del terraplén puede tener una profundidad de hasta unos 15 cm, a fin de asegurar una máxima captación y aprovechamiento del agua de lluvia.
En terrenos bajo riego, el terraplén debe tener una pendiente longitudinal de uno a dos por mil en el sentido en que va correr el agua; esto mismo se recomienda para zonas muy lluviosas y en terrenos poco permeables. Asimismo, en terrenos bajo riego las terrazas no deben tener contrapendiente, pero si un camellón o borde

pequeño a lo largo del borde externo para evitar que el agua se desborde y desestabilice el talud.

Condiciones de suelo

Las terrazas de absorción son recomendables principalmente para terrenos dedicados al cultivo en limpio (hortalizas, tubérculos, granos, etc.). También pueden ser usados para cultivos permanentes como pastos cultivados y frutales; excepcionalmente pueden servir para la instalación de especies forestales.

No es recomendable construir las terrazas de absorción en terrenos muy degradados o muy **superficiales**, en laderas muy empinadas y en suelos demasiados sueltos o arenosos; salvo que se apliquen trabajos de mejoramiento del suelo, como incorporación de materia orgánica.

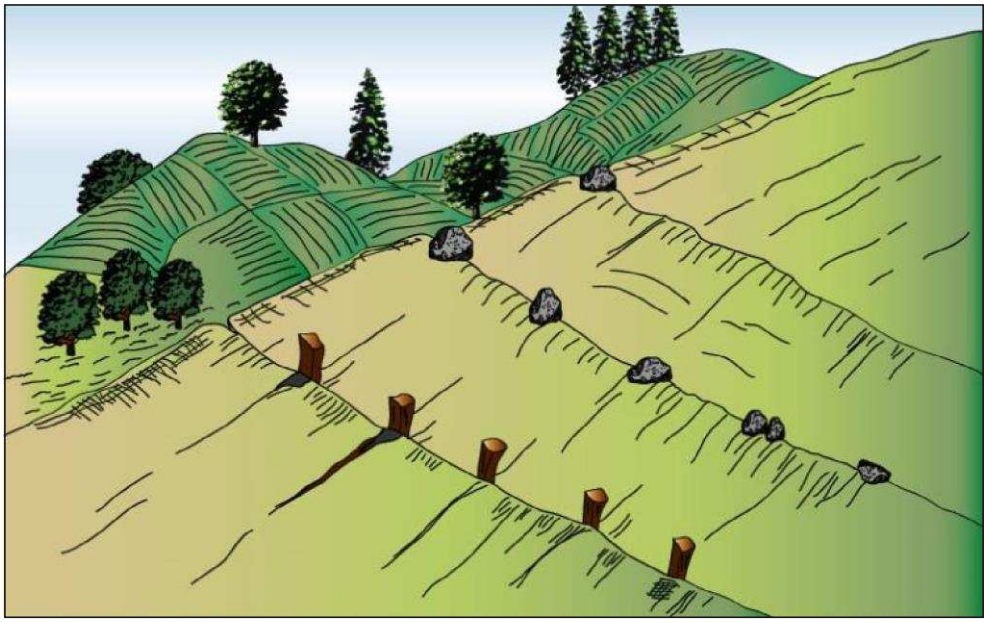


Figura Nº 15.- Líneas a nivel marcadas para la construcción de terrazas de absorción

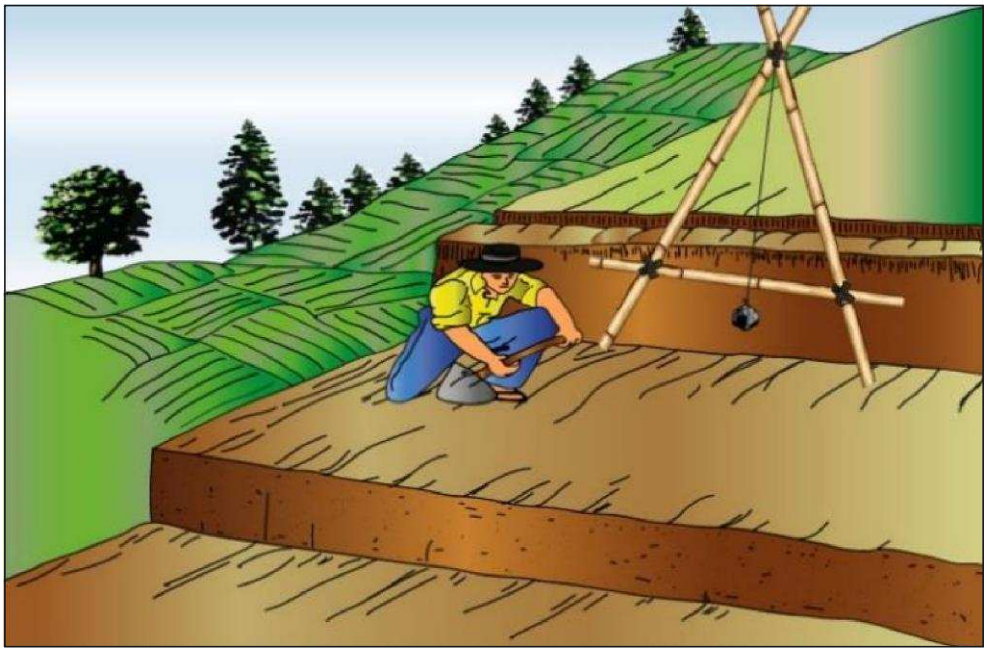


Figura Nº 16.- Construcción de terrazas de absorción

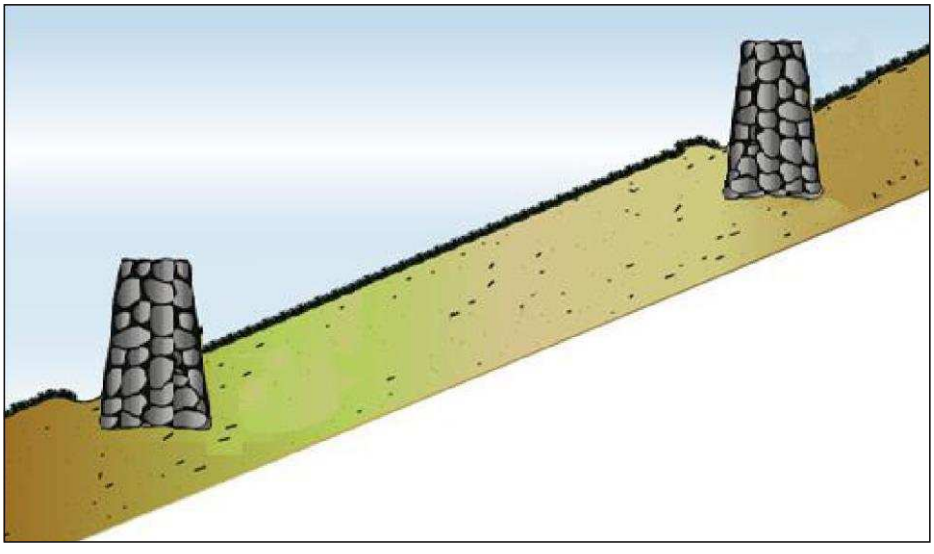


Figura Nº 17.- Terrazas de absorción de formación lenta con muros de piedra

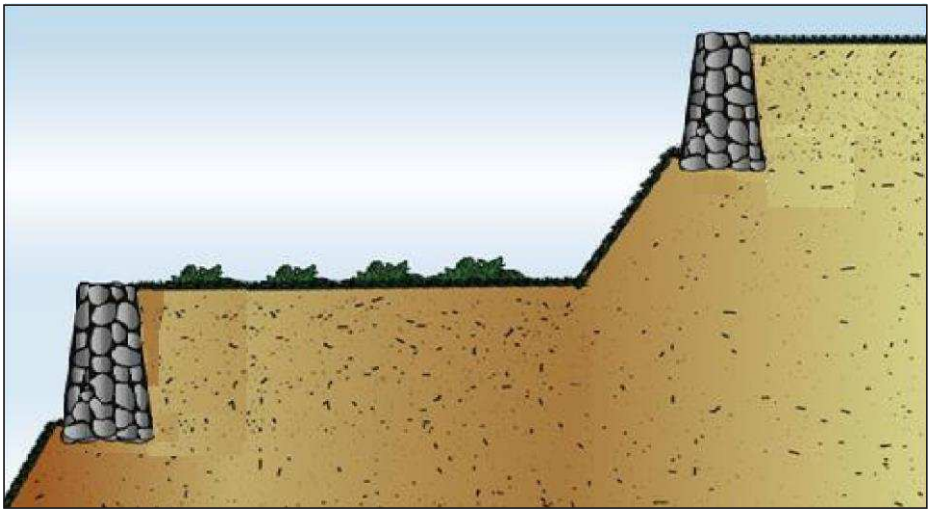


Figura Nº 18.- Terrazas de absorción con muros de piedra y talud de tierra

3. Diques para el control de cárcavas

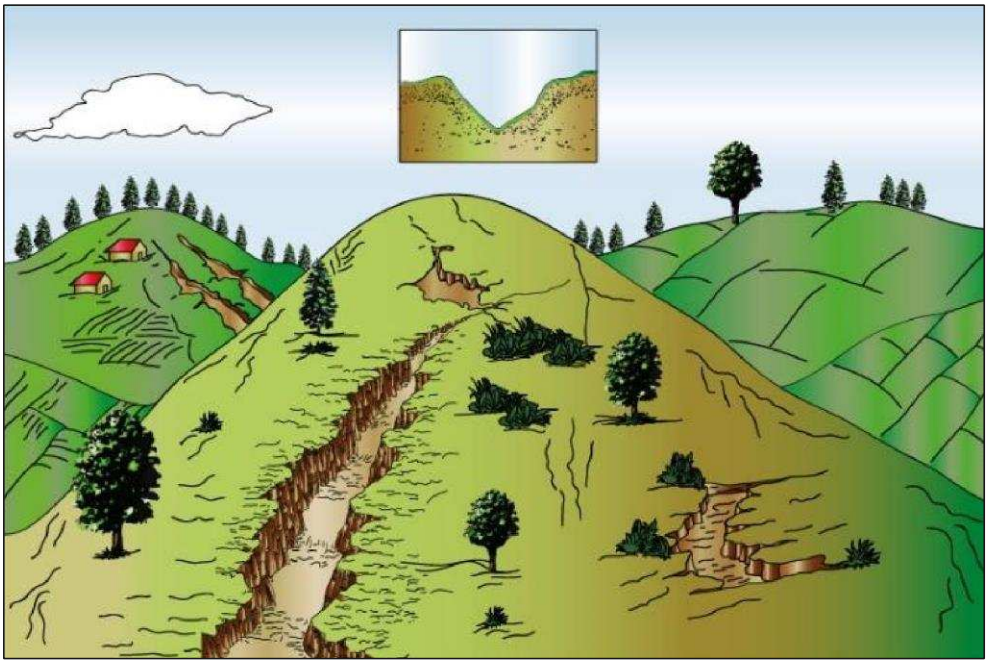
- **Definición**

Cárcava es una zanja causada por la erosión hídrica del suelo. Sigue generalmente la máxima pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo, producto de la erosión.

- **Formación de la cárcava**

  Normalmente, cuando el agricultor va a utilizar nuevos terrenos para cultivo, corta toda la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea existente, es decir, limpia el terreno, quedando consecuentemente éste expuesto a la acción directa de las lluvias y de la escorrentía superficial. Cuando se trata de suelo inclinados o laderas, automáticamente se inicia la remoción y el arrastre de las partículas del suelo por capas delgadas (erosión laminar).

  El agua, a medida que desciende por la ladera y debido a las irregularidades en el relieve del terreno, se va concentrando, formando pequeños canales, los que a su vez se juntan y forman un canal mayor. Con una masa de agua más abundante y una velocidad que va en aumento, la erosión se acentúa, formando inicialmente pequeños surcos, los que se van agrandando horizontal y verticalmente hasta que se forman las cárcavas llamadas también zanjas, barrancos o torrenteras, ver figura 19.



Control de cárcavas Figura Nº 19.- Vista de una cárcava en una ladera, y en pleno proceso de erosión

- **Control de cárcavas**
  La primera acción que se debe llevar a cabo para controlar una cárcava es eliminar la causa que la originó, para lo cual se tiene que efectuar trabajos a dos niveles.

  A nivel de ladera o área de drenaje, que en muchos casos resulta ser suficiente, cuando con las prácticas conservacionistas ejecutadas se controla o anula el escurrimiento superficial en esa zona. En caso contrario, si después de haber tratado la ladera todavía sigue corriendo agua por la cárcava, entonces se debe efectuar trabajos a nivel de la cárcava misma.

  - **Prácticas conservacionistas aplicadas a nivel de ladera** Cualquier práctica que se aplique a nivel de ladera debe encaminarse fundamentalmente a evitar o controlar totalmente el escurrimiento superficial de agua y permitir su infiltración uniforme o su evacuación. Entre las prácticas apropiadas se tienen:

    - Repoblación de pastos y bosques, fundamentalmente con especies adaptadas a la zona y de valor económico

- Buen manejo de pastos (pastoreo de corta duración y frecuente) y bosques,
- Construcción de zanjas o acequias de infiltración en áreas de bosques y pastizales,
- Construcción de terrazas de absorción
- Construcción de surcos en contorno,
- Construcción de zanjas de infiltración o acequias de desviación, y
- Construcción de pequeños reservorios o “cochas”

- **Prácticas a nivel de cárcavas mismas**

  Después de haber tratado la ladera con zanjas de infiltración, reforestación, pastos o terrazas de absorción y si todavía hay escurrimiento en la cárcava misma, se efectuarán trabajos a nivel de ésta, consistentes en la construcción o colocación de diques o pequeñas barreras u obstáculos transversales a la cárcava, a fin de interceptar y disminuir la velocidad del agua y favorecer la sedimentación de las partículas que lleva el agua en suspensión.

  Los diques son construidos a lo largo de la cárcava y pueden ser hechos de sacos llenos de arena reforzados con champa, de piedra, ramas, pajas y palos.

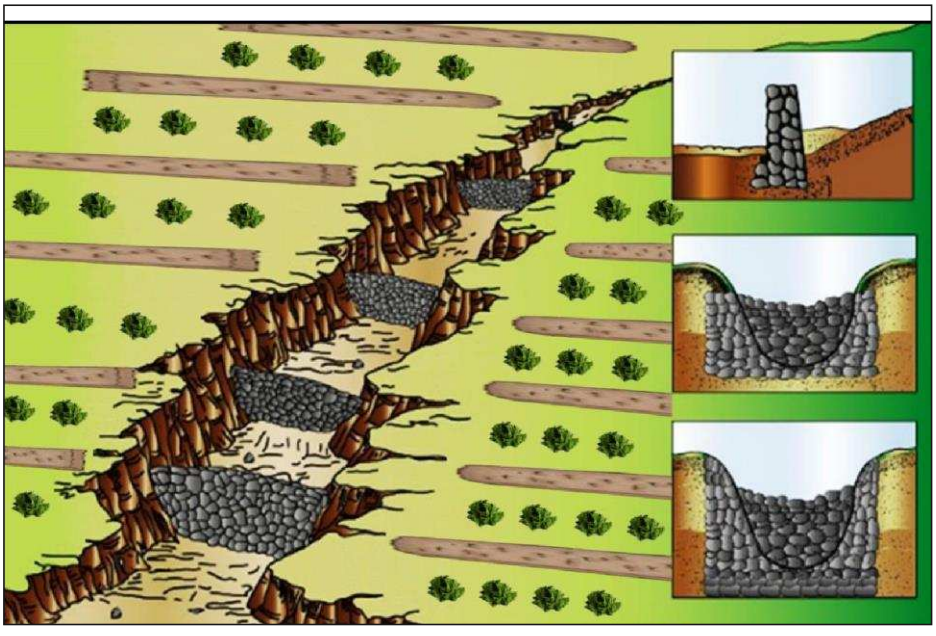


Figura Nº 20.- Diques de piedra y zanjas de infiltración y reforestación para el control de cárcavas

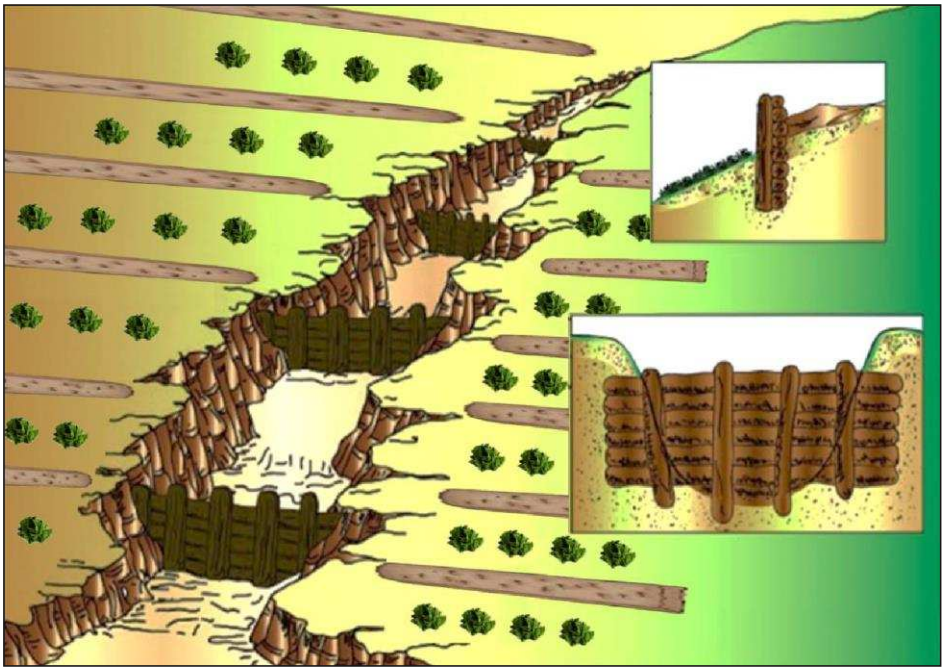


Figura Nº 21.- Diques de palos y ramas, zanjas de infiltración y reforestación para el control de cárcavas

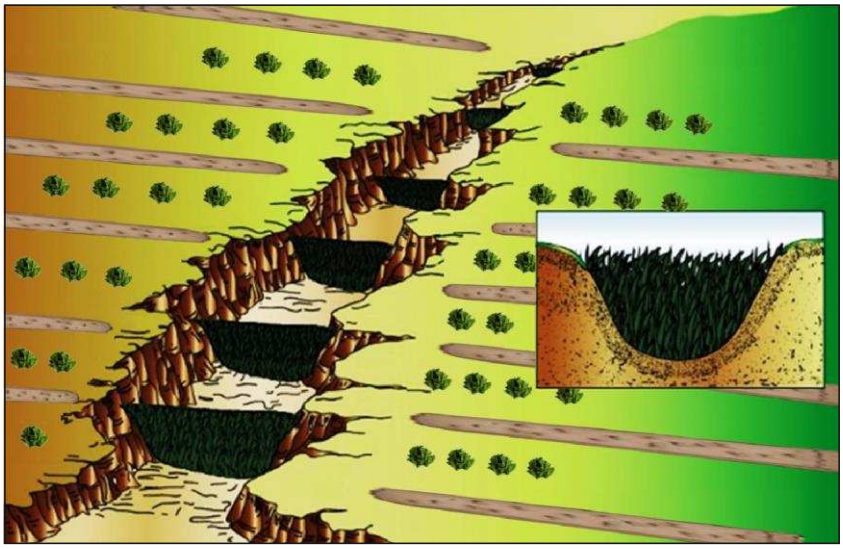


Figura Nº 22.- Cárcava tratada con ramas, paja y plantas; zanjas de infiltración y reforestación

Un aspecto importante en el diseño es el espaciamiento entre diques. El principio fundamental que se debe tener presente para la determinación del espaciamiento entre diques es que el borde superior de un dique este al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba y así sucesivamente.

Un medio sumamente eficaz en el control de las cárcavas es permitir el crecimiento de la cubierta vegetal, evitando el pastoreo de animales a lo largo de la cárcava y en la zona circundante a ella, dentro de por lo menos un radio igual a cinco veces la profundidad de la cárcava. Las paredes mismas de las cárcavas deben estar cubiertas por vegetación natural o sembradas especialmente con pastos, árboles u otras especies vegetales.

- **Características de los diques de piedra**
  Las características que se deben considerar para la construcción de diques de piedra son las siguientes:
  - Espesor mínimo del borde superior del dique de piedra entre 20 y 30 cm, y el del borde inferior por lo menos de 30 a 50 cm.
  - Altura efectiva del dique entre 50 y 100 cm.
  - El dique debe ser empotrado de 30 a 50 cm en el fondo y en las paredes laterales de la cárcava, para darle mayor estabilidad.
  - Debe contar con un aliviadero de forma parabólica en el borde superior del dique a fin de darle mayor capacidad de desagüe y evitar que el agua caiga en forma de chorro y erosione los bordes laterales, la base del dique y la superficie del suelo.

  - El espaciamiento entre diques depende de la pendiente del cauce de la cárcava. Pero debe tenerse presente como principio básico que el centro del borde superior del dique debe estar al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba, determinándose así el espaciamiento entre diques. Cuanto mayor es la pendiente del cauce de la cárcava, menor resulta el espaciamiento entre diques.

Normalmente, al pie del dique se debe construir un colchón hidráulico de piedras, ramas o paja, a fin de disipar la energía del agua y evitar que el golpe del agua socave la base del dique y cause el derrumbe o volteo de la estructura.

- **Ubicación de los diques**
  El primer dique estará ubicado en un punto “B” del terreno, muy cerca del inicio de la cárcava (punto A); si el área de captación aguas arriba de este punto inicial es grande se debe evaluar la conveniencia de construir una acequia de desviación, para así proteger los diques a ser construidos. Los siguientes diques se ubicarán de la siguiente manera:

- A partir del punto “B” se extiende un cordel aguas abajo, el cual debe estar tendido en forma horizontal. La ubicación del siguiente dique estará dada por el punto del terreno cuya distancia vertical al cordel sea igual a una altura efectiva promedio del dique entre 50 – 100 cm.
- Luego, a partir de este punto, se repiten los pasos anteriores a fin de determinar la ubicación de los siguientes diques aguas abajo

En la figura 23 se muestra el perfil longitudinal del fondo de la cárcava con los puntos marcados donde la construirán los diques y en la figura 26, se muestran los diques ya construidos en el fondo de la zanja.

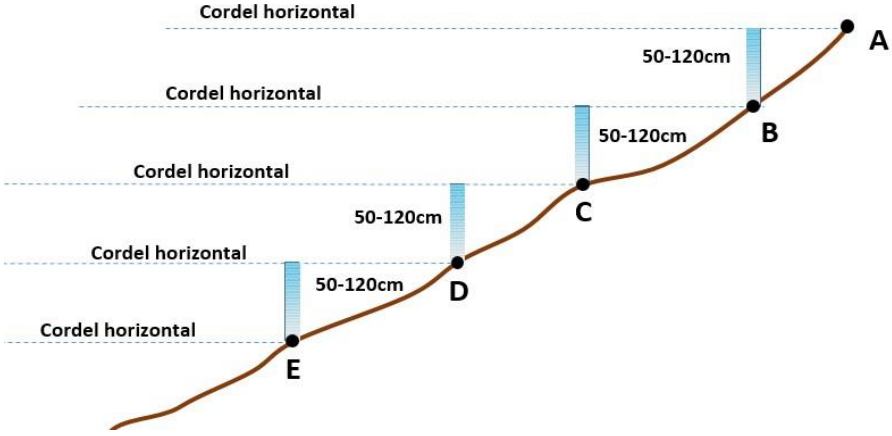


Figura Nº 23.- Perfil longitudinal del fondo de la cárcava con los puntos marcados donde se construirán los diques

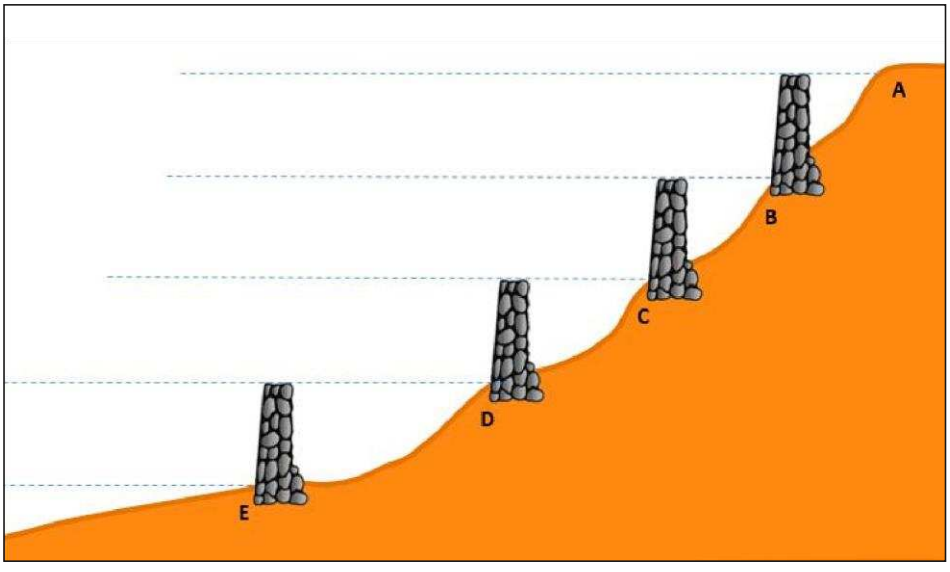


Figura Nº 24.- Perfil longitudinal del fondo de la cárcava con diques construidos

- **Construcción de los diques**
  La construcción de los diques siempre se debe iniciar desde la parte más alta de la cárcava hacia abajo, con el objeto de disminuir o controlar el escurrimiento superficial que se pueda presentar durante la construcción de los diques a lo largo de la misma, ya que si la construcción se iniciará desde la parte más baja hacia arriba y se presentara un escurrimiento superficial durante la etapa de construcción, los diques podrían ser derrumbados dado que la energía del agua no se ha disipado progresivamente desde el inicio de la cárcava. En la figura 24, se muestran diques para el control de cárcavas ya construidos con sus características de diseño y construcción.

  Muchas plantas perennes pueden ser trasplantadas directamente en los taludes de las cárcavas y de las "terrazas en formación". Cualquier planta que luego de cosecharse mantiene sus raíces en el suelo y la vegetación permanente cubre la superficie del terreno, es adecuada para ser colocada en los taludes. Este cultivo debe ser pasto bueno para forraje o plantas aromáticas o medicinales que tengan demanda en el mercado con adecuado precio, porque así se creará el interés en los agricultores por mantener el cultivo para que siempre sirva de protección de los taludes.

  La especie de planta que se escoja para reforzar los taludes de las "terrazas" debe ser de rápido prendimiento, que cubra con prontitud el suelo, sea resistente a la sequía y tenga valor económico.

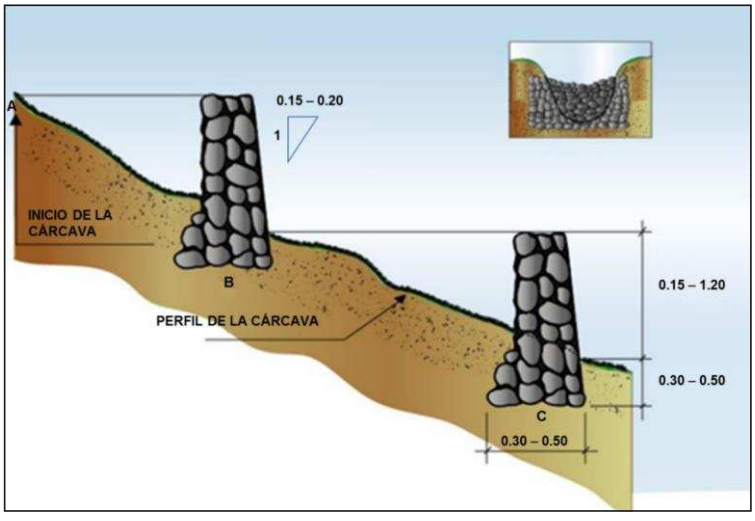


Figura Nº 25.- Detalles de un dique de piedra construido para el control de una cárcava

4. Andenes Definición y objetivos

Los andenes son realmente terrazas que son construidas en forma de escaleras con la finalidad de cortar la pendiente de las laderas, transformándolas en plataformas de terreno horizontal, sostenidas por muros de piedra ligeramente inclinados hacia adentro. Los andenes pueden ser para cultivos en zonas de secano o bajo riego.

Un sistema de andenería es la expresión de una cultura caracterizada por el trabajo organizado, para la conservación de las aguas y los suelos y para la producción agropecuaria eficiente. La andenería incaica fue construida por un pueblo con vocación eminentemente agrícola, guidado por el padre inca bajo una disciplina místico-militar y una organización comunal eficiente para el trabajo.

Los principales objetivos que se logran con la construcción de un sistema de andenería son:

- Reducción de la pendiente de la ladera,
- Mejor aprovechamiento de la ladera con fines productivos,
- Disminución de la velocidad del flujo de agua que escurre cuando se trata de andenes bajo riego,
- Mejor aprovechamiento del agua ya sea de lluvia o de riego, - Protección de los suelos contra la erosión hídrica.
- Mejora de las condiciones ambientales de la zona,
- Mejora de la capacidad productiva de los suelos de la ladera, y - Mejor aprovechamiento de los abonos y otros insumos.

- **Descripción**

Un andén presenta los siguientes elementos:

- Banco o terraplén
- Muro o talud de piedra
- Acequia de riego y drenaje - Borde interno del banco, y - Borde externo del banco.

- **Longitud, ancho y pendiente del banco o terraplén**

En términos generales, los andenes pueden tener longitudes que varían en promedio entre 4 y 100 m. El ancho del banco de los andenes varía en promedio entre 2 a 20 m y, excepcionalmente, se puede tener andenes de dimensiones de 1,0 m de ancho por 1,5 m de largo y de 30 m de ancho por 150 m de largo o más.

La pendiente longitudinal de los andenes varía entre 0 a 2,0 por mil (2/oo), y la pendiente transversal entre -1,0 por mil (contra pendiente) y +1,0 por mil (inclinación hacia afuera). Cuando se trata de andenes para cultivos de secano, la pendiente longitudinal de los andenes es a nivel y la pendiente transversal varía entre 1 a 3 por mil hacia adentro (contrapendiente), pues el objetivo es captar toda el agua de lluvia precipitada.

- **Talud o muro de piedra**
  El ancho o espesor promedio de los muros en su borde superior es de 20-35 cm, mientras que en la base es de 40-70 cm, dependiendo de la altura total del muro y de las dimensiones de las rocas utilizadas en su construcción.

  La altura total promedio del muro está entre 1,5 a 2,0 m, para laderas entre 20-40% de pendiente. Para laderas de mayor pendiente, la altura total del muro es menor, debido a la mayor inestabilidad que presenta un muro de mayor altura, dado que a más altura mayor es la inestabilidad frente al deslizamiento y al volteo.

  La parte enterrada del muro de un andén es de 20-50 cm respecto al nivel del banco o terraplén del andén inmediato inferior; el borde superior del muro termina uno 5 a 10 cm encima del nivel de la base del banco o terraplén del andén inmediatamente superior.

  Los taludes o muros de piedra de los andenes son ligeramente inclinado hacia adentro y su inclinación varía entre 0,20:1 a 0,05:1 (horizontalvertical), es decir varía entre 5 a 20% la inclinación del talud hacia dentro. En las siguientes figuras se muestran los elementos típicos de un andén, observándose los muros de piedra.

Los muros son en su mayoría de canto rodado, de piedras de forma irregular, colocadas unas sobre otras usando piedras pequeñas como cuñas. El tamaño de las piedras es variado, desde 3 cm hasta 1,5 m o más diámetro.

La forma y naturaleza de la roca determina la técnica de construcción o la forma de construir el muro.

La construcción de los muros puede ser realizada hasta de 3 tipos:

- **Muro de piedra cuyo largo se orienta transversalmente al muro** Este tipo de muro se construye donde se cuenta con piedras ligeramente alargadas y de dimensiones entre 40 a 50 cm de largo.

- **Muros de doble pared**
  Este tipo de muro se construye cuando se dispone mayormente de piedras menudas o muy delgadas, con diámetros promedio que alcanzan entre 15 a 25 cm y que van superpuestas, empezando con las piedras de mayor diámetro. Las piedras son ubicadas en dos filas o muros paralelos, cruzando transversalmente al muro cada cierto trecho con piedras largas que abarcan todo el ancho del muro, a fin de romper la continuidad y darle mayor estabilidad. El espacio ubicado entre los muros paralelos es rellenado con piedras pequeñas que funcionan como filtro.

- **Muros de piedra con disposición oblicua.**
  Se construye en lugares donde se dispone de rocas estratificadas de origen sedimentario, de forma plana, lisa y de poco grosor. Las piedras son colocadas en posición oblicua intercalándolas por filas, tal como se muestra en la figura siguiente.

  Un sistema de andenería comprende además de lo descrito anteriormente: vías de acceso e infraestructura de manejo de agua.

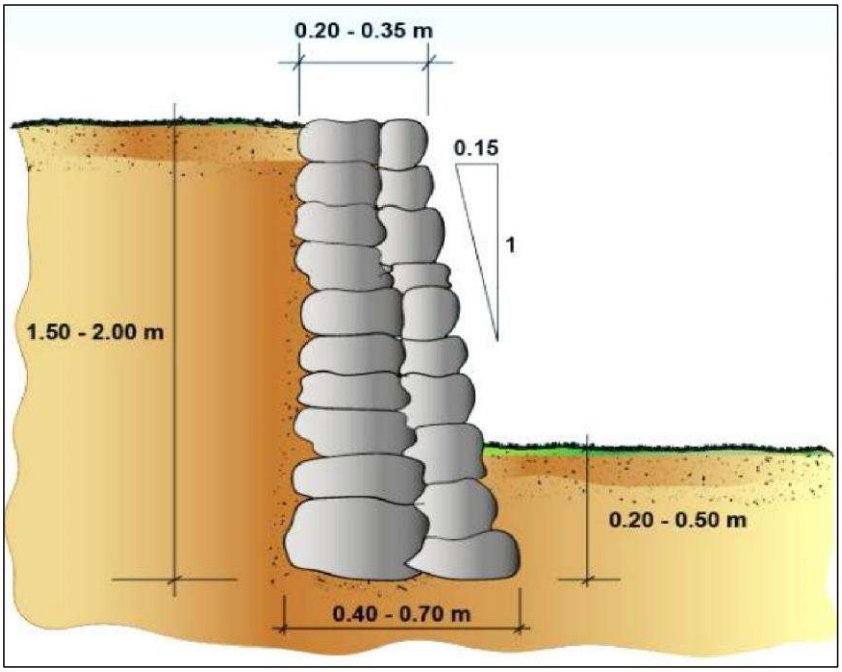


Figura Nº 26.- Vista de un talud de un andén construido de piedra y sus características geométricas

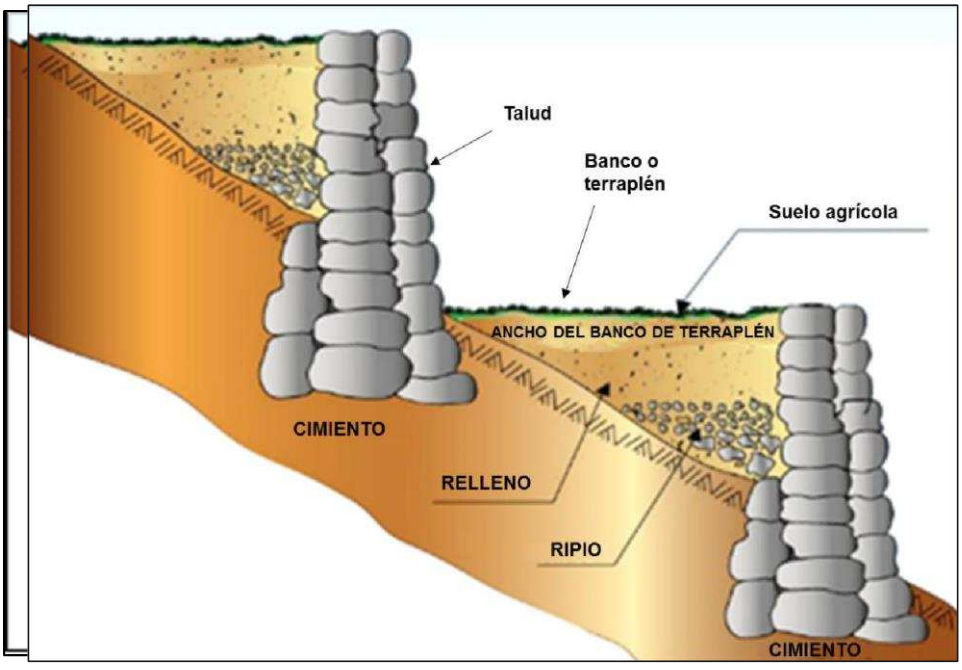


Figura Nº 27.- Vista de dos andenes con sus elementos típicos

Infraestructura de manejo de agua y vías de acceso

Uno de los aspectos fundamentales en un sistema de andenería es lo referente al manejo de agua proveniente tanto de la lluvia como de riego, evitando siempre el efecto dañino que pueda ocasionar su mal manejo. En un sistema de andenería de secano y en zonas con precipitaciones menores a los 300 a 500 mm/año se debe retener toda el agua captada, para lo cual en el borde interior del banco o terraplén debe construirse una pequeña acequia a nivel, lugar donde debe acumularse toda el agua captada.

En el banco o terraplén de los andenes bajo riego se construyen pequeñas acequias para el riego, desde donde se deriva el agua hacia los surcos, los mismos que son construidos en el sentido de la pendiente. La captación del agua hacia las acequias de los bancos se efectúa en los canales de riego que normalmente son de piedra y están ubicados en máxima pendiente. Para derivar el agua -a modo de compuerta- se utilizan piedras de tamaño adecuado que se complementan de manera de sellado mediante el uso de “champas”, restos vegetales y/o tierra.

Por otro lado, es fundamental tener en cuenta que todo sistema de andenería debe contar al mismo tiempo con un adecuado sistema de caminos o vías de acceso, a fin de facilitar al agricultor un manejo fácil y oportuno de los andenes en el desarrollo de las diferentes tareas agrícolas y en su mantenimiento.

En los sistemas de andenería antiguos, se pueden observar diversos tipos de acceso, sobresaliendo los siguientes:

- Gradas de piedras sobresalientes y empotradas en el muro o talud del andén. Normalmente se usan de 3 a 6 gradas o peldaños por andén, dependiendo de la altura el muro.

- Escalera transversal a los andenes, que une varios andenes en uno de los extremos del sistema de andenería y que van paralelos a las acequias o drenajes. Su construcción se hace de piedra para evitar la erosión. Su función principal es permitir el tránsito de animales y personas para el desarrollo de las labores agrícolas.

- Escalera paralela al muro o talud, que se construye de pasos seguidos y de piedra cuidadosamente amarrada al muro de andén. Este tipo de escalera puede ser simple o doble.

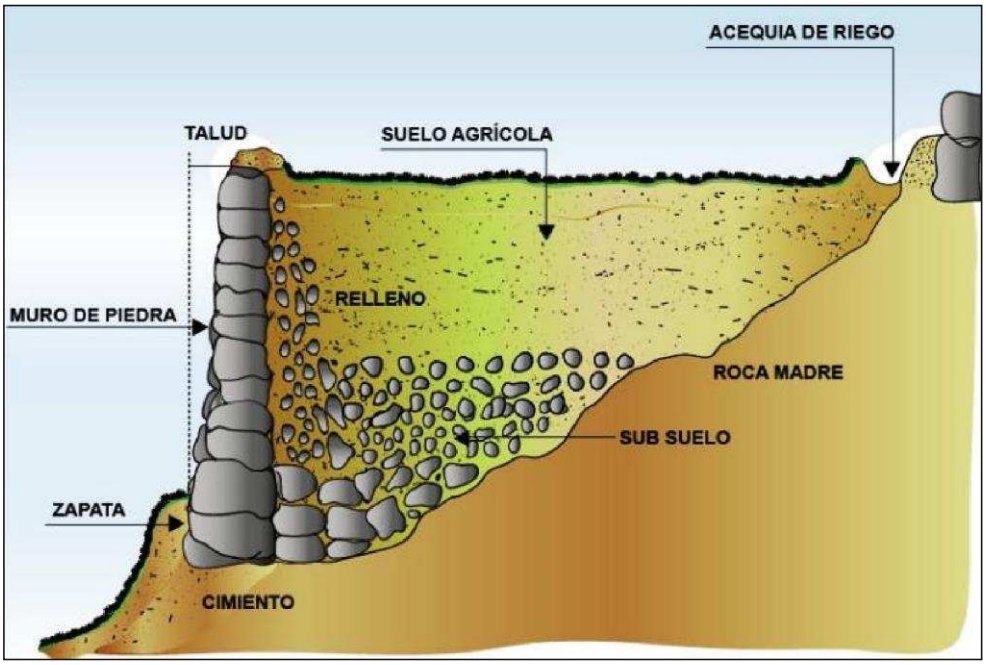


Figura Nº 28.- Vista del corte de un andén incaico y sus diferentes elementos

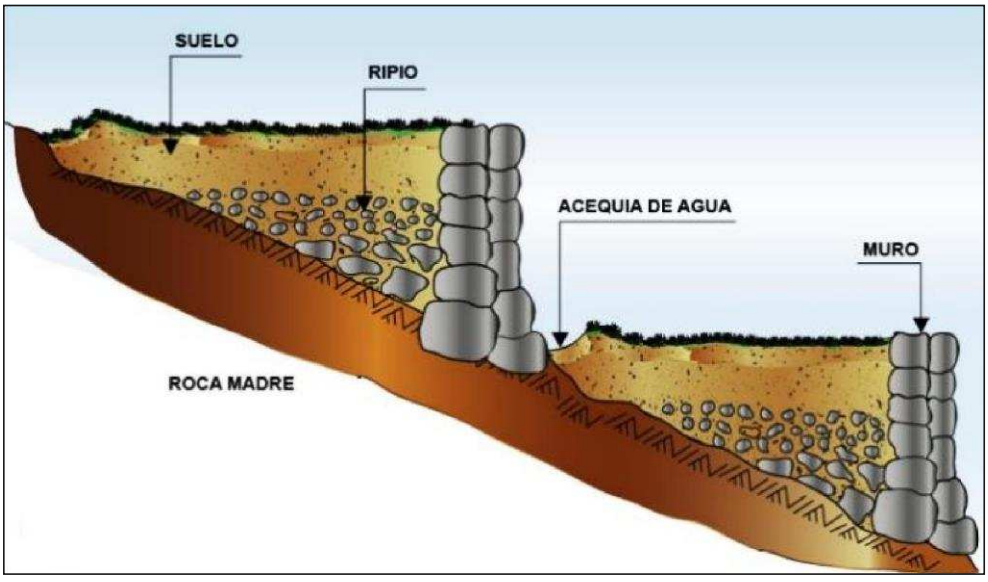


Figura Nº 29.- Vista del corte de dos andenes incaicos típicos

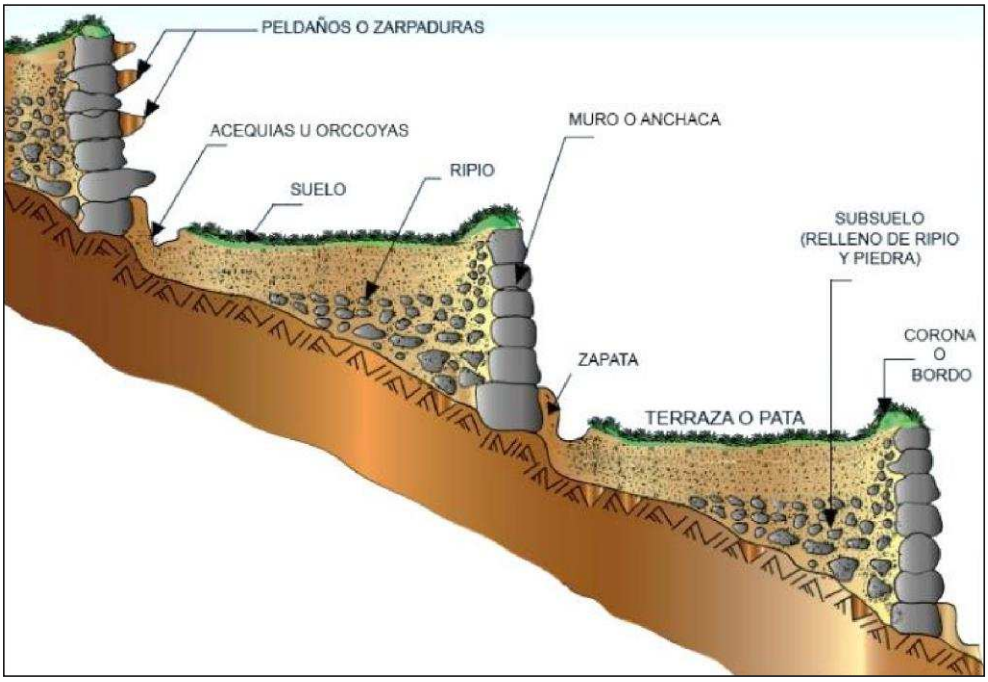


Figura Nº 30.- Vista del corte de un sistema de andenes incaicos y sus diferentes elementos

- **El suelo del banco o terraplén**

  Normalmente la capa del suelo que va en el banco o terraplén del andén es la que existe en la ladera. Cuando la capa original de suelo en la ladera es muy delgada, o simplemente no existe, se transporta tierra desde otros lugares. En la base del banco o terraplén se coloca el ripio y las piedras menudas a fin de rellenar y lograr condiciones adecuadas de drenaje actuando como un verdadero filtro; luego sobre esta base se coloca recién la capa de suelo, cuyo espesor en promedio deberá ser mayor de 30 cm.



Figura Nº 31.- Vista de un sistema de andenes incaicos



Figura Nº 32.- Vista de un sistema de andenes incaicos con escalera en su talud, Región Cuzco



Figura Nº 33.- Vista de un sistema de andenería incaico, Región Cuzco



Figura Nº 34.- Vista de un sistema hidráulico y de andenería incaico, Región Cuzco

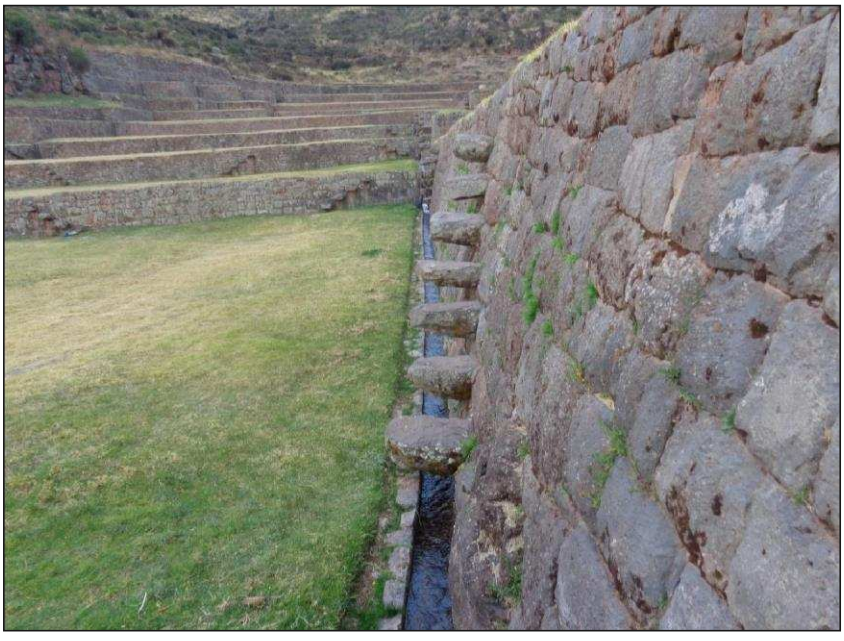


Figura Nº 35.- Vista de un sistema de andenería incaico con sus canales de riego y sistema de escaleras

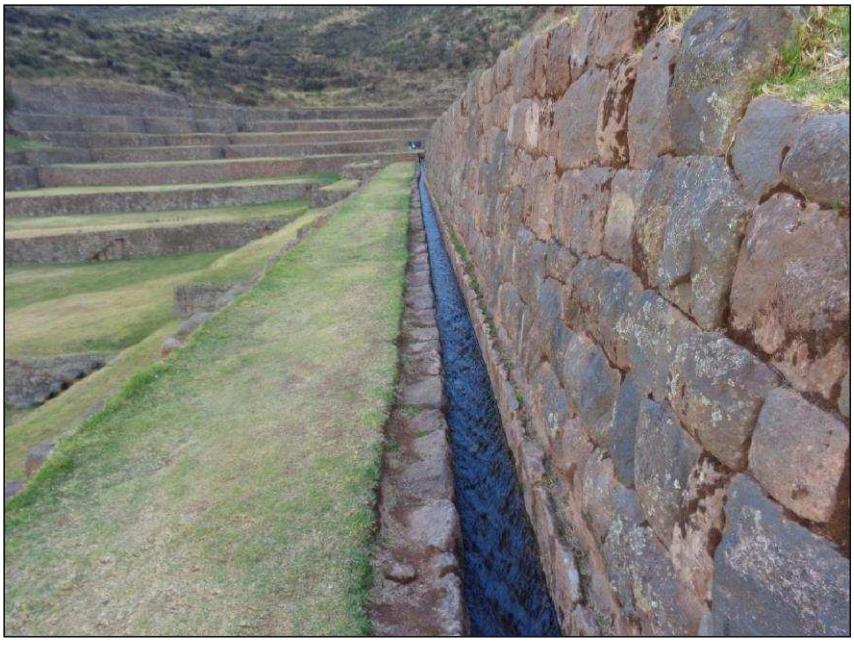


Figura Nº 36.- Vista de un sistema de andenería incaico con sus canales de riego



Figura Nº 37.- Vista de un sistema de captación de agua de tipón - Cuzco



Figura Nº 38.- Vista del sistema de captación de agua incaico de tipón

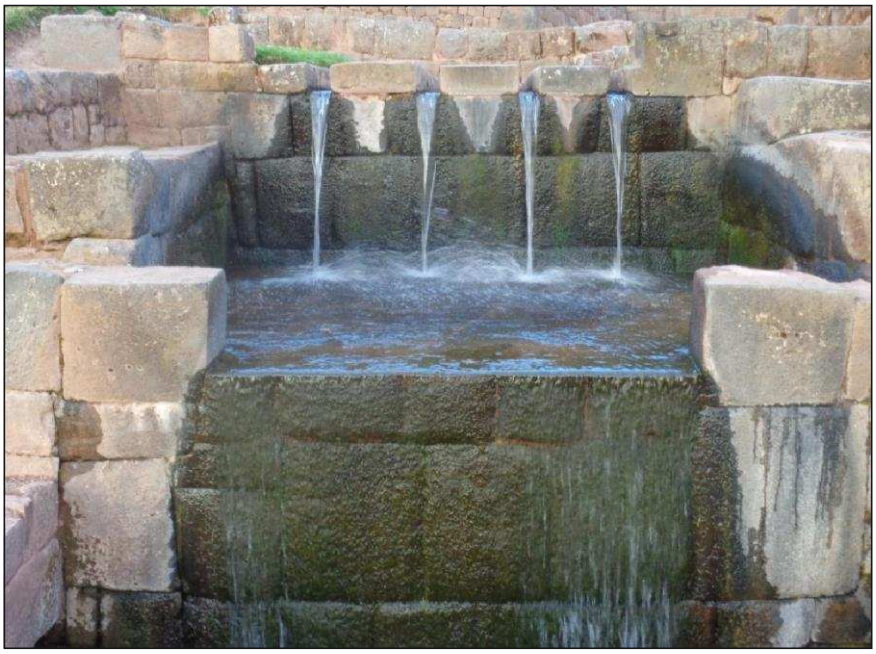


Figura Nº 39.- Vista del imponente sistema incaico de captación de agua de Tipón



Figura Nº 40.- Vista del sistema incaico de captación de agua de Tipón, Región Cuzco

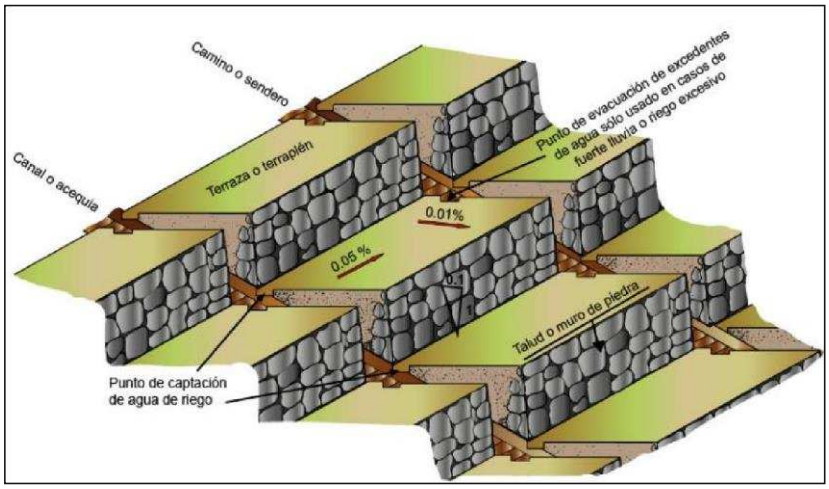


Figura Nº 41.- Esquema de un sistema de andenes bajo riego

- **Mantenimiento en un sistema de andenería**

  En un sistema de andenería, el manejo y mantenimiento que debe dárseles es de vital importancia, ya que el muro y el suelo ubicado en el banco, así como los caminos y canales están expuestos a la acción del agua ya sea de lluvia, vegetación, fenómenos telúricos, fauna o la acción del hombre mismo. Una ligera erosión del suelo del banco de un andén puede afectar la estabilidad del muro, que de no ser oportunamente corregida, termina derribándolo. La caída de un muro puede afectar a los muros contiguos, presentándose de este modo sucesivo las condiciones para el deterioro del sistema.

  Entre las medidas que se recomiendan tener muy en cuenta para desarrollar un adecuado mantenimiento de un sistema de andenería, se tienen:

- **Medidas agronómicas**
  - El trazo de los surcos no debe ser paralelo al muro o talud del andén, sobre todo porque en el aporque se remueve suelo y se puede debilitar el muro. Se recomienda que los surcos sean transversales o diagonales al muro o talud.
  - Si el banco del andén es corto, no usar yunta.
  - La yunta se debe usar con mucho cuidado.
  - Incorporar materia orgánica: guano de corral, rastrojos, etc.
  - Evitar el pastoreo suelto de ganado. Si se cultiva pastos en los andenes, es preferible cosechar el pasto.
  - Nunca plantar árboles en el borde externo del muro, pues las raíces desestabilizan el muro.

- **Medidas mecánicas**
  - El manejo del agua debe ser controlado, no inundar los andenes, pues puede provocar un hinchamiento y derrumbe de los muros.
  - Limpiar los muros de todo arbusto o árbol que crezca en ellos, pues las raíces atentan contra su estabilidad.
  - Revisar permanentemente los muros asegurando su estabilidad e integridad.
  - Mantener en buen estado los caminos, canales de riego, escaleras y obras de drenaje.

- **Rehabilitación de andenes**

Según estudiosos, existen en nuestro país alrededor de un millón de hectáreas de laderas andenadas construidas por nuestros antepasados y que se encuentran en estado de abandono. La parte más sensible por donde generalmente comienza el deterioro de un andén, es cuando se derrumba el muro, lo cual en la mayoría de casos ocurre en forma gradual.

Los pasos que se recomiendan a seguir en la rehabilitación de un andén son los siguientes:

a. Separar los materiales en la zona derrumbada: tierra de cultivo, cascajo, piedras, maleza, etc. La tierra de cultivo debe ser levantada encima de la terraza.
b. Limpiar hasta el cimiento mismo del muro o talud deteriorado, e incluso derrumbar o tumbar partes del muro contiguo y que muestran evidentes signos de inestabilidad.
c. Levantar el muro, tomando como guía para su construcción el muro no deteriorado. Es importante tener en cuenta en la reconstrucción del muro, que las piedras queden perfectamente acopladas o “amarradas” a la parte estable del muro.
d. Colocar el relleno y la tierra del subsuelo, cuidando que se debe compactar en cada momento, mediante el pisoteo. Esta operación debe continuar hasta que se logre el nivel de la terraza misma. Al final se coloca la tierra de cultivo.
e. Se construye el borde siguiendo el mismo nivel de la parte estable o que no está deteriorada.
f. Es recomendable que toda reconstrucción se haga en terreno húmedo a fin de lograr una buena compactación y una mayor estabilidad del muro mismo.

g. Siguiendo el mismo proceso se logra rehabilitar también la infraestructura de riego, drenaje y vía de acceso del sistema de andenería.

5. Barreras vivas

Se recomienda el establecimiento de barreras vivas como práctica adecuada en terreno con pendiente menos a 10%.

En terrenos con pendientes mayores a 10%, el establecimiento de las barreras vivas debe estar acompañado con otras prácticas conservacionistas tales como cultivo en fajas, surcos en contorno, acequia o zanjas de infiltración, terrazas, etc.

Las plantas que se van a establecer como barrera viva deben sembrarse en doble hilera distanciadas entre sí entre 15-20 cm aproximadamente. En áreas con zanjas o acequias de infiltración, la barrera viva debe sembrarse entre 10 - 20 cm por encima del lado o borde superior (aguas arriba de la zanja).

El distanciamiento entre barreras vivas dependerá del tipo de cultivo y del grado de pendiente del terreno (ver cuadro Nº 1).

Se debe practicar un mantenimiento frecuente de las barreras vivas a fin de asegurar su buen desarrollo y funcionamiento. En las siguientes figuras se muestra la distribución de barreras vivas ya establecidas.



Figura Nº 42.- Marcado del trazo de líneas a nivel para la instalación de barreras vivas

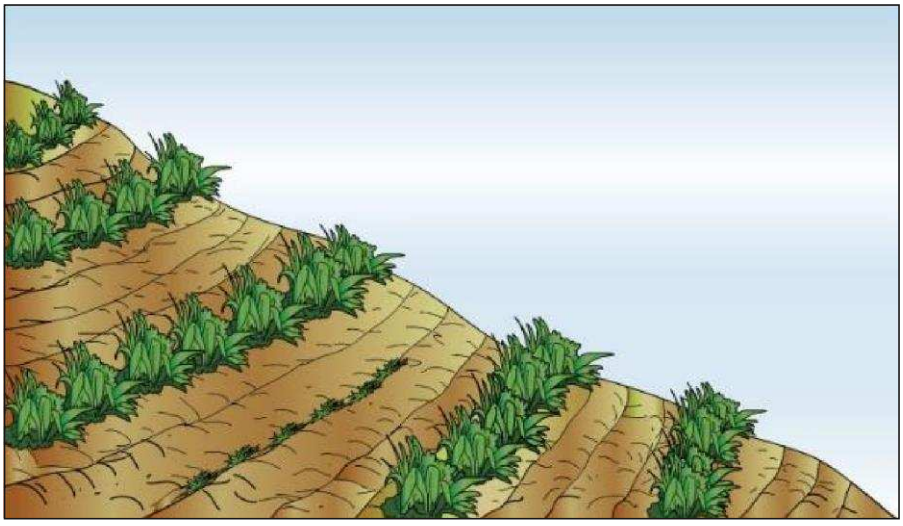


Figura Nº 43.- Esquema de una ladera con barreras vivas

Cuadro Nº 1.- Distanciamiento entre barreras vivas según la pendiente y tipo de cultivo

Pendiente del terreno (%)	Distanciamiento entre barreras (m)	
	Cultivo limpio	Cultivo denso
2	30-35	40-50
4	20-30	30-40
6	15-25	26-30
8	10-20	23-26
10	8-15	16-23
15	7-10	12-16
20	6-8	10-12
30	5-7	8-10
40	4-6	6-8
50	3-5	5-6
>50	<4	<5

6. Surcos en contorno

- **Definición**

  Los surcos en contorno son prácticas conservacionistas que se construyen en dirección transversal a la máxima pendiente del terreno, para sustituir así el uso de surco en máxima pendiente que comúnmente son usados especialmente por nuestros campesinos más pobres y que cultivan en laderas.

El objeto de esta práctica es reducir la velocidad del escurrimiento superficial, favorecer una mayor infiltración del agua, disminuir la erosión del suelo y aumentar la producción y productividad de los cultivos.

- **Clases**

  Los surcos en contorno pueden ser a nivel (pendiente cero) o con una ligera pendiente.

- **Condiciones de uso**

  Esta es una práctica que se recomienda para suelos con pendientes no muy pronunciadas (menores de 20%); en pendientes mayores pueden ocurrir daños por erosión sobre todo durante las lluvias fuertes.

Los surcos en contorno son recomendables principalmente para terrenos dedicados a la instalación de cultivos de hilera o en limpio; aunque también pueden surcarse a nivel los terrenos que van a ser dedicados a cultivos densos.

El surcado en contorno es una práctica que puede ser fácilmente aplicada en lugares donde se usa la yunta, tracción equina o maquinaria agrícola para el surcado del terreno.

- **Diseño**

  El diseño de los surcos en contorno consiste en determinar su profundidad, distanciamiento, pendiente y longitud.

  La profundidad del surco depende del tipo de suelo y cultivo a instalar. Cuando el cultivo se aporca, la profundidad puede alcanzar hasta 30 cm o más. El espaciamiento entre surcos es la distancia que debe existir entre las hileras de plantas, dependiendo principalmente del tipo de cultivo y de la tecnología empleada.

  Los surcos deben tener pendiente cero (a nivel) o pueden tener una ligera pendiente del orden del uno al cinco por mil (1-5‰), de acuerdo a las condiciones del suelo, precipitación de la zona, tipo de cultivo y según se trate de terrenos bajo riego o en secano.

  En el caso en que se tenga que trazar surcos con pendiente, la longitud no debe ser mayor de 100 metros bajo ningún motivo. Los criterios de diseño pueden variar de acuerdo a las condiciones locales. En la figura siguiente se muestra un corte de una ladera con surcos en contorno y con el cultivo en el lomo o camellón del surco.

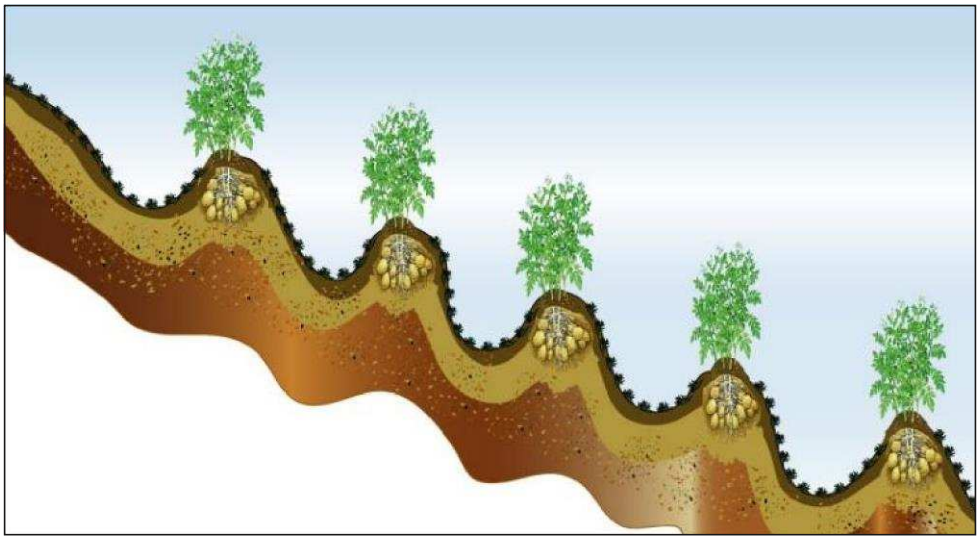


Figura Nº 44.- Esquema del corte de una ladera con surcos en contorno

- **Ventajas**
  - Es una de las prácticas más sencillas y de más fácil aplicación para la conservación del suelo y el agua.
  - Su construcción no implica gasto adicional importante en comparación al surcado tradicional (a favor de la pendiente).
  - Para lugares sin tradición conservacionista, ésta es una práctica de más fácil adopción por parte de los agricultores.
  - Puede servir como una práctica inicial para la futura adopción de otras prácticas más eficaces en el control de la erosión por parte de los agricultores.

- **Trazo y Construcción**

  Una vez definidos los parámetros del diseño se procede a localizar en el terreno las líneas "guía" llamadas también líneas "base" o líneas "maestras", las mismas que servirán de base para el surcado. Las líneas guía se trazan cada 5-30 m según la pendiente y naturaleza de la ladera.

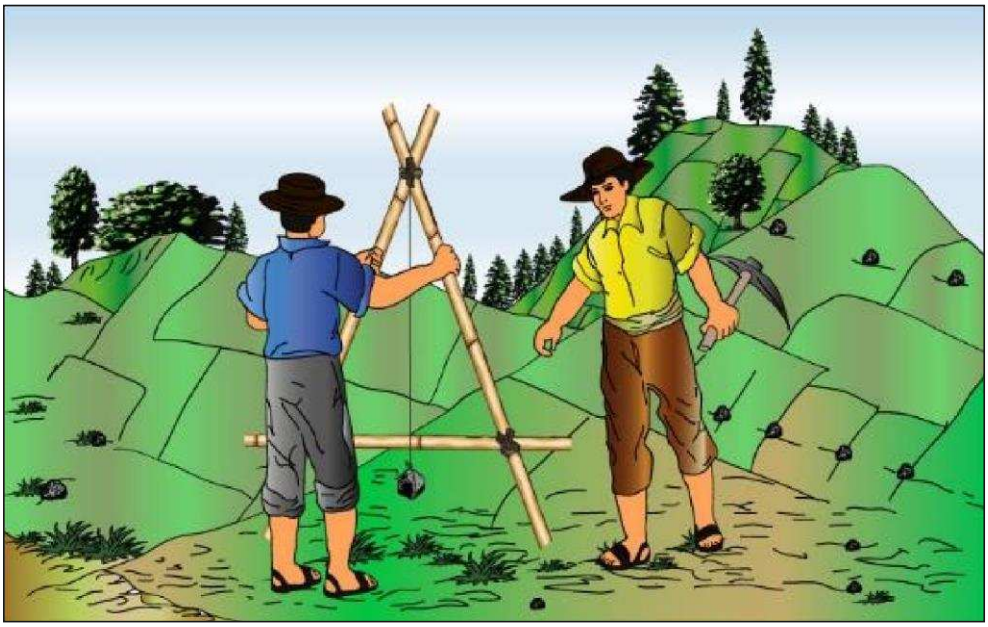


Figura Nº 45.- Trazo y marcado de líneas base a nivel para la construcción de surcos en contorno

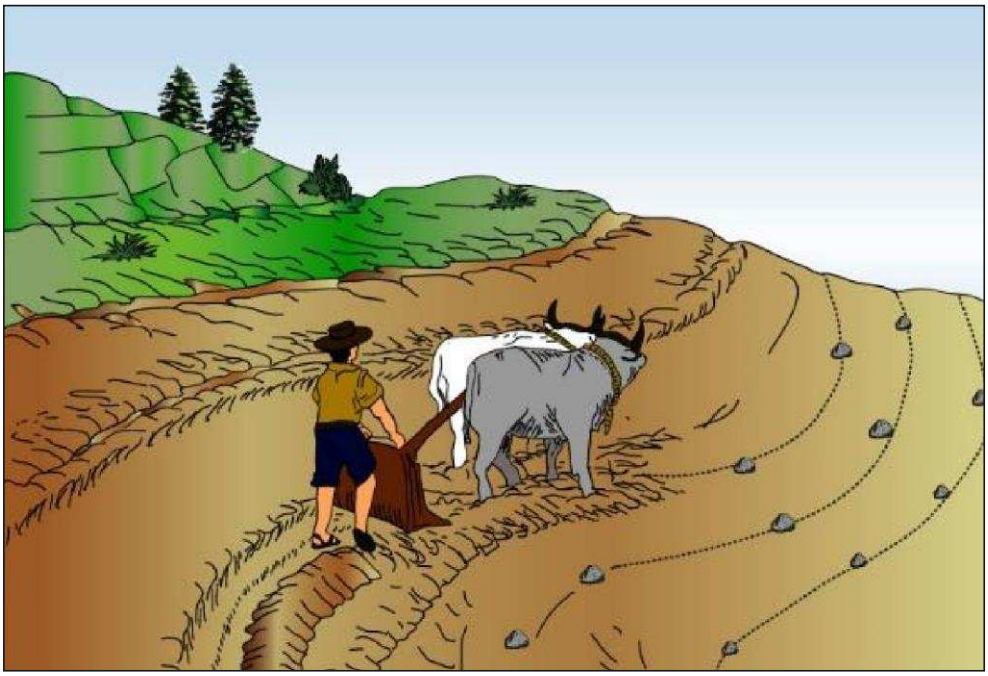


Figura Nº 46.- Construcción de surcos en contorno con yunta

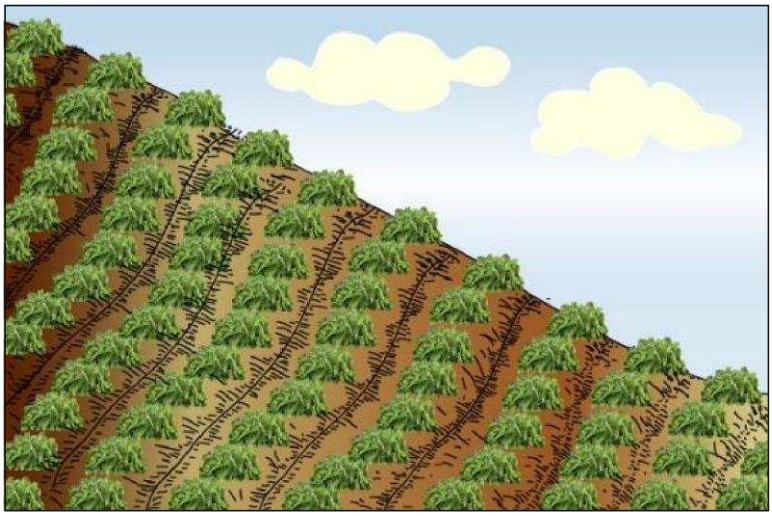


Figura Nº 47.- Plantación de cultivo en surcos en contorno

El distanciamiento entre "líneas guía" será menor cuando la pendiente del terreno no es uniforme o cuando el surcado se hace a mano. Si la pendiente es uniforme o se va utilizar tracción animal, las líneas guía pueden estar más distanciadas y más aún cuando se usa maquinaria.

El distanciamiento entre líneas guía también depende de la habilidad y destreza del operador; así como de las costumbres y entrenamiento de los animales en caso de que se use tracción animal.

Una vez definido el distanciamiento entre líneas guías, el trazo se empieza a partir de la línea de máxima pendiente del terreno, utilizándose para el trazado el nivel en "A" o cualquier otro método de nivelación al alcance.

Las líneas guía puede ser marcadas con piedras, terrones grandes, estacas, etc., es usual el delineado de una señal continua con el pico o pasar una doble reja con el arado por los puntos marcados con el nivel.

El trazo y construcción de los surcos en contorno se efectúa tomando como base "las líneas guía", o sea surcando o sembrando en hileras paralelas a éstas. De este modo una "línea guía", servirá como base para el surcado o la siembra hasta la mitad de la faja inferior a la línea guía. Operando de este modo y si la pendiente del terreno es irregular quedarán espacios libres entre los surcos a nivel. En estos espacios se

trazan surcos cortos o también llamados surcos muertos, paralelos a los surcos a nivel más próximos.

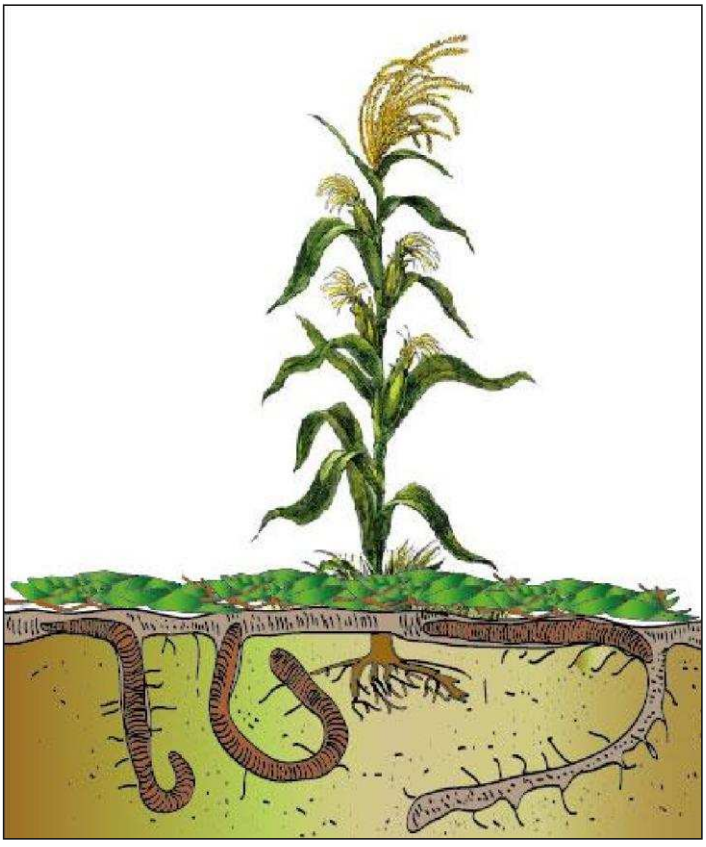


Figura Nº 48.- Vista de una lombriz de tierra en un campo de cultivo

Los ríos de la costa y sierra del Perú se caracterizan por ser caudalosos en la época de avenidas o lluvias (enero, febrero y marzo) y de poco caudal en la época de estiaje (abril a diciembre); siendo necesario el conocimiento y aplicación de medidas de prevención y control de la erosión de los cauces de los ríos; a fin de prevenir inundaciones.

Las medidas de prevención y control de la erosión e inundaciones de los ríos facilitan la ejecución de estructuras y obras que permiten proteger la infraestructura vial (carreteras, puentes, vías férreas, etc.), la infraestructura hidráulica (tomas, canales, bocatomas, centrales hidroeléctricas, centros poblados y áreas de producción agrícola.

En el presente capítulo se exponen los conocimientos y experiencias de aspectos básicos de diseño, procedimiento constructivos de diques enrocados, espigones de roca y de gaviones, mostrando ejemplos prácticos de gran utilidad y aplicación para los valles peruanos.

1.8.3. La erosión eólica

La erosión eólica es la remoción del suelo causada por la acción del viento. Este fenómeno es propio de las zonas planas y de las regiones áridas y semiáridas y en algunos casos se presentan también en zonas húmedas pero que cuentan con períodos de estiaje o sequía; teniendo un factor común en dichas áreas: La falta de vegetación que cubra el suelo. La velocidad crítica del viento para iniciar la erosión es de 12 - 20 km/hora. La tasa tolerable de pérdida de suelo por erosión eólica es < 1 mm/año.

a. Formas de erosión eólica

Las partículas de suelo son transportadas por el viento bajo alguna de las siguientes formas:

- **Rodamiento y deslizamiento**, bajo esta forma son desplazadas las partículas pesadas y de mayor tamaño del suelo: 0.5 - 2,0 mm.
- **Saltación**, bajo esta forma son desplazadas las partículas de tamaño intermedio (0.1- 0.5 mm), que por acción de la fuerza del viento son impulsadas y elevadas ligeramente de la superficie del suelo y se desplazan dando saltos.
- **Suspensión**, bajo esta forma son transportadas de las partículas finas y pequeñas: 0.06 – 0.1 mm (arcillas, limos y materia orgánica). Aquí es de resaltar que este tipo de movimiento de las partículas tienen un efecto abrasivo, lo cual hacen aumentar el poder erosivo de las corrientes de aire.

De diversos estudios realizados a lo largo del mundo se puede concluir que:

- **Por rodamiento y deslizamiento** se pueden desplazar entre el 5 y el 25% del peso del suelo total erosionado.
- **Por saltación y reptación**, se puede remover entre el 55 y el 70% del peso total del suelo erosionado.
- **Por suspensión**, se puede remover entre el 5 y el 40% del peso total del suelo erosionado. Además se reporta que a velocidades de viento entre 10 a 20 km/hora y a una altura de 15 cm sobre la superficie del suelo se pueden mover partículas entre 0.10 a 0.15 mm. de tamaño.

También es conveniente mencionar que se consideran como formas de erosión eólica a las siguientes formas de remoción de las partículas de suelo por efecto la acción del viento:

- **Efluxión**, se llama así cuando el viento mueve partículas de suelo de diámetros entre 0.1 y 0.5 mm. A esta forma de erosión corresponde totalmente la saltación.
- **Extrusión**, se llama así cuando el viento mueve a las fracciones que forman al suelo y que son demasiado gruesas y que para ser removidas se requiere que las

corrientes de viento lleguen cargadas de partículas más gruesas, debido al persistente golpe contra la superficie del terreno.

- **Detrusión**, es la remoción de las partículas en las puntas o crestas de las irregularidades del terreno. Aquí las partículas pesadas se desprenden y se deslizan hacia las depresiones que puedan existir en el terreno.
- **Eflación**, es la remoción de las partículas más livianas y donde la velocidad terminal de caída de la partícula es menor que el empuje vertical del viento en turbulencia. Es la forma de erosión eólica más grave en terrenos de cultivo, pues remueve las partículas más valiosas del suelo (limo, arcilla y materia orgánica) y que son elevadas a grandes altitudes.
- **Abrasión o corrosión**, es la remoción de las partículas del suelo debido al golpe persistente y directo de las partículas de suelo en saltación. Los suelos arenosos y franco arenosos son los más susceptibles a este forma de erosión eólica.

En la erosión eólica se pueden agrupar a los diferentes factores en 3 grupos:

1. Vientos

- Velocidad
- Grado de turbulencia
- Densidad y viscosidad del aire; las cuales a su vez están relacionadas con la temperatura y el nivel de humedad de la masa de aire.

2. Terreno

- Rugosidad de la superficie del suelo
- Grado y estado de ¡a cubierta vegetal
- Pendiente, largo de la pendiente y demás condiciones topográficas del terreno.

3. Suelo

- Textura (tamaño de las partículas del suelo).
- Estructura (acomodo de las partículas del suelo) y que depende del nivel del contenido de materia orgánica, porosidad, etc.
- Características químicas del suelo (sales, carbonatos), etc.
- Contenido de humedad del suelo.

b. Efectos causados por la erosión eólica

Entre los efectos o daños que causa la erosión eólica se pueden mencionar a los siguientes

- Remoción de las partículas de suelo dejando descubiertas las raíces de los cultivos o plantas en general.
- Remoción de las partículas de suelo dejando descubiertas las semillas de campos recién sembrados.

- Recubrimiento con polvo (partículas finas de suelo: arcilla, limo y m.o) las superficie de cultivos, pastos y bosques; con consecuencias negativas para la fotosíntesis y la sanidad vegetal.
  Recubrimiento con polvo la superficie de áreas industriales, maquinarias y edificaciones.
- Transporte de semillas de malas yerbas y de insectos dañinos u otras plagas o enfermedades de los cultivos.
- Daño e inutilización de los cercos.
- Empobrecimiento del suelo por la remoción y pérdida de los elementos más valiosos para los cultivos: limo, arcilla, m.o, nutrientes, etc.
- Transporte de partículas de sales, afectando a los cultivos, pastos y árboles y al propio suelo, así como también a las maquinarias y edificaciones.
- Alteración de la textura del suelo al transportar partículas más livianas y dejando las partículas más gruesas.
- Pérdida de nutrientes del suelo: fósforo, nitrógeno, potasio, calcio y otros elementos valiosos para la fertilidad y la capacidad productiva de los suelos.
- Afecta la sanidad de las plantas, propiciando la aparición o intensificación de plagas o enfermedades en los cultivos.
- Pérdida de humedad del suelo.

c. Control de la erosión eólica

El control de la erosión se puede lograr entre otras medidas mediante las llamadas: cortinas rompevientos.

c.1.- Cortinas rompe vientos

Las cortinas rompevientos son normalmente hileras de árboles de diferentes alturas que forman una barrera opuesta a la dirección predominante del viento, constituyéndose en un obstáculo para el paso del viento. Las hileras de árboles deben ser altas, densas y deben ser instaladas verticalmente a la dirección más frecuente del viento predominante.

- **Objetivos que cumple**

  Entre los objetivos que se cumple con una cortina rompevientos se tienen:

- Reducir la velocidad del viento en áreas agrícolas u otras áreas de interés.
- Reducir el movimiento o remoción de las partículas del suelo y consecuentemente evitar su empobrecimiento y degradación.
- Mejorar las condiciones del microclima de la zona.
- Proteger a los cultivos o áreas de interés. - Mejorar la belleza natural del área - Conservar la humedad del suelo.

Beneficios esperados

Dentro de los beneficios que se esperan alcanzar con las cortinas rompevientos se pueden mencionar: ▪ Reducir la velocidad del viento

- Hasta en un 60 a 80% de la velocidad en la parte más cercana a la cortina.
- Hasta en un 20% de la velocidad a una distancia igual a 20 veces la altura de la cortina (20H).
- La reducción máxima de la velocidad del viento se obtiene en el área de protección = 4H.
- La velocidad mínima para iniciar, el movimiento del suelo (erosión): 19 – 24 mm/hora.

- Detiene el material transportado por el viento.
- Mitiga la incomodidad a las personas.
- El espaciamiento entre cortinas que permite una protección adecuada a la acción del viento es igual a **14 veces la altura de la cortina** (14H).

A continuación se muestra unos esquemas del comportamiento del viento y las cortinas vegetales.

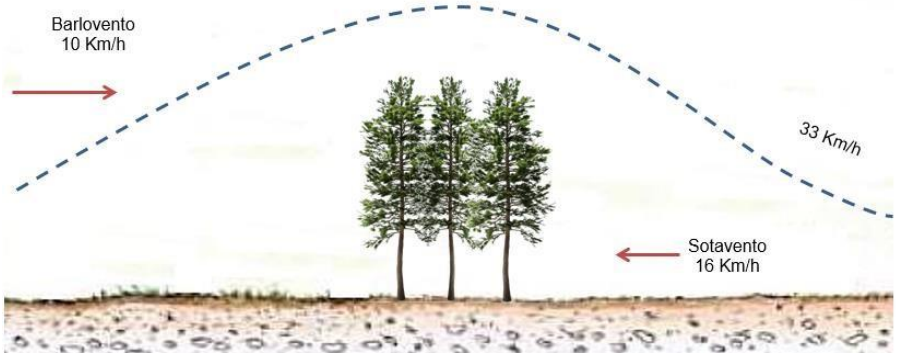


Figura Nº 49.- Esquema de una cortina vegetal rompevientos para el control de la erosión eólica



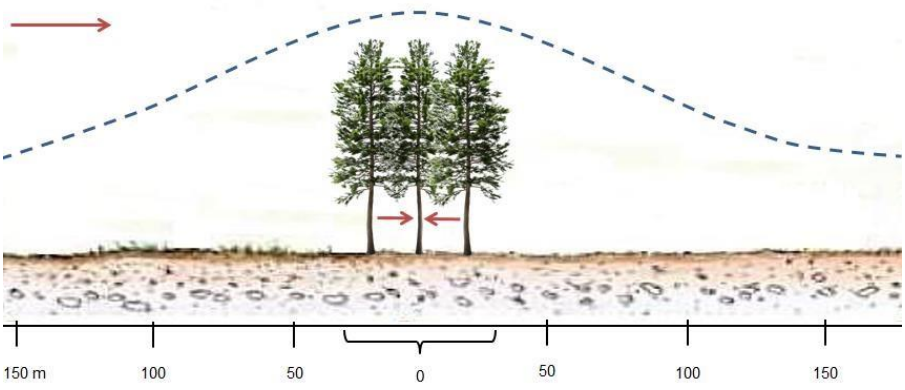


Figura Nº 50.- Esquema de una cortina vegetal rompevientos

- **Espaciamiento entre cortinas rompeviento**
  El espaciamiento entre cortinas depende del nivel de protección deseado contra la erosión del viento. El cálculo se efectúa mediante la ecuación:

$$E = 17H(V_{mi}/V_{ac} \cdot \cos\Theta)$$

Donde:
E = Espaciamiento entre cortinas (m)
H = Altura de la cortina (m). Para el diseño se considera la altura de la cortina vegetal para una edad de 20 años.
V_{mi} = Velocidad mínima del viento para provocar movimiento de partículas de suelo medida a una distancia de 17 m de altura sobre el suelo. Normalmente V_{mi} = 35 km/h.
V_{ac} = Velocidad actual del viento a una altura de 17 m sobre el nivel del suelo.
Θ = Ángulo de desviación del viento dominante medido en la perpendicular de la cortina.

Esta ecuación es válida para velocidades de viento menores de 65 km/hora. En forma práctica un control adecuado de la velocidad del viento se logra para un espaciamiento igual a 10H:

$$E = 10H$$

- **Recomendaciones en la instalación de cortinas rompe vientos** En la instalación de las cortinas rompe vientos se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones

- Utilizar especies vegetales adaptadas a la zona
- Utilizar plantas que sean resistentes a los déficits de agua y a las enfermedades.
- Las plantas a ser utilizadas deben tener un rápido crecimiento.
- Las especies vegetales no deben ser apetecibles al ganado.
- Las plantas deben ser especies que conserven follaje durante todo el año.
- Utilizar sólo una especie por hilera.
- La cortina debe estar formada por 2 ó 3 hileras cuando sea necesario.
- El espaciamiento mínimo entre hileras debe ser de unos 2 m.
- La berrera viva en conjunto debe ser una unidad tupida.
- Se debe aplicar todo un plan de mantenimiento permanente de las cortinas rompeviento, el mismo que debe consistir en:
  - Recalce o resiembra de las plantas muertas.
  - Podas oportunas
  - Control de plagas y enfermedades
  - Protección contra el daño físico fuego, ganado, corte, etc.

- **Factores socio económicos que influyen en la erosión de los suelos**

  Entre los factores socioeconómicos que inciden en la erosión de los suelos se pueden mencionar

  - **Crecimiento desmedido de la población**

    El aumento de la población especialmente en el sector rural genera la utilización de áreas no aptas para la agricultura o el pastoreo, degradando dichas áreas y aumentando la pérdida de suelo.

  - **Minifundio**

    El crecimiento del número de integrantes de una familia en el sector rural y la falta de oportunidades de empleo en otros sectores económicos genera la división de las parcelas en unidades más pequeñas, conduciendo irremediablemente al minifundio y acentuando los problemas socio-económicos.

  - **Nivel de pobreza y pobreza extrema**

    El nivel de pobreza de las familias en el sector rural aunado al minifundio genera una mayor presión sobre los recursos naturales, especialmente sobre el suelo y la cubierta vegetal generando su depredación y consecuentemente aumentando la erosión, debido fundamentalmente a la falta de tecnología en el trabajo de la tierra y el aprovechamiento de los recursos naturales.

  - **Tenencia de las tierras**

Otro factor que incide en el nivel de pérdida de los suelos es lo referente a la tenencia de la tierra, que puede ser propiedad, alquiler o arriendo. Cuando el terreno que trabaja o explota el campesino es de su propiedad, lo cuida, lo mejora y lo conserva; mientras que si el terreno es alquilado o sea no es de su propiedad, muchas veces tratará de explotarlo al máximo sin invertir en mejorarlo o cuidarlo.

- **Precios justos en el mercado y rentabilidad**
  Los bajos precios que normalmente recibe el productor agropecuario en muchos casos no le compensa sus costos de producción, acentuándose su pobreza y consecuentemente no podrá capitalizar ni invertir para utilizar tecnologías que le permitan mejorar su productividad y manejar adecuadamente sus suelos.

- **Tradiciones y costumbres**
  Otro factor que gravita en el nivel de la erosión de los suelos son las costumbres y tradiciones que puedan existir en las diferentes zonas, sobresaliendo entre ellas
  - La quema de pastizales,
  - La quema de rastrojos,
  - La siembra en surcos a máxima pendiente en laderas.
  - El desbroce y quema para utilizar dichas áreas en la actividad agropecuaria.
  - La tala de árboles para la celebración de fiestas como los carnavales, mediante la llamada “yunsa”
  - Cocción de alimentos con leña u otros elementos vegetales.
  - La preparación de suelos y dejarlos en descanso durante unos 3 a 4 años consecutivos a fin de que recuperen su fertilidad en forma natural.

- **Falta de preparación e ignorancia en los productores agropecuarios**
  Este es otro de los factores que gravitan en el nivel de la pérdida de los suelos.
  Como se puede ver con los factores antes mencionados, son varios de ellos los que pueden juntarse y aumentar el potencial erosivo de los suelos.

- **Falta de una decisión política de las autoridades y líderes gubernamentales**
  El Estado a través de las autoridades no implementa acciones ni políticas encaminadas a la conservación de los suelos, especialmente en las zonas donde se encuentran ubicados los campesinos más pobres.

1.9. Trazo de curvas a nivel o a mínima pendiente

El trazo de curvas a nivel o a mínima pendiente se puede efectuar por varios métodos, dentro de los cuales sobresale por su practicidad y operatividad el nivel en "A", el caballete y el método de la manguera.

1.9.1. El nivel en "A"

El nivel en "A" es un instrumento muy sencillo que sirve para trazar curvas a nivel, también puede ser adaptado para el trazo de canales, acequias y caminos.

Construcción a. Materiales

Los materiales que se usan para su construcción son los siguientes:

- 3 palos delgados (carrizos, sauces, etc.), que no requieren necesariamente ser del mismo tamaño.
- Cordel (soguilla, pita o pabilo).
- Piedra o cualquier material que sirva de plomada.

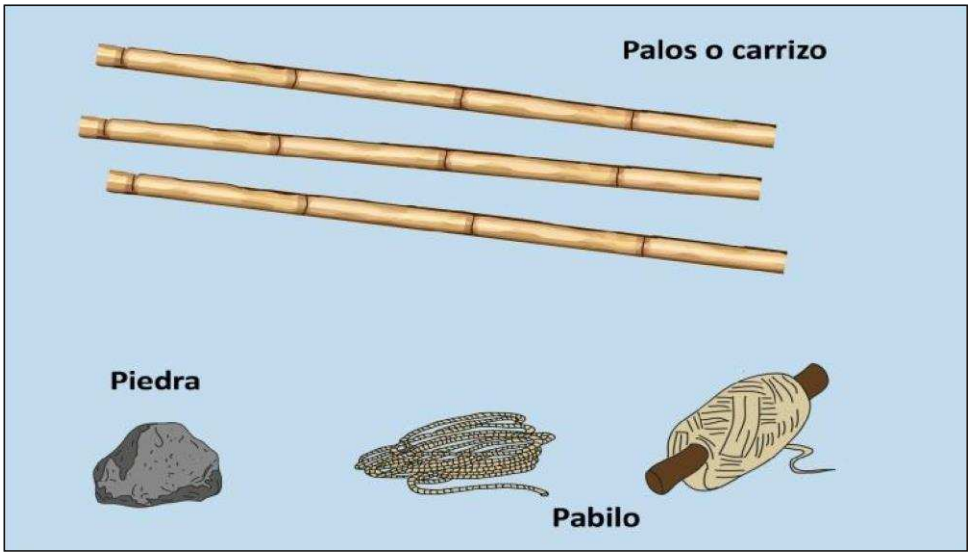


Figura Nº 51.- Materiales utilizados en la construcción del nivel en "A"

b. Procedimiento

En la construcción del nivel en "A" se siguen los siguientes pasos:

Se cogen dos (2) de los palos seleccionados y se amarran uno por uno de sus extremos apretando bien para que no se muevan, como se ve en la figura N° 52.

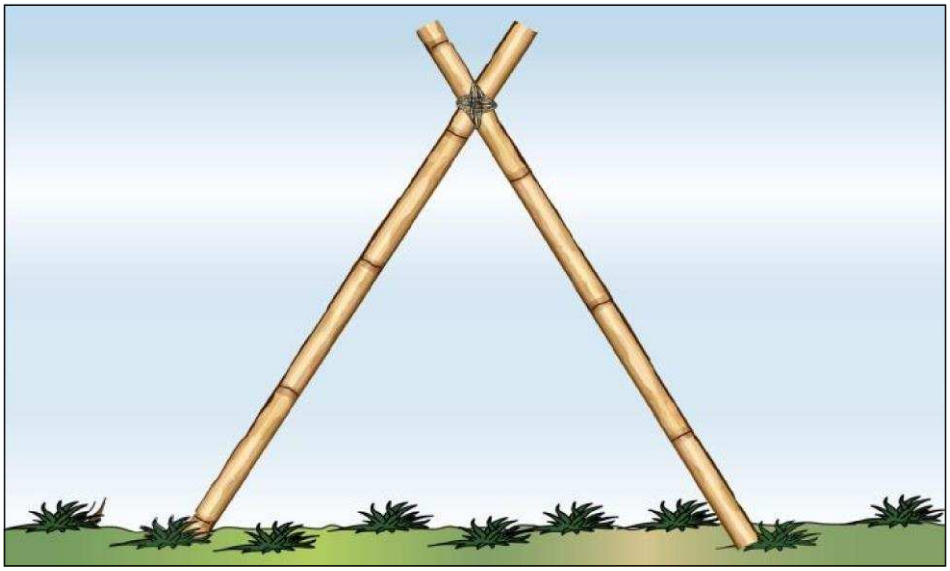


Figura Nº 52.- Inicio de la construcción del nivel en "A": Amarrar 2 palos por sus extremos

- Se amarra el tercer palo formando la letra "A". los marres deben ser bien hechos para que no se muevan tal como se muestra en la figura N° 53.

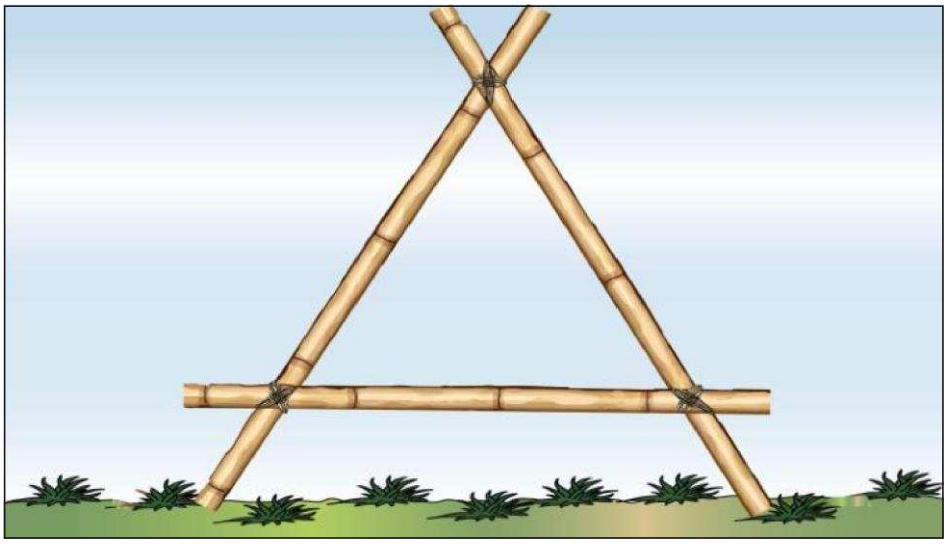


Figura Nº 53.- Letra "A" formada con los palos amarrados

- Amarrar en el centro del extremo superior del instrumento la pita o cordel que lleva la piedra y que hace las veces de plomada, tal como se muestra la figura N° 54.

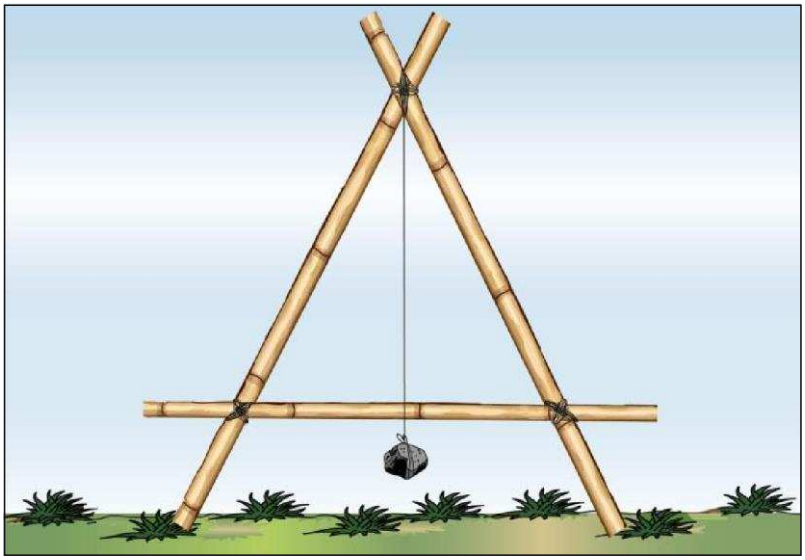


Figura Nº 54.- Nivel en "A" construido - listo para ser calibrado

Calibración

La calibración consiste en ubicar en el palo transversal un punto que indicará que las dos patas están tocando puntos que se encuentran en el mismo nivel.

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Para la calibración se coloca el instrumento en dos puntos firmes del terreno con diferencia de nivel, los cuales se marcan para conocer el lugar en el que las dos patas tocan el suelo. Luego se busca que se estabilice la "plomada" y se pone una marca en el palo transversal exactamente en el punto donde lo cruza el cordel (punto A de la figura 54).

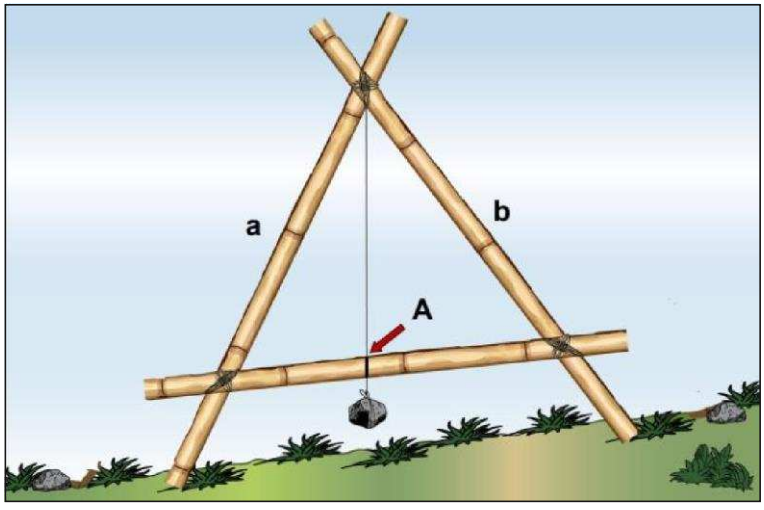


Figura Nº 55.- Paso 1 de la calibración: Marcado del punto A

- Luego se invierte la posición del aparato, de tal manera que la pata derecha quede exactamente donde estuvo la pata izquierda y viceversa. Una vez estabilizada la plomada, se marca en el palo transversal el punto donde lo cruza el cordel (punto B de la figura 55).

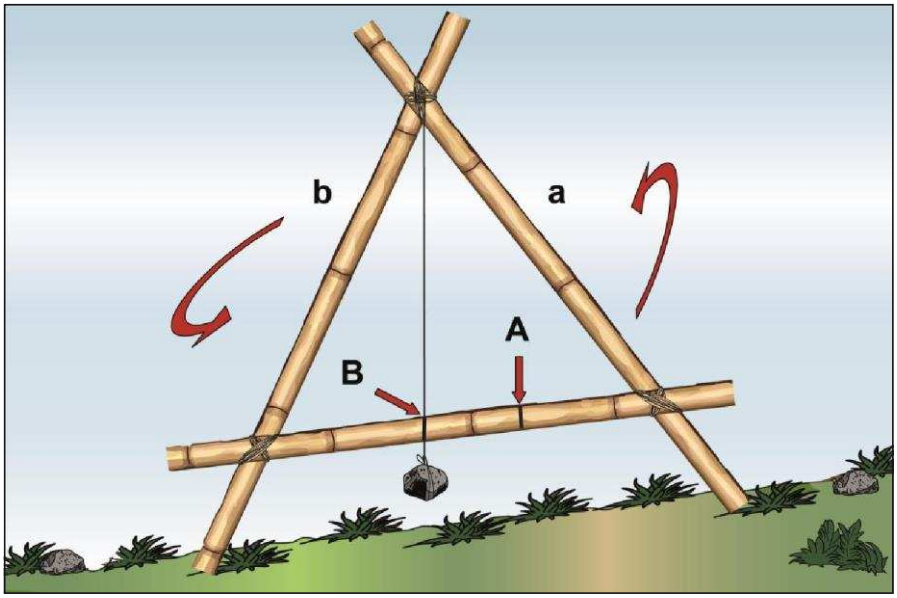


Figura Nº 56.- Paso 2 de la calibración: Marcado del punto B

- Luego, se mide la distancia entre los puntos A y B, lo cual puede hacerse con ayuda de una pita o un cordel delgado.

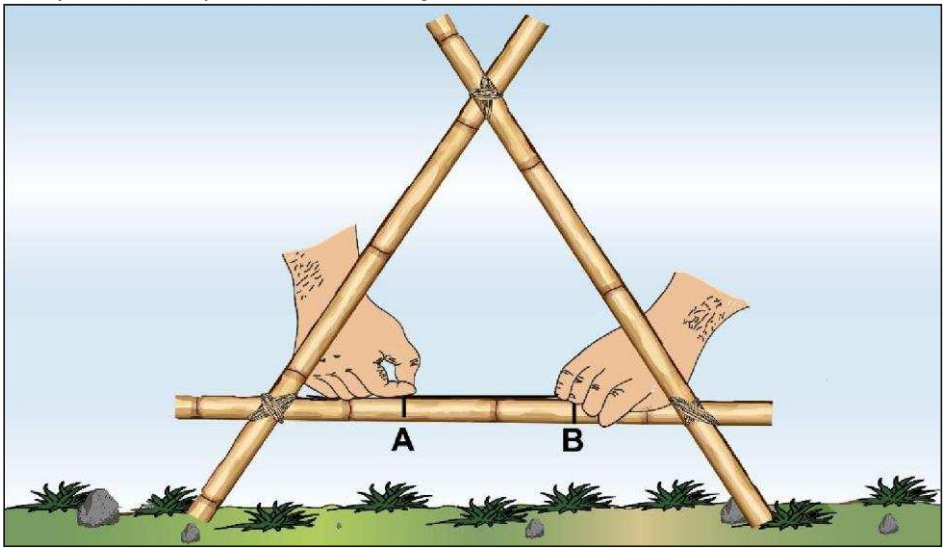


Figura Nº 57.- Paso 3 de la calibración: Medición de la distancia

- Luego obtenemos la mitad de la distancia medida en el punto anterior, (entre A y B) lo cual se puede hacer doblando la pita o cordel o midiéndolo con una wincha.

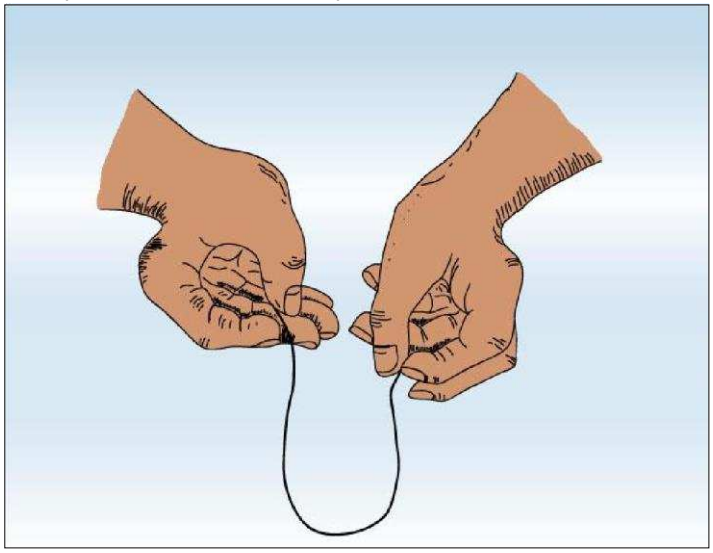


Figura Nº 58.- Paso 4 de la calibración: Determinación del punto medio de

- Se marca el punto medio (punto C) entre los puntos A y B. El punto C representará el punto de calibración del instrumento.

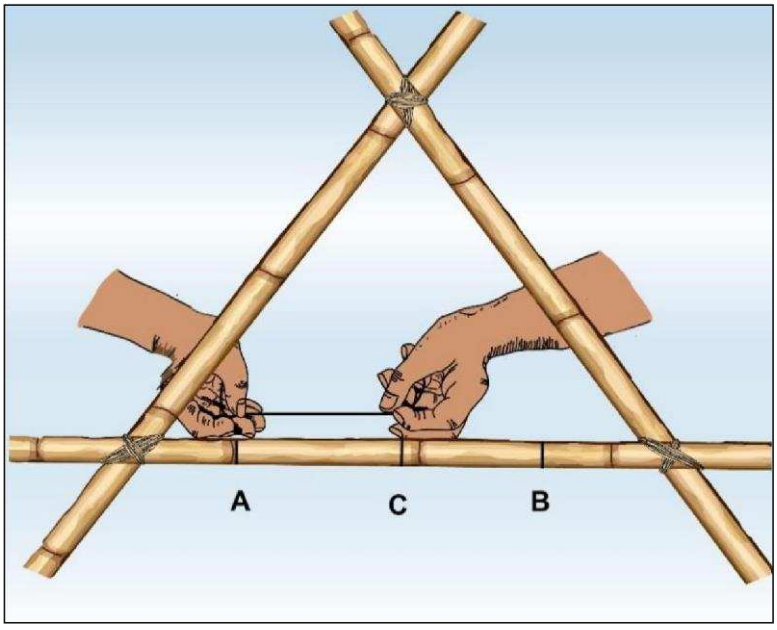


Figura Nº 59.- Paso 5 de la calibración: Marcado del punto de nivelación (C)

- Instrumento calibrado y listo para ser usado.

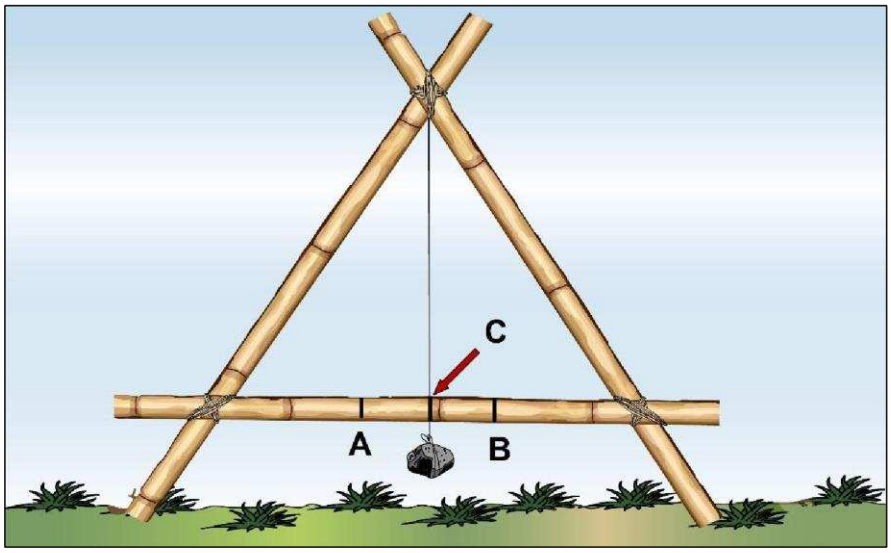


Figura Nº 60.- Paso 6 de la calibración: Nivel calibrado

Recomendaciones

Los palos no deben terminar en punta para evitar que se hundan fácilmente en el suelo. Tampoco deben ser débiles ya que pueden arquearse, conduciendo a errores en los trabajos que se realicen.

Si se aflojan los amarres o se corren los palos, ya no se debe seguir usando el mismo nivel. En ese caso, es necesario desatar (desarmar) todo el nivel, volver a construirlo y calibrarlo nuevamente.

Aplicaciones

a. Trazo de líneas a nivel

El trazo de líneas o curvas a nivel debe iniciarse desde un extremo del campo, manteniendo fija una pata en el punto inicial del terreno (ésta ubicación se marca o se señala en el suelo a un costado de la pata) y moviendo la otra hacia abajo o hacia arriba hasta lograr que la plomada coincida con el punto de calibración (punto C) del nivel, lo que indicará que dichos puntos están a nivel. Se procede luego a realizar la señal o marca en el suelo a un costado de la pata. Seguidamente se traslada el nivel en el mismo sentido, de manera que la pata que estuvo en el punto inicial se ubique ahora en el punto donde estuvo la otra y así sucesivamente se repite este procedimiento, marcando los puntos con cualquier herramienta, para trazar finalmente la línea a nivel.

No es recomendable marcar con piedras o estacas las líneas a nivel (líneas base), porque fácilmente pueden perderse o ser movidas las marcas. Es preferible que una vez ubicados los puntos de la línea a nivel, se debe proceder inmediatamente al trazado definitivo de la línea base, mediante el uso de un pico

o cualquier otra herramienta adecuada; y es en este momento en que se debe suavizar o corregir el trazo de la línea base a fin de evitar formas caprichosa o difíciles del trazo y la posterior construcción de la zanja.

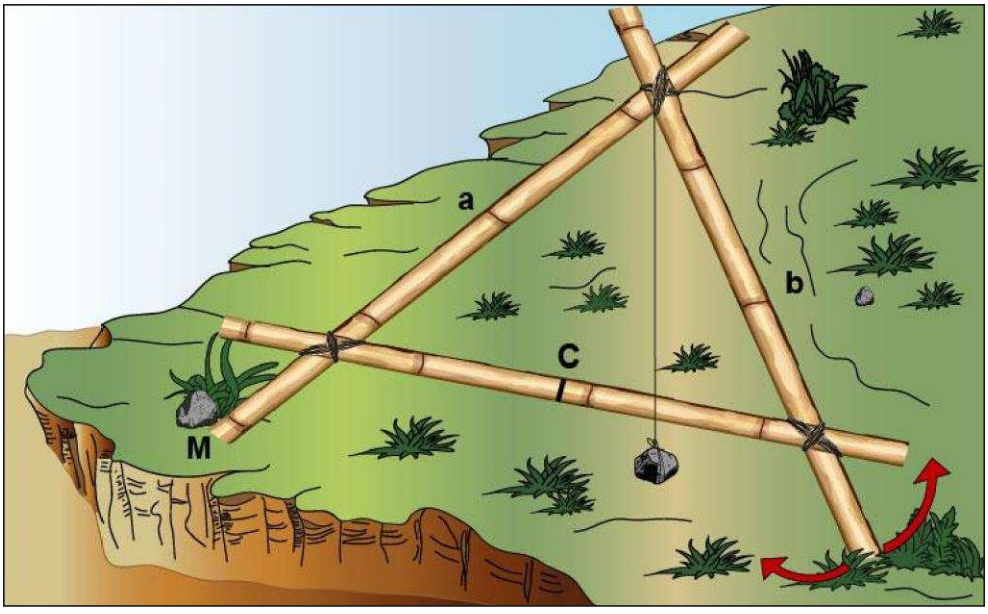


Figura Nº 61.- Paso 1, trazo de línea a nivel

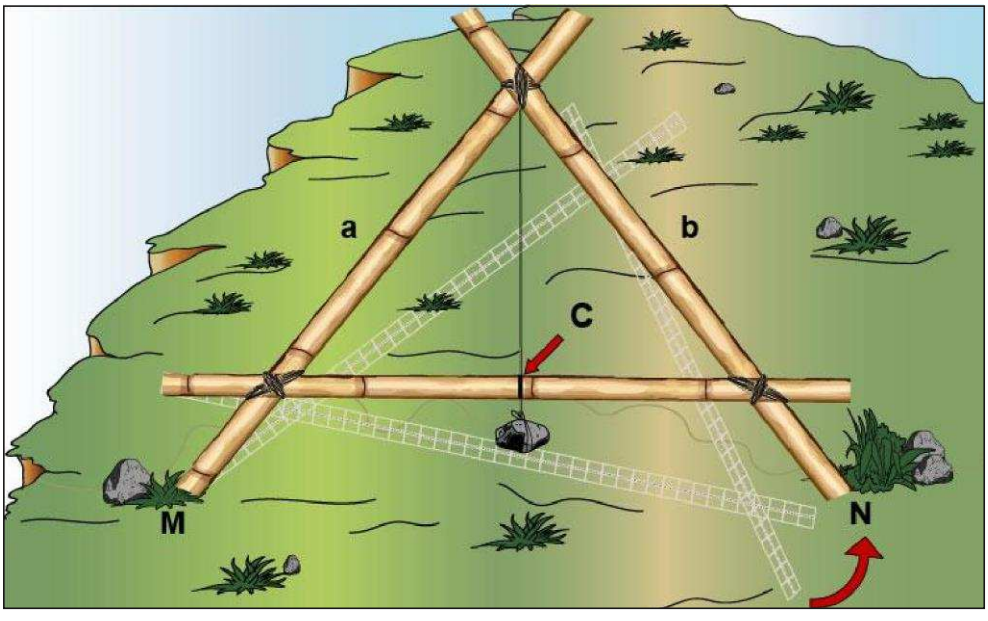


Figura Nº 62.- Paso 2, trazo de línea a nivel

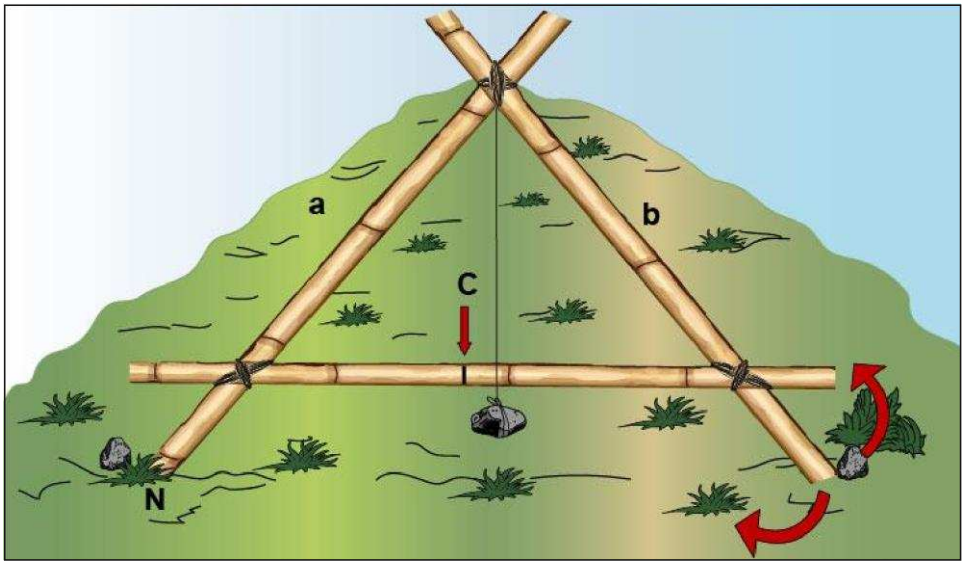


Figura Nº 63.- Paso 3, trazo de línea a nivel

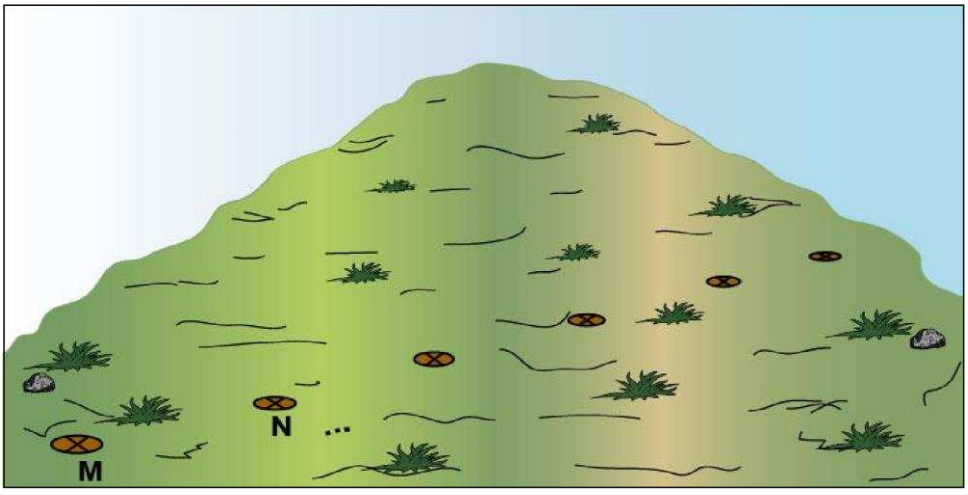


Figura Nº 64.- Paso 4, trazo a línea de nivel

b. Trazo de canales o acequias en laderas a mínima pendiente

Para trazar un canal o acequia con una pendiente determinada se hace lo siguiente:

1. Construir y calibrar el nivel en “A”.

2. Seleccionar la pendiente a usar en el trazo.

3. Medir el espaciamiento o abertura entre las patas del nivel.
   Ejemplo: 2.00 metros.

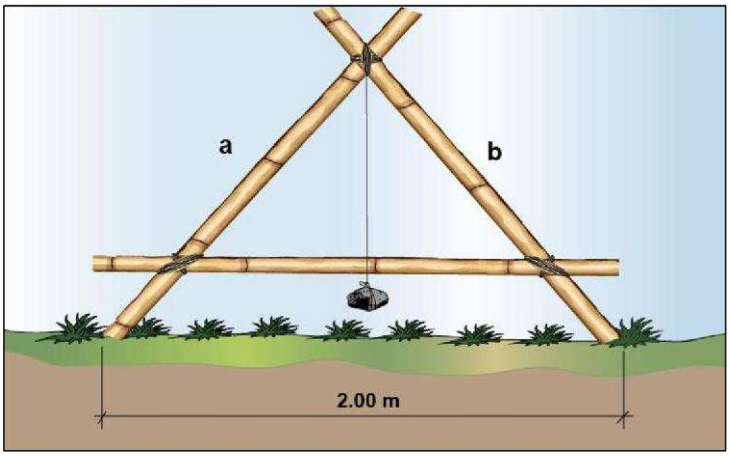


Figura Nº 65.- Medición de la abertura entre las patas del nivel

4. Se calcula el desnivel que deben tener las dos patas del nivel en "A" con unas separación entre patas de dos metros (2000 mm en este ejemplo) y una pendiente de 5 por mil (5 0/00); para lo cual se plantea la siguiente relación:

En 1000 mm de separación …… 5 mm de desnivel
En 2000 mm de separación entre patas …… X

Despejando la incógnita X, se tiene: $X = \frac{2000 \text{ mm} * 5 \text{ mm}}{1000} = 1 \text{ mm}$

Esto significa que para esta abertura de patas del nivel en "A" (2m ó 2000mm) corresponde un desnivel de 1 cm, que representa la pendiente de 5 por mil 5. 0/00).

5. Se buscan dos puntos a nivel en el terreno.

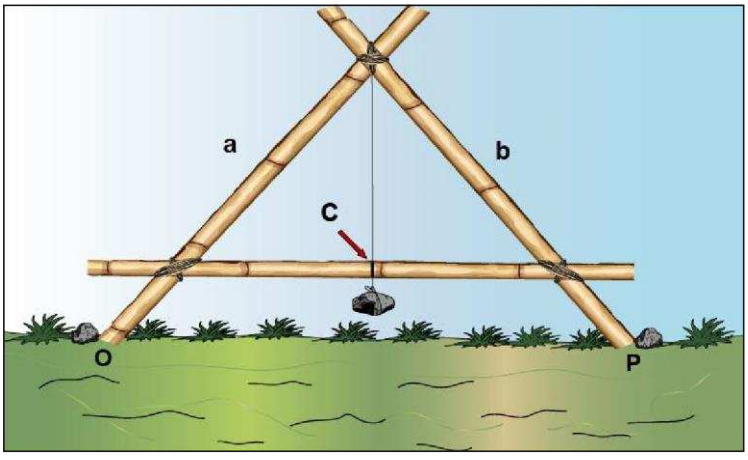


Figura Nº 66.- Ubicación de 2 puntos a nivel "O" y "P" (Plomada pasa por C)

6. Se corta un "taquito" de palo o madera de 10 mm (1cm) y se pone en unas de las patas del nivel ubicadas en los puntos anteriores, a fin de conseguir la pendiente deseada.
   Se estabiliza la plomada y se marca el punto "D" en el palo transversal.

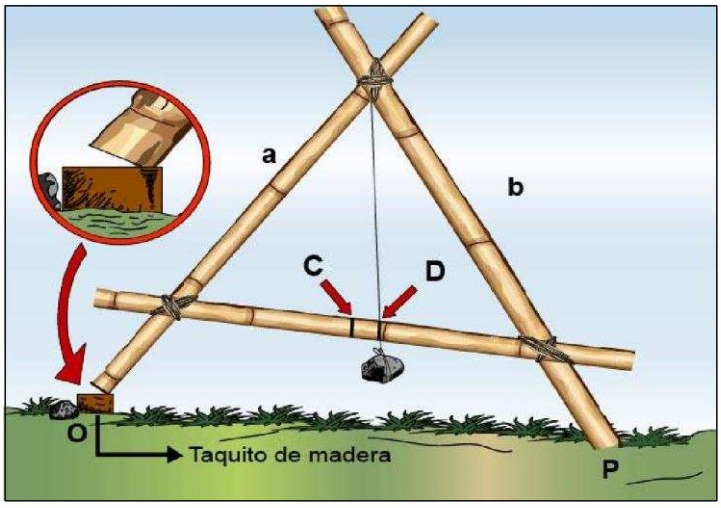


Figura Nº 67.- Marcado del punto D, que representa un desnivel de 5 por mil

7. El punto "D" es la marca que nos guiará para trazar el canal o acequia con pendiente de 5 por mil (5 0/00).

   En el trazo, se debe tener cuidado de operar el nivel de forma idéntica como se procedió para el trazado de líneas a nivel, teniendo presente que si el sentido es ASCENDENTE, la pata que se mantendrá fija en el punto inicial del terreno será

la pata “b”, y la pata “a” se moverá hasta lograr que la plomada coincida con la marca del punto “D”.

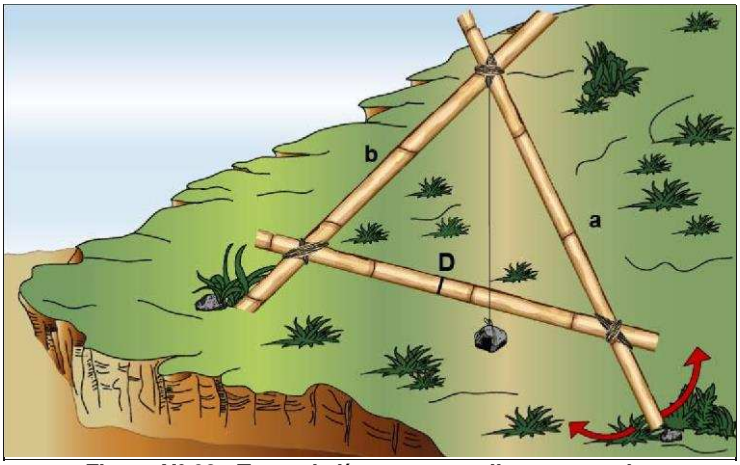


Figura Nº 68.- Trazo de línea con pendiente ascendente
Figura Nº 68.- Trazo de línea con pendiente ascendente

Si el trazado es en sentido DESCENDENTE, la pata que se mantendrá fija en el punto inicial del terreno será la pata “a” y la pata “b” se moverá hasta lograr la coincidencia con la marca del punto “D”.

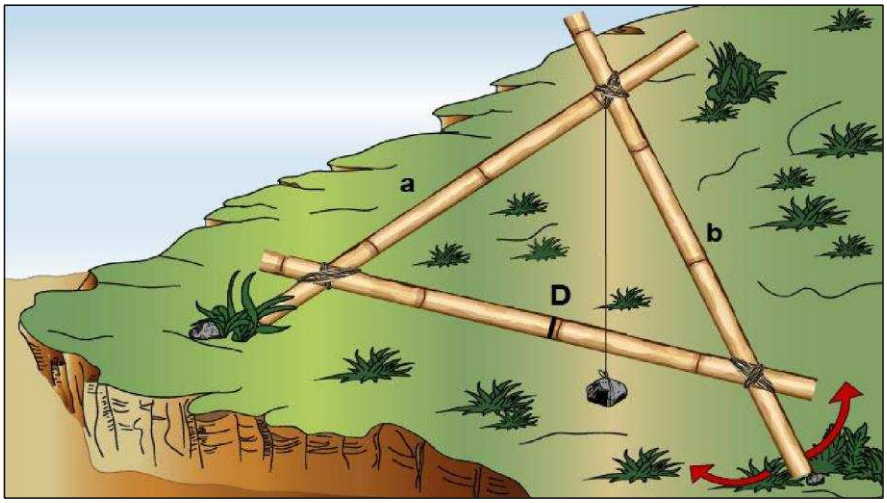


Figura Nº 69.- Trazo de línea con pendiente ascendente **Figura Nº 69.- Trazo de línea con pendiente ascendente**

Finalmente se tendrá que el punto “C” representa la marca de dos puntos a nivel (marca de nivel recién calibrado), y el punto “D” representa la marca de 2 puntos con una pendiente de 5 por mil (5 0/00).

8. Si trazamos un punto medio (M) entre los puntos C y D, dicho punto representará la marca de una pendiente de dos y medio por mil (2.5 0/00).

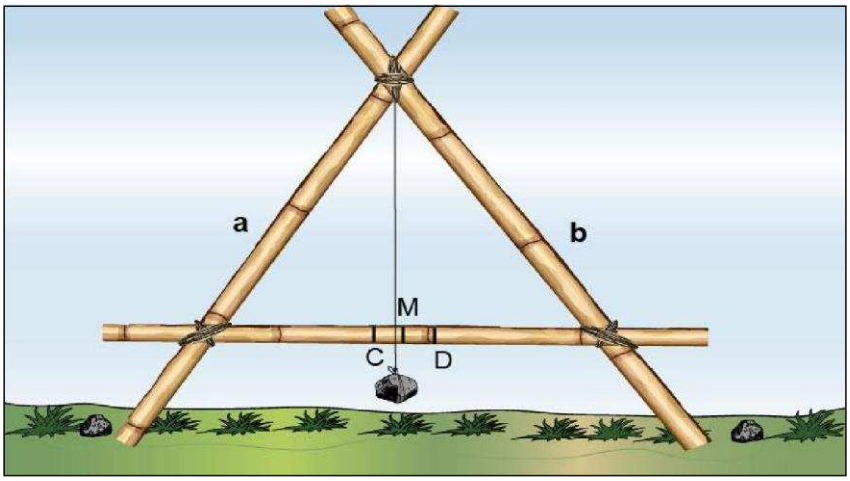


Figura Nº 70.- Nivel en "A" con 3 marcas (C, M, D) que representan puntos a nivel y Pendientes de 2.5 y 5.0 por mil respectivamente.

1.9.2. El nivel de manguera

El nivel de manguera es un aparato de fácil construcción que puede usarse para trazar curvas a nivel (pendiente cero) así como curvas con una pendiente determinada. Este nivel se utiliza con suficiente exactitud para trazar pendientes mayores de 0.5% (5 por mil).

Construcción a.
Materiales

Los materiales utilizados para su construcción son los siguientes:

- Dos palos o listones de madera de unos 2 m de largo, cada uno.
- Una manguera transparente de 1/2 a 5/8 de pulgadas de diámetro y de 10 a 50 m de longitud.
- Una regla milimétrica que debe estar fija en los listones o palos.
- Grapas para sujetar la manguera en los listones.

b. Procedimiento

En la construcción del nivel de manguera se emplea el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar, se marca la regla milimétrica directamente en cada listón o en caso contrario se pegan cintas milimétricas previamente confeccionadas.

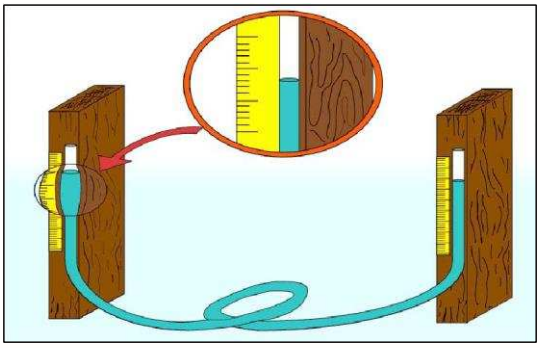


Figura Nº 71.- Nivel de manguera listo para operar

Es recomendable desde el punto de vista práctico, a fin de proteger la manguera, que el cero de la regla este ubicado a unos 10 – 15 cm del extremo inferior de cada listón.

2. Se sujeta la manguera a cada uno de los listones, cuidando que esté a un costado de la regla milimétrica. El extremo final de cada manguera debe estar a unos 10 – 20 cm del extremo superior de los listones.

Se llena la manguera con agua limpia hasta alcanzar aproximadamente 150 cm de altura, dejando una altura libre de 20 a 30 cm. Cuando se llena la manguera debe hacerse en un piso nivelado, con los listones o palos juntos y verticales al piso.

Aplicaciones a. Trazo de líneas a nivel

La operación consiste en fijar uno de los listones (A) en el punto inicial (1) desde donde se quiere iniciar el trabajo; el otro listón (B) se colocará con la manguera estirada y se moverá circularmente hasta encontrar el mismo valor de lectura en ambos listones.

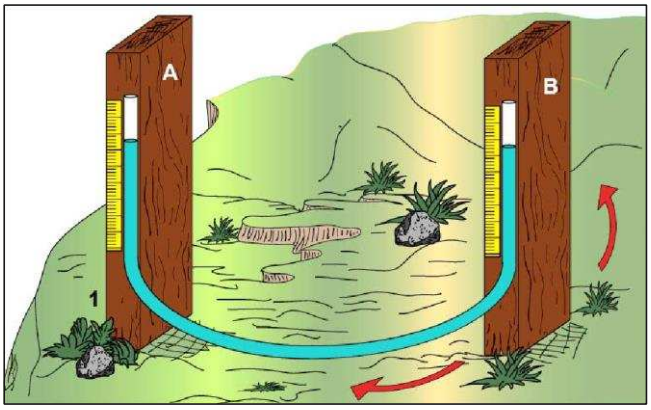


Figura Nº 72.- Inicio del trazo de una línea a nivel

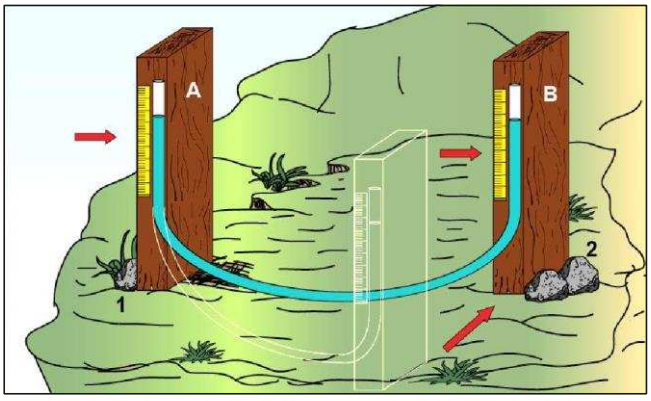


Figura Nº 73.- Ubicación de dos puntos a nivel

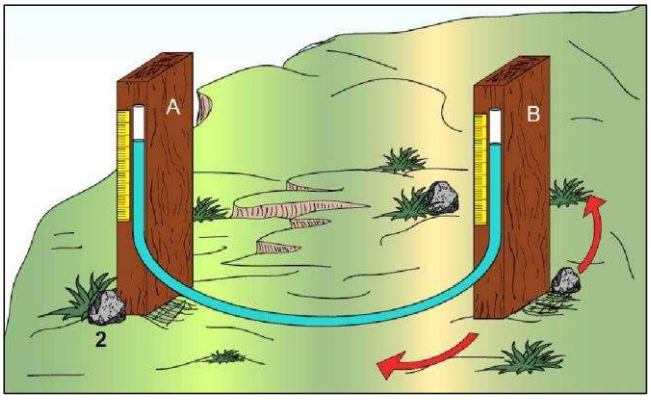


Figura Nº 74.- Avance en el trazo de la curva a nivel y ubicación del punto 3

b. Trazo de líneas que mantengan una pendiente determinada

Se procederá de igual manera que para el trazo de líneas o curvas a nivel, teniendo presente que el listón (B) se moverá circularmente hasta encontrar la diferencia de nivel seleccionada para el trazo; por ejemplo una pendiente de 1 0/00 (uno por mil) significa que para una distancia de 10 metros corresponde un desnivel de 10 mm, o sea 1 cm, o también que para una distancia de 50 m y una pendiente de 1% (uno por ciento) corresponde un desnivel de 5 cm ó 50 mm.

En el cuadro N° 2, se presenta para diferentes pendientes expresadas en porcentaje, los correspondientes desniveles señalados en centímetros, para dos puntos separados: 10, 15, 20, y 25 metros respectivamente.

Cuadro Nº 2.- Relación de pendiente (%) – Distancia entre puntos y desnivel correspondiente

Distancia (m)	10	15	20	25
Pendiente (%)	Desnivel (cm)			
0.05	0.5	0.75	1.0	1.25
0.10	1.0	1.50	2.0	2.50
0.20	2.0	3.00	4.0	5.00
0.30	3.0	4.50	6.0	7.50
0.40	4.0	6.00	8.0	10.00
0.50	5.0	7.50	10.0	12.50
0.60	6.0	9.00	12.0	15.00
0.70	7.0	10.50	14.0	17.50
0.80	8.0	12.00	16.0	20.00
0.90	9.0	13.50	18.0	22.50
1.00	10.0	15.00	20.0	25.00
2.00	20.0	30.00	40.0	50.00
3.00	30.0	45.00	60.0	75.00
4.00	40.0	60.00	80.0	100.00
5.00	50.0	75.00	100.0	125.00
8.00	80.0	120.00	160.0	200.00
10.00	10.00	150.00	200.0	250.00

Cuando se está trabajando en una zona con pendiente, la lectura en el listón ubicado en la cota más alta será menor que el listón ubicado en la cota más baja.

En el cuadro anterior se utiliza de la siguiente manera: supongamos que usaremos una pendiente de 1% y la longitud entre puntos sea de 10 m; con estos dos datos se entra a la tabla y se obtiene que el desnivel entre ambos puntos es de 10 cm.

1.9.3. El nivel de caballete

El nivel de caballete es un instrumento de fácil construcción y también se utiliza para trazar curvas a nivel o con una pendiente determinada.

Construcción a. Materiales

Los materiales usados en su construcción son los siguientes:

- Un listón de madera de 2 ó 4 m de largo y de unos 4 a 6 cm de ancho o espesor.

- Dos patas de madera de 1 m de largo, una de las cuales es fija y la otra es regulable (alargarle).
- Un nivel de carpintero, el mismo que se fija a la parte central del listón.

b. Procedimiento

El caballete se construye fijando el listón y sus respectivas patas, cuidando siempre que guarden las dimensiones previamente seleccionadas.

En la parte central del listón horizontal se coloca un nivel de burbuja o nivel de carpintero y en una de las patas un regulador de altura a fin de logar los desniveles que se deseen utilizar.

Calibración

Construido el caballete, se procede a calibrarlo, es decir, a lograr que cuando la burbuja de nivel este en el centro, los puntos sobre los cuales se apoyan las patas, estén en la misma cota: a nivel.

El procedimiento de calibración consiste en apoyar las patas del caballete sobre dos puntos que están a nivel. Luego se invierte la posición del instrumento, es decir, que cada una de las patas quede sobre el punto que ocupó la otra; luego, si la burbuja del nivel permanece en el centro, indicará que el aparto está calibrado. Si la burbuja se desplaza a cualquiera de los lados, se corrige la mitad del error colocando un taquito (pedazo de madera o cartón) debajo del nivel y la otra mitad del error se corrige lijando o raspando una de las patas.

Este procedimiento se repite tantas veces como sea necesario, hasta lograr finalmente su calibración.

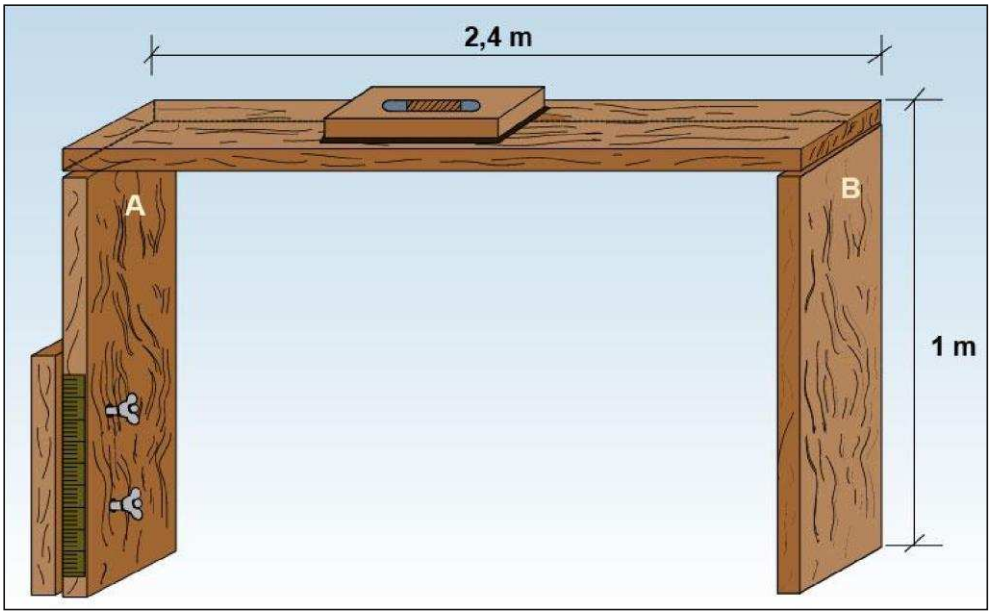


Figura Nº 75.- Caballete construido

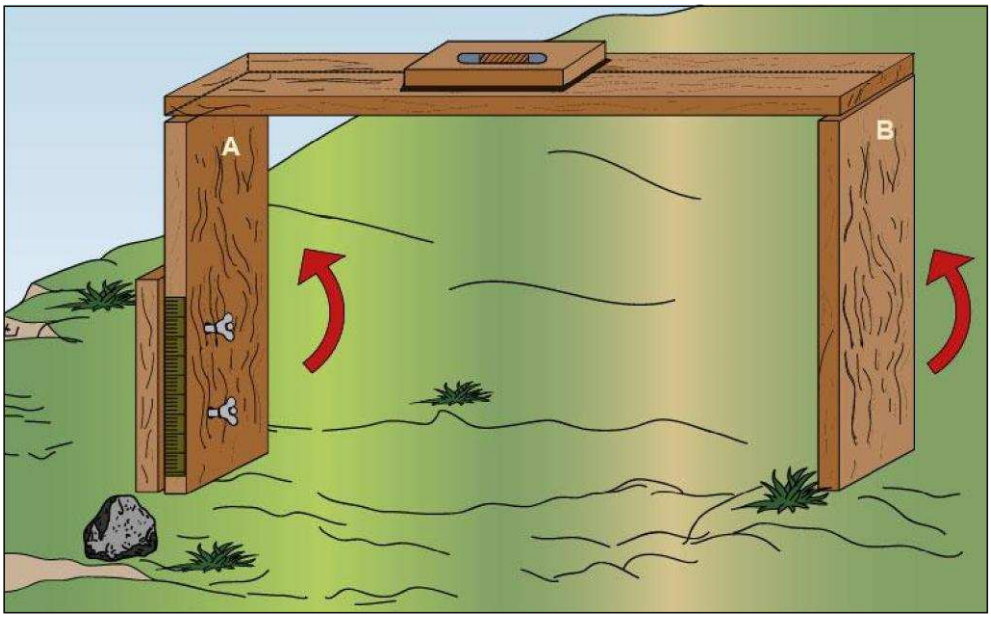


Figura Nº 76.- Calibración del caballete

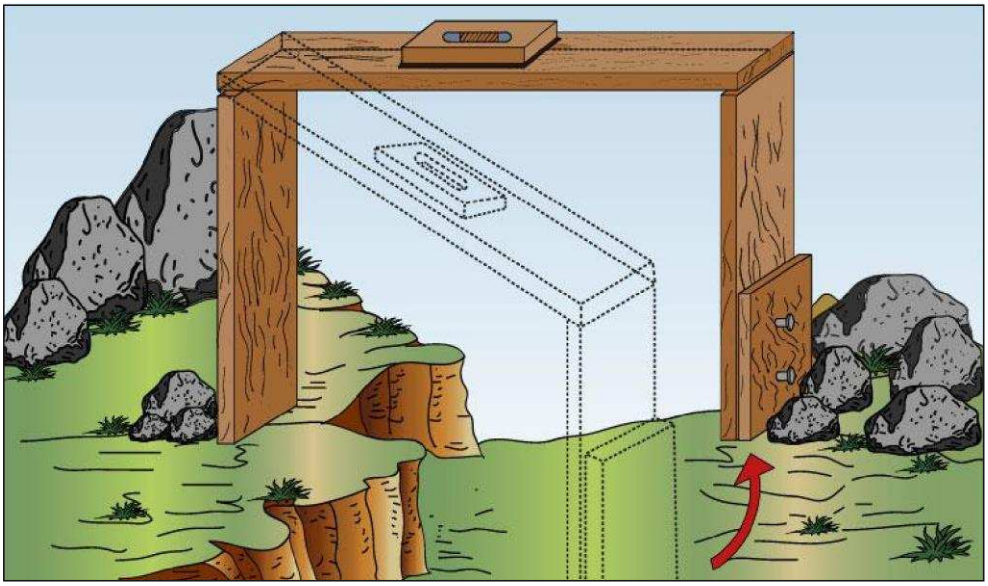


Figura Nº 77.- Continuación de la calibración del caballete

Aplicaciones a. Trazo de líneas a nivel

Si el objeto es trazar líneas a nivel, se inicia el trabajo colocando una pata desde donde se quiere utilizar dicho trazo. La otra pata se irá girando hasta encontrar un punto en el cual la burbuja del nivel se encuentre en el centro; luego se traslada el caballete en el mismo sentido, colocando en el segundo punto la pata que estuvo en el punto inicial. El procedimiento se repite tantas veces como sea necesario hasta lograr el objetivo propuesto.

b. Trazo de líneas que mantengan una pendiente determinada

Para trazar líneas con cierto desnivel se requiere desarrollar los siguientes pasos:

- Se determina la pendiente deseada, por ejemplo 1% (uno por ciento).
- En relación a la longitud del listón de caballete (por ejemplo 3m), se determina el desnivel correspondiente para esta pendiente.

Se plantea la siguiente relación:

En 100 cm …… 1 cm de desnivel
En 300 cm ……... X

$$X = \frac{1(300)}{100} \Rightarrow X = 3 \text{ cm de desnivel}$$

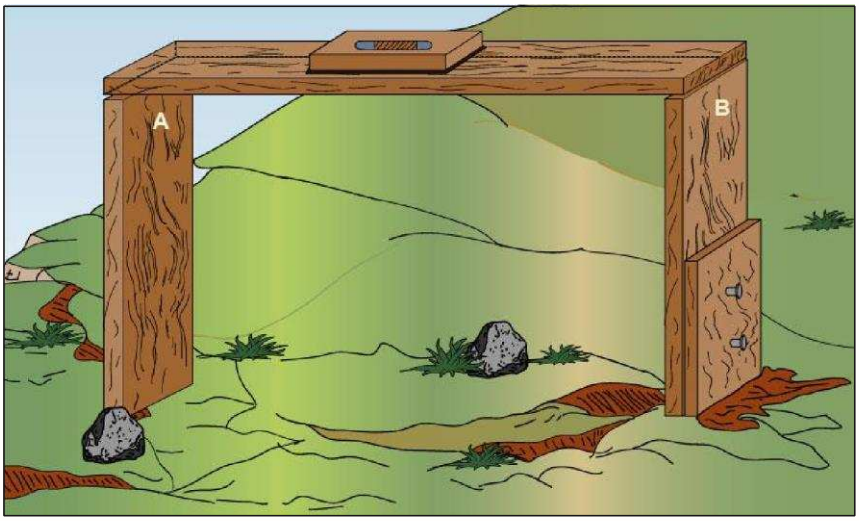


Figura Nº 78.- Caballete calibrado y ubicado en 2 puntos a nivel

Para iniciar el trazado se observa si se trata de una pendiente ascendente o descendente.

- Si la pendiente del terreno es descendente, la pata regulable irá hacia adelante y la otra se colocará en el punto donde se quiere iniciar el trazo.
- Si la pendiente es ascendente, la pata regulable se colocará en el punto desde donde se quiere iniciar el trazo y la otra pata irá hacia delante.
- En ambos casos el procedimiento seguido para el trazo de líneas a nivel se repite para ubicar los otros puntos de la línea a desnivel.
- Una vez trazada esta línea base o línea guía, se procede a corregir el trazado a fin de obtener una línea suave sin grandes cambios.

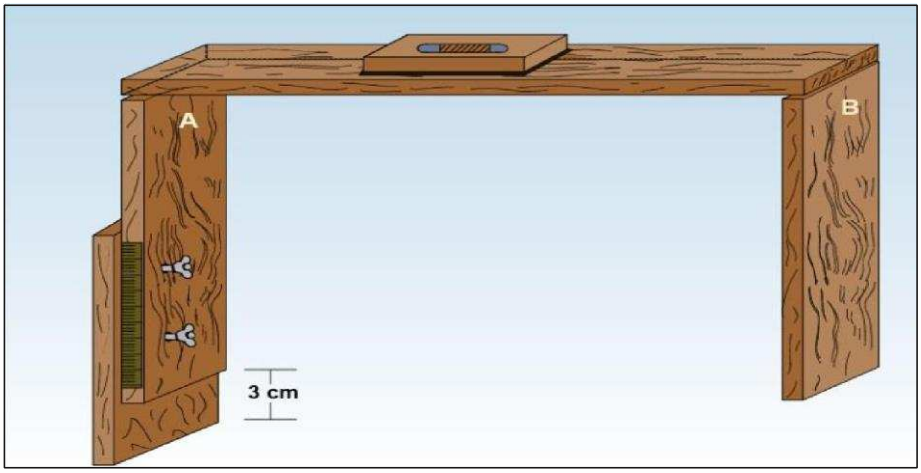


Figura Nº 79.- Caballete calibrado y regulado a una pendiente de 1 %

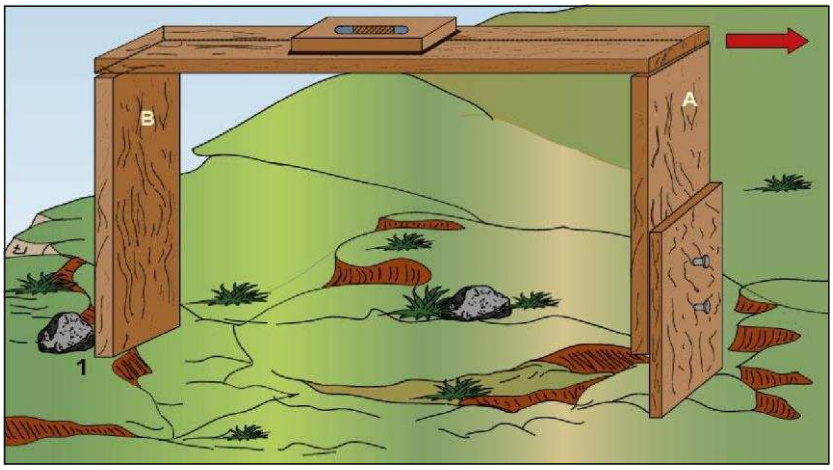


Figura Nº 80.- Inicio del trazo en sentido descendente

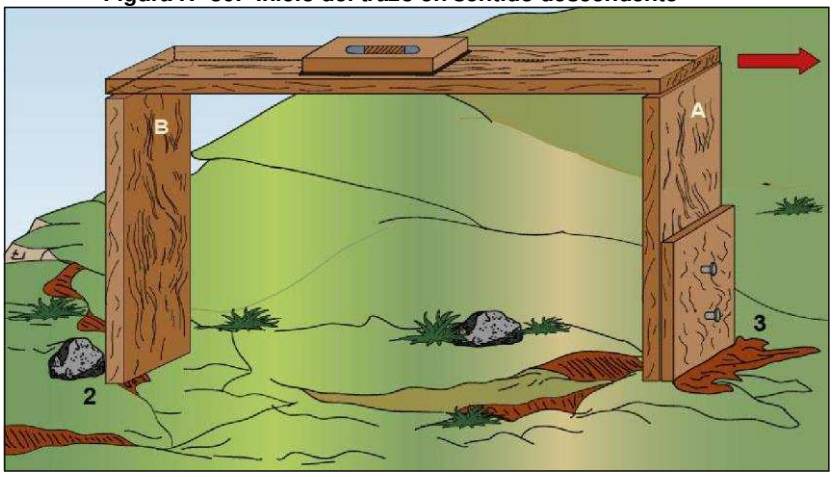


Figura Nº 81-A.- Continuación del trazo en sentido descendente

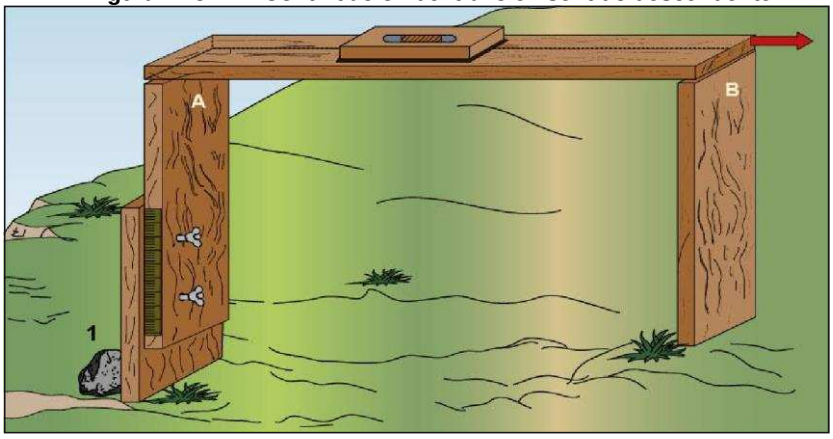


Figura Nº 81-B.- Inicio del trazo en sentido ascendente

1.10. Lluvia ácida

La contaminación causada por las acciones antropogénicas, especialmente producto del uso de combustibles fósiles en la industria, minería, metal- mecánica, generación de energía térmica, industria automotriz, entre otras, generan elementos tóxicos dentro de los cuales destacan el **anhídrido carbónico, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre**, y en menor impacto otros gases, aerosoles, etc.- Todos estos elementos se van acumulando en la atmósfera y que se van desplazando de un lugar a otro, llegando en muchos casos a desplazarse hasta cientos de kilómetros debido a la acción del viento. Al acumularse en las nubes y cuando estas generan lluvias, lloviznas, granizos, nieves o neblinas, estas sustancias contaminantes son arrastradas hacia la superficie de la tierra, llegando en muchos casos en forma de ácidos como el ácido sulfúrico, nítrico, y clorhídrico llamándosele por ello; **lluvia ácida**.

La quema de combustibles fósiles genera los elementos contaminantes más importantes dentro de los cuales se tienen el **anhídrido carbónico (CO_2), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO_2), el óxido de nitrógeno (NO)**, etc.

Los diferentes elementos contaminantes en la atmósfera al tomar contacto con las moléculas de agua presentes en ella sufren una serie de reacciones químicas, tales como por ejemplo:

$S + O_2 \Rightarrow SO_2$
$SO_2 + OH \Rightarrow HOSO_2$
$4HO\,SO_2 + O_2 \Rightarrow 2H_2O + 4\,SO_3$
$SO_3 \div H_2O \Rightarrow \mathbf{H_2SO_4} \Leftarrow$ Ácido Sulfúrico

Por otro lado:
$N_2 + O_2 \Rightarrow 2NO$
$2\,NO + O_2 \Rightarrow 2NO_2$
$3\,NO_2 + H_2O \Rightarrow NO + \mathbf{2HNO_3} \Leftarrow$ Ácido nítrico

Asimismo, en las lluvias ácidas también se encuentran presentes aunque en mucho menor proporción los **ácidos clorhídrico (HCl), ácido sulfuroso (H_2SO_3), ácido carbónico (H_2CO_3)**, entre otros elementos.

El agua de lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente 5.65, la cual puede ser calificada como ligeramente ácida, debido fundamentalmente a la presencia del anhídrido carbónico (CO_2) presente en la atmósfera, que al reaccionar con las partículas de agua forman el ácido carbónico (H_2CO_3).

Una lluvia es considerada como lluvia ácida cuando su pH es menor que 5.0; pudiéndose tener en cuenta como referencia que el vinagre tiene un pH = 3.0 y el

zumo de limón tienen un pH = 2.3; en base a lo cual se puede conocer el grado de acidez de la lluvia.

- **Efectos y consecuencias producidos por la lluvia ácida**

Las lluvias ácidas y los vientos con estos elementos contaminantes causan los efectos y consecuencias siguientes:

a. **Acidificación de las aguas** de los ríos, lagos, pantanos, arroyos y bofedales, generando graves daños a las diversas formas de vida presentes en dichas fuentes de agua, así como también debido al aumento de metales pesados; plomo, aluminio, mercurio, zinc, manganeso, etc.

b. **Afecta directamente a la vegetación** de bosques, pastizales, cultivos en general, reduciéndoles su capacidad a poder soportar disminuciones de temperatura del medio ambiente y a una mayor acción de plagas y enfermedades. Además afecta grandemente a los microorganismos benéficos presentes en el suelo.

c. **Empobrecimiento de los suelos** debido a que al infiltrarse o drenar en el suelo las aguas provenientes de las lluvias caídas, los ácidos y los iones presentes destruyen los nutrientes como el magnesio, calcio, potasio; así como también libera aluminio, afectando así la absorción de agua por las plantas y empobreciendo los suelos; generando un “estrés en las plantas”.

d. **Aumento de la toxicidad**, lo cual genera mayores problemas a la salud humana, especialmente al sistema respiratorio y a la salud de animales y plantas.

e. **Corrosión de construcciones**, infraestructura, materiales y pinturas; debido a la presencia de los ácidos que disuelven al carbonato de calcio que pueda estar presente en monumentos, edificios de mármol y calizas. En general afecta a todo tipo de infraestructura y materia les.

f. **Afecta a la flora y fauna** presente en los sistemas básicos, alterando el ciclo de la cadena alimentaria y a la fisiología de dichos seres vivos por la presencia de dichos elementos contaminantes y metales pesados en el agua y en sus alimentos; repercutiendo también en la alimentación de las personas.

CAPÍTULO 2

EVOLUCIÓN DE LA CONCEPCIÓN Y EL CONOCIMIENTO SOBRE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La evolución sobre la concepción y el conocimiento de las cuencas hidrográficas ha corrido siempre de la mano con las historia y la evolución de la humanidad, lo cual se remonta desde la época en que el hombre era errante o nómade hasta que el hombre se vuelve sedentario, que ocurre cuando comienza a practicar la agricultura, que s constituyó en su actividad principal y al mismo tiempo observa que ello si podría ser efectiva si contaba con agua y suelo. Por ello el hombre asociaba al agua y el suelo como símbolos de vida.

Más adelante, cuando ya se constituyen grupos humanos y que se establecen en pequeños centros poblados o aldeas y más tarde en ciudades, va apareciendo la necesidad de construir obras hidráulicas para abastecerse de una mayor cantidad de agua que requerían tanto para su consumo directo como para el riego de sus cultivos. Así también descubren la necesidad que dichas obras tenían que ser conservadas y mantenidas en buen estado de funcionamiento y también van desarrollando trabajos de protección, ante los graves problemas que se generaban por la sedimentación, huaycos, contaminación e inundaciones de las áreas más productivas. Con el crecimiento de los grupos humanos en las diferentes cuencas, van observándose que para satisfacer sus necesidades tenían que cortar árboles y arbustos para su vivienda y para cocer sus alimentos; lo cual les iba generando nuevos problemas para su supervivencia, mayor erosión y pérdida de suelos, sedimentación, mayor efecto destructivo de los ríos, inundaciones y salinización y problemas de drenaje en las partes bajas de las cuencas, generando el abandono de estas tierras y migrando hacia nuevos lugares con mejores condiciones para su vida.

Todos estos problemas muy variados según las condiciones naturales `propias de las cuencas, referente a lluvias, topografía, flora y fauna, costumbres, etc; los hombres desarrollan diferentes prácticas para hacer frente a estos problemas adversos; así se puede ver en la actualidad que desde hace miles de años ya a lo largo del mundo, las diferentes civilizaciones desarrollaron trabajos de conservación, protección y manejo de recursos naturales; agua, suelo y vegetación así como también llevaron a cabo trabajos de investigación, adaptación genética y domesticación de ciertas especies vegetales silvestres para ser utilizadas en la alimentación de dichas poblaciones, como es el caso de la papa, entre muchas otras especies. Asimismo trabajaron en

zonas de desierto y/o cercanas al mar, donde se puede observar aún extraordinarios legados de manejo y ahorro de agua, especies vegetales propias para dichas zonas y prácticas agronómicas admirables. Pudiendo observarse en todas estas civilizaciones un factor común: el cuidado del agua, el suelo y la cubierta vegetal de sus cuencas o espacios donde viven.

Para ilustrar o fundamentar lo antes explicado se presentan las siguientes reflexiones que datan de hace varios miles de años:

Antiguo Proverbio Chino que decía:
Antiguo Proverbio Chino que decía:

"Quién controla las montañas, controla los ríos"

Cuyo significado es sumamente claro, pues la torrentosidad, la gran cantidad de sedimentos y el efecto devastador y destructivo que tienen las aguas que fluyen en las partes bajas de los ríos de las cuencas, depende en gran medida del manejo y trabajos que se lleven a cabo en las partes altas de las cuencas, llamadas también montañas que son los lugares donde ocurren las más altas tasas de lluvias. Si se deforestan las partes altas y medias o se usan prácticas inadecuadas, los daños en las partes bajas serán grandes.

Reflexiones de Platón (42 años Antes de Cristo):
El gran filósofo Platón, en referencia al bosque que existía en las montañas de Atica, expresa:

"La precipitación anual que caía, no se perdía como ahora, en que las laderas están deforestadas y se le permite al agua fluir sobre las superficies desnudas hasta el mar, sino que era recibida en toda su abundancia, en las entrañas mismas del terreno, donde se almacenaban en su cuerpo impermeable y luego era descargada en forma de arroyos y ríos con abundante volumen y distribución territorial amplia. Los templos que se observan hasta los días presentes, en los sitios donde las fuentes de agua se extinguieron, son la evidencia de la validez de mi presente hipótesis"

Esta reflexión de Platón es muy clara, pues narra lo que él había observado, comparando dos situaciones: una de laderas con pastos, bosques y montes y la disponibilidad de abundante agua en las partes bajas y medias y la otra situación en que ya dichas laderas se encontraban "desnudas" o sin vegetación y donde el agua fluía rápidamente por los ríos hacia el mar, y lógicamente la disponibilidad de agua en las partes medias y bajas de las cuencas había disminuido considerablemente en las épocas de no lluvia o estiaje.

2.1. Época del Imperio Incaico

La cultura pre inca e inca, que se desarrolló desde hace miles de años en gran parte de la región de la Cordillera de los Andes, cuyas condiciones de clima y topografía eran sumamente adversas; lograron desarrollar excepcionales trabajos de conservación, protección y manejo de los recursos agua, suelo y su variada flora y fauna, logrando desarrollar un modelo armonioso del hombre andino con su entorno natural. Dichos trabajos de conservación, protección y manejo se hizo desde las partes altas de las cuencas hacia las partes bajas para asegurar el agua para todo el año y más aún, ellos sabían que sus cuencas estaban sometidas a periodos cíclicos de sequía o excesos de lluvia y por lo tanto actuaban preventivamente antes tales eventualidades. Esta concepción del manejo de sus recursos naturales hizo que por un lado en las partes altas y medias se mantenga y proteja una abundante vegetación, que se construyan o afiancen miles de lagunas o reservorios de agua y por otro lado que se construyan millones de hectáreas con andenes u otras prácticas conservacionistas. Los andenes eran utilizados para desarrollar una agricultura bajo riego o de secano, según su realidad. En ellos el cultivo que mayormente se priorizaba era el maíz y la papa, especialmente en la época del Inca Pachacutec. Los líderes de la cultura incaica, entendían bien el rol de la vegetación y su relación con la mayor disponibilidad de agua en el estiaje.

Por otro lado, el cultivo de maíz era muy valorado por su gran poder nutritivo y porque la sociedad inca fue guerrera y requería este alimento para sostener a su numeroso ejército, aprovechando su enorme poder de preservación durante prolongado períodos de tiempo. El maíz era consumido principalmente como “cancha” o como “mote” y de fácil transporte por cada persona. Además como la sociedad inca era muy religiosa, al maíz lo utilizaban en sus rituales y fiestas patronales.

Todo ello obligaba a desarrollar **un gran esfuerzo y trabajo, una profunda solidaridad y respeto, una sólida organización de la sociedad civil y política para cultivar su territorio sumamente accidentado, como son los Andes**. Por lota tanto, se requería contar con una alimentación que proporcionara una gran resistencia a la población: maíz, papa, charqui, coca, entre otros productos.

Las nacientes o cabeceras de las cuencas, eran zonas preferidas por los incas porque eran las zonas que tenían mayor disponibilidad y seguridad en el aprovisionamiento de agua y fauna silvestre y más segura a los desastres naturales: Huaycos, deslizamientos, inundaciones y enfermedades; y también porque eran los lugares más seguros para el desplazamiento de sus ejércitos.

2.2. Época del coloniaje español

El manejo armónico de la naturaleza que caracterizó al incanato, cambió totalmente. **Los conquistadores españoles destruyeron toda una cultura y tradición de amor, cuidado y veneración a la naturaleza y a sus recursos naturales, sustituyéndola por toda una cultura basada fundamentalmente en la extracción de minerales preciosos**; oro y plata, en un abandono de las partes medias y altas de las cuencas, en una apropiación de todas las mejores tierras de las partes bajas de las cuencas, y en la práctica de antivalores en la sociedad.

Las leyes con las que se manejó todo el incanato durante el coloniaje español fueron las impuestas por la corona española y sus representantes. La población que tenía el incanato cuando apresaron y mataron al Inca Atahualpa en Cajamarca, bordeaba entre los 12 a 15 millones de habitantes; mientras que cuando se logra la independencia, la población total apenas superaba el millón de habitantes. Esto grafica la barbarie, el genocidio y el saqueo que significó la presencia española en el territorio peruano. Además, la población más pobre formada mayormente por los descendientes de las personas autóctonas que habían escapado de la persecución española para los trabajos de minería, se encontraban en su mayoría ubicadas en las partes altas de las cuencas, a donde prácticamente no llegaron los españoles.

En toda la etapa del coloniaje, se impulsó el crecimiento de las ciudades especialmente ubicadas en las partes bajas de las cuencas y sobre todo priorizaron los valles de la costa, donde se cultivó el algodón y la caña de azúcar, y de la sierra, donde cultivaban papa, maíz, entre otros.

2.3. Etapa republicana

En esta etapa, poco cambió respecto a la colonia; se siguió dando prioridad a la extracción mineral, a la agricultura de costa y a la crianza de ovejas en contadas zonas de la sierra, para la obtención de: azúcar, algodón y lanas, que eran productos que se exportaba. Este patrón su producción condujo a la consolidación de grandes latifundios en la costa y en la sierra, con sus secuelas de esclavitud, sobre explotación, abuso y muerte de muchas personas que trabajaban para los “patrones” o hacendados. La actividad minera se realizó sin tener en cuenta los más mínimos aspectos de respeto a la persona humana y el medio ambiente; como muestra de ello, hasta el día de hoy se tienen pasivos ambientales que se originaron en la colonia y etapa republicana.

De esta manera, se puede decir que el Estado, a través de la clase gobernante, concentró todos sus esfuerzos y apoyo en la agricultura costeña y

excepcionalmente en algunas partes altas de las cuencas alto andina, donde se establecieron sociedades ganaderas para la producción de carne y lana.

La guerra del Pacífico, que libró el Perú con Chile, se debió fundamentalmente a la ambición de unos empresarios chilenos por apropiarse y controlar el guano de la isla que producía el Perú. La destrucción y el saqueo que ocasionaron los chilenos fue muy grande, que significó a los sucesivos gobiernos de Perú gastar casi la integridad del presupuesto nacional en la reconstrucción de la costa y su desarrollo, olvidándose casi por completo de la sierra y especialmente de las partes medias y altas de las cuencas, cuyas poblaciones seguían abandonadas por el estado, a su suerte. Es decir, para estas poblaciones no existía el estado.

A partir de las décadas del 50 y 60, comienza a adquirir gran importancia la extracción de la anchoveta y la producción de harina de pescado para la exportación, teniendo como capital económica de esta actividad a la ciudad de Chimbote, región Ancash. Por otro lado, el Estado Peruano comienza a desarrollar proyectos de irrigación en la costa a fin de fortalecer los cultivos de exportación, teniéndose como ejemplos las irrigaciones de San Lorenzo y Chira Piura en la Región Piura, Tinajones en Chancay-Lambayeque, región Lambayeque; Majes en la región Arequipa entre otros. El descuido histórico de las partes altas de las cuencas por parte del estado, comenzó a reflejarse por la menor cantidad de agua que se generaba y la gran cantidad de sedimentos, producto de la erosión de los suelos de las partes altas y medias de las cuencas, generando problemas; Huaycos, deslizamiento, sedimentación acelerada de los reservorios de los proyectos de irrigación, entre otros. Además la pobreza ancestral en que vivían las familias asentadas en las partes altas y medias de las cuencas, indujo a la gran corriente migratoria hacia la costa o hacia la selva, en busca de mejores oportunidades de vida. La migración de grandes masas de personas pobres a la selva, generó el impulso de la agricultura en dicha región, así como la deforestación acelerada y la expansión del narcotráfico, generando un gran impacto en los RRNN y el medio ambiente.

En la actualidad, una reflexión que pueda sintetizar los beneficios que se pueden alcanzar con un buen manejo de la cuenca, es la siguiente:

"Regulando el flujo de las aguas superficiales desde las cabeceras de cuenca hacia abajo, mediante el desarrollo de trabajos de almacenamiento, cosecha e infiltración de las aguas de lluvia; el manejo y la conservación de los pastos y los bosques y la conservación de los suelos y las aguas, se podrá disponer

de suficiente cantidad de agua en las épocas de estiaje y además los flujos superficiales de agua en época de lluvia no causarán mayores daños en las partes bajas de las cuencas."

CAPÍTULO 3

MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE

3.1. Principios básicos en la formulación de políticas nacionales para lograr un desarrollo sostenible

Las políticas que se establezcan en un país y que permitan alcanzar un desarrollo sostenible, deben ser formuladas teniendo en cuenta los siguientes elementos:

a. **Las políticas económica, educativa, minera, salud, industrial, agraria**, **ambiental**, entre otras; **deben ser elaboradas tomando en cuenta el marco internacional**; es decir, considerando el fenómeno de globalización que vive el mundo.

b. **Se debe tener muy presente que la política macroeconómica y las políticas sectoriales de un país deben ser complementarias**; pues definen o ejercen una gran influencia en la utilización de los RRNN, en la generación de empleo, en el crecimiento económico, en la redistribución de la riqueza (justicia social), en la contaminación, etc. y consecuentemente en la sustentabilidad del aprovechamiento y manejo de los RRNN de una cuenca hidrográfica o un país.

   Normalmente, una característica común de los países pobres o subdesarrollados ha sido casi siempre que su política macroeconómica sea desfavorable para su propio desarrollo rural, al propiciar bajos precios para el productor nacional generándole una baja o nula rentabilidad, debido a que más les preocupaba a sus autoridades el abastecimiento con alimentos baratos a las ciudades, pues en esos lugares estaban las mayores poblaciones y consecuentemente tenían mayores réditos políticos momentáneos sin importarles el futuro. Es conveniente tener presente que el hombre del campo no busca dádivas, regalos o medidas paternalistas del gobierno, **sólo busca ganar con su trabajo, es decir tener una rentabilidad para vivir dignamente y poder mejorar su productividad y eficiencia.**

c. **El mercado debe funcionar en forma eficiente y transparente**, evitando distorsiones producto de prácticas monopólicas; para ello el Estado debe

establecer el marco legal e institucional adecuado y evitar la corrupción para que se apliquen plenamente dichas normas.

d. **Promover que los líderes y autoridades gubernamentales asuman un verdadero compromiso** de llevar adelante acciones que permitan el logro de un desarrollo rural sustentable, vía un aprovechamiento racional de sus RRNN y un cuidado del medio ambiente.

e. **La participación activa y consciente de todos los miembros de la sociedad**, es fundamental en las políticas que se delineen e implementen, no sólo se debe considerar que es una obligación de las autoridades o instituciones gubernamentales o de los dirigentes, el llevar adelante acciones y programas sobre el manejo de cuencas y el cuidado del medio ambiente; muy por el contrario es responsabilidad de todas las personas el lograr un manejo sustentable de las cuencas hidrográficas, porque de ello dependerá nuestra supervivencia en el planeta.

f. **La planificación familiar, especialmente en los países pobres o subdesarrollados**, debe ser tomada muy en cuenta en las políticas de Estado que se pongan en marcha; pues si el incremento poblacional es mayor o igual que el crecimiento en la generación de riqueza, jamás se tendrá un manejo y aprovechamiento racional de los RRNN y el cuidado del medio ambiente.

g. **Una lucha frontal contra la pobreza y pobreza extrema**, debe ser parte fundamental de una política de Estado. La pobreza y pobreza extrema están asociadas totalmente con la sobre explotación y el mal manejo de los recursos naturales básicos como el agua, los suelos, los bosques, los pastizales; generando una depredación de tales recursos e incrementando los problemas medio ambientales.

h. **La educación y toma de conciencia**, es otro de los pilares que debe ser parte fundamental de toda política de Estado. Sin educación, jamás habrá desarrollo ni toma de conciencia sobre la problemática y el valor e importancia de los RRNN y la preservación del medio ambiente. La educación y toma de conciencia por parte de la población es el camino seguro para salir de la pobreza aprovechar racionalmente los recursos naturales, proteger su medio ambiente y aspirar el logro de un desarrollo sustentable. En la siguiente figura se muestra un esquema sobre el desarrollo sostenible y los factores que confluyen para lograrlo.



Figura Nº 1.- Representación esquemática del desarrollo sostenible

El Desarrollo Sostenible, comprende las dimensiones:

a) Económicas

- Crecimiento Agrario
- Crecimiento Industrial
- Crecimiento Energético
- Crecimiento Minero
- Crecimiento Agrícola
- Crecimiento de Servicios - Entre otros

b) Sociales

- Necesidades básicas: Alimentación, Vivienda, Salud, Educación, Vestimenta, Trabajo, etc.
- Equidad y justicia social
- Valores Humanos Fundamentales
- Preservación de la cultura
- Paz, seguridad y respeto a los Derechos Humanos
- Valores Humanos Fundamentales - Participación y Autodeterminación

- Entre otros

c) Ambientales

- Protección del Agua, Aire y el Medio Ambiente
- Preservación de la Biodiversidad
- Protección y cuidado de los Recursos Naturales - Entre otros

d) Decisión política y buen gobierno

- Dar las leyes y normas adecuadas que permitan :
  - Brindar los servicios y la infraestructura básica que permitan el desarrollo de las personas y la sociedad en su conjunto.
  - Que se proteja el medio ambiente y los recursos naturales.
  - Que se proteja la vida y la salud de las personas.
  - Que las empresas sin distinción alguna paguen sus impuestos y cumplan la ley y las regulaciones medioambientales y de trabajo que establezcan los gobiernos.
  - Lucha frontal contra la corrupción, por ser un cáncer contra la sociedad.
  - Que se busque eliminar a pobreza y la inequidad, etc.
  - Tener buenos gobernantes.
  - Entre otros.

Por ello se debe entender que el objetivo central para lograr un **desarrollo sostenible** es poder conciliar la combinación de una **prosperidad económica, una inclusión social, eliminar la pobreza y asegurar una sostenibilidad ambiental; pero ello será posible si y sólo sí las autoridades que tienen el poder y la decisión política en sus respectivos gobiernos y en las instituciones multinacionales asumen a cabalidad sus responsabilidades para el logro de tal objetivo**; es decir no es sólo tarea o responsabilidad de un autoridad o persona, es tarea y responsabilidad de todos sin distingo alguno. Es importante resaltar que una de las tareas claves en todo este quehacer es eliminar **la corrupción** tanto en las esferas de los Estados o gobiernos así como también en las Empresas que muchas veces guiadas por una ambición desmedida de sus propietarios corrompen a las autoridades o responsables de hacer cumplir las regulaciones o las leyes con lo cual terminan evadiendo impuestos, con lavado de dinero y un daño imprudente al medio ambiente; además, de menores ingresos para sus países y en consecuencia pobreza y falta de servicios, característica propia de los países pobres o en vías de desarrollo.

Por otro lado, debe analizarse también al desarrollo sostenible desde el punto de vista **del futuro del planeta**, que significa lo que se espera en el futuro; pues si se sigue con la misma tendencia que se tiene hasta ahora:

- Más pobreza
- Más corrupción
- Más desigualdad
- Más violencia

- Más contaminación
- Más depredación de RRNN
- Más población
- Más tecnología, etc.

Se estará encaminando al planeta hacia la destrucción de la vida.
Por ello es importante que en los esfuerzos para lograr un desarrollo sustentable se incorpore a la tecnología como elemento fundamental que pueda dar mucha esperanza a la humanidad a fin de poder lograr:

- Generar y usar la propia energía de la naturaleza: Viento, sol, agua, mar, calor, etc.: **Energía Renovables**, en sustitución de las energías fósiles que son la principal fuente de contaminación ambiental.
- Planificación y diseño de nuevos tipos de urbanizaciones y ciudades: ciudades y construcciones inteligentes, que significan; más agradables y consistentes con la naturaleza, más eficientes en consumo de energía, más seguras, etc.
- Nuevos y eficientes sistemas de transporte y con el uso de energías renovables, donde se incluye al uso de las bicicletas y a la propia caminata.
- Mayor productividad y eficiencia en la actividad educativa, agraria, industrial, salud, minera, pesquera, comercio, servicios, etc.
- Descontaminar el agua, el aire, los suelos y los mares
- Planificación familiar
- Aumentar la esperanza de vida de las personas Proteger la biodiversidad, etc.

La esencia del **desarrollo sostenible** es resolver los problemas que aquejan al planeta y a la sociedad en particular, los cuales son muchos y que por lo tanto requieren de un esfuerzo global, conjunto, pues el tiempo se acorta para poder evitar el desastre en nuestro planeta.

3.2. Manejo de cuencas y desarrollo sostenible

El manejo de una cuenca hidrográfica es la administración integral de la misma, mediante la implementación de políticas claramente definidas y normas adecuadas así como, al desarrollo planificado de acciones técnicas, que permitan el aprovechamiento racional y la conservación del espacio físico y de los recursos naturales existentes en la misma, así como la conservación y protección de su medio ambiente, el mejoramiento del nivel de vida de la población, la participación activa de la población local y sociedad en general y algo fundamental para lograr lo antes mencionado, la decisión política y el comportamiento de las autoridades y clase política de nivel local, regional y nacional. Sin ello no se podrá alcanzar un desarrollo sostenible de la cuenca. Es importante resaltar que lo primero que se debe manejar no es la cuenca en sí, sino la intervención del hombre que realiza en ella, pues depende del accionar y grado de responsabilidad con que actúe y por otro lado del

control y fiscalización que lleve a cabo el Estado y demás personas o instituciones involucradas.

En el manejo y la gestión de las cuencas, subcuencas y micro cuencas hidrográficas, se debe buscar lograr un manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales con que se cuentan, lo cual significa aprovechar en forma racional y eficiente los recursos naturales existentes en dichos espacios geográficos a fin de beneficiar a la población asentada en ellas; pero que ese aprovechamiento de los recursos naturales debe hacerse de tal manera que no se comprometa el futuro de las generaciones venideras; es decir, ese aprovechamiento debe hacerse con absoluta responsabilidad social y ambiental, sin egoísmos y pensando en que futuro queremos dejar para nuestros hijos y a los hijos de nuestros hijos. En la figura 2 se muestra un enfoque multidisciplinario y multisectorial para el ordenamiento territorial y el manejo de las cuencas hidrográficas.

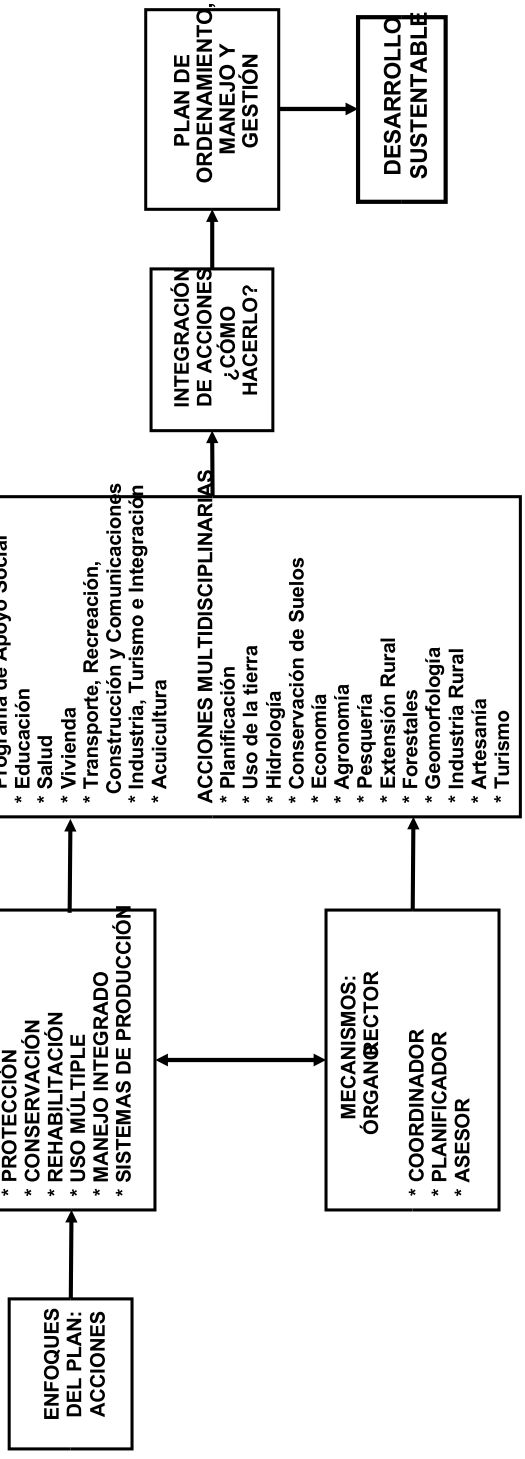


Figura Nº 2.- El enfoque multidisciplinario y multisectorial de las acciones a tener en cuenta en el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas

Haciendo un análisis rápido sobre la evolución del término sostenible y su definición, se puede decir que los temas ecológicos, conservacionistas, ambientalista, social y político han venido siendo tema de preocupación y análisis desde finales del siglo XIX y poco a poco ha ido creciendo el interés y preocupación por estos temas, hasta que en el año 1949, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) programó la primera conferencia sobre problemas ambientales, la cual se llevó a cabo en Lake Success (New York) y que pasó casi desapercibida por los efectos de la Post II Guerra Mundial. Luego, años más tarde se produce la "Declaración de Estocolmo", llevada a cabo en el año 1972, donde en el principio 2, de dicha declaración se establece que el desarrollo sustentable "es un proceso por el cual se preservan los recursos naturales en beneficio de las generaciones presente y futuras".

En el año 1983, la ONU en su Asamblea General crea la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, la cual en el año 1987 presenta su informe, donde aparece el concepto de desarrollo sustentable o desarrollo sostenible, cuya diferencia entre ambos términos se origina básicamente como producto de la traducción del inglés al castellano, del término original **"Sustainable Development"**, que significa desarrollo sostenible. A este informe de dicha comisión, también se le conoce como el informe de la **Comisión Brundtland**; en el cual se define a **desarrollo sostenible** como **"aquel que puede lograr satisfacer las necesidades y aspiraciones de las presentes generaciones, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades y aspiraciones"**.

A raíz de esto, se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, más conocida como la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro (Brasil) en el año 1992. Aquí, el primer principio de la Declaración de Río coloca a los seres humanos como el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sustentable, reconociendo el derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza. A su vez se definió la Agenda 21, como un programa de acción en todas las esferas que competen al desarrollo sustentable, considerando las dimensiones sociales y económicas, la conservación y gestión de los recursos naturales para el desarrollo, el fortalecimiento organizacional de los principales grupos humanos (jóvenes, mujeres, comunidades indígenas, productores, etc.) y los núcleos de ejecución.

En la Declaración de Johannesburgo, llevada a cabo en el año 2002, sobre Desarrollo Sostenible, se define como tal al proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades económicas, sociales, de diversidad cultural y de un ambiente sano de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de las mismas a las futuras generaciones. En esta declaración se puede observar claramente que el **desarrollo sostenible se basa en 3 factores: Sociedad, economía y medio ambiente (social, económico y ecológico)**.

Por ello, se puede definir como desarrollo sustentable o sostenible "al proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, basado en el aprovechamiento, preservación y conservación de los recursos naturales y en la conservación y protección del medio ambiente, de tal manera que no se comprometan las expectativas o aspiraciones de las futuras generaciones". La Sustentabilidad debería durar en el tiempo, es decir ser Sostenible para poder satisfacer las necesidades mínimas del ser humano: alimentos, techo, vestido, etc.

Desarrollo sostenible en consecuencia es aquel tipo de desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, sin comprometer la capacidad y aspiraciones de las futuras generaciones para poder satisfacer las suyas. Por ello, el concepto de desarrollo sostenible o sustentable es de suma importancia para nuestra época, pues implica conocer plenamente la realidad del espacio donde nos toque actuar, así como también del mundo y en especial del planeta tierra, sus recursos naturales , potencialidades y su problemática socio económica e interacciones a nivel local, regional, nacional y global; para que en base a ello se pueda elaborar metodologías, estrategias y programas de trabajo, para que se puedan llevar a cabo acciones concretas para aprovechar y manejar racionalmente los recursos naturales y resolver los problemas puntuales y globales. Tenemos como punto de partida en esta reflexión lo siguiente:

- Nuestro planeta está tan poblado que ahora ya se tiene más de 7,200 millones de personas, lo cual equivale a un crecimiento de alrededor de 900% respecto de la población que el mundo tenía en el año 1750, año en que se inicia la era de la revolución industrial. Es decir, el crecimiento poblacional promedio en la actualidad es de unos 75 a 80 millones de personas al año. En el cuadro 1 siguiente se presenta el crecimiento poblacional del mundo desde hace unos 10,000 años hasta la actualidad.

Cuadro Nº 1.- Evolución de la población total en el mundo

Años	Población total (millones)	Años	Población total (millones)
10,000 A.C.	1	1,950	2,518.6
8,000 A.C.	8	1,980	4,434.7
1,000 A.C.	50	2,000	6,070
1 D.C.	200	2,015	7,200
1,000	310	2,025	8,000
1,750	791	2,040	9,000
1,800	978	2,050	9,600
1,850	1,262	2,100	10,800
1,900	1,650		

- El avance tecnológico y el mejoramiento de la calidad de vida de vastos sectores de la población en el mundo vienen generando el aumento de la esperanza de vida, la disminución de la tasa de mortalidad y el crecimiento del consumo per cápita.

- El avance tecnológico desde los años 1750 hasta la fecha, produjo:
  - Motor a vapor,
  - Transporte a vapor,
  - Motores a combustión interna,
  - Electrificación,
  - Química Industrial,
  - Agronomía científica,
  - Aviación,
  - Energía Nuclear,
  - Era espacial,
  - Era de la información y comunicaciones, - Era de la nanotecnología y la robótica, - Entre otras.

- El constante crecimiento económico que se viene experimentando en el planeta y que puede ser expresado como el PRODUCTO BRUTO MUNDIAL y que según las estadísticas ya a la actualidad representan unas 100 veces mayor a lo que se tenía o producía en el año 1750; que expresado en términos porcentuales la tasa de crecimiento promedio es del orden del 3 al 4% anual. Para generar esta cuantiosa cantidad de riqueza, se vienen aprovechando recursos naturales que en muchos casos y en muchas regiones del planeta vienen siendo arrasados o depredados, sin importar en muchos casos su reposición (suelos, árboles, pastos, biodiversidad, etc.) o la contaminación de los suelos y las aguas.

- Acelerado proceso de contaminación del aire, las aguas y los suelos por la cantidad creciente de energía utilizada en los procesos de producción y la vida diaria de las personas. La producción de energía está basada fundamentalmente en la quema de carbón, petróleo, gas natural, materia orgánica, etc. y que producen exorbitantes cantidades de anhídrido carbónico (CO_2), el cual es el principal elemento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), causantes del Calentamiento Global y el cambio climático que viene afectando al planeta.

- Acidificación y calentamiento de las aguas de los océanos, así como la elevación del nivel de agua.

- La pobreza y pobreza extrema conduce a dichas personas a la sobreexplotación y depredación de los recursos naturales: sobrepastoreo, deforestación, agricultura migratoria y sin tecnología, mal manejo de los suelos y las aguas, contaminación, etc.

- Calentamiento global del planeta y su consecuente cambio climático, lo cual ya viene generando grandes impactos: Sequias e inundaciones más intensa, olas de calor y fríos más intensos, entre otros.

En consecuencia, analizando en conjunto todas estas variables, se puede decir que de una manera u otra la población mundial está inmersa en el campo de la economía y por lo tanto, los más pobres están buscando día a día como encontrar comida, agua, techo, salud y mejores condiciones para sobrevivir, causando ello la migración creciente; los pobres están buscando como mejorar su nivel de vida y preocupados por un futuro mejor para sus hijos mediante el trabajo, la educación, el esfuerzo y el ahorro, constituyéndose como una clase emprendedora y emergente, y que también en muchos casos migran a otros lugares que les ofrezcan mayores posibilidades; aquellas personas que están de por encima los niveles de pobreza están buscando como mejorar su estándar de vida y unos mejores niveles de ingresos y para ello están buscando como utilizar la tecnología y los conocimientos para que ellos y sus familiares alcancen mayores niveles de riqueza y prosperidad; mientras que los super ricos, también están buscando un lugar en el mundo como para ser considerados como las personas más ricas y poderosas del mundo. Es decir, en otras palabras las 7,200 millones de personas del planeta están buscando día a día un mejoramiento de su nivel económico; pero lo están haciendo en un mundo donde la economía está cada día más conectada con el comercio, las finanzas, las tecnologías, grandes flujos de producción, grandes movimientos migratorios de personas, etc; es decir está actuándose en un mundo globalizado.

Analizando la realidad, se puede afirmar que a pesar de este cuantioso crecimiento económico; existe una marcada inequidad en la distribución de esta inmensa riqueza generada, tanto dentro de los propios países así como entre los diferentes países del mundo. Todo esto genera que actualmente haya en el planeta unos 1,200 millones de personas que viven en la pobreza extrema y que sólo luchan para sobrevivir en el día a día y también un segmento importante de la población que enfrentan cada día a la vida o la muerte, debido a una pobre nutrición, sin protección de la salud y la vida (sin casas, sin medicinas), sin servicios de agua y desagüe, sin educación adecuada, etc.

Por todo ello, se puede decir que la economía mundial so sólo está marcadamente desigual (muy pobres y muy ricos) sino que al mismo tiempo está constituyéndose como una verdadera amenaza contra nuestro propio

planeta, ignorando que la naturaleza es la fuente que provee el alimento, el agua y los recursos materiales para que pueda sobrevivir el hombre y los demás seres vivientes. Es decir la Gigantesca Economía Mundial está creando una Gigantesca Crisis Medioambiental en el planeta.

En base a esta crisis ambiental, se puede afirmar que la humanidad está cambiando el clima, la disponibilidad de agua de buena calidad, la química de los océanos, el hábitat de otras especies, entre otros efectos. Remarcándose que como estos impactos son tan grandes que la propia tierra está sufriendo grandes cambios en el funcionamiento de procesos claves, tales como:

El ciclo hidrológico, los ciclos del Carbono (C), Fósforo (P) y Nitrógeno (N), que son justamente de los cuales depende la vida; a pesar de haberse avanzado mucho en estos conocimientos, no se puede afirmar que conocemos la escala precisa, el tiempo y las implicancias de todos estos cambios; pero lo que si podemos afirmar es que todo esto es extremadamente peligroso y que no a ocurrido en los más de 10,000 años de existencia de la civilización humana en el planeta.

Por otro lado, con los avances tecnológicos que se vienen observando día a día, con el crecimiento económico exorbitante y un crecimiento poblacional imparable; las poblaciones se han ido asentando en las grandes ciudades, teniéndose a la fecha que en los países pobres, la población que vive en el sector rural bordea entre el 30 al 40% de su población total; mientras que en los países desarrollados tan sólo del 5 al 10% de su población; significando todo ello que hay una creciente migración del campo hacia las ciudades; generando este fenómeno todo un cambio en el patrón de desarrollo de los diferentes países. Esto se da por una sencilla razón, que una persona vive mejor y tiene más oportunidades de mejorar su nivel de vida en las zonas urbanas, que en la zonas rurales, pues los diferentes gobiernos siempre se han preocupado prioritariamente de atender a su población urbana, pues allí se concentran el grueso de su población votante, constituyendo a la larga el gran incentivo para la migración de la población rural.

Entonces para pretender lograr un **desarrollo sustentable** en el planeta, en un país, una cuenca o una micro cuenca se requiere que se pueda conciliar los objetivos siguientes:

a. **Crecimiento económico, que significa generación de riqueza.**

b. **Inclusión social amplia, equidad o justicia social (responsabilidad social),** que significa eliminar la pobreza, mejorar la calidad de vida y un futuro mejor para las personas.

c. Protección y cuidado del medio ambiente (sustentabilidad ambiental), que significa actuar con responsabilidad para no contaminar las aguas, el aire y los suelos ni depredar los recursos naturales.

Los objetivos antes mencionados son en cierta manera conflictivos e insuficientes, pues para alcanzar un óptimo global que significa el **DESARROLLO SOSTENIBLE**, cada uno de los factores que intervienen deben sacrificar su óptimo parcial; lo cual se podrá lograr solamente mediante negociaciones y búsqueda de consensos entre los diferentes actores involucrados en el problema y poder llegar finalmente a encontrar la zona o área donde se pueda alcanzar el desarrollo sostenible que todos debemos buscar. A continuación se presenta un esquema acerca del desarrollo sostenible que fue elaborado por Peter Nikjamp y sustentado en la conferencia anual del Banco Mundial de abril de 1,990.

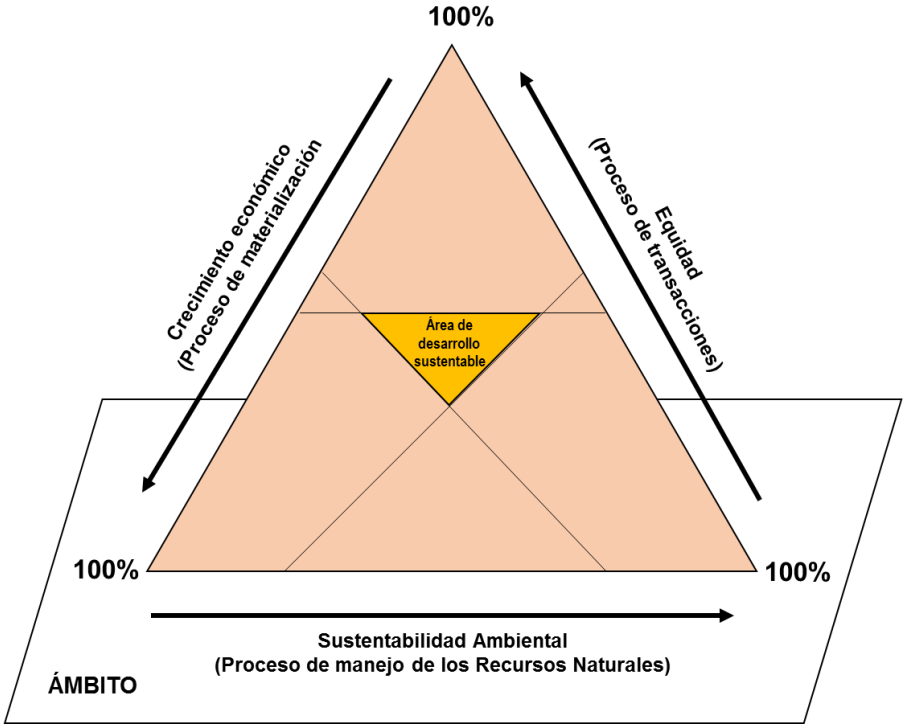


Figura Nº 1.- Representación esquemática del desarrollo sostenible

Fuente: PETER NIKJAMP, regional sustainable development and natural resource use, World Bank Annual Conference on Development Economics, 26 y 27 de abril de 1990, Washington, D.C.

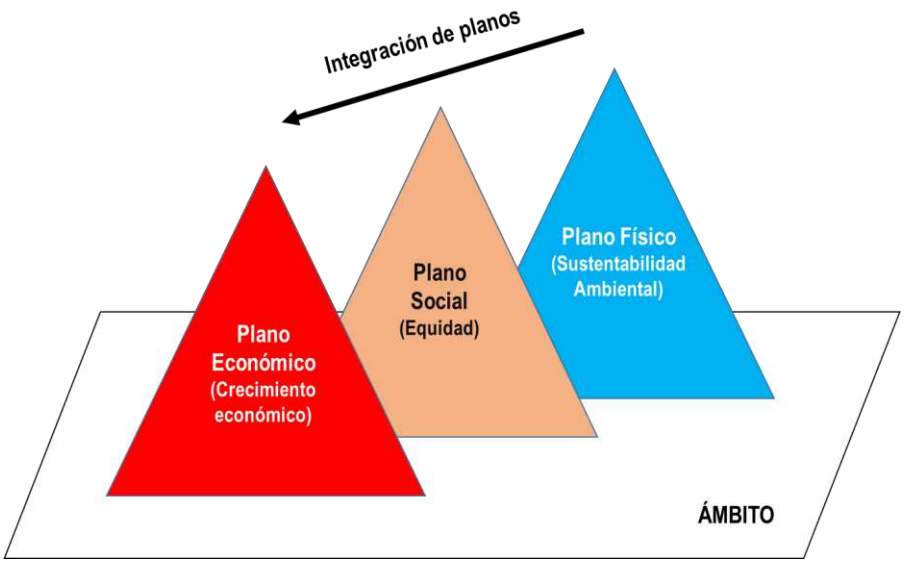


Figura Nº 2.- Representación esquemática del desarrollo sostenible

Fuente: PETER NIKJAMP, regional sustainable development and natural resource use, World Bank Annual Conference on Development Economics, 26 y 27 de abril de 1990, Washington, D.C.

El análisis de los tres primeros objetivos mencionados se llevó a cabo ampliamente en el año 1990, en la conferencia anual sobre desarrollo económico que llevó a cabo el Banco Mundial en Washington; teniendo como expositor central a Peter Nijkamp, quien presentó el llamado triángulo del conflicto o llamado también el triángulo del conflicto del desarrollo. En las figuras 1 y 2 presentan el triángulo del conflicto y los triángulos en planos distintos de cada uno de los objetivos. En la parte central de la figura 1, se presenta el área de desarrollo sustentable, que es la zona donde se considera que se concilian los tres objetivos, alcanzándose un equilibrio entre ellos. Esto no sólo se logra considerándose como un sistema cerrado a la cuenca, sino que por el contrario, pueden existir intercambios entre cuencas y que tienen otras áreas de equilibrio. Debe quedar muy en claro que el desarrollo sustentable que se busca alcanzar, depende del nivel y capacidad de gestión de los responsables para poder conciliar los objetivos antes mencionados y no uno de ellos imponiéndose sobre los demás.

Asimismo, es oportuno mencionar que además de las tres acciones anteriormente explicadas, se deben tener en cuenta a 2 elementos adicionales

que gravitan decididamente en el manejo y aprovechamiento racional de los recursos naturales de una cuenca, subcuenca microcuenca y que consecuentemente en conjunto permitirán lograr un verdadero **desarrollo sostenible** de la cuenca. Dichos elementos adicionales son:

- Decisión política para tener una buena legislación y buenos gobernantes, que significa que se den leyes y regulaciones adecuadas para proteger al medio ambiente, brindar los servicios básicos y la infraestructura que la población requiera para su desarrollo, la protección de la persona de la delincuencia y la violencia, lucha contra la corrupción para que se apliquen cabalmente las normas y que las empresas y personas naturales cumplan son sus responsabilidades sin distingo alguno.

- Participación activa de la sociedad, que significa que todos debemos asumir la responsabilidad de aunar esfuerzos y asumir responsabilidades en el cuidado y protección del medio ambiente y los RRNN; así como también en la fiscalización para que se cumplan las normas dadas y que se encuentran vigentes.

En consecuencia, el desarrollo sostenible se puede expresar matemáticamente a través de la ecuación:

$$Y = f(X, P, Z, M, N)$$

Dónde:
Y = Desarrollo sostenible,
X = Crecimiento económico,
P = Equidad o justicia social,
M = Participación organizada y activa de los diferentes actores de la cuenca,
Z = Sustentabilidad ambiental, y
N = La decisión política de las autoridades gubernamentales de nivel nacional, regional y local.

Teniéndose en cuenta el compromiso que asumieron los diferentes representantes de los países del mundo que asistieron a la reunión de la "Cumbre de la Tierra" que se llevó a cabo en Río de Janeiro en 1992, referente a la incorporación en sus políticas nacionales aspectos relacionados con el desarrollo sustentable y el medio ambiente, en tal sentido, es importante resaltar algunos principios básicos que deben tenerse en cuenta en la formulación de tales políticas.

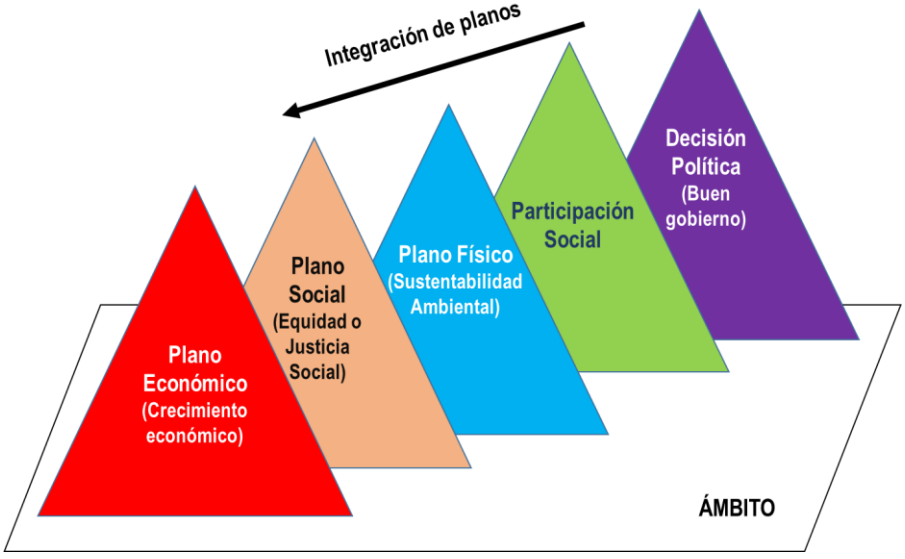


Figura Nº 3.- Representación esquemática del desarrollo sostenible

Fuente: Elaboración propia

El desarrollo sostenible, comprende las dimensiones:

a.- Económicas:

- Crecimiento industrial.
- Crecimiento agropecuario.
- Crecimiento minero.
- Crecimiento de servicios.
- Crecimiento energético.
- Entre otros.

b.- Sociales:

- Satisfacción de las necesidades básicas: Alimentación, vivienda, salud, educación, vestimenta, trabajo, etc.
- Equidad y justicia social.
- Preservación de la cultura.
- Paz, seguridad y respeto de los DDHH.
- Valores humanos fundamentales.
- Participación y autodeterminación.
- Entre otros.

c.- Ambientales:

- Preservación de la Biodiversidad e integridad de los sistemas.

- Protección y cuidado de los RRNN y capacidad máxima admisible.

- Protección del agua, aire y el medio ambiente.
- Aire y agua limpios y de buena calidad.
- Entre otros.

d.- Políticas:

Dar las leyes y normas adecuadas que permitan:

- Brindar los servicios y la infraestructura básica que permitan el desarrollo de las personas y la sociedad en su conjunto.
- Que se proteja el medio ambiente y los RRNN.
- Que se proteja la vida y la salud de las personas.
- Que las empresas y las personas paguen sus impuestos y cumplan la ley y las regulaciones medio ambientales y de trabajo que establezcan los gobiernos.
- Lucha frontal contra la corrupción, por ser un cáncer contra la sociedad.
- Que se busque eliminar la pobreza y la inequidad. - Entre otros.

Entonces se debe entender que el objetivo central del **desarrollo sostenible** es poder conciliar la combinación de una prosperidad económica, una inclusión social, eliminar la pobreza y asegurar una sostenibilidad ambiental; pero ello será posible si y sólo si las autoridades que tienen el poder y la decisión política en sus respectivos gobiernos y en las instituciones multinacionales asuman a cabalidad sus responsabilidades para el logro de tal objetivo; es decir, no es sólo tarea o responsabilidad de una autoridad o persona, es tarea y responsabilidad de todos sin distingo alguno. Es importante resaltar que una de las tareas claves en todo este quehacer es eliminar la corrupción tanto en las esferas de los Estados o gobiernos así como también en las Empresas que muchas veces guiadas por una ambición desmedida de sus propietarios corrompen a las autoridades o responsables de hacer cumplir las regulaciones o leyes, con lo cual terminan evadiendo impuestos, con lavado de dinero o un daño muchas veces irreparable al medio ambiente; además, de menores ingresos para sus países y en consecuencia pobreza y falta de servicios, característica propia de los países pobres o en vías de desarrollo.

Por otro lado, debe analizarse también el desarrollo sostenible desde el punto de vista del futuro del planeta, que significa lo que se espera alcanzar en el futuro; si se sigue con la misma tendencia que se tiene hasta ahora:

- Más pobreza, □ Más corrupción,
- Más desigualdad, □ Más violencia,
- Más contaminación, □ Más depredación de RRNN, y □ Más población, □ Más tecnología, etc.
- Cambio climático, □ Acidificación de las aguas de mar,

Por ello es importante que en los esfuerzos para lograr un desarrollo sustentable se incorpore, la tecnología como elemento que pueda dar mucha esperanza a la humanidad de poder lograr los objetivos deseados:

- Generar y usar la propia energía de la naturaleza: viento, sol, agua, mar, calor, etc.: energías renovables, en sustitución de las energías fósiles que son la principal fuente de contaminación ambiental.
- Planificación y diseño de nuevos tipos de urbanizaciones y ciudades: ciudades y construcciones inteligentes, que significan: más agradable y consistentes con la naturaleza, más eficientes en consumo de energía, más seguras, etc.
- Nuevos y eficientes sistemas de transporte y con el uso de energías renovables, donde se incluye al uso de las bicicletas y a la propia caminata.
- Mayor productividad y eficiencia en la actividad educativa, agraria, industrial, salud, minera, pesquera, comercio, servicios, etc.
- Cuidar la calidad del agua, el aire, los suelos y los mares.
- Planificación familiar.
- Aumentar la esperanza de vida de las personas.
- Proteger la biodiversidad, etc.

La esencia del desarrollo sostenible es resolver los problemas que aquejan a la naturaleza, al planeta y a la sociedad en particular, los cuales son muchos y que por lo tanto requieren de un esfuerzo global, pues el tiempo se acorta para poder evitar el desastre en nuestro planeta y por ello es hora de actuar.

Para lograr un desarrollo sustentable o sostenible se debe tener muy en cuenta las siguientes condiciones:

- Ningún recurso renovable deberá ser usado a una tasa mayor que la de su regeneración o reposición.
- Ningún recurso natural no renovable deberá ser usado a una tasa mayor de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de una manera sostenible.

- Ningún producto o elemento contaminante debe producirse a una tasa mayor que la que pueda ser reciclado, neutralizado o en su defecto absorbido por el medio ambiente.

3.2.1. Requisitos de una estrategia sustentable

Los requisitos o elementos necesarios para definir una estrategia que permita lograr un desarrollo sustentable o sostenible son:

- Un sistema político, que asegure la participación efectiva de los ciudadanos en la toma de decisiones, para lograr un desarrollo sustentable o sostenido.
- Un sistema económico, que genere superávit y conocimiento e innovaciones tecnológicas en forma autosuficiente y sostenida.
- Un sistema social, que ofrezca soluciones para los conflictos o tensiones que surjan como producto de un desarrollo no armónico.
- Un sistema de producción, que respete la obligación de preservar la base ecológica y medio ambiental del desarrollo.
- Un sistema tecnológico, dinámico, que pueda permitir encontrar en forma oportuna nuevas soluciones a los problemas que se vayan presentando.
- Un sistema administrativo ágil, flexible y que tenga una capacidad de autocorregirse rápidamente.
- Un sistema internacional, que promueve patrones de comercio y financiamiento sostenible.

3.2.2. Manejo de las cuencas alto andinas en el imperio incaico

Es de resaltar que la cultura incaica, desde sus etapas pre Inca e Inca, tuvieron una concepción de la cuenca y de sus recursos naturales como algo sagrado y lleno de divinidad, por ello consideraban y trataban con veneración a los diferentes elementos naturales de los que se componía, por ejemplo a la tierra la llamaban: **Mama Pacha** o **Pacha Mama**, que significaba Madre Tierra; al sol lo llamaban: **Taita Inti**, que significa Dios Sol o Padre Sol; a la luna la llamaban: **Mama Killa** que significa Madre Luna; al mar lo llamaban: **Mama Qucha** que significaba: Madre Lago; considerando al agua con mayor veneración aún, pues entendían bien que sin ella no podían vivir y que por lo tanto constituía un regalo u ofrenda de Dios, que debería ser cuidada, protegida y venerada. De igual manera a la variada flora y fauna que existía en la cuenca la consideraban y trataban con veneración y mucho respeto; por ello, la relación entre el hombre y la naturaleza o el hombre y su medio o entorno natural era totalmente armonioso, de equilibrio, de respeto y culto a la

naturaleza, pues comprendían bien que de los recursos naturales dependía su supervivencia, por eso cuidaban y manejaban celosamente sus recursos naturales; producto de todo ello, queda hasta nuestros días excepcionales trabajos realizados desde esas épocas sobre ordenamiento y acondicionamiento territorial y manejo de los recursos naturales que se
llevaron a cabo sabiamente en diferentes partes de su territorio, sobresaliendo: Valle Urubamba (Cuzco), Valle del Colca (Arequipa), Laraos (Lima), Andamarca (Ayacucho), Cumbemayo (Cajamarca), Valles Chicama (La Libertad), entre muchos otros lugares a lo largo de todo el territorio nacional actual.

Así mismo, la organización místico-militar, el derecho y código moral incaico que era muy justo y severo y el gran liderazgo de sus autoridades y líderes que caracterizó a los antepasados incas y pre incas, fue el pilar para lograr la participación activa de todos sus integrantes en las tareas de conservación y protección de sus recursos naturales, en la construcción y mantenimiento de la infraestructura productiva y de servicios, realizándolas con alegría, entusiasmo, fraternidad, dedicación, esmero y en un ambiente festivo; pues al final de cada tarea siempre compartían los alimentos y bebidas que habían preparado para la ocasión; previa ceremonia de agradecimiento a Dios o llamada también : **El pago a la tierra o pago a la Mama pacha**.

Algo que es bueno resaltar para explicarnos mejor la gran visión y excepcional trabajo de conservación, manejo y protección de los recursos naturales en las zonas alto andinas– millones de has andenadas y extraordinarias obras hidráulicas y desarrollo de una agricultura floreciente, entre otras - que se llevó a cabo en las etapas del incanato, fue debido al gran liderazgo de sus autoridades, su Derecho Incaico que se caracterizó por ser justo y muy severo y su **Código Moral** muy claro y sencillo y que se basó en 5 grandes y sabios mandamientos:

Ama Sua: No seas ladrón.
Ama Llulla: No seas mentiroso.
Ama Quella: No seas ocioso, flojo, haragán.
Ama Llunku: No seas servil, sobón, intrigante, doble cara. **Ama Saruy**: No seas abusivo u opresor por el poder.

En base a estos verdaderos mandamientos, disciplinadas y sólidas organizaciones en su población y una admirable y efectiva participación de toda su gente en las tareas que se programaban o decidían llevarse a cabo.

Los líderes y autoridades del incanato comprendían a cabalidad y por su propia experiencia que el uso y aprovechamiento racional de los recursos naturales así como el manejo, la conservación y la protección de las cuencas y de su medio ambiente, se lograba a través de la ejecución de medidas y acciones orientadas a la activación del ciclo hidrológico y garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Entre tales medidas hoy las podemos sintetizar en las siguientes acciones:

- Elaborar y aprobar concensuadamente por parte de los propios lugareños e interesados un plan maestro de ordenamiento territorial de las micro cuencas, sub cuencas y cuenca hidrográfica en general.
- Tratamiento desde la parte más alta de la cuenca, sub cuenca, y micro cuenca hacia abajo, a fin de retener el agua en épocas de lluvia y activar el ciclo hidrológico para dosificar su abastecimiento a las partes bajas en las épocas de estiaje o de ausencia de lluvia y al mismo tiempo manejar o disminuir los efectos de huaycos, deslizamientos, inundaciones, etc.
- Controlar la erosión de los suelos y aumentar la infiltración del agua de lluvia desde las partes altas y medias de las cuencas, sub cuencas o micro cuencas, mediante la construcción de zanjas de infiltración y la repoblación y manejo de pastos, la siembra de árboles, el desarrollo de prácticas adecuadas en el manejo de los cultivos, la siembra de árboles de los cauces y riberas de los ríos o fuentes de agua, entre otras medidas.
- Distribuir equitativamente el volumen de agua en toda la cuenca, sub cuenca o micro cuenca a fin de satisfacer en forma adecuada la demanda de los diferentes actores o usuarios, trasladando el agua desde donde haya excesos o no se requiera, hacia los lugares donde se necesite con mayor urgencia, mediante trasvases, canales, lagunas, reservorios, entre otros.
- Cuidar celosamente las “cabeceras de cuenca”, que normalmente son los lugares donde se presentan las mayores descargas de lluvia y que una gran parte del agua se infiltra y fluye a través del sub suelo hacia las partes bajas; el resto fluye por los ríos hacia las partes bajas de las cuencas.
- Cuidar y mantener la calidad de las aguas, evitando su contaminación para un aprovechamiento sostenible por los diferentes usuarios y el mantenimiento de la biodiversidad.
- Preservar y proteger la diversidad biótica y ecológica de la cuenca, sub cuenca y micro cuenca.
- Proteger los suelos de la deforestación, sobrepastoreo, la erosión, la contaminación, etc.
- Desarrollar acciones concretas de lucha contra la pobreza y pobreza extrema, a fin de mejorar el nivel de vida de la gente.

- Promover y desarrollar programas de educación y planificación familiar, a fin de fomentar una conciencia del uso racional y protección de los recursos naturales y medio ambiente.
- Promover la participación activa de la población en las actividades de planificación, difusión, manejo y conservación de los RRNN y la protección del medio ambiente.

3.3. Gestión de cuencas hidrográficas

Es la dirección ejecutiva de todo el proceso de programación de actividades y presupuestos; coordinación con la población y con líderes locales y personas representativas del lugar, aspectos legales, laborales, administrativos y de ejecución del plan de manejo de la cuenca por parte de los diferentes actores sociales e institucionales (población, maestros, productores rurales, comunidades, autoridades religiosas, dirigentes, instituciones gubernamentales y privadas, empresas, entre otros) que operan o viven en la cuenca.

Por otro lado, las fases en la gestión de las cuencas o micro cuencas son la sensibilización de la población beneficiaria o lugareña sobre la problemática y la solución a tales problemas, la participación, la concertación y búsqueda de consenso, el diagnostico, la planificación, la implementación, el monitoreo y seguimiento y la evaluación de los avances y resultados alcanzados. La sensibilización y la búsqueda de consenso ayudará a lograr una participación decidida de la población objetivo en la implementación y posteriormente en la sostenibilidad de las acciones llevadas a cabo. **Los componentes necesarios para la gestión de las cuencas son los siguientes:**

- Instalación de una autoridad de la cuenca.
- Conformación de un equipo multidisciplinario responsable de la coordinación y ejecución del trabajo.
- Identificación de los principales actores sociales o institucionales de la cuenca.
- Contar con un adecuado presupuesto y una eficiente administración.
- Contar con un plan de manejo de la cuenca, sub cuenca o micro cuenca totalmente consensuado para una implementación efectiva.
- Decisión política de las autoridades de nivel nacional, regional y local.
- Monitoreo y supervisión periódica del plan de actividades que se programen y lleve a cabo.
- Coordinación y concertación entre los diferentes actores.

- Contar con las normas específicas para la organización, implementación y operación del proyecto y el manejo y supervisión de los recursos económicos del proyecto.

a) Instalación de una autoridad de la cuenca

La autoridad de la cuenca deberá representar a todos los actores sociales e institucionales de la cuenca, no sólo para coordinar los trabajos a llevarse a cabo, sino también para establecer mecanismos y compromiso de ayuda mutua y colaboración para la realización de las actividades que se programen, buscando siempre el diálogo, la concertación y el consenso; pues los conflictos sociales o ambientales deben prevenirse y evitarse al máximo.

b) Elaborar un plan de manejo y gestión de la cuenca

Para llevar adelante una gestión exitosa de una cuenca, se debe partir contando con un plan de ordenamiento territorial y de manejo de la cuenca; el cual debe ser expuesto a todos los actores y líderes de la cuenca a fin de que estén informados y puedan opinar y absolver dudas e inquietudes y sentirse como parte de dicho plan. Las sugerencias que sean válidas deben ser incorporadas en el plan de manejo; para poder decir finalmente que es un plan concertado y no impuesto. Así se podrá evitar muchos malos entendidos y distorsiones de la verdad.

c) Conformación de un equipo multidisciplinario

Este equipo se encargará de llevar a cabo un diagnóstico y evaluación del estado de conservación y potencialidad de la cuenca, el mismo que debe constituir la base para la elaboración del plan de manejo y gestión de la cuenca, la priorización de las sub cuencas y micro cuencas donde deben iniciarse las acciones de mayor importancia, la promoción de las organizaciones locales para el manejo racional de los RRNN de la cuenca y la protección del medio ambiente; así como para apoyar a la formación y el fortalecimiento de la autoridad de la cuenca.

El equipo debe ser contratado por el Estado o alguna otra institución u organización interesada en la elaboración del diagnóstico y el plan de manejo de la cuenca, así como para su implementación; pudiendo encargarse a otras instituciones u organizaciones públicas o privadas la realización de ciertas obras o actividades contempladas en el plan de manejo y gestión.

El equipo multidisciplinario estará conformado por Ingenieros agrónomos, agrícolas, forestales, zootecnistas, economistas, biólogos, cartógrafos, ambientalistas, sociólogos, entre otras especialidades.

d) Identificación de los principales actores sociales e institucionales de la cuenca

Los actores sociales e institucionales de una cuenca son aquellas personas, comunidades, organizaciones, instituciones o empresas públicas o privadas que viven, aprovechan el espacio, extraen y transforman los recursos naturales dándoles un valor agregado y también son los responsables del deterioro o depredación de los recursos naturales y del medio ambiente, o si actúan responsablemente serán los artífices de lograr un manejo sustentable de la cuenca. Todo dependerá del grado o nivel de liderazgo que tengan las autoridades y líderes de la cuenca a fin de concertar, coordinar y participar en el desarrollo y supervisión de las actividades relacionadas a los recursos naturales y medio ambientes que se lleven a cabo. Aquí, es bueno resaltar que es hora de dejar de ser simples espectadores o "criticones", y convertirnos en actores y responsables del futuro de nuestras cuencas y nuestro medio ambiente. Se debe tener presente que "nadie" se preocupará más por mejorar tu calidad de vida, que tú mismo.

e) Contar con un adecuado presupuesto y una eficiente administración

Es fundamental que la autoridad de cuencas tenga sus propios recursos económicos para llevar adelante el plan de manejo que programen y que permita lograr un desarrollo sustentable. Sin los recursos necesarios, sólo se quedará en buenos planes o buenas intenciones y nada de realidades.

Los fondos económicos deben provenir del gobierno central, regional y local y asimismo de todas las personas naturales o jurídicas que utilizan los recursos naturales o quieran apoyar la conservación y protección de los recursos naturales y el espacio territorial de la cuenca. Así por ejemplo, en las ciudades de las partes bajas de la cuenca que utilizan el agua que proviene desde las partes altas de la cuenca, lugar donde se deben llevar a cabo trabajos de envergadura sobre cosecha de agua de lluvia, conservación de suelos, reforestación, recuperación de pastizales, entre otros. Estos trabajos requieren inversión; de no hacerlo, al final se tendrá menos agua, ¿Conviene esta situación?.

Definitivamente que no, por ello se debe tener cabal conciencia de pagar una tarifa adecuada por el uso de este vital recurso. Así, podemos seguir haciendo una serie de reflexiones que conduzcan a poder fundamentar para poder contar con mayores recursos económicos para realizar o llevar a cabo el plan de manejo y gestión de la cuenca, que garantice un desarrollo sostenible de la misma.

f) Contar con un plan de manejo y gestión de la cuenca, sub cuenca y micro cuenca y su implementación

El Plan de Manejo de la cuenca, sub cuenca o micro cuenca que haya sido elaborado por el equipo multidisciplinario, debe ser concertado y consensuado con los líderes y principales actores de la cuenca y finalmente debe ser aprobado por la autoridad de la cuenca. Este plan debe ser el instrumento base para el desarrollo de todas las actividades en la cuenca a corto, mediano y largo plazo, el cual debe contener también los compromisos que asumen cada líder o actor para la realización, seguimiento y supervisión de las obras o actividades que se lleven a cabo.

La implementación y ejecución del plan de manejo tiene que contar con la participación activa de la población, líderes y actores que tienen relación alguna con sus recursos naturales y el espacio físico de la cuenca , así se podrá garantizar su viabilización y sobre todo su sostenibilidad.

g) Decisión política y compromiso de las autoridades gubernamentales

La decisión política y el compromiso sincero que puedan asumir las autoridades gubernamentales de nivel central, regional o local son fundamentales para la asignación y consecución de los recursos económicos necesarios para elaborar el plan de manejo y gestión de la cuenca. Sin ello, no se puede convocar ni comprometer a los diferentes actores de la cuenca.

h) Monitoreo y supervisión periódica del plan que se programe y lleve a cabo

Es esencial que esta labor se lleve a cabo con absoluta responsabilidad. No sólo debe efectuarse una evaluación y control permanente de las actividades que se estén llevando a cabo respecto a la calidad, cronogramas, presupuestos, etc., sino también efectuar acciones inopinadas al uso de los recursos naturales de la cuenca, al accionar de algunos responsables o de eventuales hechos que estén generando cierto malestar en la población a fin de aplicar los correctivos oportunos rápidamente. Aquí también es recomendable proponer a la autoridad de la cuenca que se puedan evaluar el otorgamiento de ciertos incentivos o premios a los actores sociales o institucionales que se destaquen en el desarrollo de las actividades programadas o en el buen uso de los recursos naturales, a fin de motivarlos.

i) Coordinación y concertación entre los diferentes actores

La implementación del plan de manejo y gestión de la cuenca, exige que la cabeza del equipo responsable de tal tarea sea un líder, que convoque a los diferentes actores tanto a nivel personal como institucional para coordinar y concertar criterios, políticas y estrategias de trabajo, resultados a esperar, etc.; a fin de aunar esfuerzos, definir responsabilidades de cada uno de los actores, uniformizar el mensaje, entre otros. Sin una coordinación y concertación adecuada con todos los involucrados, los resultados esperados serán pobres; por ello se debe unir esfuerzos y voluntades por un fin mayor: manejo sostenible de la cuenca.

j) **Normas específicas para la operación eficiente del proyecto** La autoridad debe ejercerse en base a una serie de normas legales y administrativas que sean dadas por las autoridades o instancias competentes a fin de que se cumplan los objetivos trazados y lograr una gestión transparente y de confianza ante los diferentes actores. Es conveniente que el proyecto tenga un carácter autónomo a fin de evitar una serie de instancias, que muchas veces pueden convertirse en trabas.

Nacimiento del PRONAMACHCS, una experiencia que trasciende

A continuación se describen algunos aspectos breves sobre el nacimiento del Programa Nacional de Manejo de Cuencas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS) y la creación de las primeras Autoridades de Cuencas en el Perú.

En las décadas del 70 e inicios del ochenta, se comienza a ver la importancia de tener una concepción sistémica y global de la cuenca; es decir que se valore y se maneje las partes altas y medias, que si se llevó a cabo en el incanato, y también las partes bajas de las cuencas. Bajo este enfoque es que se inicia su difusión en la Universidad nacional Agraria La Molina, nació el Proyecto Nacional de Conservación de Suelos, gracias al financiamiento no reembolsable de 1 Millón de dólares americanos que dio la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID) al Estado Peruano. Este proyecto inició sus operaciones en la Dirección General de Aguas del Ministerio de Agricultura en 1980 y que duró hasta 1985 y luego siguió sus operaciones con financiamiento del Estado peruano hasta el año 1,988, en que por DS 002-88-A6 se crea el Programa Nacional de manejo de Cuencas y Conservación de Suelos, sobre la base del Programa Nacional de Conservación de Suelos. Con este paso se logra institucionalizar los logros alcanzados en materia de conservación de suelos hasta ese momento.

En la década del 90, a partir de 1991 en que se promulga el Decreto Legislativo 653, conocido también como “Ley de promoción de inversión privada en el Sector Agrario”, en su segunda disposición complementaria de esta norma se establece: “Declárase de interés y carácter nacional al programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS); lográndose así consolidar este programa, para luego potenciarlo y ampliar sus funciones para convertirlo en la institución promotora del desarrollo rural para toda la zona altoandina de la sierra peruana; los logros obtenidos así lo demuestran.

Asimismo, a partir de esta norma se comienzan a organizar algunas autoridades de cuenca en la vertiente del Pacífico, teniéndose entre ellas a la Autoridad de la cuenca Chancay- Lambayeque, de la cuenca de Rímac – Lurin – Chillón, entre otras. El objetivo fue impulsar el enfoque sistémico que debía dársele a una
cuenca, para así poder llevarse a cabo los planes y programas que permitan lograr un desarrollo sustentable. Aquí jugó un rol importante el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), la Dirección General de Aguas, el Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), la Universidad Nacional Agraria La Molina, entre otras instituciones. Lamentablemente a partir del año 2,003, se da inicio a la “desactivación” real de las actividades del PRONAMACHCS, hasta que finalmente en 2,006, se cambia de nombre por AGRO RURAL, con lo cual en la práctica se desactivó al mejor programa de desarrollo rural que haya tenido la sierra altoandina.

Con la expedición de la nueva ley de Recursos Hídricos, N° 29338 en el año 2009, se impulsa mucho más el trabajo de organización y puesta en funcionamiento de las autoridades de cuencas hidrográficas a nivel nacional, pues el gobierno central a través de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) dispuso de recursos económicos importantes por este fin.

Es de resaltar que el PRONAMACHCS inició en el año 1,999 la puesta en marcha de un ambicioso programa, llamado **“Sierra Verde”**, que consistía en reforestar 1 millón de hectáreas en las partes medias y altas de las cuencas alto andinas del Perú , programa que en su primera etapa duraría 5 años y para su desarrollo, el Gobierno Central asignó el presupuesto económico necesario y como parte de ello se compró 1,100 tractores de 110 Hp de potencia completamente equipados para ayudar a construir las zanjas de infiltración, que era parte medular para las plantaciones forestales pues uno de los objetivos principales de estos trabajos era captar e infiltrar el agua de lluvia para recargar el acuífero y disponer de más agua en las partes medias y bajas de las cuencas, aparte de darle una mayor humedad a las plantaciones forestales y pastizales. Lamentablemente en el año 2001 fue cancelado este programa y lo primero que

se hizo fue rematar los 1,100 tractores, los cuales fueron a parar casi en su totalidad en la Costa.

Experiencia de un desarrollo rural integrado en la sierra peruana: Caso Porcón

Es conveniente resaltar la existencia de la Cooperativa de trabajadores "Granja Porcón", empresa autogestionaria ,ubicada entre los 3,200 y 4,000 msnm, en la Provincia de Cajamarca, que cuenta con unas 12,000 has , de las cuales alrededor de 11,000 has están reforestadas y en el resto del área cultivan productos alimenticios y pastos. Esta área constituye la mejor área de desarrollo integral de la sierra peruana, pues aquí se integran: reforestación, pastos, ganadería, agroindustria, agricultura, piscigranjas, turismo, comercio, envasado de aguas naturales, etc.

Hasta inicios de la década del setenta, gran parte de toda el área de la empresa estaba cubierta por "ichu", y pastos naturales de altura; sus trabajadores se dedicaban mayormente a la ganadería de altura y estaban en situación de pobreza y no tenían ni siquiera leña para cocinar sus alimentos, recurriendo al uso de arbustos, paja seca o excremento seco de ganado para cocinar sus alimentos. En los años 1974 a 1975, gracias a la presencia de la Cooperación Técnica Belga y al esfuerzo y participación de muchos profesionales y técnicos agropecuarios , se inició la siembra de especies arbóreas: Eucaliptos y pinos; luego se fueron sumando esfuerzos de diferentes instituciones gubernamentales y privadas, habiéndose logrado a la fecha tener sembradas y en producción más de 11,00 has de bosques, siendo sin lugar a dudas la mejor muestra de lo que se puede lograr en estas partes altas y medias de las cuencas alto andinas : **Generación de riqueza, más agua, mejor clima, contribuyendo a la descontaminación del planeta, extraordinario paisaje, punto obligado de visita de turistas y sobre todo un buen nivel de vida de sus trabajadores y socios de la empresa**. Todo ello gracias al trabajo armonioso y dedicado de su propia gente, encabezado por sus líderes señores Alejandro Quispe Chillón y Manuel Quispe Chillón. Un aspecto que merece ser tomado en cuenta en lo referente a su fe religiosa, es una Comunidad Cristiana, ordenada, que aplican principios básicos: **trabajar el uno para el otro, con disciplina, orden, dedicación y fe inquebrantable en Dios**.

Toda esta empresa asociativa constituye un ejemplo de un verdadero desarrollo rural integrado que debe ser aplicado a lo largo y ancho de las diferentes cuencas alto andinas del Perú y el mundo.

3.3.1. Pasos a llevarse a cabo para la gestión de una cuenca

Para llevar a cabo la gestión de una cuenca hidrográfica, es conveniente tener en cuenta los siguientes pasos:

a) La Conformación de un equipo multidisciplinario

Es sumamente importante tener presente que para llevar adelante un plan de manejo y gestión de una cuenca se debe constituir un equipo multidisciplinario y que al mismo tiempo se cuente con un financiamiento para que se pueda llevar a cabo los trabajos programados y para que así se pueda contar con un plan maestro de ordenamiento, manejo y gestión de la cuenca. Para que se pueda llevar a cabo la implementación de dicho plan, es fundamental lograr la participación activa de la población en todas las acciones que se programen a llevar a cabo.

Aquí es bueno resaltar que en la cuenca se puede presentar situaciones como las siguientes:

Puede darse el caso que los actores estén dispersos y aislados, con escaso nivel de organización y participación en la problemática de los RRNN. Aquí, el equipo multidisciplinario podría actuar como el convocador y motivador para que puedan organizarse los actores sociales e institucionales que viven u operan en la cuenca a fin de que se internalicen en la problemática de sus RRNN y el medio ambiente, y consecuentemente puedan participar en las soluciones que se planteen.

b) Identificación y motivación de los actores sociales e institucionales de la cuenca para que puedan participar en los estudios, en la elaboración del plan maestro de ordenamiento, manejo y gestión de la cuenca y en su posterior implementación o ejecución.

Uno de los aspectos clave en la gestión de una cuenca, es la identificación de los diferentes actores sociales e institucionales que viven u operan en la misma y al mismo tiempo conocer el grado de sensibilización que puedan tener para poder llevar a cabo un plan de manejo participativo y mancomunado de las acciones que se encuentran contenidas en el plan maestro de la cuenca. De acuerdo a lo señalado, se requiere llevar a cabo las siguientes acciones:

- Definir los actores sociales e institucionales que viven u operan en la cuenca, para lo cual es fundamental llevar a cabo una visita de campo a las diferentes sub cuencas e incluso hasta nivel de microcuencas. Para ello se debe aprovechar la organización y experiencia de instituciones como el Ministerio de Agricultura, Educación, Salud, entre otras. Asimismo también se debe aprovechar la experiencia y conocimiento de la realidad que puedan tener algunas ONGs que

trabajan en la cuenca y las organizaciones sociales, culturales, gremiales entre otras que ya existen en la cuenca.

- Llevar a cabo algunas acciones o prácticas demostrativas de campo con la participación de líderes locales, autoridades y responsables de instituciones de la cuenca. Aquí es importante que se convoque a jóvenes de la zona, para motivarlos y tratar de involucrarlos en estas actividades, pues en estos trabajos de campo, cobra plena vigencia lo manifestado por Santo Tomás: "Ver para creer", pues no olvidemos que todas estas poblaciones lugareñas han sido engañadas por siglos o han estado abandonadas a su suerte, en consecuencia tienen razones más que suficientes para dudar o desconfiar.

c) Realización de un diagnóstico físico-natural , socioeconómico y cultural de la cuenca, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

c.1 Aspectos físico-naturales

- Identificación y evaluación de los recursos naturales existentes en la cuenca abordando sus potencialidades y problemática.

- Definir la ubicación de las áreas críticas y que son altamente sensibles a posibles desastres, en base a los estudios y evaluación técnica así como también a la información obtenida de la poblacional y demás actores de la cuenca y de las visitas y observaciones de campo que se hayan efectuado: deslizamientos, huaycos, inundaciones, cárcavas, erosión, etc., y subterráneas por cada subcuenca y si es posible por microcuencas y finalmente a nivel de toda la cuenca.

- Identificación y evaluación de los conocimientos tecnológicos que puedan tener los diferentes actores respecto al potencial, aprovechamiento y conservación de los RRNN y el medio ambiente, pisos ecológicos y zonas de producción. Esta tarea se lleva a cabo mediante observaciones directas de campo, entrevistas a los diferentes actores sociales, institucionales y empresariales que trabajan o utilizan el agua de la cuenca o sub cuenca.

- Identificación y evaluación de la potencialidad de los RRNN, su problemática, su ordenamiento territorial y otros aspectos a nivel

de subcuencas y microcuencas; donde se podrán conocer la situación de la agricultura, ganadería , forestal, disponibilidad de agua, manejo de dichos recursos, zonas y puntos vulnerables, etc., etc.

c.2 Aspectos socioeconómico y cultural

- Identificación sistemática de los actores sociales que intervienen en la cuenca, distinguiendo los actores que son activos: aprovechan los RRNN y los actores pasivos; consumen los productos de las cuencas, reseñando su comportamiento real con los RRNN, mediante informaciones obtenidas con encuestas y estudios previos; así como también de entrevistas rápidas mediante estudios de caso de las principales sub cuencas y microcuencas.

- Diagnóstico del nivel organizacional de los actores sociales a nivel local, microcuenca, subcuenca y cuenca misma, así como también de su comportamiento y visión del mundo en relación a los RRNN y el medio ambiente.

- Precisión de las condiciones socioculturales y económicas que impulsan o limitan el trabajo de los diferentes actores en relación al tratamiento adecuado de los RRNN.

- Identificación y evaluación de las principales instituciones que operan en la cuenca

- Evaluación e identificación de los aspectos más importantes relacionados con el ordenamiento territorial de la cuenca.

- Delinear una posible estrategia para la constitución y operación de una autoridad de cuenca hidrográfica tomando en cuenta los aspectos físicos, organizativos y culturales de los diferentes actores de la cuenca; detallando como coinciden a la cuenca y sus problemas, la rentabilidad que puedan tener o generar el aprovechamiento de sus RRNN existentes en la cuenca y los aspectos claves o importantes que inciden en la conservación de los RRNN y su medio ambiente.

- Sistematizar y evaluar las aspiraciones, valores culturales y planes y proyecciones de los actores sociales en relación al manejo de los RRNN y su nivel de vida, a nivel de cada

subcuenca o micro cuencas principales. Dentro de los principales actores sociales se tienen :

- Las organizaciones locales, cuyos miembros operan con los RRNN de la cuenca y se encuentran lejos de la fuente de agua de la misma.
- Las organizaciones locales que operan en la cuenca y se encuentran cerca de la fuente de agua, formando pequeños centros poblados, pequeñas o medianas ciudades y que normalmente está representados por los municipios delegados, municipios distritales y los municipios provinciales.
- Las empresas públicas o privadas que extraen o aprovechan los RRNN de la cuenca, sub cuenca o microcuenca: empresas eléctricas, de agua potable, de construcción de conectoras, obras hidráulicas para riego; empresas mineras, de turismo, agrícolas, ganaderas, acuícolas, de artesanía, etc., etc.
- Las instituciones públicas y privadas que promueven el buen uso y aprovechamiento de los RRNN, ONGs, etc., etc.
- Las organizaciones de usuarios de agua que agrupan a los usuarios de riego, energía, minería, poblacional, turismo, acuícolas, etc.
- Las autoridades de niveles subregionales y regionales que constituyen los gobiernos descentralizados.
- Los gremios u organizaciones rurales.
- El equipo multidisciplinario que trabaja técnicamente.
- Otros

Por otro lado puede darse el caso que a nivel de la cuenca ya exista un nivel de organización de los actores sociales e institucionales en la cuenca, como puede ser el caso para el mejor uso o aprovechamiento de un RRNN, como lo puede ser comúnmente el agua, donde ya vienen operando en algunos casos desde hace miles de años como lo son las organizaciones de agua: Comisión del canal o comisión de regantes; que normalmente han sido y siguen siendo en la mayoría de los casos organizaciones sólidas y que han logrado la participación de todos los usuarios sin excepción alguna. En cualquiera de los casos, el equipo multidisciplinario debe sistematizar los planteamientos y elaborar las estrategias para viabilizar un tratamiento integrado integrado y sistémico de la cuenca, manejo y repoblamiento de pastos, reforestación, sustracción de andenes y terrazas de absorción.

Cuidando y tratando la cabecera de la cuenca se asegurará la disponibilidad de agua de buena calidad en las partes medias y bajas de la cuenca.

Asimismo, las acciones a realizar para el tratamiento de las áreas críticas por la presencia de deslizamiento, huaycos, desbordes de ríos o inundaciones, entre otros; para lo cual se podrá llevar a cabo: desplazamiento o reubicación de grupos humanos a zonas más seguras; campañas educativas, sistemas de avisaje, organización de la juventud rural, defensas ribereñas, etc., etc.

c.3. Medidas relacionadas a la instalación de plantaciones de pastos y forestales y protección de la flora y fauna de la cuenca. Es de vital importancia cuidar y mantener y mejorar la cubierta vegetal así como también proteger la flora y fauna de las microcuencas, sub cuencas y de la cuenca en su conjunto mediante la adopción de medidas de acuerdo a la realidad propia de la zona. Los trabajos de mejoramiento y regeneración de pastos y las plantaciones forestales que se lleven a cabo, deben efectuarse en lo posible con la construcción de zanjas de infiltración para controlar la
erosión de los suelos y mejorar las condiciones de humedad para la cobertura vegetal.

d) Definición y diseño de las principales acciones a realizar en la cuenca: Plan de ordenamiento, manejo y gestión de la cuenca En base al diagnóstico de la cuenca en su conjunto se procede a la elaboración y diseño de las principales acciones que se deben llevar a cabo para la gestión y el manejo de la cuenca en forma sostenible.- Todo esto debe plasmarse en el Plan Maestro del Ordenamiento, Manejo y Gestión de la Cuenca. Las principales acciones que se deben contemplar son:

d.1. Abastecimiento de la demanda de agua de los diferentes sectores ubicados en la cuenca.

En este caso, aquí se deben plantear los proyectos más importantes que permitan mejorar la disponibilidad y distribución del agua en toda la cuenca, mediante la construcción de reservorios, lagunas naturales, canales de riego, proyectos de reforestación y pastizales, etc.

Asimismo se tomará medidas para garantizar la calidad del agua de las sub cuencas y micro cuencas en general, de tal manera que

pueda ser utilizada por los diferentes actores sociales de las cuencas, sin daños en la salud o en la actividad económica que se viene desarrollando o se proyecta llevar a cabo.

d.2. Protección de la cabecera de cuenca y tratamiento de las áreas críticas de la misma

Es fundamental definir las acciones a llevarse a cabo que permitan garantizar la captación y el cuidado de la calidad de las aguas desde la cabecera de cuenca y microcuencas, así como la conservación de suelos y la construcción de infraestructura hidráulica que permita incrementar la capacidad de almacenamiento de las lagunas naturales existentes, reservorios, zanjas de infiltración y trabajos de reforestación y pastizales para la captación e infiltración de las aguas de lluvia, generación de riqueza productiva y el mejoramiento del paisaje y la biodiversidad de la zona.

d.3. Medidas de protección de las ciudades y centros poblados Se debe llevar a cabo programas de protección de las ciudades más importantes de las cuencas, subcuencas y micro cuencas mediante trabajos de construcción de zanjas de infiltración con reforestación y recuperación de pastizales, conservación de suelos, reforzamiento de las laderas aledañas a las ciudades, desplazamiento y

reubicación de la población de las zonas críticas, protección y defensas ribereñas de las zonas que pasan por las ciudades, entre otras acciones. En todas las acciones que se propongan para ser llevadas a cabo a cabo deben participar las autoridades municipales, las organizaciones sociales de la zona y la población en general, para así recibir sus opiniones y sugerencias y de ser el caso considerarlas en el plan que se proponga.

d.4. Monitoreo y control de la calidad de las aguas

Es de suma importancia llevar a cabo un programa permanente de monitoreo y control de la calidad de las aguas de las diferentes fuentes: superficiales, subterráneas, lagos, lagunas, puquiales, manantiales; etc., así, en base a ello se podrá implementar los correctivos que sean necesarios a fin de garantizar agua de buena calidad en forma sostenible.

d.5. Plan de ordenamiento territorial y la zonificación ecológica y económica

Un aspecto de mucha importancia es poder tener un plan de ordenamiento territorial de la cuenca, subcuencas y microcuencas,

pues así se podrá lograr aprovechar adecuadamente el espacio físico según su capacidad de uso o potencialidad.- Además, se podrá proyectar el establecimiento de los centros poblados, ciudades, los centros industriales, centros mineros, los proyectos energéticos, los proyectos y circuitos turísticos, la ubicación de reservorios o embalses de agua, etc.

d.6. Medidas que tienden a garantizar la gestión de la cuenca Aquí se debe plantear las medias que se consideren necesarios para lograr la participación, coordinación y la concertación entre todos los actores para garantizar la ejecución de las diferentes medidas y proyectos que se planteen y que garanticen un aprovechamiento sostenible de los RRNN y del espacio físico de la cuenca. Todo ello se podrá lograr si se crea y fortalece una autoridad de cuenca, cuya característica debe ser la participativa y concertadora con todos los actores y organizaciones sociales e institucionales representativas de la cuenca.

d.7. Medidas que tiendan a garantizar la administración de la cuenca El diseño del Plan de ordenamiento, manejo y gestión de la cuenca deberá contemplar y proveer los fondos que sean necesarios para realizar las principales obras de las cuencas, la forma como deben ser administradas, la información oportuna y transparente de los gastos efectuados, de los proyectos a ser financiados y en ejecución,

el personal que participa o labora en las tareas de manejo y gestión. Por último, debe especificar el sistema de premios y sanciones que se implementarán para estimular así a los actores de la cuenca que cumplan y avancen en sus trabajos y cumplan con los acuerdos realizados.

d.8. Reforzamiento institucional de los diferentes actores que operan en la cuenca

El papel de las instituciones u organizaciones de la zona es primordial, pues no se debe basar el manejo y gestión de la cuenca sólo en un proyecto, sea éste de una entidad pública o privada, se requiere del concurso del conjunto de actores, organizaciones e instituciones que trabajan en la cuenca, pues el trabajo es sumamente grande y en el cual se debe buscar aunar esfuerzos y comprometer a los diferentes actores a que participen decididamente en la implementación y evaluación del plan.

La gestión de las cuencas se debe basar en la participación activa de las diferentes organizaciones e instituciones más estables y

representativas de la cuenca: Gobiernos regionales, Municipios delegados, distritales, provinciales, organizaciones de usuarios de agua, gremios rurales comprometidos con el desarrollo y cuidado de la cuenca, las escuelas, colegios, empresas que operan en la cuenca y los gremios y organizaciones de productores agrarios, universidades, institutos tecnológicos, comunidades campesinas o nativas, etc.

A través de estos proyectos se debe movilizar a los diferentes actores e instituciones para poder conocer sus posibilidades de aporte reales al logro del proyecto y sus compromisos que puedan asumir para que finalmente se pueda garantizar un plan de manejo y gestión de la cuenca y su medio ambiente de forma sostenible.- Por todo ello es clave desplegar un gran esfuerzo en el fortalecimiento organizacional e institucional de los diferentes actores de la cuenca.

e) Priorización de las cuencas, sub cuencas y las micro cuencas

Habiendo realizado los 4 pasos anteriores en relación a la cuenca , subcuencas o micro cuencas, es importante resaltar una vez más, que no se puede esperar simultáneamente que todos los planes y programas que se encuentren contenidos en el plan de ordenamiento, manejo y gestión de la cuenca, se lleven a cabo; esto sería imposible.

Bajo esta realidad y como no se puede disponer de la cantidad de recursos económicos suficientes como para llevar a cabo todas las acciones contenidas en el plan, se tiene que pasar a efectuar una priorización de cuencas, y luego en la cuenca priorizada proceder a priorizar las subuencas y finalmente en estas se priorizaran sus micro cuencas que la conforman; para definir finalmente las zonas de trabajo y las acciones que se llevaran a cabo de acuerdo al plan maestro definido y aprobado.

La priorización de las sub cuencas y micro cuencas, tiene como objetivos los siguientes:

- Detectar e identificar los lugares donde se concentran los problemas físicos y sociales más álgidos, cuyo tratamiento o solución motivará el interés de la población y sus instituciones que operan allí.

- Determinar en qué lugares la población tiene un nivel de participación más activa y eficiente. Para la priorización de las cuencas, las variables más importantes que deben estar presentes son las siguientes :

e.1. Potencialidad de los recursos naturales: agua, suelo, cubierta vegetal, minería, paisaje, energía, pesca, etc.

e.2. Grado de deterioro a nivel de la sub cuencas y micro cuenca de los RRNN en relación a la ocurrencia de desastres naturales como erosión, deslizamientos, huaycos, inundaciones, contaminación de las aguas y el medio ambiente, sequías, etc. y sus impactos en las actividades sociales, económicos, productivas y otras.

e.3. Nivel de organización y conciencias de los diferentes actores sociales de cada una de las sub cuencas e incluso a nivel de micro cuencas; prefiriendo los actores con mayor nivel de organización, iniciativa, capacidad de trabajo y colaboración, experiencia exitosas en el desarrollo de proyectos de desarrollo anteriores.

e.4. Capacidad de generar recursos que aporten al presupuesto de actividades que permitan el tratamiento de la cuenca.

e.5. Disponibilidad de manos de obra local que permita realizar los trabajos que se requieran o programen llevar adelante. Esta evaluación de la PEA debe hacerse a nivel de la sub cuencas e incluso a nivel de micro cuenca.

e.6. Potencialidad a nivel de sub cuencas y micro cuencas para impulsar el ciclo de agua o ciclo hidrológico: áreas para reforestación,
repoblamiento de pastos, zonas de recarga, de agua, áreas para la construcción de reservorios o tratamiento de lagunas naturales existentes, protección y conservación de las cabeceras de cuencas, sub cuencas o micro cuencas.

e.7. Experiencias positivas de participación de la población en proyectos de desarrollo que se hayan llevado a cabo en la zona y que hayan permitido su sostenibilidad.

f) Planificación detallada de los trabajos a desarrollar a nivel de sub cuencas y micro cuencas

Para ello se debe partir del diagnóstico detallado que previamente se haya elaborado para las subcuencas y micro cuencas., para ello se deben seguir los siguientes pasos:

f.1. Se elaboran los planes detallados de manejo y gestión de las micro cuencas priorizadas.

f.2. Las micro cuencas se convierten en las unidades de ejecución, extensión y manejo de los RRNN y su medio ambiente. Para ello, es importante llevar a cabo los siguientes pasos:

- Constituir o fortalecer una organización que ya exista y que sea representativa a nivel de la micro cuenca o sub cuenca priorizada. Aquí es importante evaluar la posibilidad de que si esta organización pueda asumir la responsabilidad de la gestión de los recursos naturales o en todo caso la conformación de un comité de gestión, sobre la base de la organización ya existente. Un comité de desarrollo de la micro cuenca o un comité conservacionista o simplemente comité de microcuenca.

- Teniéndose la organización representativa de la micro cuenca, luego se buscarán a sus mejores representantes para que puedan formar parte de la organización o autoridad a nivel de la sub cuenca priorizada. Aquí es bueno reiterar que desde el punto de vista físico, los trabajos deben iniciarse desde arriba hacia abajo y desde el punto de vista social la organización debe formarse desde abajo hacia arriba.

- Los programas, acciones o actividades que sean priorizadas para llevarse a cabo deben hacerse con mucha cautela y dedicación y deben comenzarse en las zonas con mayor organización, unidad y grado de participación y responsabilidad dentro de las micro cuencas, nunca forzar las cosas.

- Formar y capacitar un sistema de promotores locales y zonales, especialmente conformado por jóvenes líderes del lugar, que no solo difundan y promuevan las técnicas, sino que también dirijan la

ejecución de los trabajos en el campo mismo; y puedan llevar a cabo las tareas de operación y mantenimiento de las obras realizadas; con la finalidad de asegurar su buen funcionamiento y su sostenibilidad en el tiempo.

- Establecer todo un sistema de incentivos o premios para los mejores agricultores, ganaderos, forestales, artesanos, agroindustriales, etc., así como también para los mejores centros poblados, caseríos o comités de gestión y conservación de los RRNN a nivel de la micro cuenca; que

sobresalgan en el desarrollo de los trabajos acordados; esto se puede efectuar mediante la realización de concursos entre comunidades u organizaciones de la propia micro cuenca.

g) Organizar a los actores para el manejo y la gestión de las micro cuencas, como parte del manejo de toda la cuenca

Normalmente los diferentes actores que operan o viven en la micro cuenca, se encuentran desorganizados, actuando en forma dispersa y por su cuenta. Más han escuchado o recibido demandas para que no degraden o mal usen los RRNN y su medio ambiente, pero poco o casi nada han recibido acerca de propuestas técnicas sobre esos puntos.

Por ello, una condición indispensable para la gestión de una cuenca o micro cuenca es organizar a los diferentes actores en una mesa de negociación para analizar los problemas y propuestas que puedan existir y que finalmente se pueda llegar a tener propuestas y tareas totalmente consensadas para llevarse a cabo a nivel de micro cuencas, sub cuencas y finalmente a nivel de cuenca. Las propuestas deben ser en relación a la erosión, el agua, los pastizales, la reforestación, la agricultura y ganadería l, la cosecha de agua de lluvia, protección de la cabecera de cuenca y zonas vulnerables, entre otros. El resultado de este esfuerzo debe ser lograr toda una organización sólida, con objetivos claros y con una mentalidad de cambio y desarrollo para el aprovechamiento racional y sostenido de sus RRNN y la protección de su medio ambiente y el mejoramiento del nivel de vida de la población. Para ello, es fundamental lograr la participación de los jóvenes y líderes de la propia zona, a quienes se los debe capacitar previamente para que así puedan cumplir a cabalidad sus funciones encargadas. Al final de este trabajo se debe lograr constituir comités de gestión de las microcuencas y comités específicos por actividades.

h) Promover la planificación participativa con los actores y líderes de las cuencas, subcuencas y micro cuencas.

La participación activa y decidida de los actores principales y líderes de las micro cuencas, es fundamental para lograr una exitosa ejecución de los programas que se planeen llevar a cabo y sobre todo para garantizar su sostenibilidad; para ello se debe tomar en cuenta las siguientes acciones:

h.1. Motivación y capacitación de los actores y líderes de las micro cuencas, para que puedan tener una sensibilización sobre su problemática y un nivel de organización eficiente.

Antes de pensar en la constitución de un comité u organización alguna al interior de una micro cuenca, es fundamental que los actores estén convencidos que las tareas que se plantean llevar a cabo les conviene a ellos, a sus familias y a toda la comunidad en general y que al mismo tiempo son viables su ejecución.

Si los actores y líderes lugareños están convencidos de la necesidad de realizar las acciones que se planean, pues comprenden bien que si les conviene, entonces si se pueden constituir los comités de manejo y gestión de las micro cuencas, o comités de desarrollo.

h.2. Definir por lo menos una micro cuenca piloto o modelo dentro de las cuencas priorizadas

Se empieza definiendo una micro cuenca que reúna las condiciones necesarias para poder llevar a cabo las acciones o proyectos que se encuentren contenidos en el plan de manejo y gestión de la micro cuenca, como parte de la sub cuenca y cuenca priorizada. En esta micro cuenca se deben desarrollar sectores de tratamiento con los trabajos que se plantean llevar a cabo; remarcando una vez más que tales trabajos deben ser hechos por los propios actores lugareños y lógicamente con el asesoramiento necesario ,y teniendo siempre presente que Santo Tomás dijo: “Ver para creer”, esto es muy aplicado a la población rural lugareña, que para convencerse plenamente de las bondades de las acciones que se plantean llevar a cabo, es fundamental verlas con sus propios ojos.

h.3. Establecimiento de áreas de comprobación

El establecimiento de áreas de comprobación que permitan evaluar y comprobar por los actores mismos del lugar los beneficios que significan el desarrollo de tales prácticas o trabajos que se lleven a cabo, es fundamental. Para ello, se requiere que ellos mismos realicen los trabajos y puedan evaluar los resultados, para que así no les quepa duda alguna.

h.4. Establecimiento de áreas demostrativas

Estas áreas se refieren a la ejecución de obras o proyectos, promovidos por los municipios, ONGs, gobierno regional, o por los propios

lugareños etc., entre dichas obras se tienen, el control de cárcavas, huaycos, defensas ribereñas, caminos y carreteras, obras de agua potable y saneamiento, macizos forestales, semilleros, viveros, pastizales, etc.

Aquí se trata de ubicar un área de importancia que por ejemplo podría estar afectada con huaycos o deslizamientos y que generen serios problemas a las áreas de cultivo, con las carreteras o con la propia ciudad o centro poblado. Se define el tipo de trabajos a desarrollar de forma tal que corrija el problema que afecta. El trabajo culminado y funcionando adecuadamente constituirá el área demostrativa de la bondad y efectividad de los trabajos efectuados y servirá para la toma de conciencia y convencimiento de la necesidad del desarrollo de tales trabajos por parte de los diferentes actores. Además, estas áreas demostrativas podrán servir para traer a personas y líderes de otros lugares para que lo vean en la realidad y puedan evaluar sus beneficios; así se podrá multiplicar masivamente la ejecución de estos trabajos, si los actores ya están convencidos de su bondad e importancia de tales trabajos.

h.5. Establecimiento de sectores de tratamiento

Los sectores de tratamiento son áreas mucho más grandes que abarcan todo un sector o fracción representativa del territorio de la micro cuenca que puede ser toda una ladera o un área determinada, en donde se puedan llevar a cabo una serie de trabajos que incluyan diversas prácticas conservacionistas u obras de desarrollo. Para ello se tiene que contar con el consentimiento respectivo de los propietarios de los terrenos. Eso será posible si es que ellos están motivados o informados acerca de la bondad de los trabajos que se planean llevar a cabo. Si los terrenos son de propiedad de una comunidad, se necesita el acuerdo de la comunidad y al mismo tiempo el compromiso de que los comuneros continuarán con los trabajos, después que ellos evalúen los resultados positivos que significan llevarlos a cabo.

h.6. Establecimiento de áreas masivas o expansivas

Estas se realizan una vez que los agricultores comienzan a estimularse para la ejecución “en grande de estas prácticas”, en sus propias parcelas, una vez que los actores sociales y líderes se hayan convencido de la bondad y viabilidad de las técnicas enseñadas y comprobadas su bondad. Habiendo visto y reflexionado los técnicos con los agricultores acerca de la bondad de las tecnologías en las áreas de comprobación y sectores de tratamiento y habiendo concitado su interés en realizar más prácticas con expresiones como “lo que se ha hecho es sólo un juego”, “mejor adelantar más en mi chacra con estas técnicas”, pueden significar una decisión potencial de los agricultores, que con la estimulación del promotor puede convertirse en un plan de trabajo de ampliación de las prácticas realizadas a manera de prueba.

Este plan que se podría hacer con un organismo comunal e intercomunal, con una asociación de mineros de una sub cuenca, o con las empresas extractivas, debe incluir los lugares de ampliación, las fechas de trabajo, la manera como se les va a apoyar, con otros actores sociales, etc. es indispensable pasar la lista de participantes en los trabajos y establecer un sistema de premios y sanciones al cumplimiento eficiente de lo pactado.

Es evidente que si los actores sociales están motivados para realizar obras, ya sea si están afectados por la falta de protección frente a los desastres, interesados ante la necesidad de habilitar el espacio para obtener mayores índices de productividad o rentabilidad, existen las condiciones para la formación de un comité de gestión de la micro cuenca.

h.7 Principales acuerdos a tomar por las autoridades elegidas a nivel de micro cuenca, sub cuenca o de la cuenca

Los acuerdos tenderán a cubrir una gama de posibilidades para el desarrollo de los diferentes actores sociales y estarán alrededor de los siguientes temas:

- Distribución del volumen de agua de acuerdo a las necesidades de los actores sociales.
- Tratamiento de las áreas críticas para prevenir huaycos, deslizamientos, etc.
- Mantenimiento o mejoramiento de las infraestructuras tales como: canales de riego, reservorios, carreteras, infraestructura eléctrica, caminos, etc.
- Monitoreo y control de la calidad del agua de las diferentes fuentes existentes en la zona.
- Realización masiva de trabajos de cosecha de agua de lluvia en las partes altas y medias de las cuencas, sub cuencas y micro cuencas para mejorar cultivos, plantaciones forestales y pastizales.
- Determinación de la forma como conseguir el presupuesto para la realización de las principales actividades que se emprendan y que sean parte del plan de manejo y gestión.
- Realización de un reglamento para el buen uso de los recursos naturales e infraestructura de la cuenca, sub cuenca o micro cuenca, de cumplimiento obligatorio por todos los participantes de la autoridad de las cuencas.
- Realización de seminarios, intercambios de experiencias, visitas de campo, pasantías, promoción de viajes de capacitación al exterior, uso de medios de comunicación como la radio, televisión, periódicos y revistas para mostrar los avances de las tareas de los diferentes actores sociales de las cuencas, sub cuencas o micro cuencas.

h.8 Colaboración y apoyo mutuo entre los actores

Las obras y actividades que se ejecuten en las microcuencas serán producto del esfuerzo y participación de todos los actores sociales utilizando el principio de la ayuda mutua. Se podrán llevar a cabo jornadas que tengan objetivos claros como manejo del agua, pastos, forestación, construcción de obras de infraestructura, etc.

El tratamiento integral de las cuencas andinas será un trabajo arduo que requerirá de la acción y participación de los diferentes actores involucrados en la autoridad de la micro cuenca.

h.9 Papel del Estado y las instituciones privadas

La experiencia recogida de la mayoría de trabajos de desarrollo rural, llevados a cabo en las cuencas o micro cuencas, tales como: Infraestructura productiva y de servicios, reforestación, pastizales, etc.; siempre fueron hechas ya sea por el Estado o por los propios interesados. Cuando fueron ejecutadas solo por el Estado, los beneficiarios actuaban meramente como agentes pasivos, sin ningún involucramiento ni opinión sobre el proyecto, considerándolo como algo ajeno a ellos. Esta concepción errónea ha venido siendo sustituida por aquella que sostiene que la garantía para el manejo sostenible del espacio, es la actuación concertada y eficiente de los propios interesados con los responsables y representantes del Estado. Se considera que ellos son los principales gestores de las tareas del desarrollo de las cuencas, sub cuencas y micro cuencas. Ellos son los que viven y dependen directamente de los recursos naturales de las cuencas, y en consecuencia son los más llamados a organizarse y enfrentar la problemática del manejo de dichos recursos, pues ellos enfrentan y sufren las consecuencias de no haberlas ejecutado en su oportunidad.

El papel del Estado en este sentido deberá ser promotor, convocador, orientador, supervisor y deben ser los propios beneficiarios o lugareños los ejecutores de las principales acciones de desarrollo que se ejecuten en las cuencas o micro cuencas. Además, algo fundamental que se debe tener presente es que parte del financiamiento requerido, debe ser aportado por los propios beneficiarios, ya sea en trabajo u otra forma de compensación, con lo cual ellos internalizan más el proyecto y consecuentemente se asegura la sostenibilidad del mismo.

En síntesis, se requiere motivar a los propios interesados y beneficiarios, para que tengan una participación activa en todas las acciones de desarrollo que se ejecuten en su zona, a fin de que estén sensibilizados de que tales proyectos o acciones que se lleven a cabo, les beneficia directamente a ellos y a sus propias familias, y que por lo tanto deben participar en la ejecución de tales tareas y posteriormente en el mantenimiento permanente para asegurar así su sostenibilidad.

CAPÍTULO 4

PRINCIPALES PROBLEMAS Y ACCIONES A DESARROLLAR EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA ALCANZAR UN DESARROLLO SOSTENIBLE

4.1. Principales problemas de las cuencas hidrográficas

En las figuras 1 y 2, se muestran las causas y los procesos determinantes en el deterioro de las cuencas hidrográficas.

Entre los principales problemas que caracterizan a muchas de las cuencas hidrográficas y gravitan decididamente para el logro de un manejo sustentable, se tienen:

a. Alta tasa de crecimiento demográfico

El alto crecimiento demográfico es uno de los mayores problemas que el Estado tiene que enfrentar a fin de lograr cierto equilibrio entre el aprovechamiento de los recursos naturales y su regeneración o conservación de algunos de ellos y que son fundamentales para la sostenibilidad de una cuenca hidrográfica: Suelos, cubierta vegetal, agua, entre otros recursos y la tasa de crecimiento poblacional de la cuenca.

En los cuadros siguientes se puede observar el crecimiento demográfico a nivel mundial y a nivel de Perú.

Año	Población Mundial (Millones Personas)
1950	2,518.6
2000	6,070.0
2015	7,210.0
2050	10, 778.0
2100	11,200.0

Año	Población de Perú
1950	7 632,460
2000	26 916,000

2015	31 153,000
2025	34 057,000
2050	46 750,000

La mayor proporción del crecimiento poblacional a nivel mundial se presentó y se presentara en los países pobres o subdesarrollados, teniéndose que en algunos de estos países, el aprovechamiento de los RRNN ya supera en más del 20% a la capacidad regenerativa de los RRNN básicos: Suelos, bosques, pastos, fauna, pesca, etc. Esta cruda realidad debe ser tratada con responsabilidad por los gobernantes y autoridades de estos países, a fin de delinear políticas gubernamentales que ayuden a aliviar y revertir esta situación.

b. Falta de una decisión política y compromiso de las autoridades y líderes gubernamentales

En muchos casos la falta de una decisión política y un real compromiso de las autoridades y líderes gubernamentales desde el más alto nivel, es fundamental para que se lleven a cabo las acciones necesarias para lograr un manejo sustentable de las cuencas hidrográficas.

Es bueno tener presente siempre que pueden existir técnicos y profesionales de muy alta calidad y experiencia, pero que si sus superiores no lo escuchan sus propuestas o no le asignan los recursos mínimos necesarios ¿qué pueden hacer esos profesionales sin recursos y sin el respaldo de sus superiores?, simplemente nada.

c. Políticas nacionales inadecuadas

Normalmente la historia nos enseña que la mayoría de países pobres o subdesarrollados orientaron su clase política gobernante a que el sector rural subsidie a las urbes, donde normalmente se asientan las industrias, a fin de que la mano de obra sea barata proveyéndoles alimentos básicos y materias primas con bajos precios en el mercado y así no exijan por incremento de salarios. Estos bajos precios a los alimentos los podrían lograr ya sea con políticas de importación con subsidios otorgados por el Estado o con bajos precios al productor y que para compensarles les otorgaban ciertos subsidios en los fertilizantes, créditos en la banca estatal, o con “precios de garantía” para sus cosechas, pero que al final no les generaba utilidades en la producción y que por lo tanto no podrían capitalizar.

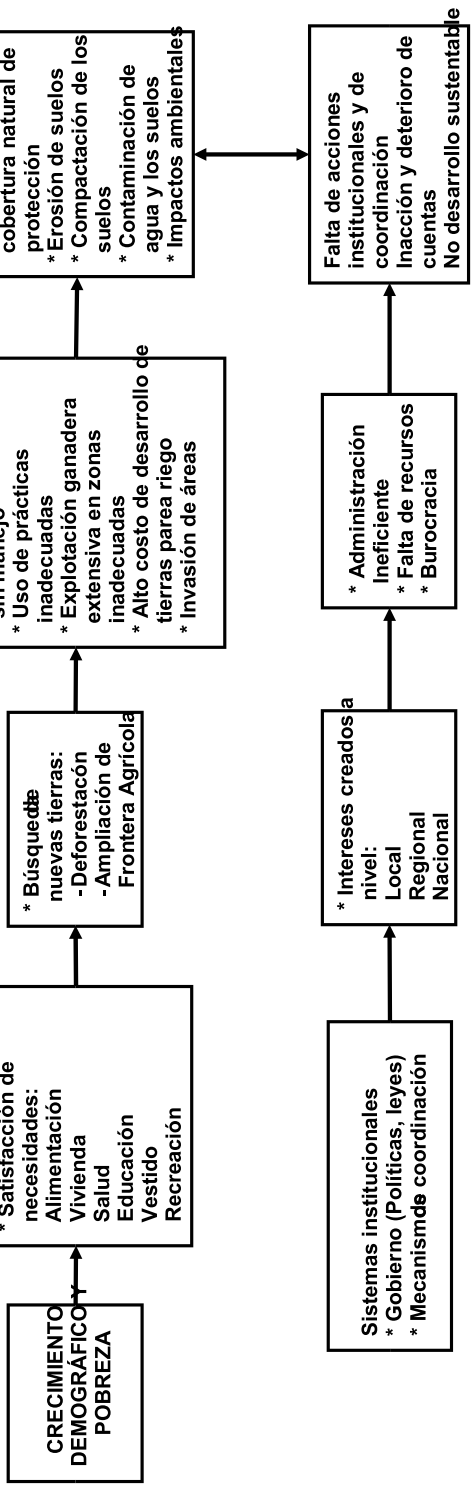


Figura 1.- Procesos determinantes en el deterioro de las cuencas

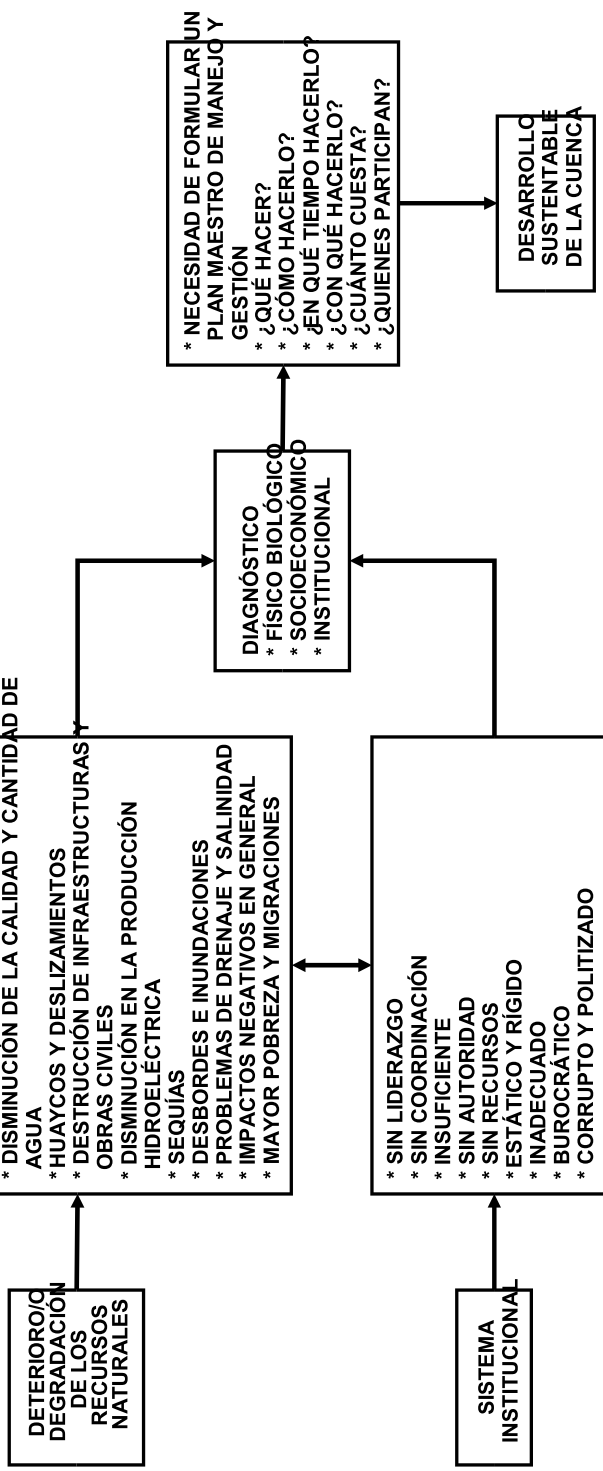


Figura 2.- El deterioro de las cuencas, sus efectos y la necesidad de un plan de manejo integral

Otro aspecto de las políticas nacionales inadecuadas es lo referente a los convenios de integración que muchas veces suscriben los Estados con otros países y que son desfavorables en la mayoría de los casos a los productos nacionales: Pacto Andino, Aladi, etc.

d. Falta de un plan de desarrollo y ordenamiento territorial

Una de las características saltantes de los países pobres o subdesarrollados es el crecimiento desordenado que experimentan, lo cual se debe a la falta de un plan de desarrollo y de ordenamiento territorial. Esta situación les genera un sin número de problemas, teniéndose entre ellos, un crecimiento caótico ya sea económico o urbanístico, generando depredación y mala utilización de sus RRNN, contaminación y sobre costos innecesarios para la provisión de los servicios básicos a su población, entre otros problemas. Sin un plan de desarrollo y de ordenamiento territorial, el crecimiento y desarrollo de un país, una región o una cuenca nunca podrán ser sostenible.

e. Falta de líderes

La falta de verdaderos líderes comprometidos con el manejo, aprovechamiento y conservación de los RRNN es uno de los problemas álgidos; no solo a nivel de comunidad, micro cuenca, subcuenca, cuenca, región o país.

Son verdaderos líderes, aquellos que motivan, organizan, dirijan a la población en la búsqueda y el logro de un manejo sustentable de una cuenca hidrográfica, será muy difícil el trabajo que se pueda iniciar y llevar a cabo sobre todo con el espíritu de que sean sostenibles dichas mejoras. Por otro lado, sin líderes a nivel de las altas esferas donde se toman las decisiones políticas, que se encuentren totalmente comprometidas con el manejo de las cuencas, sus RRNN y la protección del medio ambiente, tampoco será posible avanzar en tales objetivos. Por ello es urgente identificar, formar, capacitar a jóvenes con potencial de liderazgo en todos los estamentos y niveles de la sociedad y que se identifiquen y comprometan plenamente con el manejo y medio ambiente, el calentamiento global y sus consecuencias catastróficas que se prevén afectara a la humanidad en su conjunto. Por ello se requiere verdaderos líderes para evitar la catástrofe en nuestro propio hábitat: ¡La tierra!

f. Producción deficitaria de alimentos

A pesar de los esfuerzos de algunos gobiernos y organismos internacionales de apoyar; a nivel global la producción de alimentos ha sido menor que el crecimiento poblacional; más aún si se tiene en cuenta

que la mayor producción alimentaria se ha dado en los países más desarrollados, siendo dicho incremento en relación al crecimiento poblacional en los países pobres o subdesarrollados mínima, agravando en muchos casos los niveles de desnutrición y pobreza.

Cuadro Nº 1.- Tasa del crecimiento promedio anual del PBI Perú 1950 - 2012

Periodo	Población		PBI Total		PBI Agropecuario	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
1,950 – 1,959	2.6		4.8		1.8	
1,960 – 1,969	2.9		5.8		2.9	
1,970 – 1,979	2.8		3.0		0.8	
1,980 – 1,989	2.3		-0.5		2.8	
1,990 – 1,999	1.8		4.1		5.1	
2,000 – 2,009	1.3		5.3		3.8	
2,010 – 2,015						
1,969 – 1,992*	2.5		1.4		0.8	

* Periodo de Reforma Agraria
Fuente: INEI, BCR, MINAGRI

g. Niveles crecientes de pobreza y pobreza extrema

Los niveles de pobreza y pobreza extrema que existen en vastos sectores de la población que se encuentran ubicados, especialmente en las partes medias y altas de las cuencas hidrográficas; induce a una mayor presión sobre los RRNN, especialmente sobre aquellos que están más al alcance de los hombres: agua, suelos, arboles, pastos, fauna silvestre, etc., etc.; aumentando la contaminación y la depredación de dichos recursos.

Por otro lado, la gran tasa de migración de población lugareña hacia otras regiones es la consecuencia directa de los niveles de pobreza, pues mucha gente sale en busca de mejores oportunidades de vida.

Es de resaltar que en estos sectores de pobreza extrema, existen casos con ingresos per cápita que bordean los $ 300 al año y que se ubican especialmente en las partes altas de las cuencas.

h. Escasez de tierras agrícolas

A pesar que muchos países del mundo, dedican grandes esfuerzos e ingentes inversiones para el incremento de su área agrícola mediante el desarrollo de proyectos de irrigación o mediante proyectos de recuperación y conservación de suelos; sin embargo la tendencia general

de la disponibilidad de superficie agrícola/persona(has/persona) va disminuyendo año a año. En los países pobres o subdesarrollados, donde el crecimiento poblacional es alto, se recurre al uso de tierras no aptas para la agricultura y que sean dedicadas para estos fines con resultados de producción y productividad sumamente bajos; además de la degradación de estas áreas y del medio ambiente. Estas tierras terminarán finalmente totalmente "peladas" y encaminadas a la desertificación.

En el Perú se tiene una relación Tierra cultivada/habitante de alrededor de
0.13 a 0.14 has/habte.

Por otro lado el uso de prácticas inadecuadas como la utilización de surcos en máxima pendiente, la quema de materia orgánica, entre otras prácticas; agravan el problema y reflejan una inacción de apoyo hacia los pequeños productores por parte del Estado.

Es de resaltar un gran contrasentido, especialmente en los países pobres, donde por un lado se esfuerzan en ganar nuevas tierras para la producción agrícola; sin embargo por otro lado su expansión urbana o industrial se realiza básicamente en tierras de óptima calidad, debido fundamentalmente a la ausencia de planes maestros de ordenamiento territorial y desarrollo que guíen el crecimiento de estos países.

Cuadro Nº 2.- Área con potencial agrícola y en producción Perú 2012

Región Natural	Área con amplitud agrícola nacional (has)	Área agrícola bajo riego			Área agrícola de secano		
		Con cultivos	Sin cultivos	Total	Con cultivos	Sin cultivos	Total
Costa	1,686,778	939,292	530,331	1,469,423	-	-	217,355
Sierra	3,296,008	771,246	218,236	989,482	-	-	2,306,526
Selva	2,142,222	97,764	23,231	120,995	-	-	2,021,227
Total	7,125,008	1,808,302	771,598	2,579,900	2,347,376	2,97,730	4,545,107

Fuente: MINAGRI – INEI – IV CENAGRO 2012

Cuadro Nº 3.- Área total de aptitud agraria, Perú 2012

Región Natural	Área total Aptitud agraria		Área total Aptitud agrícola		Área total Aptitud no agrícola	
	(has)	(%)	(has)	(%)	(has)	(%)
Costa	4,441,154	11.5	1,686,778	23.7	2,754,376	8.7

Sierra	22,269,271	57.5	3,296,008	46.3	18,973,263	60.0
Selva	12,093,040	31.5	2,142,222	30.1	9,889,818	31.3
Total	38,742,465	100	7,125,008	100	31,617,457	100

Fuente: MINAGRI – INEI – IV CENAGRO 2012

Cuadro Nº 4.- Productores agropecuarios según tamaño de unidades agropecuarias Perú 2012

Tamaño de la unidad agropecuaria (has)	Nº unidades agropecuarias	Porcentaje (%)	Nº Productores agropecuarios (1)	Porcentaje (%)
Total	2,213,506	100.0	2,199,243	100.0
< 1.5	507,137	22.9	505,853	23.0
1.5 – 2.9	996,277	45.0	994,064	45.2
3.0 – 4.9	251,001	11.3	250,311	11.4
5.0 – 9.9	218,564	9.9	217,766	9.9
10.0 – 19.9	118,274	5.3	117,482	5.3
20.0 – 49.9	75,435	3.4	74,381	3.4
50.0 – 99.9	23,363	1.1	22,554	1.1
➢ 100	23,455	1.1	16,832	1.1

(1) Correspondiente a persona natural con tierras Fuente:
INEI

i. Deforestación y sobrepastoreo

El avance de la deforestación es problema común en todas las cuencas hidrográficas, la cual se da ya sea por la extracción de madera, leña o para desarrollar una agricultura migratoria.

En la actualidad es preocupante la situación de la deforestación; en nuestro país, se tiene una tala de bosques de más de 250,000 has/año y a nivel mundial más de 13 millones de has/año; estas cifras son preocupantes; pues como una consecuencia directa, es el incremento considerable de la tasa de erosión en estas áreas deforestadas; habiéndose obtenido en zonas de Selva y Caja de Selva cifras de hasta 100-150 t/ha-año de pérdida de suelo. A donde estamos conduciendo nuestro planeta bajo esta situación, si las plantaciones de nuevos bosques son sumamente bajas en comparación a lo que se tala. Esta es

la tarea que debemos realizarla con responsabilidad y plena conciencia de sus implicancias.

En nuestro país se tiene inventariadas alrededor de unas 20 millones de hectáreas de pastos naturales y que en casi un 70 a 80% de dichas áreas, están totalmente sobre pastoreados por la sobrecarga de animales. Pastos cultivados existen relativamente pocas áreas a nivel de las partes medias y altas de las cuencas.

En síntesis, el avance de la deforestación y el sobrepastoreo vienen contribuyendo a la alteración del ciclo hidrológico, la presencia más frecuente e intensa de los fenómenos hidrológicos extremos: Sequías e inundaciones y al cambio climático.

j. Altas tasas de erosión y degradación de los suelos agrícolas La erosión de los suelos y la degradación de las tierras productivas son un factor que caracterizan sobre todo a las cuencas que tienen áreas con altas o moderadas pendientes topográficas y un mal manejo del suelo, el agua y la cubierta vegetal.

Hay cuencas donde en algunas de sus áreas se presentan tasas de erosión sumamente altas que van desde unas 80 a 120 t/ha-año, siendo una tasa de erosión hídrica promedio para las cuencas alto andinas del orden de las 20-30 t/ha-año de pérdida de suelo.

Por otro lado en las partes bajas debido a los fenómenos de inundaciones y al mal manejo del agua (grandes pérdidas por percolación profunda), se generan graves problemas de drenaje y salinización de suelos productivos, generando su abandono o baja del nivel de productividad de dichos campos.

Así por ejemplo, en la costa peruana se tienen varios miles de has de tierras productivas con problemas de drenaje y salinidad y también unas 30,000 has que por el desborde de los ríos se han perdido de la producción agropecuaria.

Otra consecuencia de la erosión proveniente de las partes altas y medias de las cuencas es la sedimentación en los grandes reservorios construidos en el lecho de los ríos, como lo es Poechos en Piura, Gallito Ciego en el valle Jequetepeque- La Libertad; entre otros. Este se presenta debido a que no se han desarrollado trabajos de control de la

erosión, reforestación, pastos entre otros en las partes altas y medias de las cuencas.

k. Crecientes niveles de contaminación

Otra característica de las cuencas hidrográficas son los crecientes niveles de contaminación, especialmente del agua, suelo y medio ambiente. En muchas de las ciudades o centros poblados no se desarrollan el tratamiento de las aguas servidas, vertiéndolas directamente hacia los cursos de agua que van hacia la parte baja.

Otra de las causas es el vertimiento de los relaves mineros hacia los cursos de agua y finalmente otra causa importante es la basura que se recolecta de las ciudades o centros poblados y que son arrojados en muchos casos en zonas totalmente inadecuadas y sin el tratamiento y manejo técnico correspondiente.

l. Disminución de la disponibilidad de agua de buena calidad Un grave y creciente problema que la humanidad tendrá que afrontar es la falta de agua de buena calidad, pues el creciente incremento de la población y de la aspiración natural de mejores niveles de vida de la sociedad, genera automáticamente mayores consumos de agua ya sea para uso poblacional, agricultura, ganadería, forestación, industria, minería, energía, recreación, etc., etc.

Esta situación se agrava en muchos de los países pobres o subdesarrollados debido a las bajas eficiencias en el aprovechamiento del agua y alta tasa de contaminación de las aguas de buena calidad por efecto de algunas actividades mineras, población, industrias, etc., etc.

Las bajas eficiencias se dan por la “demagogia” de las autoridades en cobrar bajas tarifas por el uso del agua que mayormente no reflejan sus reales costos y por otro lado la falta de una cultura del agua, que se ve reflejada en una falta de consciencia real del valor del agua en la vida del hombre, por parte de la sociedad en su conjunto.

La aridez o semiaridez de muchas de nuestras cuencas, donde las lluvias se concentran mayormente en solo 2 a 4 meses del año, agrava la situación de disponibilidad de agua; obligando al Estado a construir obras de almacenamiento o transvases de agua de otras cuencas de mayor disponibilidad de agua y que significan grandes desembolsos de dinero.

En el Perú; en la agricultura y bajo el riesgo por gravedad, sus eficiencias promedio fluctúan entre 20 a 30%; mientras que en el uso poblacional, las eficiencia son del orden del 50 al 55%; todo lo cual nos indica el gran desperdicio de agua y la poca valoración por parte de los usuarios a este vital recurso natural. Lamentablemente, algunas veces solo reparamos en su importancia cuando hay sequías (escasez) o cuando ocurren inundaciones y luego cuando se normalizan, nuevamente olvidamos la importancia que se merece este recurso.

m. Falta de apoyo a la pequeña agricultura y nula organización empresarial

En la mayoría de países pobres o subdesarrollados el minifundio está muy acentuado debido al crecimiento del número de integrantes de la familia y a la falta de empleo en los otros sectores económico. Este minifundio aunado a factores de pobreza, falta de preparación, falta de asistencia técnica, desorganización total, falta de apoyo del Estado, carencia de infraestructura y servicios básicos y la baja productividad; llevan inexorablemente a desarrollar una agricultura de subsistencia agravando los niveles de pobreza y consecuentemente la presión sobre los RRNN.

En este panorama, una economía de mercado no "funcionaria" para estos minifundistas, pues su capacidad de negociación y conocimiento del mercado es prácticamente nula. Aquí, es donde le corresponde al Estado apoyar con programas efectivos a estas familias rurales para romper este círculo vicioso y que puedan aspirar lograr un desarrollo y mejoramiento de su nivel de vida; en caso de no hacerlo se tendrían grupos poblacionales sin mayores esperanzas de mejorar y con un resentimiento hacia el Estado por sentirse abandonados a su suerte y lógicamente ser críticos acérrimos hacia una economía de mercado y a una política de integración y globalización.

n. Subsidios en el mercado mundial de alimentos

Todos los países desarrollados o países ricos, otorgan subsidios a sus productores y protegen a su actividad agropecuaria, pues para ellos los alimentos desempeñan un rol estratégico y geopolítico a fin de mantener su hegemonía en el mundo y asegurar su propio abastecimiento. Por ello destinan ingentes cantidades de dinero para subsidiar a sus productores de alimentos básicos: Trigo, maíz amarillo, arroz, azúcar, leche, soya, entre otros; con la finalidad de asegurar una rentabilidad y consecuentemente una alta productividad.

Los excedentes de alimentos son colocados en el mercado mundial con precios por debajo de sus reales costos de producción, generando precios distorsionados en los países importadores de tales alimentos;

ocasionando que los productores nacionales coloquen al mercado sus productos con nulos o mínimos margen de utilidad y por lo tanto no pueden mejorar su tecnología con los consecuentes bajos niveles de productividad, produciéndose una competencia desigual. Los subsidios que otorgan los países ricos a sus productores son del orden de los 300,000 a 400,000 millones de dólares al año.

o. Falta de una política de prevención

En muchos países, especialmente en los países pobres o subdesarrollados el Estado no delinea no implementa políticas de prevención de desastres ante eventuales desastres por efecto de los fenómenos hidrológicos extremos, sequías e inundaciones; más aún como el caso del Perú donde se presentan periódicamente el fenómeno del niño y sequías.

Todo esto se agrava cuando se presenta un manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas, especialmente de las partes altas y medias. La falta de una política de prevención genera grandes impactos sociales y económicos, en especial en los más pobres.

p. Escaza participación de la sociedad

La mayoría de la población asentada en la cuenca hidrográfica de una región o un país es apática o indiferente a participar en la identificación de la problemática y la búsqueda de sus soluciones de la propia cuenca, subcuenca, micro cuenca o espacio donde habita. Esta indiferencia puede deberse al desconocimiento del tema o al egoísmo que lo envuelve, pues considera que “sólo el” ó “ella” pueda protegerse y que no necesita de nadie; lo cual indudablemente no es así. El deterioro o problemática que afecta a nuestro hábitat nos afecta a todos los seres humanos sin distinción de raza, posición económica, creencias, etc., y si no analicemos ahora con el incremento de la incidencia de los rayos ultravioletas que viene afectando a millones de seres humanos y que muchos de ellos terminarán con enfermedades como el cáncer a la piel; etc. o el efecto invernadero y el calentamiento global que afecta a nuestro planeta y las consecuencias las sufre el hombre en general.

q. Falta de titulación de tierras

Un problema adicional que se presenta en la mayoría de las cuencas hidrográficas especialmente en los países pobres o subdesarrollados es la falta de titulación de las tierras de grandes extensiones del territorio, generando toda una inseguridad jurídica, informalidad e incremento de los conflictos sociales. En las zonas tropicales, las “concesiones

forestales" que otorga el Estado a particulares, termina acelerando el proceso de deforestación y degradación de dichas áreas.

La definición y culminación de toda la titulación de las tierras es un aspecto importante que también gravita en el manejo y aprovechamiento de los RRNN existentes en las cuencas.

r. Falta de información hidrometeorológica
La falta de información hidrometeorológica en todas las cuencas es un común denominador. Sin información no se puede planificar acciones de prevención ante los fenómenos eventos de sequías o inundaciones; ni obras de almacenamiento de agua; construcción de centrales hidroeléctricas; etc.

4.2. Principales acciones a desarrollar en la búsqueda de un manejo sustentable de las cuencas hidrográficas

a. Educación y difusión para una planificación familiar efectiva La planificación familiar debe constituir una política de Estado sobre todo en los países pobres o subdesarrollados donde se presentan las mayores tasas de crecimiento poblacional, teniéndose familias hasta con unos 6 a 8 hijos en promedio, sobre todo en las familias más humildes, lo cual acentúa los niveles de pobreza y pobreza extrema, causa principal para la depredación y mal uso de los RRNN de las cuencas donde habitan o a donde migran.

Entendiéndose como planificación familiar la capacidad de decisión que pueda tener una familia acerca del número de hijos que desean tener; para ello el Estado debe llevar a cabo programas de difusión y capacitación a su población, empezando desde los niveles iniciales de educación de los niños y jóvenes sobre la importancia de tener pleno conocimiento de las implicancias que acarrean el tener un hijo más en la familia y las consecuencias que acarrea, sobre todo pensando en su nutrición, educación y las oportunidades que puedan tener en el futuro.

b. Decisión política y compromiso real de las autoridades y líderes gubernamentales
Las autoridades y los líderes gubernamentales deben tomar la decisión política y asumir el compromiso real de llevar adelante las acciones necesarias para lograr el aprovechamiento sustentable de los RRNN y de la cuenca hidrográfica.

Sin el respaldo ni la decisión política de las autoridades desde el más alto nivel, no se podrá implementar ni llevar adelante los planes de ordenamiento territorial y de manejo de cuencas, pues para ello se requiere contar con los recursos económicos necesarios y es el Estado el primero que debe aportar recursos como para iniciar tales trabajos.

c. Políticas nacionales adecuadas

Es obligación del Estado establecer las reglas de juego para que así puedan desarrollar sus actividades productivas y de comercialización los diferentes agentes económicos. Jamás debe el Estado propiciar que el sector rural se descapitalice por políticas dictadas en ese sentido; tal como fue costumbre en el pasado en muchos países, especialmente en los más pobres o subdesarrollados.

El mantenimiento de una economía social de mercado, es lo más conveniente para todos, pero sí el Estado siempre cuidando mantener un equilibrio en las importaciones agrarias que podrían tener subsidios en el mercado mundial de alimentos, mediante el mantenimiento de un sistema de sobretasas arancelarias a la importación de tales productos, a fin de lograr una competencia leal con los productores nacionales, evitando su descapitalización y empobrecimiento.

Por otro lado el Estado debe impulsar la producción de cultivos o productos más rentables al productor, aprovechando las ventajas comparativas que posea un país y poder vender a otros países. Aquí el Estado debe apoyar a los pequeños productores o minifundistas en todo este proceso de reconversión productiva; sin ese apoyo será ilusorio lograr dicho proceso.

Finalmente, todas las negociaciones internacionales de comercio y que terminan suscribiéndose Tratados de Libre Comercio, es obligación del Estado que los negociadores representantes del país, cautelen celosamente los intereses de los productores rurales a fin de darles equidad en la competencia y abrirles nuevos mercados para sus productos; pues la competencia exige eficiencia, pero esta debe ser en igualdad de condiciones.

d. Elaborar un plan de ordenamiento territorial a nivel de cuencas El crecimiento desordenado que caracteriza a la mayoría de las cuencas hidrográficas debe ser encarado con decisión y participación de la población en general. Para ello se debe partir elaborando un plan de ordenamiento territorial y manejo y gestión de la cuenca hidrográfica; de lo contrario, el desorden, la contaminación y la depredación de los RRNN

avanzará inconteniblemente, afectando a la naturaleza, al medio ambiente y a toda la sociedad en su conjunto y sobre todo pensando en las futuras generaciones, podemos preguntarnos ¿Qué les espera en el futuro?, si ahora no se encara con decisión y profesionalismo esta problemática.

e. Formación y capacitación de nuevos líderes

Sin verdaderos líderes en el sector rural se seguirá en la rutina de la demagogia, paternalismo, ineficiencia, baja productividad, falta de competitividad, pérdidas económicas en la comercialización, pobreza, etc.

Líderes capacitados, emprendedores, con organización y visión empresarial y ansias de mejorar y triunfar en sus actividades que desarrolla, ese es el camino que debe seguirse para salir adelante y que dicho esfuerzo debe ser promovido e impulsado por el Estado.

Se requiere líderes para el cambio de los tradicionales modelos de producción. Sin ello no se logrará revertir la situación de pobreza y desaliento de la mayoría de las familias rurales.

f. Aumento de la producción y productividad agropecuaria

Los bajos niveles de la productividad agraria son propios de las familias rurales más empobrecidas, agravando consecuentemente su situación socioeconómica. Por ello, es responsabilidad del Estado y de los líderes políticos encarar con realismo este problema, pues de lo contrario sólo estaremos enmascarando y embalsando el problema para el futuro y con impredecibles consecuencias para la sustentabilidad de los recursos naturales, el medio ambiente y los problemas sociales y políticos.

Por ello, es fundamental que el incremento de la producción y productividad se orienten básicamente mediante las acciones siguientes:

- Conservación de los suelos y la ampliación y mejoramiento de la frontera agrícola.
- Transferencia de tecnología y capacitación sobre los procesos productivos, cosecha, post-cosecha, comercialización, organización empresarial de los productores, entre otros aspectos. Remarcando que sólo en la post-cosecha ocurren pérdidas superiores al 20% de los productos cosechados, lo cual afecta en mayor grado a los más pobres del campo.
- Organización o fortalecimiento de la organización empresarial de los pequeños productores, a fin de mejorar su capacidad de negociación para la compra de sus insumos, la comercialización de sus cosechas,

el poder brindar servicios eficientes a sus asociados; buscando bajar los costos de producción, tener rentabilidad en su trabajo y también tener una buena capacidad de interlocución con el Estado u otras entidades u organizaciones públicas o privadas.

g. Lucha frontal contra la pobreza y pobreza extrema

El mejoramiento de los niveles de vida de la población que están en situación de pobreza y pobreza extrema debe dejar de ser un discurso lírico de las autoridades gubernamentales y nuestros líderes políticos y pasar a realizarse con medidas concretas como lo es: Generación de empleo, organización o fortalecimiento de su organización, capacitación para el trabajo, apoyo a su pequeña agricultura con créditos y asistencia técnica, mejoramiento y recuperación de sus pastizales, reforestación, brindar los servicios básicos de calidad : educación, salud, agua, desagüe, electrificación, infraestructura vial, infraestructura hidráulica para la cosecha de agua de lluvia y el manejo del agua de riego a nivel parcelario, entre otras actividades.

El reparto de dinero a las familias que están en situación de pobreza y pobreza extremas u otras dádivas por parte del Estado o de cualquier otro ente "benefactor", no ayuda en nada en solucionar realmente el problema; por el contrario lo agudiza y va creando un paternalismo muy dañino y que puede convertirse en un clientelaje político del Gobierno de turno. Además, se debe tener en cuenta que la gente puede ser pobre pero tiene dignidad y por lo tanto se le debe apoyar a "ganarse el pan con el sudor de su frente", para lo cual necesita una oportunidad.

h. Incrementar la disponibilidad de tierras agrícolas

Especialmente los países pobres y/o con bajo índice de disponibilidad de tierras agrícola, están obligados a cuidar sus suelos, desarrollando proyectos de conservación de suelos a fin de poder desarrollar masivos trabajos de construcción de terrazas de absorción, recuperación de andenes, zanjas de infiltración en áreas reforestadas o de pastizales, entre otras prácticas conservacionistas. Asimismo tienen que orientar sus esfuerzos a la construcción de proyectos de irrigación o mejoramiento de riego de las áreas en actual producción; así como también a la recuperación de suelos degradados por las inundaciones o por problemas de drenaje y salinidad.

Finalmente, debe existir mediante una planificación del crecimiento urbano y un ordenamiento territorial, con el cual toda la sociedad gane y no solo un pequeño y reducido grupo de personan que venden sus terrenos productivos a las urbanizadoras. Aquí la actuación del Estado es fundamental.

i. Reforestación y recuperación de pastizales

La recuperación y el mejoramiento de la cubierta vegetal en la superficie de los suelos de las cuencas hidrográficas es tarea vital que debe promover e impulsar el Estado en forma prioritaria, pues la cobertura vegetal no sólo protege contra la erosión de los suelos sino que tan o más importante aún es la infiltración del agua de lluvia que produce, mejoramiento del medio ambiente y del ciclo hidrológico, el paisaje, la biodiversidad, entre otros beneficios.

El Perú cuenta en la sierra con más de 10 millones de has con aptitud forestal y que requiere su reforestación; mientras que en la selva se tienen más de 20 millones de has deforestadas y que deben ser reforestadas con especies maderables de alta cotización. Para llevarse a cabo tales trabajos así como la recuperación de las cerca de 20 millones de has de pastizales, se requiere de una decisión política de las autoridades de Gobierno, afín de poder dar las normas legales adecuadas y los recursos económicos necesarios.

Estas grandes áreas de reforestación y recuperación de pastizales generarán fuentes inagotables de riqueza para la población lugareña, regional y nacional; donde se incluyen además, los bonos de carbono y pagos por servicios ambientales.

El Perú, tiene la oportunidad de convertirse en una potencia de exportación de productos maderables, mucho más grande de lo que nuestro país vecino Chile viene teniendo a la fecha ¿Qué falta para lograrlo? : Decisión Política y dar el marco jurídico necesario para el caso de las tierras de propiedad del Estado y otorgar los incentivos adecuados al sector privado para hacer realidad esta tarea. Con esta actividad en marcha se generará empleo productivo abundante y una fuente de riqueza inagotable por la madera que se produce y por los pagos por los servicios ambientales que se puedan obtener de los países altamente industrializados; ganando al final la población lugareña, el país en general y la humanidad toda.

j. Lucha contra la erosión y degradación de los suelos

Es obligación de toda la sociedad tener cabal conciencia de las consecuencias que acarreará la pérdida de los suelos agrícolas: menos producción de alimentos u otros productos agrarios y más grave aún, la desertificación y la alteración del ciclo hidrológico que lleva consigo. Por ello, el Estado debe impulsar programas encaminados a controlar la erosión y a la recuperación de suelos degradados por erosión o por problemas de drenaje y salinidad o por inundaciones.

En el Perú desde el año 1980 se creó el ex PRONAMACH que llegó a constituirse en el mejor programa de desarrollo rural integrado del Estado que haya existido en la serranía peruana durante toda la vida republicana, habiendo sido prácticamente desactivado a partir del año 2001 y cambiado de nombre solamente por cuestiones políticas.

k. Lucha frontal contra la contaminación

Debe entenderse bien que la contaminación nos conducirá hacia la "muerte", por ello es obligación del Estado y de la propia población en general, tomar cabal conciencia de las consecuencias que acarrea la contaminación del agua, suelo y medio ambiente en general. Para emprender acciones concretas para poder hacer frente al flagelo de la contaminación, se tienen que llevar a cabo acciones, tales como:

- Marco legal claro y sin ambigüedades sobre la materia de contaminación y los RRNN.
- Eliminar la corrupción de las autoridades y responsables del monitoreo y control de la aplicación de la legislación vigente.
- Tratamiento de las aguas servidas provenientes de la industria, minería, etc. Se debe considerar como un atentado el vertimiento de relaves o aguas servidas crudas directamente a las fuentes de agua, sin haberse llevado a cabo un previo tratamiento, tal como lo establece la legislación vigente.
- Tratamiento de los humos provenientes de chimeneas de la industria o minería, pues de no hacerlo se contaminará el aire que respiramos, con consecuencias en la salud, la producción agraria, etc.
- Formalización total y control de la pequeña minería o minería artesanal a fin de que desarrollen sus actividades en forma técnicamente adecuadas y sin los alarmantes niveles de contaminación de las aguas y el medio ambiente.
- La corrupción y la persecución irracional que podría llevar a cabo el estado, bajo el pretexto de luchar contra la contaminación, no es lo más recomendable. El apoyo del Estado para su formalización y capacitación técnica junto al diálogo sincero, y las acciones concretas es el camino correcto para atacar este problema.
- Control estricto a la comercialización y movilización de los insumos químicos básicos para el narcotráfico y las acciones de interdicción aérea necesaria para hacer frente a este creciente y sucio negocio.
- Establecimiento de rellenos sanitarios con todas las exigencias técnicas y el correspondiente tratamiento y reciclaje de la basura que diariamente se recolecta en las ciudades o pequeños centros poblados.

l. Mejoramiento de la disponibilidad de agua de buena calidad
Teniendo claro que el problema de la falta de agua es el problema que año a año se irá acentuando en los países andinos y en otros países del planeta, se tiene que desarrollar acciones concretas para mejorar la oferta de agua, entre tales medidas se tiene:

- Cosecha del agua de lluvia mediante la construcción de infraestructura hidráulica de almacenamiento; reforestación, manejo de pastos, entre otros.
- Mejoramiento de las eficiencias en el aprovechamiento del agua en todas las actividades humanas.
- Explotación racional de las aguas subterráneas.
- Fortalecimiento de las organizaciones de usuario de agua para que lleven a cabo sus funciones como verdaderas empresas de agua; desterrando la demagogia, la intromisión política partidaria y el mal manejo de los recursos provenientes del pago de las tarifas de agua que pagan los usuarios.
- Capacitación y logro de una valoración cabal del recurso agua por parte de todos los integrantes de la sociedad: Cultura del agua.
- Tratamiento y reúso de las aguas servidas.
- Protección de la calidad de las aguas.
- Desalinización de las aguas de mar; entre otras.

m. Apoyo decidido a la pequeña agricultura

El Estado está en la obligación de apoyar a los pequeños productores agrarios o minifundistas que representan en el Perú alrededor del 78% de los productores, a mejorar su producción y productividad y en muchos casos a lograr una reconversión productiva a fin de hacer más rentable su actividad productiva.

Para las partes alto andinas ya se tiene la exitosa experiencia de más de 20 años con el ex PRONAMACH, que se constituyó en el mejor programa de desarrollo rural integrado y que hasta el día de hoy lo recuerdan con cariño y añoranza los campesinos más pobres, por los logros y beneficios que obtuvieron durante los años de vida de dicho programa.

Para la costa el apoyo a la tecnificación del riego, siembra de cultivos más rentables, capacitación, el establecimiento de cadenas productivas, la organización empresarial, la extensión rural entre otras actividades es sumamente importante para incrementar la rentabilidad del productor.

Finalmente hay que tener muy presente que el pequeño productor agrario no quiere dádivas ni subsidios, sólo quiere una oportunidad para poder salir adelante con su propio esfuerzo.

n. Rentabilidad del productor rural

El nivel de rentabilidad o ganancias que pueda obtener un productor rural es la clave para asegurar su capitalización y la consecuente adopción de tecnologías para mejorar sus índices de productividad y su nivel de vida.

Sin rentabilidad en el productor, sobre todo en el minifundista lo único que puede desarrollar es una actividad de subsistencia y consecuentemente lo sumirá en la pobreza. Por ello, un productor agrario requiere fundamentalmente: mercado y precio rentable para su producto; pero un minifundista requiere adicionalmente un apoyo inicial del Estado para que pueda lograr aceptables niveles de productividad: capacitación y extensión agrícola, organizaciones en cadenas productivas y créditos, tecnología, entre otros aspectos.

Un productor no necesita subsidios del Estado, requiere si el apoyo franco y decidido para producir competitivamente y tener utilidad en su trabajo; pero al mismo tiempo no requiere competencias desleales con productos subsidiados que se importen al país. Aquí el Estado debe cuidar celosamente este aspecto, a fin de que la competencia sea justa.

o. Desarrollar e implementar una política de prevención

El Estado está en la obligación de implementar una política de prevención que sea de carácter permanente, para hacer frente con éxito a las inundaciones, sequías, mitigando sus efectos devastadores; experiencias al respecto abundan en los diferentes países del mundo.

Las sequías se amortiguan sus efectos con acciones tales como:

- Cosecha del agua de lluvia en reservorios desde las partes altas, etc.
- Reforestación y regeneración masiva de los pastizales con zanjas de infiltración desde las partes altas de las cuencas hacia abajo, a fin de mejorar los puquiales, manantiales u ojos de agua.
- Aumentando las eficiencias en el uso del agua; entre otras.
- Las inundaciones se amortiguan sus efectos con las siguientes acciones:
- La reforestación y la regeneración de pastizales en las partes medias y altas de las cuencas con zanjas de infiltración para captar las aguas de escorrentía superficial.

- Cosecha de agua de lluvia en lagunas, reservorios, entre otras técnicas, en las partes altas y medias de las cuencas; así como en las propias partes bajas de la misma.
- Limpieza y protección de las riberas de los cauces de los ríos.
- Reforestación de las riberas de los ríos a fin de lograr tener verdaderas defensas vivas.

p. Activa participación de la sociedad

La población no puede estar ni sentirse indiferente ante los problemas que se presentan en las cuencas hidrográficas; por el contrario deben constituirse en el verdadero motor para lograr un aprovechamiento y el manejo racional y sostenible de sus RRNN.

Esta participación activa debe ser producto de la toma de conciencia por cuidar su medio ambiente, su hábitat y el aprovechamiento y manejo sustentable de la cuenca; pensando siempre que sus hijos, los hijos de sus hijos y poblaciones venideras también tienen derecho a la vida y por lo tanto hoy se debe actuar con esa responsabilidad que se tiene sobre nuestros hombros.

Finalmente la participación no sólo será lírica, sino también aportando conocimientos, inquietudes, trabajo y recursos económicos por el aprovechamiento de los recursos que se extraen de la cuenca, a fin de asegurar que se puedan llevar a cabo trabajos efectivos en las partes altas y medias de las cuencas. Con ello todos ganarán en la actualidad y en el futuro.

q. Titulación de tierras

El Estado debe priorizar la titulación de todas las tierras a lo largo de toda la cuenca, entendiéndose que es un derecho de las personas, pues les evitara' conflictos con sus vecinos, familiares o particulares, además que le permitirá una revaloración automática de su predio.

La titulación de un predio de seguridad, confianza, tranquilidad emocional y consecuentemente una mayor dedicación a su dueño para trabajarlo mejorarlo y cuidarlo.

r. Implementación de redes hidrometeorológicas

A fin de tener información adecuada y confiable se debe implementar estaciones hidrometeoro lógicas técnicamente distribuidas a lo largo de la cuenca, pues sin información no se puede planificar ni desarrollar proyectos confiables para la construcción de obras hidráulicas u otras

obras de desarrollo ni actividades productivas o de servicios. Además se debe tener en cuenta que en la actualidad con el avance tecnológico se tienen equipos de última generación que permiten obtener información en tiempo real y con bajas inversiones.

CAPÍTULO 5

HIDROLOGÍA DE CUENCAS

El Manejo de Cuencas implica la ejecución de actividades interdisciplinarias que tiene como eje principal de acción al recurso agua, y como ámbito de planificación la cuenca hidrográfica. Para esto, la hidrología juega un rol importante en la planificación de cuencas, principalmente en los aspectos que tienen relación con el dimensionamiento de estructuras de uso y control del agua, así como estudios y gestión del medio ambiente.

Para proyectar cualquier obra hidráulica es necesario el conocimiento de la magnitud y frecuencia de los caudales (o niveles de agua) que esa obra deberá conducir, contener, almacenar, etc.; el proyecto envuelve dimensionamiento y localización de presas, puentes, diques, canales, conductos forzados, sistemas de drenaje, redes pluviales, estaciones de bombeo, estaciones de tratamiento de agua y desagües, centrales hidroeléctricas y una gran variedad de estructuras relacionadas con estas. El máximo caudal (o nivel) que cualquiera de estas estructuras puede soportar con seguridad es denominada caudal del proyecto. El ingeniero es consciente de que está proyectado una obra que puede ser dañada o más aún destruida, por descargas ocasionales de magnitud variable; la frecuencia con que esos daños ocurren debe ser considerada en la definición del tamaño y resistencia de la obra, su localización y hasta su reconstrucción, si fuese el caso. La hidrología proporciona gran variedad de métodos basados en diversos principios, dentro de los cuales se deberá escoger el más adecuado de acuerdo a las circunstancias particulares, a la obra a diseñar y dependiendo sobre todo de la disponibilidad de datos hidrológicos apropiados, y las aplicaciones resultantes van a depender del sentido común y de la experiencia del proyectista.

El subdimensionamiento o sobredimensionamiento de una obra implica costos excesivos a lo largo del tiempo; por ejemplo, una obra para una descarga de 5 años de periodo de retorno, puede ser pequeño, pero el costo de reconstruirlo casi 5 años, en promedio resulta extremadamente costoso y un puente en el mismo lugar construido para dejar pasar una descarga de 100 años de periodo de retorno, sería extremadamente cara. Por lo tanto un proyecto intermediario sería la solución ideal, generando los menores costos anuales.

5.1. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es la sucesión de cambios que sufre el agua en la hidrosfera, y que obedece a leyes físicas. El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, es un proceso continuo y es el aspecto más importante de la hidrología.

El ciclo hidrológico es conocido también como el ciclo del agua y es el proceso que describe los sucesivos y diferentes cambios de estado del agua: líquido a vapor, de vapor a líquido, de movimiento y el cambio de estados del agua (líquido, vapor o sólido) en la tierra, ya sea del líquido a sólido, de sólido (hielo) a líquido o de hielo a vapor (sublimación). El ciclo del agua en nuestro planeta viene ocurriendo por millones de años y las diferentes formas de vida dependen de él.

El ciclo del agua se inicia en cualquier lugar sobre la tierra donde exista una fuente de agua; con fines explicativos podemos asumir que se inicia con la evaporación en los mares, lagos, ríos, superficies húmedas, etc.; debido al calentamiento de las aguas o al accionar del viento; siendo la fuente principal de energía para dicho calentamiento el Sol.

El vapor de agua se dirige hacia las partes superiores de la atmósfera, causadas por las corrientes ascendentes de aire. En las capas superiores de la atmósfera y debido a la menor temperatura en dichas zonas, el vapor de agua se condensa y forma las nubes; las cuales son desplazadas hacia otros lugares debido a la acción del viento, ocasionando que las partículas de agua existentes en las nubes colisionen, aumenten de tamaño y peso para que finalmente caigan en forma de precipitación, la cual puede ser en forma de lluvia (líquida) o en forma sólida (nieves o granizos). Cuando estas nieves caen en zonas de nevadas o glaciares se acumulan en dichas áreas y sólo por acción del sol o del calentamiento global se derriten y las aguas fluyen hacia las partes bajas en forma de escorrentía superficial o subterránea. Cuando las nieves o granizos caen en otras áreas como por ejemplo campos de cultivo o pastizales generan cuantiosos daños económicos y con efectos sociales.

La precipitación cae en los mares, en la superficie terrestre o en los glaciares o nevados; la parte que cae en la superficie terrestre una alta proporción fluye como escorrentía superficial formando los ríos y que en la mayoría de casos terminan en el mar. En el agua de escorrentía superficial va ocurriendo simultáneamente fenómenos de evaporación y transpiración, infiltración en el suelo, almacenamiento en reservorios, lagos, lagunas, aprovechamiento de agua para los usos del hombre y el resto fluye al mar. El agua que es aprovechada por el hombre, también

sufre procesos de evaporación, transpiración, etc. y así sucesivamente se va repitiendo el ciclo. Es de resaltar que la cantidad total e agua en el planeta.

Fases del ciclo hidrológico

En el ciclo hidrológico se presentan los siguientes procesos.

Evaporación y transpiración

Es el proceso mediante el cual el agua pasa del estado líquido al estado de vapor, ya sea por la evaporación misma, la transpiración que se presenta en plantas, la sudoración en animales y la sublimación, que ocurre de las superficies de nevados y glaciares. Los seres vivos de nuestro planeta contribuyen con el 10% del agua que retorna a la atmósfera. La evaporación ocurre sobre la tierra y el mar.

a. Condensación

El vapor de agua sube a la atmósfera y se va condensando y formando así las nubes, las mismas que básicamente están constituídas por gotas minúsculas de agua.

b. La Precipitación

Se produce cuando las gotas minúsculas de agua que forman las nubes se enfrían y se produce la condensación, generándose la unión de las minúsculas gotas de agua para formar gotas de mayor tamaño y de mayor peso y que finalmente debido a ello terminan precipitándose a la superficie terrestre. Los componentes de la precipitación son lluvia, granizo, nieve, neblina (niebla), rocío y granizo con agua. Estas formas de precipitación son las principales fuentes de agua en el mundo.

c. Escurrimiento superficial

Es el flujo de agua sobre la superficie terrestre debido a la pendiente del terreno.- Durante el desplazamiento del agua superficial se va produciendo infiltración en el suelo, evaporación y al mismo tiempo erosión de los suelos: erosión hídrica. Ocurre escurrimiento superficial cuando la cantidad de precipitación es mayor que la infiltración.

d. Infiltración

Es el proceso mediante el cual el agua al entrar en contacto con el suelo, penetra al interior del perfil del suelo (se infiltra) a través de los poros; a medida que va humedeciéndose el suelo por efecto de la gravedad y a diferencias de potenciales que puedan existir entre las diferentes capas del suelo sigue avanzando el agua hacia capas más profundas; llegando

en muchos casos a ser almacenada en los acuíferos o reservorios subterráneos. En el proceso de infiltración del agua en el suelo juega un rol importante el nivel de permeabilidad o porosidad de las diferentes capas del suelo, del grado de pendiente de la superficie del terreno y de la cobertura vegetal.

El agua que se infiltra en el suelo puede regresar a la atmósfera como agua subterránea y que al ser explotada por el hombre vuelve a la superficie y es usada en las diversas actividades y otra cantidad de agua aflora (sale) hacia la superficie, bajo la forma de puquios, manantiales u ojos de agua.

e. Flujo de las aguas Subterránea

El agua en el interior del suelo sigue desplazándose hasta encontrar un equilibrio, es decir hasta que no exista diferencias de potenciales que posibiliten su desplazamiento. El agua en el subsuelo es almacenada en los "acuíferos" o "reservorios" subterráneos. Estos reservorios pueden permanecer en forma natural o pueden ser aprovechados por el hombre para lo cual tendrán que construir pozos tubulares o a tajo abierto.

f. Fusión

Es el proceso mediante el cual la nieve para al estado líquido (deshielo) debido al calor del sol o del calentamiento global.

g. Solidificación

Al bajar la temperatura en las nubes por debajo del 0°C, las gotas de agua se congelan y se solidifican y que al tener un peso suficiente se precipitan hacia la superficie del suelo en forma de nieve o granizo.

h. Intercepción

Es el proceso donde la precipitación es captada por la vegetación: hojas, tallos y ramas, etc. Luego una parte de ésta cae al suelo y la otra parte es evaporada a la atmósfera.

Cuadro N° 1.- Distribución del agua en sus diferentes estados en el planeta

Fuente	Volumen (Millones Km^3)	Porcentaje (%)
Océanos	1,370	90.40386
Glaciares y nevados	546	8.90
Aguas Subterráneas	9.5	0.68
Lagos y lagunas	0.125	0.01

Humedad del Suelo	0.065	0.005
Atmósfera	0.013	0.001
Ríos y arroyos	0.0017	0.0001
Biomasa	0.0006	0.00004

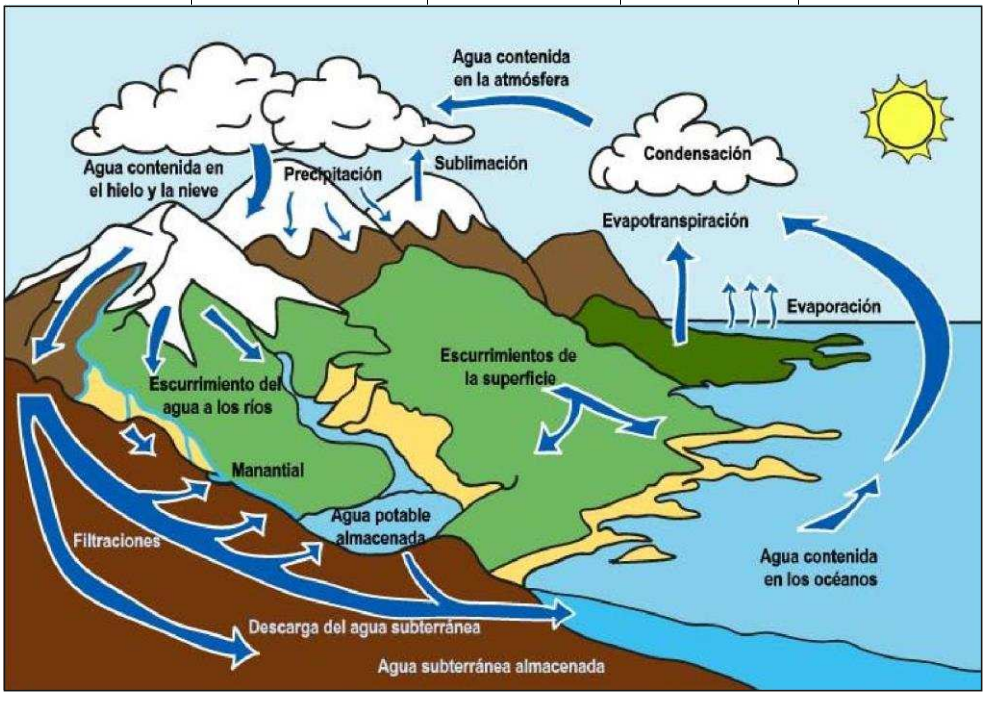


Figura Nº 1.- Fases del ciclo del agua o ciclo hidrológico

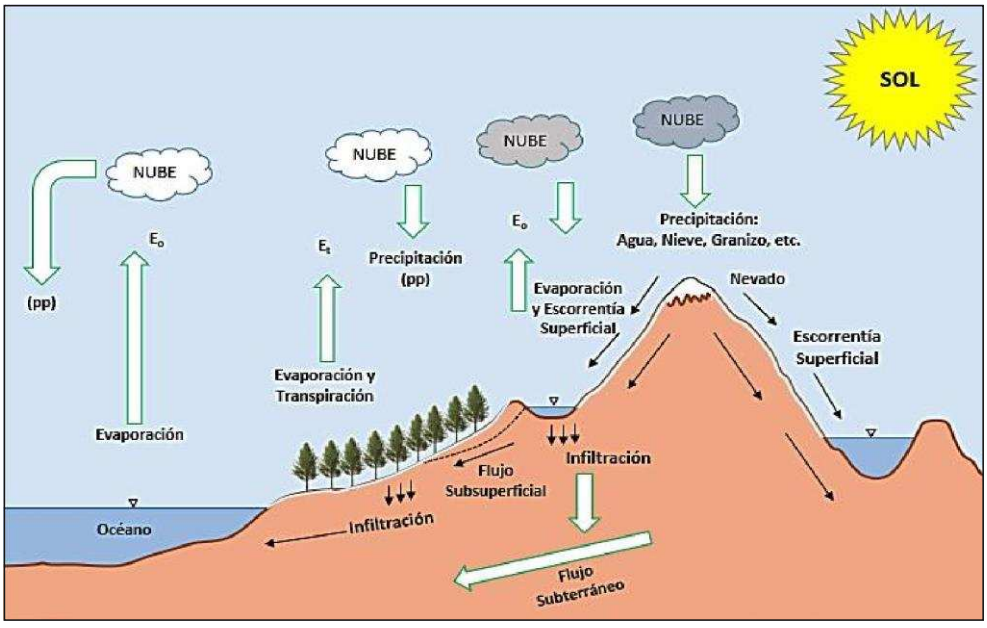


Figura Nº 2.- Explicación del ciclo hidrológico

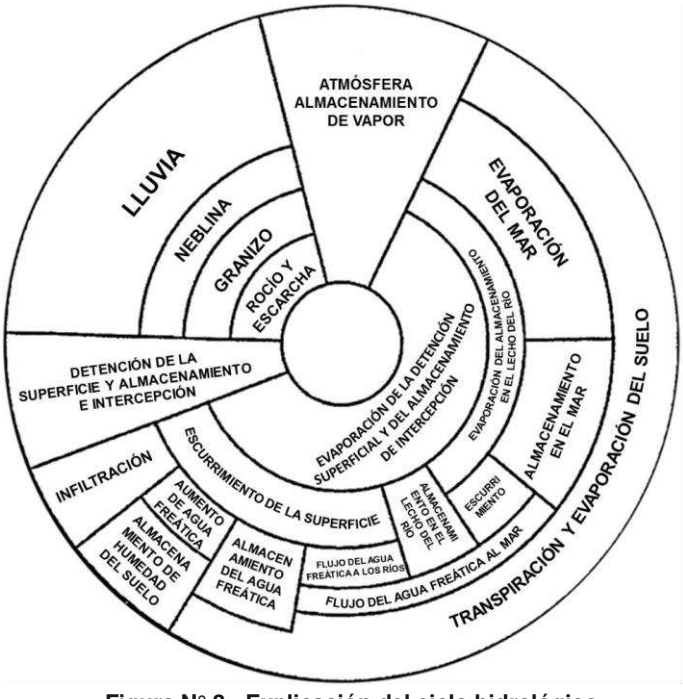


Figura N° 3.- Explicación del ciclo hidrológico

5.2. Sistema hidrológico

Como se aprecia en la figuras 1, el ciclo hidrológico es un fenómeno muy complejo que posiblemente por la gran cantidad de variables que intervienen nunca se llegue a entender en su totalidad. Para simplificar y entender el problema, los hidrólogos han introducido el concepto de sistema para entender el ciclo hidrológico y de esta manera lograr su aplicación práctica en la solución de problemas de ingeniería hidráulica.

Por lo tanto, el ciclo hidrológico puede considerarse como un sistema cuyos componentes (en la forma más simplificada) son la precipitación, la escorrentía superficial, la evaporación, el flujo subterráneo de agua y otras partes del ciclo hidrológico de interés.

Si aplicamos el concepto de sistema al ciclo hidrológico, es decir, considerándolo como un sistema hidrológico, éste se puede definir como un espacio con sus límites de frontera que tiene entradas de agua que trabajan dentro de él y produce salidas de agua. Esquemáticamente se representa así:



La ventaja de aplicar el concepto de sistema hidrológico es que se puede simplificar la gran cantidad de variables que intervienen en el proceso. Para efectos prácticos, se considera que la entrada más importante del sistema es la precipitación y las salidas igualmente importantes son el caudal y la evaporación. Asimismo, en la práctica el espacio del sistema hidrológico puede ser una pequeña parte de la tierra, dependiendo su magnitud del interés del análisis hidrológico. Normalmente los límites de frontera son las divisorias de las aguas que definen a una cuenca hidrográfica. En otras palabras, el espacio o ámbito del sistema sería la cuenca. Esto no quiere decir que no se puedan tomar otros límites de frontera, dado que dependerá del análisis que se esté efectuando; por ejemplo un sistema puede ser el “vaso” de un embalse, e incluso puede ser el espacio que ocupa un lisímetro.

5.3. Modelos hidrológicos

Si el ciclo hidrológico se representa como un sistema, entonces éste es posible representarlo mediante un modelo.

Un modelo es una representación aproximada de un sistema real. Por lo tanto, un modelo hidrológico tratará de representar en forma aproximada al ciclo hidrológico.

Cuadro N° 2.- Balance anual global de agua en el planeta

Variables	Unidades	Océano	Tierra
Área	(Km^2)	361 300 000	148 800 000
Precipitación	(Km^3/año)	458 000	119 000
	(mm/año)	1 270	800
	(pulg/año)	50	31
Evaporación	(Km^3/año)	505 000	72 000
	(mm/año)	1 400	484
	(pulg/año)	55	19
Escorrentía hacia los	(Km^3/año)		44 700
Océanos	(Km^3/año)		2 200
Ríos	(Km^3/año)		47 000
Agua Subterránea	(mm/año)		316
Escorrentía Total	(pulg/año)		12

Fuente: Hidrología Aplicada. V.T. Chow

Un modelo hidrológico puede ser de dos clases: modelo físico y modelo abstracto. El primero trata de representar a escala el ciclo hidrológico, y el segundo lo representa en forma matemática.

En hidrología se usa mayormente el modelo abstracto o matemático, que es una ecuación que relaciona las variables de entrada y salida del sistema hidrológico. En la práctica, la importancia del modelo matemático reside en que conociendo las entradas y estudiando la operación del sistema es posible predecir su salida. Las variables pueden ser funciones del tiempo y del espacio y también pueden ser variables **probabilísticas o aleatorias**, más aun tratándose de la lluvia como entrada, que es un fenómeno altamente aleatorio.

5.4. La precipitación

La precipitación está constituida por toda el agua, que de una u otra forma, es depositada en la superficie terrestre, por la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico. La precipitación puede ser en forma líquida (lluvia, rocío), o en forma sólida (nieve, granizo). La forma más común, y la que mayor interés tiene en la ingeniería, es la lluvia que viene a ser la causa de los más importantes fenómenos hidrológicos y su cuantificación correcta es uno de los desafíos que el hidrólogo o el ingeniero enfrentan.

La precipitación es una variable hidrológica de carácter aleatorio, variando drásticamente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). Es común que, en un determinado período de tiempo, mientras que en una zona ocurre una lluvia, en otra zona próxima no hay precipitación ninguna. Justamente ésta característica típica de la precipitación es la que introduce ciertas dificultades en su evaluación correcta. La unidad de medición es el milímetro de lluvia, definido como la cantidad de precipitación correspondiente a un volumen de 1 litro por metro cuadrado de superficie, conocido como la lámina de agua o altura de lluvia depositada sobre esa superficie.

5.5. Clasificación de la precipitación

Para la formación de la precipitación, a partir de las nubes, se requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera para que se produzca su enfriamiento y parte de ella se condense y posteriormente, se precipite a la superficie terrestre. De acuerdo al mecanismo de elevación de esta masa de agua, existen 3 tipos de precipitación: convectiva, orográfica y ciclónica.

- **La precipitación convectiva** Son precipitaciones características de las zonas ecuatoriales donde, por debilidad de los vientos el movimiento del aire es esencialmente vertical. El proceso inicia con atmósfera en calma, es calentado por la radiación solar reflejada y emitida por la superficie terrestre. Ese aire, menos denso que el aire circundante, se eleva en forma de células de convección, enfriándose adiabáticamente hasta alcanzar el nivel de condensación, generando nubes del tipo cúmulos-nimbus que originan lluvias muy intensas, de duración cortas y abarcando áreas reducidas.
- **La precipitación orográfica** se produce cuando los vientos cargados de humedad, soplando normalmente del océano hacia el continente, encuentran una barrera montañosa, las masas de aire húmedo se elevan para transponer el obstáculo, resultando en un enfriamiento que puede alimentar la formación de nubes y desencadenar precipitaciones. En el caso del Perú, están localizadas en la vertiente oriental de la cordillera de los andes.

- **La precipitación ciclónica** se origina por el encuentro de dos masas de agua de diferentes temperaturas, como resultado del cual la masa caliente es impulsada hacia las partes más altas, donde se produce la condensación del agua, y luego ocurre la precipitación.

- **La lluvia**

a. Medición de la lluvia

Para poder efectuar estud ios de los sistemas hidrológicos es importante conocer la magnitud de la lluvia, y esto se consigue midiéndola mediante los pluviómetros o pluviógrafos. La precipitación se mide en altura de agua expresada en milímetros, centímetros o pulgadas.

El **pluviómetro** es un recipiente colector de lluvia que almacena el agua en un depósito interno, captada a través de una boca horizontal de área estandarizada de 200 cm2 o 400 cm2 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), organismo de las Naciones Unidas que trata de la estandarización mundial de las mediciones y observaciones meteorológicas, entre otras cosas. La altura de lluvia se determinará vertiendo el agua almacenada en el pluviómetro, en una probeta graduada en milímetros y décimos de milímetro, colocada sobre una superficie horizontal.

Cuando es necesaria información más detallada de la precipitación, como su distribución temporal, o la variación de las intensidades, se usa el pluviógrafo, instrumento que registra esos valores, generalmente en un gráfico con coordenadas apropiadas.

b. Registro de datos de la lluvia

Las mediciones de las lluvias obtenidas de los pluviómetros o pluviógrafos constituyen la información básica para los estudios hidrológicos. Para el análisis hidrológico de esta información, se sistematizan u ordenan en función del tiempo, para obtener las denominadas series de tiempo de lluvia. Así, se tiene:

- **Lluvia diaria**, es la cantidad de lluvia caída durante un día ó 24 horas en un lugar determinado.
- **Lluvia mensual**, es la cantidad de lluvia caída durante todos los días del mes.
- **Lluvia anual**, es la cantidad de lluvia caída durante todos los días de un año.

c. Análisis estadístico de los datos de lluvia

Los datos diarios, mensuales o anuales son presentados en cuadros para su análisis, recurriéndose para esto a la estadística como herramienta auxiliar.

- **Parámetros Estadísticos**

Los parámetros estadísticos más importantes que se deben evaluar de los datos de lluvia son: la media o promedio y la desviación estándar.

- **Media o Promedio**

La media se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$ = Media de la serie de lluvia
X_i = Lluvia diaria, mensual o anual de la muestra (mm) n = Tamaño de la muestra

- **Desviación Estándar** Se calcula con:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n - 1}}$$

Donde:
S = Desviación estándar
X_i = Lluvia diaria, mensual o anual de la muestra
$\bar{X}$ = Media de la serie n = Tamaño de la muestra

También es importante el coeficiente de variabilidad (CV), que se calcula con:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

El CV es un parámetro muy utilizado para hacer comparaciones de la variabilidad de la lluvia mensual (o también lluvia total mensual) de la estación de análisis de la cual se determinan los valores de

la media y desviación estándar respectiva. En el Cuadro N° 5, se presenta información de precipitación total mensual y sus parámetros estadísticos de la Estación Abancay.

- **Análisis Probabilístico**

La lluvia es una variable hidrológica netamente aleatoria, y como tal está dentro del campo aleatorio, y por lo tanto puede caracterizarse por una distribución de probabilidad.

MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
-1.0	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	27.4	43.2	24.4	-1.0
98.3	39.3	4.0	5.0	13.4	0.0	-1.0	0.0	1.4	86.4	-1.0
79.8	5.5	43.8	0.0	0.0	7.6	23.0	95.1	90.5	45.3	567.5
246.5	27.6	6.4	0.8	13.5	11.4	20.6	67.0	15.1	61.5	749.9
108.7	10.1	8.6	1.2	13.0	9.9	14.2	40.3	86.0	39.1	547.5
105.3	68.8	0.4	9.4	1.2	7.1	2.7	51.2	53.5	88.3	556.5
79.5	38.7	8.4	2.7	15.0	0.0	31.7	71.2	39.4	90.7	597.9
89.2	41.0	3.9	16.8	0.2	2.6	2.2	30.2	40.8	47.9	564.0
100.0	25.0	2.2	0.0	22.7	18.6	16.2	33.9	55.0	87.6	687.7
120.1	68.9	10.8	0.0	10.8	25.9	26.9	21.8	102.0	82.6	797.7
109.0	52.0	0.0	11.9	3.9	35.6	1.9	33.0	68.3	28.4	674.4
98.7	8.7	30.8	11.4	1.7	10.3	15.4	44.0	69.5	142.3	586.3
145.3	53.4	10.7	20.9	3.1	21.1	55.0	14.6	6.2	96.5	713.1
90.6	5.0	3.5	0.4	11.4	0.0	28.0	26.9	107.2	95.5	532.5
86.2	18.5	31.0	0.0	1.6	0.4	32.4	62.8	84.0	73.0	621.5
137.0	67.8	8.2	1.4	2.8	6.9	39.4	22.4	-1.0	-1.0	-1.0
75.4	2.5	0.9	0.0	14.3	0.0	-1.0	49.7	40.9	24.3	-1.0
77.0	49.5	3.4	0.5	5.1	18.0	29.1	57.1	76.0	132.4	734.4
246.5	68.9	43.8	20.9	22.7	35.6	55.0	95.1	107.2	142.3	797.7
108.6	33.1	9.8	4.6	7.4	9.7	23.4	41.6	57.6	73.3	637.9
75.4	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	1.4	24.3	532.5
40.8	23.3	12.4	6.6	6.8	10.4	14.6	23.2	32.0	35.2	86.7

AÑO	ENE	FEB
1964	-1.0	-1.0
1965	93.9	151.1
1966	73.9	103.0
1967	119.1	160.4
1968	139.6	76.8
1969	83.0	85.6
1970	153.5	67.0
1971	109.0	180.2
1972	198.9	127.6
1973	125.3	202.6
1974	152.3	178.1
1975	53.4	100.1
1976	154.7	131.6
1977	58.4	105.6
1978	171.7	59.9
1979	89.7	122.8
1980	100.9	91.4
1981	142.1	144.2
MÁX	198.9	202.6
MED	118.8	122.8
MÍN	53.4	59.9
D.EST.	41.0	42.0

Cuadro N° 3.- Precipitación total mensual y sus parámetros estadísticos
Estación: ABANCAY

NOTA Información original sin modificaciones
MÁX. Valor Máximo
MED. Media o Promedio
MÍN. Valor Mínimo
D. EST. Desviación Estándar
-1.0 Precipitación no disponible

DEPARTAMENTO : APURIMAC
PROVINCIA : ABANCAY
DISTRITO : ABANCAY

LATITUD : 13°38´
LONGITUD : 72°53´
ALTITUD : 2377 m.s.n.m.

Las distribuciones que más se adaptan son la **NORMAL, LOG-NORMAL Y LOG-PEARSON TIPO III**, dependiendo la elección de cualquiera de ellas del tipo de serie de tiempo o si se trata de una tormenta.

A continuación se hace una breve descripción de estas funciones de distribución de probabilidades.

a. Función de distribución de probabilidad normal La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad -\infty \le x \le \infty$$

Donde μ y σ son los parámetros de la función:

$\bar{X}$ y S estiman a μ y σ respectivamente:

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$$

$$S = \left[\frac{i - \bar{n}}{n-1}\right]^{2} - \frac{(\sum x)^2}{n}\Big]^{1/2} \sum x$$

La forma estandarizada con $Z = \frac{x-\mu}{\sigma}$ es:

Con:

$\bar{Z} = 0$

$S_Z = 1$

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2}\right\}$$

b. Función de distribución log-normal de dos parámetros

Si:

Y = Lnx

X se distribuye como log-normal

$$-\frac{(x - \mu x)^2}{2}$$

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{\quad}} \quad \exp\left[\quad\right] \quad , \quad -\infty \leq \quad \leq \infty$$

$x > 0$ $f(x) = 0$ para

$x < 0$

$$\bar{\quad} = \frac{\sum Yi}{n}$$

$$= \left[\sum Y_i{}^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n}\right]^2$$

$$[\quad]$$

c. Función de distribución log-Pearson tipo III La función de densidad es:

$$[\quad]^{-1} \quad -\quad \{\quad\}/\quad(\quad) \qquad 0 < \quad < \infty$$

Donde:
α y ρ son los parámetros de forma,
ρ es la media, α^{2*} ρ es la variancia,
y
T es la función gamma

Desarrollar estas funciones teóricas es complicado, por lo cual Chow ha propuesto la siguiente ecuación:

$$X = \mu + \quad K$$

Donde:
X = magnitud de la variable para un periodo de retorno dado T ó una frecuencia f μ = media poblacional
$\quad$ = desviación estándar poblacional
K = factor de frecuencia, y está en función del periodo de retorno o frecuencia de la distribución. μ y $\quad$ se estiman con $\bar{\quad}$ y S.

Los factores de frecuencia K se hallan en tablas.

d. Régimen de Lluvia en el Perú

Se conoce como régimen de lluvia de cualquier lugar de la tierra, a la distribución de la magnitud de la lluvia anual durante el año. En el mundo, existen diversos regímenes de lluvia, desde el régimen de zona desértica donde se registran lluvias anuales muy pequeñas pudiendo llegar a CERO, hasta el régimen de la zona ecuatorial como en algunas zonas de África donde ocurren lluvias anuales de hasta 4,500 mm.

En el Perú se tienen dos regímenes de lluvia:

- **Régimen Tropical**: Propio de a Sierra y de la Costa, donde se presenta un solo período de lluvia durante el año, tal como puede verse en el Cuadro N° 6.

- **Régimen Ecuatorial**: Este régimen se observa en la Selva, donde se presenta dos períodos de lluvia, que ocurren en promedio durante los meses de febrero y noviembre (Cuadro N° 6).

e. Relación Precipitación-Altitud

Desde el punto de vista estrictamente físico (meteorológico) existen factores que afectan la magnitud de la lluvia pero que es muy difícil de evaluar. Para fines prácticos (aunque no es estrictamente correcto) se relaciona o correlaciona la lluvia con factores tales como la altitud, la orientación, la topografía (relieve), latitud, etc. Sin embargo, se ha observado que en general la lluvia aumenta con la altitud. Este caso es muy frecuente en el sistema de las cadenas montañosas que se levantan desde los contrafuertes andinos que llegan a la Costa hasta las altas montañas de la cordillera, donde se observa una típica formación de lluvia orográfica. La ecuación matemática que expresa esta relación es:

$$P = a + bH$$

Donde:

P = Precipitación anual (mm) H

= Altitud (msnm)

a, b = Parámetros estadísticos

El parámetro que explica la relación entre P y H es el coeficiente de correlación r.

Cuadro N° 4.- Precipitación total mensual de varias estaciones
Año: 1991

A) COSTA

FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0	6.0
0.1	0.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.7
0.0	0.1	0.1	3.2	3.2	0.0	1.2	1.8	1.4	0.6	1.8	13.9
0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.1	0.9

A) SIERRA

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
52.8	59.5	211.0	34.5	21.5	0.0	0.0	0.0	7.5	88.6	41.5	63.6	580.5
53.2	57.9	86.5	17.5	5.6	30.3	10.5	0.0	21.6	41.9	42.1	24.6	391.7
77.0	139.5	87.0	45.8	7.5	6.2	2.6	0.0	19.2	47.1	100.7	35.0	567.6
28.0	29.0	68.0	19.0	5.0	30.0	0.0	0.0	0.8	32.0	44.3	35.0	291.1

A) SELVA

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
88.0	186.0	174.0	116.0	53.0	13.0	0.0	23.5	47.0	91.0	183.0	36.0	1010.6
41.3	110.0	157.0	37.4	35.7	71.0	30.0	33.0	36.8	95.8	167.0	5.0	850.7
455.0	157.0	379.9	274.0	157.0	145.0	12.0	74.0	108.0	206.0	461.0	254.0	2682.0
221.0	255.0	59.0	253.0	297.0	186.9	39.0	218.2	118.4	75.4	267.0	80.0	2069.9

Estación	ENE
Piura	0.0
Chiclayo	0.0
Chimbote	1.3
Lima	0.1
Tacna	0.0

Estación
Ancash
Ayacucho
Cusco
Huánuco

Estación
Chachapoyas
Tarapoto
Tingo María
Iquitos

Ejemplo N° 2

En la zona andina del departamento de Apurímac, se tienen los siguientes valores de la precipitación anual (mm) y sus respectivas altitudes (msnm):

Estación	Altitud	Precipitación Anual (mm)
Abancay Curahuasi Andahuaylas Huancabamba	2 377 2 687 2944 3650	601.0 616.4 660.1 682.7

Determinar la ecuación que relaciona la altitud con la precipitación anual.

Solución.
Efectuando el análisis de regresión entre los valores de P y H se obtiene la siguiente ecuación: P = 447,4 + 0,066 H r = 0,95
El alto valor de r, explica que existe una buena correlación entre altitud – precipitación, que se puede observar también en la figura 4.

f. Precipitación Promedio Anual en una Cuenca

Es muy importante conocer la precipitación que cae sobre una cuenca. Si se determina la lámina o altura de lluvia, se puede conocer el volumen de agua precipitada, multiplicando dicha lámina por el área de la cuenca.

Existen varios métodos para calcular la lluvia promedio anual en una cuenca. Los más utilizados son:
1) Promedio Aritmético
2) Polígono de Thiessen, y
3) Método de las Isoyetas

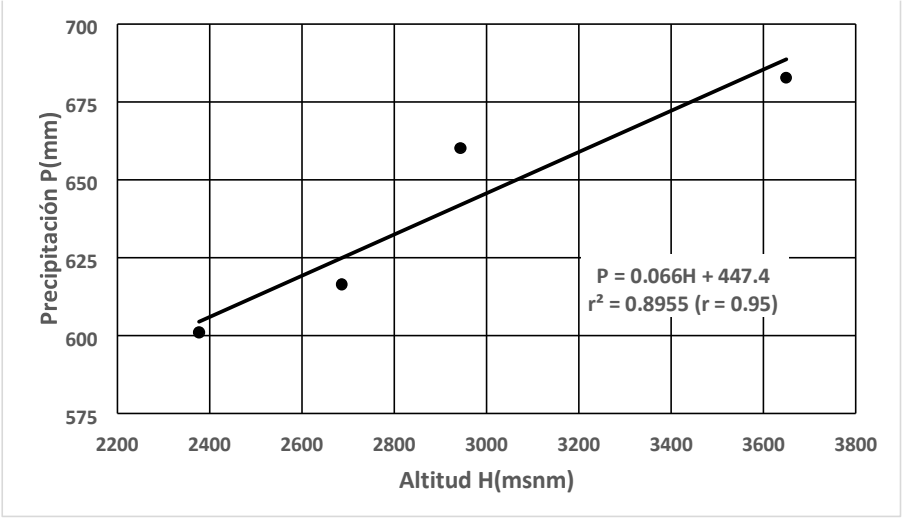


Figura N° 4.- Relación altitud – precipitación

- **Promedio Aritmético**
  En este caso se calcula el promedio aritmético de las lluvias anuales registradas en las estaciones localizadas dentro de la cuenca, tal como se muestra en la figura 5.

- **Polígono de Thiessen**
  Este método considera que en cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano, por lo tanto la lámina registrada en el pluviómetro se aplica hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación pluviométrica. El método consiste en trazar una serie de polígonos, que resulta de levantar las mediatrices de los triángulos provenientes de la unión de los puntos (que representan a las estaciones) existentes en la cuenca. En la figura 6 se presenta el método con los cálculos correspondientes a una cuenca.

- **Método de las Isoyetas**
  Este método consiste en determinar las líneas de igual lámina de lluvias o isoyetas y calcular el área entre 2 isoyetas consecutivas. En la figura 7, se muestra un ejemplo. Este método es el más exacto, principalmente para zonas montañosas.

g. La tormenta

Una tormenta es una lluvia generada por una perturbación atmosférica y que tiene características definidas.

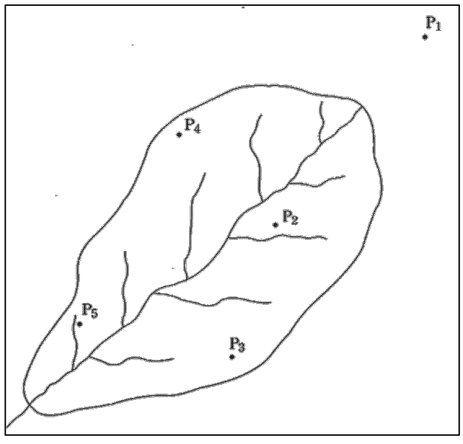
Las tormentas se analizan de los pluviogramas que registran los pluviógrafos en un lugar determinado.

Aplicación del Análisis de Tormenta

En hidrología interesa la tormenta de diseño, que es aquella que se utiliza en el diseño de un sistema hidrológico.

Constituyen, además la entrada en el sistema; y la salida es el caudal de diseño que puede determinarse utilizando modelos lluvia – escorrentía.

El análisis de tormenta tiene aplicación en diversos estudios hidráulicos: represas, drenaje urbano y agrícola, puentes y conservación de suelos.



P_1 = 600
P_2 = 540
P_3 = 500
P_4 = 560
P_5 = 530

P
P = (540 + 500 + 560 + 530)/ 4
532.5 mm

Figura N° 5.- Calculo de la lluvia media en una cuenca – método del promedio aritmético

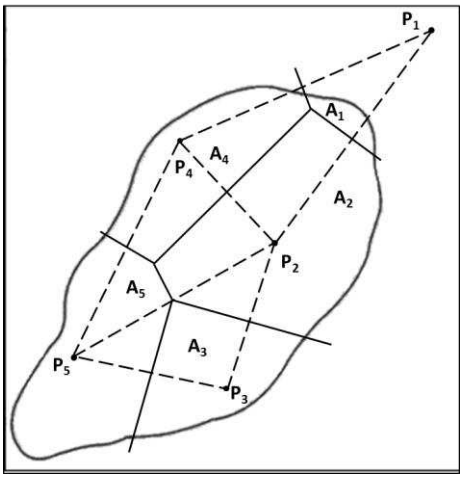
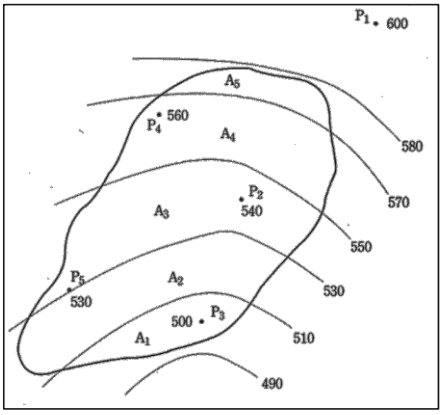


Figura N° 6.- Cálculo de la lluvia de una cuenca - Método polígono de Thiessen



$A_1 = 20\ Km^2\ A_2 = 60\ A_3 = 100\ A_4 = 70\ A_5 = 15$

$$\bar{P} = \frac{500 \times 20 + 520 \times 60 + 540 \times 100 + 560 \times 70 + 575 \times 15}{265}$$

$$\bar{P} = 540\ mm$$

Figura N° 7.- Calculo de la lluvia media en una cuenca – Método de las isoyetas

Elementos del Análisis de Tormentas

En el análisis de tormenta interesa conocer los siguientes elementos de la tormenta:

- **Intensidad (I):** Es la magnitud de la tormenta. Es la cantidad de agua caída (mm) durante un tiempo t, y se expresa en mm/hr. En Hidrología interesa la intensidad máxima presentada dentro de la tormenta de análisis.
- **Duración (D):** es el tiempo que dura la tormenta. Es el tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Se expresa en minutos o en horas.
- **Frecuencia (F):** Está dada por las veces que se presenta o se repite una tormenta de intensidad I y de duración D. Generalmente se expresa en años.

- **Hietograma:** Es un gráfico de forma escalonada que expresa la variación de la intensidad de la tormenta (mm/hr) en el transcurso de la misma (minutos u horas).
- **Intensidad Máxima**: Es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo.

Se expresa así:

$$Im = \frac{dp}{dt}$$

Donde:

Im = Intensidad máxima (mm/h)

dp = Altura de lluvia registrada durante el período de duración (mm)

dt = Período de duración (h)

La intensidad máxima de una tormenta se calcula a partir de los pluviogramas.

El primer paso consiste en tabular las intensidades para varios intervalos de tiempo. A partir de esta información, se calculan las intensidades máximas para diferentes duraciones. Luego, se determina la frecuencia de estas intensidades máximas mediante métodos probabilísticos.

Análisis de frecuencia de tormentas

El análisis de frecuencia de tormentas consiste en ajustar los datos de intensidades máximas de lluvias de diferentes duraciones a una distribución probabilística, con el fin de poder pronosticar la tormenta de diseño para un período de retorno determinado. Con el análisis de frecuencia; se construyen los gráficos denominados **CURVAS DE DURACIÓN – INTENSIDAD – FRECUENCIA**, que son de mucha utilidad para determinar intensidades máximas de cualquier duración para un determinado período de retorno.

Ejemplo N° 3

De los datos de intensidades máximas del Cuadro N° 7.

a. Determinar las **CURVAS DE DURACIÓN – INTENSIDAD – FRECUENCIA**,

b. Ajustar a la distribución de probabilidad log – normal y determinar la intensidad máxima para una duración de 30 minutos y para 100 años de período de retorno.

Solución a. Curva de duración – intensidad – frecuencia

- Hacer el ordenamiento en orden descendente de los datos de intensidades de precipitación, tal como se muestra en el Cuadro N° 8.
- Calcular las frecuencias de ocurrencia con la siguiente fórmula:

$$f = \frac{m}{n+1}$$

Donde:

f = frecuencia de ocurrencia (%) m = posición de la variable

n = número de datos

$$T = \frac{1}{f}$$ T = Tiempo de retorno (años)

- Con los datos del Cuadro N° 8 elaborar las **CURVAS DE DURACIÓN – INTENSIDAD – FRECUENCIA** que se muestran en la figura N° 8.

b. Ajuste a la distribución Log – Normal

La Ecuación Log – Normal con factor de frecuencia es:

$$LnX = \mu y + k\sigma y$$

Donde:

X = Intensidad de la precipitación (mm/hr) Y = Lnx

μy = media de los Lnx

σy = desviación estándar de los Lnx

Para el ejemplo, los valores de X corresponden a la intensidad máxima para duración de 30 minutos. μy y σy se estima con $\bar{y}$ y S. Haciendo la transformación: $y = Lnx$ Se calcula tanto $\bar{y}$ como Sy; luego:

$\bar{y}$ = 3,7801

Sy = 0,2594

Entonces, la función quedará:

$$Lnx = 3{,}7801 + 0{,}2594\mathrm{K}$$

Los valores de K corresponden a los de Z (variable estandarizada).

Para: T = 100 años, y = la frecuencia

$$\frac{1}{100} = 0.01$$

Cuadro N° 7.- Intensidad máxima de lluvia de una tormenta (mm/hr)

FECHA	DURACIÓN (minutos)			
	10	30	60	120

1995 1996	80	52 60	48 29	37 23
1997	105	59	15	10
1998	91	47	20	17
1999	62	36	21	22
2000	98	43	23	20
2001	70	45	15	10
2002	85	29	19	14 9
2003	89	77	17	18
2004	90	46	24	21
2005	102	49	27	11 8
2006	110 81	28	16	16
2007	100	29	14	12
2008	103	38	20	22
2009	75	41	18	28
2010	92	39	26	24 29
2011	65	50	34	
2012	84	40	28	
2013	113	52	36	

Cuadro N° 8.- Ordenamiento de las intensidades máximas de lluvia

N° de Orden m	Frecuencia f (%)	Tiempo de Retorno T (años)	Duración (mín)			
			10	30	60	120
1	5	20	113	77	48	37
2	10	10	110	60	36	29
3	15	6.7	105	59	34	28
4	20	5	103	52	29	24
5	25	4	102	52	28	23
6	30	3.3	100	50	27	22
7	35	2.85	98	49	26	22
8	40	2.5	92	47	24	21
9	45	2.2	91	46	23	20
10	50	2	90	45	21	18
11	55	1.8	89	43	20	17
12	60	1.7	85	41	20	16
13	65	1.5	84	40	19	14
14	70	1.42	81	39	18	12
15	75	1.33	80	38	17	11
16	80	1.25	75	36	16	10
17	85	1.17	70	29	15	10
18	90	1.11	65	29	15	9
19	95	1.05	62	28	14	8

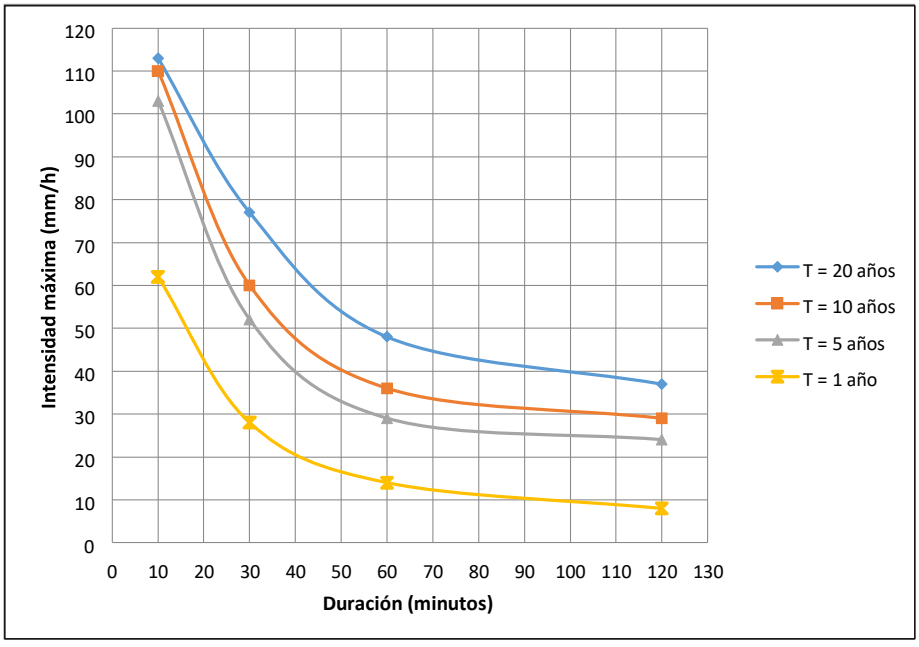


Figura N° 8.- Curva Duración – Intensidad – Frecuencia (IDF)

El valor de F(Z) = 0.50 – 0.01 = 0.49
Empleando el cuadro con los valores de Z (Cuadro N° 9):
Z = 2,33
Entonces:
K = 2,33

Luego, finalmente, Lnx =
3,7801 + 0,2594 (2,33) y =
80 mm/h

Entonces, la intensidad máxima de lluvia de una duración de 30 minutos es de 80 mm/h que se presenta con un período de retorno de 100 años.

Cuadro N° 9.- Área de una distribución normal estandarizada (Z)

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0577	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1644	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2703	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4920	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4953	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4368	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

5.6. Determinación de eventos extremos

5.6.1. Avenida

Se entiende por avenida a un caudal muy grande de escorrentía superficial que sobrepasan la capacidad de transporte del canal generando la inundación de tierras aledañas. Las inundaciones traen, como es sabido problemas de toda índole en diversas áreas de la

actividad humana. Por lo tanto, el objetivo de este texto enfoca al aspecto hidrológico de la determinación de los caudales del proyecto en obras hidráulicas, el que podría ser denominado "predeterminación de descargas máximas", ya que se trata del cálculo anticipado (en la fase del proyecto) de u7n caudal crítico que tal vez no haya sucedido o que existe una cierta probabilidad de suceder en el futuro.

5.6.2. Prevención de Inundaciones

Se conoce así al fenómeno de generación de descargas, conllevando un propósito de estado futuro de alturas o caudales, asociados al instante de ocurrencia de los mismos con la finalidad de prevenir los efectos negativos que vengan a suceder. La terminología **"Prevención en Tiempo Real"** es más apropiada; este problema representa un típico problema donde técnicas hidrológicas son empleadas para calcular anticipadamente la ocurrencia de un evento, a partir del conocimiento del comportamiento del sistema natural y usando como entradas las lluvias o los niveles y caudales en determinados lugares de la cuenca y de la red fluvial. Las técnicas más recientes incluyen el modelamiento matemático, la cual exige el uso de computadoras, cuando la simulación envuelve grandes áreas y grandes volúmenes de datos (simulación continua) así como cuando se trata de eventos aislados de corta duración.

5.6.3. Período de retorno y riesgo

Si en un determinado lugar existe una serie de valores observados de 30 años, por ejemplo, el mayor caudal medido en los 30 años tiene la probabilidad de ser igualadas o superadas una vez cada 30 años, aproximadamente, según las leyes básicas de la probabilidad; si las necesidades del proyecto exigen, como se verá más adelante, por ejemplo un periodo de retorno de 500 años o más, estamos delante de un problema de extrapolación de datos históricos. El **periodo de retorno T** o periodo de ocurrencia de una inundación (o tiempo de recurrencia) se define, entonces, como el tiempo medio, en años, en que ese caudal de inundación es igualada o superada por lo menos una vez.

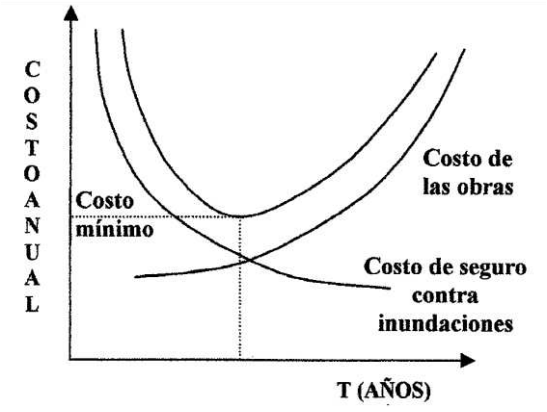


Figura Nº 9.- Determinación del Período de retorno

El problema ahora se concentra en la fijación del periodo de retorno a ser usado en una obra, ese valor debería obedecer a criterios económicos, como se sugiere la figura 9. Esta figura representa los costos que un usuario debería enfrentar para pagar los beneficios de un sistema de protección contra inundaciones, por ejemplo. Si existiese un seguro contra inundaciones, el valor de ese seguro sería decreciente con el T usado en proyectos de la obra (cuanto mayor es T mayor protección ofrece la misma), mientras que el costo de la abra en si crece con T.

Dado que el usuario deberá asumir con los dos costos, la curva del costo global indicará el periodo de retorno más adecuado para el proyecto de la obra en cuestión (Villela y Mattos, 1975). Desafortunadamente, en los países en desarrollo no es común la exigencia de ese tipo de seguro, en la mayor parte de los casos, Así, la fijación de T obedece a criterios relacionados con la vida útil de la obra, el tipo de la estructura, la facilidad de reparación en caso de daños y el peligro de pérdida de vidas humanas en caso de falla.

Cuadro N° 9.- Valores del tiempo de retorno para proyecto de obras

Estructura	T (años)

Caudales de proyecto	
Vertedor de grandes presas	10,000
Vertedor de una presa de tierra	1,000
Vertedor de una presa de concreto Galería	500
de aguas pluviales	5 a 20
Bocatomas	25 a 75
Pequeñas presas para abastecimiento de agua	50 a 100
Puentes en carreteras importantes	50 a 100
Puentes en carreteras comunes	25
Lluvias de Proyecto:	
Pequeños canales sin dique: área rural	5
área urbana	10
Canales grandes sin dique: área rural	10
área urbana	25
Pequeños canales con diques: área rural	10
área urbana	50
Grandes canales con diques: área rural	50
área urbana	100

La consideración de estos factores y la experiencia acumulada a lo largo del tiempo ha permitido la elaboración de la tabla anterior, que ofrecen indicativos para la definición del T.

Existe, aún, otro criterio para escoger el periodo de retorno: la fijación a priori, del **riesgo de falla R** de la estructura, dentro de la vida útil de la obra. Esto puede ser expresado por la relación:

$$R = 1 - (1 - \frac{1}{T})^{n} \qquad T = \frac{1}{1 - [1 - R]^{\frac{1}{n}}}$$

Donde R es el riesgo permisible, o probabilidad de ocurrencia de la máxima descarga durante los n años de la vida útil de la obra. Esa ecuación se encuentra tabulada en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 10.- Valores de periodo de retorno T asociado al riesgo R

Riesgo (R)	Vida útil de la obra (n) en años					
	1	10	25	50	100	200

0.01	100	995	2488	4975	9950	19900
0.10	10	95	238	475	950	1899
0.25	4	35	87	174	348	695
0.50	2	15	37	73	145	289
0.75	1.30	7.7	18	37	73	144
0.99	1.01	2.7	5.9	11	22	44

Un análisis de la tabla anterior muestra que si se adopta un riesgo de 10% de que durante los 25 años de vida útil de una cierta presa ocurra una descarga igual o superior a la del proyecto, se debe usar un periodo de retorno de 238 años. Si el periodo de retorno usado fuese de 87 años, por ejemplo, el riesgo de falla de la obra aumenta en 2.5 veces o sea a 25%.

Ejemplo:
Una alcantarilla tiene una vida útil de 10 años.

a) Si el riesgo aceptable de que al menos ocurra un evento que exceda la capacidad de la alcantarilla durante su vida útil es del 10%, ¿qué periodo de retorno de diseño debe utilizarse?
b) ¿Cuál es la probabilidad de que la alcantarilla diseñada para un evento con ese periodo de retorno no sea excedido en su capacidad durante los próximos 50 años?:

Solución:

a) Aplicando la ecuación anterior (a), para R = 0.1 y n = 10, se obtiene: T = 95 años
b) Aplicando la ecuación siguiente (b), para T = 95 y n = 50, se obtiene: R = 0.41. La probabilidad de que la capacidad no sea excedida durante este periodo es: 1- 0.41 = 0.59 (59%).

El enfoque discutido anteriormente muestra un análisis puramente estadístico del problema; en la actualidad podrían ser usados tres tipos de métodos para la determinación de la descarga del proyecto de una obra, abarcando las diversas posibilidades que se presentan para enfrentar el problema:

- Métodos estadísticos
- Métodos hidrometeorológicos
- Otros métodos (fórmulas empíricas, regionalización)

En cada caso la metodología a ser usada dependerá, en gran parte de la disponibilidad de información y de la experiencia del proyectista en el manejo de esta información.

5.6.4. Fundamentos de los métodos estadísticos

Los métodos estadísticos se apoyan en la existencia de series de datos de caudales en el lugar de interés, las cuales son sometidas a un análisis de frecuencias usando técnicas tradicionales de estudio (se basan por lo tanto en la observación de eventos pasados). Esto implica que la curva de frecuencia definida para un determinado lugar es válida rigurosamente para ese lugar; cuando generalmente la información que se requiere es en un lugar diferente, donde no existen datos medidos; la regionalización de datos permite combinar informaciones de diversos lugares en la cuenca o región, para producir por ejemplo, una curva regional de frecuencias, valida en toda la región y lugares sin información; este recurso entre tanto, está limitado a descargas de hasta 100 años de periodo de retorno (Dalrymple, 1962). Los resultados podrían ser confiables siempre que exista suficientes datos disponibles y no hayan ocurrido modificaciones importantes en el régimen del curso de agua durante el periodo de registro, o después; se acepta entonces, la condición de que el comportamiento del sistema continuará siendo el mismo durante el periodo de cálculo (en el futuro). Los valores de caudales empleados en la determinación de las curvas de frecuencia serán valores instantáneos, pero en la mayoría de los casos se trabaja con los máximos medios diarios; de lo que resultan series anuales y series parciales.

Dentro de los métodos estadísticos podemos mencionar las siguientes distribuciones de probabilidades más usadas en el análisis de máximas avenidas en hidrología, que fueron estudiadas anteriormente del texto:

Distribución Log-Normal de 2 Parámetros
Distribución Log-Normal de 3 Parámetros
Distribución de Valor Extremo Tipo 1 o Distribución Gumbel
Distribución Log-Gumbel
Distribución Pearson Tipo III
Distribución Log-Pearson Tipo III

Series parciales y anuales

La información hidrológica disponible, en principio en una estación hidrométrica o pluviométrica, es una secuencia cronológica de caudales medios diarios, De estos caudales podrían ser escogidos las máximas anuales (una para cada año hidrológico), generando una serie anual. Esto obliga a descartar otros picos elevados que pueden haber ocurrido en el

mismo año y permite escoger otros valores en otros años donde nada importante sucedió, desde el punto de vista de inundación. Esa limitación es superada elaborando una lista de todos los eventos ocurridos, en orden decreciente y seleccionando los mayores a un determinado limite que puede ser el menor de las descargas de las máximas anuales, obteniéndose de cierta manera una serie parcial. La dificultad generada con esta última opción es que los eventos así escogidos pueden ser o no independientes; dos eventos muy próximos pueden, en realidad, ser un único evento. Para evitar ese inconveniente, deben ser escogidos eventos separados por un razonable periodo de tiempo.

La curva de frecuencias

El análisis de frecuencias, a ser discutido, utiliza los mismos principios estadísticos aplicados a otras variables hidrológicas, adaptados a las peculiaridades de los datos de eventos máximos. La técnica en todos los casos consiste en arreglar la serie en orden decreciente y atribuir a cada valor el número de orden m que varía hasta N que es el tamaño de la muestra o número de años. A continuación se calcula la frecuencia observada a través de una relación empírica como la de Weibull:

$$P = \frac{m}{N+1} \qquad P = \frac{m+1}{N}$$

Donde P es la probabilidad de que una determinada descarga sea igualada o superada cuando el valor de n es suficientemente grande. Es común en nuestro país que la mayor parte de los registros disponibles de descargas y precipitaciones no sobrepasen 20 o 25 años, y dado que las necesidades del proyecto requieren periodos de retorno superiores; la tendencia es de usar la curva de frecuencia para efectos de extrapolación, por lo que esto debe ser hecho con mucho criterio; la distancia lineal entre 25 y 250 años parece corta en los gráficos, pero la extrapolación solo puede justificarse cuando se verifica que el fenómeno se ajusta a la ley establecida. Muchos investigadores intentaron establecer las leyes teóricas de probabilidades que se ajusten mejor a las muestras de n elementos de modo poder estimar, para un evento extremo, la probabilidad teórica P de ocurrir o ser sobrepasada.

Comentarios sobre el uso de las distribuciones estadísticas

Los datos hidrológicos, a veces, tienen una distribución fuertemente asimétrica y en general en esos casos una transformación logarítmica la transforma en una distribución normal. La distribución Log-Normal es de gran utilidad porque abre el amplio campo teórico de aplicación de la distribución Normal. Como ambas distribuciones, Normal y Log-Normal son de dos parámetros, basta calcular la media y la desviación estándar de los caudales y de sus logaritmos, respectivamente. El grado de ajuste de una serie de datos puede, como en los demás casos, ser examinado a través de las pruebas estadísticas Chi-cuadrado o Kolmogorov o uso del papel de probabilidades Log-Normal, donde debe resultar una recta.

Entre las diversas distribuciones de valores extremos, la Distribución de Gumbel, es la que actualmente tiene mayor utilidad. Los valores extremos en cuestión serían las descargas diarias máximas anuales o intensidades de precipitación máxima para una duración dada. Para aplicar esa ley, se debe tener en cuenta que existen registro de n años, cada una constituida de 365 elementos, del universo de la población infinita de la variable aleatoria que es el caudal diario. De acuerdo con la ley de los extremos (Pinto et al., 1976), la ley de distribución de la serie de n términos constituidos por los mayores valores de cada muestra tiende asintóticamente para una ley simple de probabilidades, que es independiente de la que rige la variable aleatoria en las diferentes muestras y en el propio universo de la población infinita.

El método de Gumbel es de fácil aplicación y se basa solo en dos parámetros, la media y la desviación estándar, mientras que otros métodos incluyen el coeficiente de asimetría. Los resultados son representados en un Papel de Distribución Gumbel como un gráfico de caudales máximos diarios versus el periodo de retorno $T = 1/P$. Cuando la asimetría es grande, se toma $X = In\ Q$ y se procede al análisis como en el caso anterior, constituyéndose una distribución Log-Gumbel; el gráfico establecido corresponde a una recta en el papel de probabilidades correspondiente, si el ajuste es adecuado.

5.6.5. Factores de frecuencia en el análisis de eventos extremos

El factor de frecuencia es un valor característico de la ley de distribución Log-Normal, que tiene gran significación en el análisis de eventos extremos y es conocido matemáticamente como la variable reducida. Este término fue usado por Ven Te Chow en combinación con la fórmula general para el análisis de frecuencias hidrológicas, siguiente:

$$\square\square = \square\square + \square\square\square\square_{\square\square}$$

Donde K es el factor de frecuencia, que depende de la ley de ocurrencia del evento hidrológico y es teóricamente idéntico al factor de asimetría de la curva logarítmica. La ecuación del factor de frecuencia fue propuesta por Chow (1951), y se aplica a muchas distribuciones de probabilidad utilizadas en el análisis de frecuencia hidrológica. Para una distribución dada, puede determinarse una relación K - T entre el factor de frecuencia y el periodo de retorno correspondiente. Esta relación puede expresarse en términos matemáticos o mediante un cuadro.

Factor de Frecuencia para la Distribución Normal y Log-Normal Es el mismo que la variable normal estándar Z definida por la ecuación siguiente:

$$\square\square = \square\square = \frac{\square\square - \square\square}{\square\square_{\square\square}}$$

El valor de Z puede ser obtenido de tablas o calculado con la siguiente ecuación de aproximación:

$$\square\square = \square\square = \square\square - \frac{2.515517 + 0.802853\square\square + 0.010328\square\square^2}{1 + 1.432788\square\square + 0.189269\square\square_2 + 0.001308\square\square_3}$$

Donde W correspondiente a una probabilidad de excedencia (P) puede calcularse, como:

$$\square\square = \left[\ln\left(\frac{1}{\square\square^2}\right)\right]^{1/2} \quad (0 < \square\square \leq 0.5) \qquad \square\square = \left[\ln\left((1 - \square\square)^2\right)\right]^{1/2} \quad (\square\square > 0.5)$$

Para la distribución Log-Normal, se usa el mismo procedimiento excepto que éste se aplica a los logaritmos de las variables.

Factor de Frecuencia para la Distribución Gumbel y Log-Gumbel Para la distribución de Valor Extremo Tipo I, Chow (1,953) dedujo la siguiente expresión:

$$\square\square = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left\{0.5772 + \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]\right\} \qquad \square\square = \frac{\square\square}{\frac{1}{\pi K}}$$

$$1 - \exp\{-\exp\left[-\left(0.5772 + \frac{\sqrt{6}}{\pi}\right)\right]\}$$

Cuando la variable es igual a la media K = 0 y T = 2.33 años, que corresponde al periodo de retorno de la media de la distribución.

Para la distribución Log-Gumbel, se usa el mismo procedimiento excepto que éste se aplica a los logaritmos de las variables.

Factor de Frecuencia para la Distribución Pearson III y Log-Pearson III Para la distribución Log-Pearson III, el primer paso es tomar los logaritmos de la información y luego se procede a calcular la media, desviación estándar y el coeficiente de asimetría de los logaritmos de los datos. El factor de frecuencia depende del periodo de retorno T y del coeficiente de asimetría C.
Cuando C = 0 el factor de frecuencia K es igual a la variable normal estándar Z y cuando $C \neq$ 0 el factor de frecuencia se aproxima por Kite (1977) como:

$$K = Z + (Z^2 - 1)\frac{k}{6} + (Z^3 - 1)\frac{k^2}{6} - (Z^2 - 1)\frac{k^2}{36} + Z\frac{k^3}{3} + \frac{k^4}{6} - \frac{k^5}{36}$$

El valor de Z para un periodo de retorno dado puede calcularse a través de las ecuaciones dadas para el cálculo del factor de frecuencia para la distribución normal o en su defecto obtenerse de tablas estadísticas dadas.

5.6.6. Límites de confianza para las distribuciones de valores extremos

Los datos observados, graficados en los papeles de probabilidad correspondientes, muestran una tendencia lineal recta, sin que la línea ajustada se localice exactamente sobre los puntos ploteados. Este hecho muestra que los datos no pueden ser representados con absoluta confianza por la teoría de probabilidades.

Por lo tanto la distribución de los datos de probabilidad acumulada pueden ser descritas por los Límites de Confianza, establecidos a ambos lados de la curva de ajuste, quedando entonces la nube de puntos ploteados dentro de estos límites con un cierto grado de probabilidad. Para ello se calcula, en primer lugar, el intervalo de confianza a partir del error estándar de la media y de la desviación estándar multiplicándose

por el estadístico "t" de Student escogido en función del número de grados de libertad (v):

Intervalo de Confianza: $\square\square\square\square = \frac{Q}{\sqrt{\square\square}}(1 + 0.5Z^2)^{1/2}$

Límite de Confianza Inferior: $\square\square\square\square\square\square = \square\square - \square\square\square\square$

Límite de Confianza Superior: $\square\square\square\square\square\square - \square\square + \square\square\square\square$

El número de grados de libertad se calcula se calcula restando el número de parámetros (k) al tamaño de la muestra (n): $v = n - k$

Ejemplo:

Para los datos de caudales máximos diarios del río Cañete (Estación Socsi), de 60 años de registro, determinar los caudales de máxima avenida usando las distribuciones Log-Normal, Gumbel y Log-Pearson, para diferentes periodos de retorno.

Cuadro Nº 11.- Procesamiento de datos de caudales máximos para 60 años de registro

Año	Q m^3/s	Q m^3/s	Posición m	P ≥ Q m/(N+1)	T (años) (N+1)/m	Y = Log Q
1	2	3	4	5	6	7

1941	301.1	700.0	1	0.016	61.00	2.8451
1942	319.2	700.0	2	0.033	30.50	2.8451
1943	324.1	700.0	3	0.049	20.33	2.8451
1944	396.6	657.0	4	0.066	15.25	2.8176
1945	350.0	597.6	5	0.082	12.20	2.7764
1946	354.0	566.2	6	0.098	10.17	2.7530
1947	353.0	555.0	7	0.115	8.71	2.7443
1948	279.0	550.0	8	0.131	7.63	2.7404
1949	198.0	500.0	9	0.148	6.78	2.6990
1950	244.7	488.8	10	0.164	6.10	2.6891
1951	485.0	487.3	11	0.180	5.55	2.6878
1952	360.0	485.0	12	0.197	5.08	2.6857
1953	555.0	484.2	13	0.213	4.69	2.6850
1954	657.0	470.0	14	0.230	4.36	2.6721
1955	700.0	430.0	15	0.246	4.07	2.6335
1956	470.0	425.5	16	0.262	3.81	2.6289
1957	228.3	420.3	17	0.279	3.59	2.6236
1958	270.4	408.0	18	0.295	3.39	2.6107
1959	700.0	396.6	19	0.311	3.21	2.5984
1960	488.8	390.0	20	0.328	3.05	2.5911
1961	597.6	377.0	21	0.344	2.90	2.5763
1962	566.2	372.0	22	0.361	2.77	2.5705
1963	242.4	370.5	23	0.377	2.65	2.5688
1964	153.1	360.0	24	0.393	2.54	2.5563
1965	214.7	354.0	25	0.410	2.44	2.5490
1966	201.0	353.0	26	0.426	2.35	2.5478
1967	343.0	350.0	27	0.443	2.26	2.5441
1968	154.0	343.0	28	0.459	2.18	2.5353
1969	316.0	332.0	29	0.475	2.10	2.5211
1970	408.0	326.0	30	0.492	2.03	2.5132
1971	430.0	324.1	31	0.508	1.97	2.5107
1972	700.0	322.0	32	0.525	1.91	2.5079
1973	484.2	319.2	33	0.541	1.85	2.5041
1974	326.0	318.2	34	0.557	1.79	2.5027
1975	298.0	316.0	35	0.574	1.74	2.4997
1976	332.0	310.7	36	0.590	1.69	2.4923
1977	249.0	310.0	37	0.607	1.65	2.4914
1978	216.0	301.1	38	0.623	1.61	2.4787
1979	182.8	298.0	39	0.639	1.56	2.4742
1980	100.1	279.0	40	0.656	1.53	2.4456

1981	257.1	270.4	41	0.672	1.49	2.4320
1982	172.0	257.1	42	0.589	1.45	2.4101
1983	228.0	249.0	43	0.705	1.42	2.3962
1984	425.5	244.7	44	0.721	1.39	2.3886
1985	165.6	242.4	45	0.738	1.36	2.3845
1986	370.5	228.3	46	0.754	1.33	2.3585
1987	487.3	228.0	47	0.770	1.30	2.3579
1988	420.3	216.0	48	0.787	1.27	2.3345
1989	377.0	214.7	49	0.803	1.24	2.3318
1990	189.0	201.0	50	0.820	1.22	2.3032
1991	372.0	198.0	51	0.836	1.20	2.2967
1992	164.3	189.0	52	0.852	1.17	2.2765
1993	390.0	182.8	53	0.869	1.15	2.2620
1994	550.0	182.7	54	0.885	1.13	2.2617
1995	500.0	172.0	55	0.902	1.11	2.2355
1996	310.0	165.6	56	0.918	1.09	2.2191
1997	182.7	164.3	57	0.934	1.07	2.2156
1998	310.7	154.0	58	0.951	1.05	2.1875
1999	318.2	153.1	59	0.967	1.03	2.1850
2000	322.0	100.1	60	0.984	1.02	2.0004
	Media	351.0			Media	2.5066
	Desv. Est.	147.78			Desv. Est.	0.1886
	Cof. Asim.	0.7003			Cof. Asim.	-0.2486

Cuadro Nº 12.- Uso de factores de Frecuencia – Distribución Log-Normal

T Años	P	K = Z	Y Estimado	Q (m^3/s) Antilog(Y)	LCI (m^3/s)	LCS (m^3/s)
2	0.50000	0.0000	2.5066	321.10	287.02	359.24
5	0.20000	0.8415	2.6653	462.75	406.10	527.30
10	0.10000	1.2817	2.7484	560.24	481.51	651.86
25	0.04000	1.7511	2.8369	686.90	574.55	821.23
50	0.02000	2.0542	2.8941	783.54	642.86	955.01
75	0.01333	2.2168	2.9247	840.87	682.51	1035.98
100	0.01000	2.3268	2.9455	882.01	710.62	1094.74
150	0.00667	2.4752	2.9735	940.71	750.26	1179.50
200	0.00500	2.5762	2.9925	982.92	778.46	1241.08
300	0.00333	2.7134	3.0184	1043.26	818.36	1329.98
400	0.00250	2.8074	3.0361	1086.71	846.80	1394.59
500	0.00200	2.8785	3.0495	1120.79	868.96	1445.61
1000	0.00100	3.0905	3.0895	1228.89	938.39	1609.31

Cuadro Nº 13.- Uso de factores de Frecuencia – Distribución Gumbel

T Años	P	K	Q (m^3/s) Antilog(Y)	LCI (m^3/s)	LCS (m^3/s)

2	0.50000	-0.1643	326.73	288.29	365.18
5	0.20000	0.7195	457.33	414.48	500.18
10	0.10000	1.3046	543.80	491.84	595.76
25	0.04000	2.0438	653.05	585.93	720.17
50	0.02000	2.5923	734.10	654.36	813.84
75	0.01333	2.9111	781.21	693.81	868.61
100	0.01000	3.1367	814.55	721.64	907.47
150	0.00667	3.4541	861.46	760.67	962.25
200	0.00500	3.6791	894.71	788.27	1001.15
300	0.00333	3.9959	941.52	827.06	1055.99
400	0.00250	4.2205	974.72	854.52	1094.92
500	0.00200	4.3947	1000.46	875.79	1125.13
1000	0.00100	4.9355	1080.39	941.74	1219.03

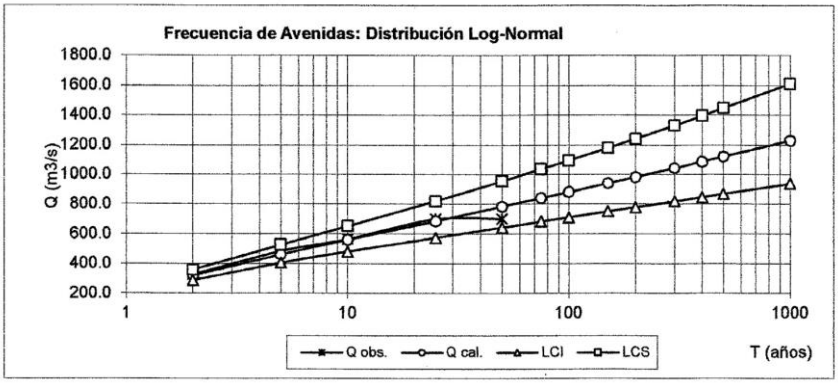
Cuadro Nº 14.- Uso de factores de Frecuencia – Distribución Log-Pearson III

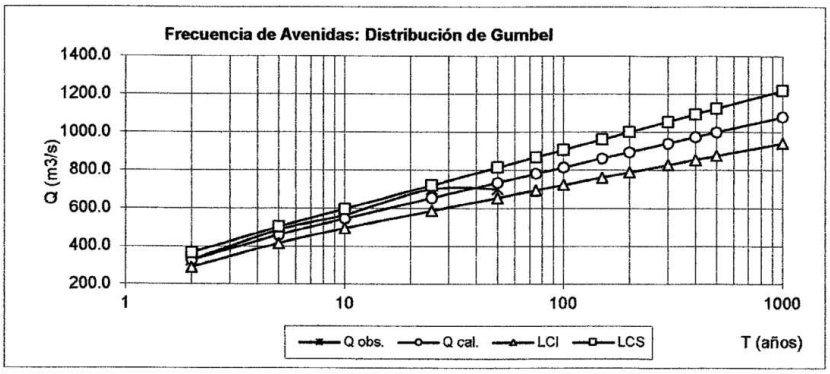
T Años	P	K	Y Estimado	Q (m^3/s) Antilog(Y)	LCI (m^3/s)	LCS (m^3/s)
2 5	0.50000	0.0414	2.5144	326.92	292.19	365.78
10	0.20000	0.8510	2.6671	464.67	407.60	529.71
25	0.10000	1.2519	2.7428	553.05	476.04	642.50
50	0.04000	1.6627	2.8202	661.03	555.87	786.10
75	0.02000	1.9189	2.8686	738.84	611.46	892.76
100	0.01333	2.0535	2.8939	783.32	642.65	954.77
150	0.01000	2.1434	2.9109	814.51	664.30	998.68
200	0.00667	2.2633	2.9335	858.03	694.21	1060.50
300	0.00500	2.3440	2.9487	888.64	715.06	1104.35
400	0.00333	2.4524	2.9692	931.45	743.98	1166.16
500	0.00250	2.5258	2.9830	961.63	764.20	1210.06
1000	0.00200	2.5809	2.9934	984.93	779.73	1244.13
	0.00100	2.7431	3.0240	1056.80	827.17	1350.18

Cuadro Nº 15.- Comparación de los valores de caudales máximos obtenidos

T Años	P	Q (m^3/s) observado	Q (m^3/s) Log-Normal	Q (m^3/s) Gumbel	Q (m^3/s) Log-Pearson

2 5	0.50000	326	321.10	326.73	326.92
10	0.20000	485	462.75	457.33	464.67
25	0.10000	565	560.24	543.80	553.05
50	0.04000	700	686.90	653.05	661.03
75	0.02000	700	783.54	734.10	738.84
100	0.01333		840.87	781.21	783.32
150	0.01000		882.01	814.55	814.51
200	0.00667		940.71	861.46	858.03
300	0.00500		982.92	894.71	888.64
400	0.00333		1043.26	941.52	931.45
500	0.00250		1086.71	974.72	961.63
1000	0.00200		1120.79	1000.46	984.93
	0.00100		1228.89	1080.39	1056.80





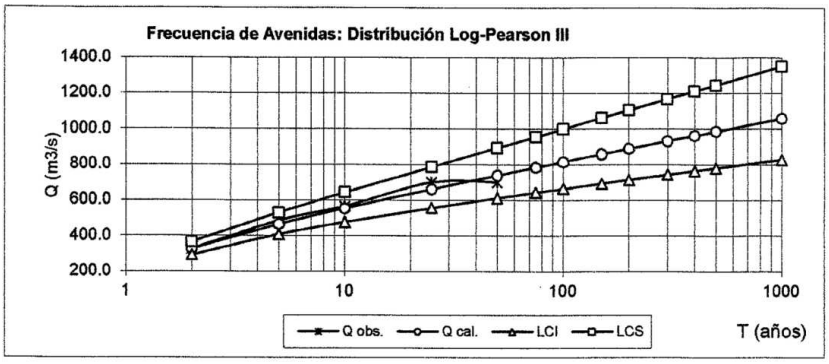


Figura Nº 10, 11 y 12.- Curvas de Frecuencia de Avenidas Q - T

5.6.7. Análisis de lluvias intensas

Una lluvia intensa o tormenta es generada por una perturbación atmosférica y que tiene características definidas. Las tormentas se analizan de los registros obtenidos de fluviógrafos de una estación meteorológica determinada En hidrología interesa conocer la magnitud de la tormenta que sirva de base para el diseño de un sistema hidráulico determinado. Constituyen, además la entrada en el sistema y donde la salida es el caudal de diseño que puede determinarse mediante la utilización de modelos lluvia - escorrentía.

El análisis de tormenta tiene aplicación en diferentes estudios de obras o proyectos hidráulicos, tales como: represas, drenaje urbano y agrícola, puentes, carreteras, conservación de suelos y encausamiento y de defensa ribereña, entre otras. En el análisis de tormenta interesa conocer los siguientes elementos:

Intensidad (I): Es la cantidad de agua caída (mm) durante un tiempo determinado (hora), y normalmente se expresa en mm/h e indica la magnitud de la tormenta. En hidrología interesa conocer la magnitud de la intensidad máxima presentada dentro de la tormenta de análisis.

Duración (D): es el tiempo de duración de la tormenta. Es el tiempo que transcurre entre el inicio y el fin de la tormenta; normalmente se expresa en minutos u horas.

Frecuencia (F): Está dada por el número de veces que se presenta o se repite una tormenta de intensidad 1 y de duración D. Generalmente se

expresa en años (tiempo de retorno) o probabilidad de ocurrencia (frecuencia).

Histograma: Es un gráfico de forma escalonada que expresa la variación de la intensidad de la tormenta (mm/h) en el transcurso de la misma (minutos u horas).

Intensidad Máxima: Es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo, normalmente se expresa como mm/h.

5.6.8. Variación de la intensidad con la duración

La siguiente figura muestra un pluviograma característico de registro de tormentas, durante la ocurrencia de una lluvia intensa, cuyos valores de precipitación acumulada fueron extrapolados en la tabla. En la situación mostrada, la precipitación ΔP registrada entre las 06:00 y las 06:20 horas (duración de 20 minutos) fue de 0.5 mm; entre las 06:20 y las 06:40 (duración de 20 minutos), AP fue de 1.2 mm, por lo tanto, más de dos veces mayor, para la misma duración. Esto demuestra la alta variabilidad de la intensidad de la lluvia dentro del mismo evento.

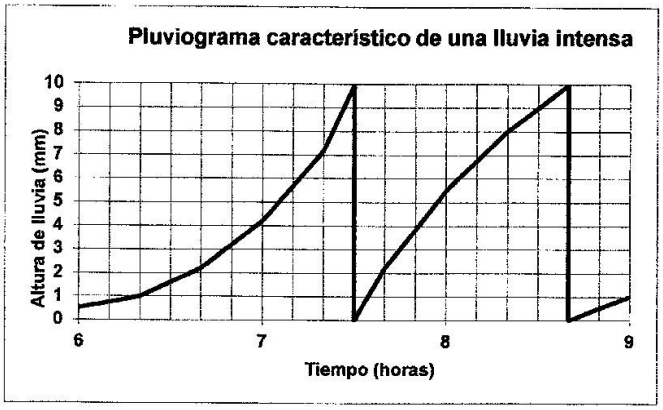


Figura Nº 13.- Pluviograma de una lluvia intensa

Hora	06:00	06:20	06:40	07:00	07:20	07:40	08:00	08:20	08:40	09:00
P (mm)	0.5	1.0	2.2	4.2	7.2	12.2	15.5	18.0	20.0	21.0

Extendiendo el análisis a toda la precipitación, se puede posicionar la duración de 20 minutos en todos los puntos posibles dentro de la lluvia y escoger la mayor altura AP correspondiente a esos 20 minutos de duración, para entonces calcular la intensidad respectiva: $I_m = \Delta P/2O$. Si aplicamos el mismo raciocinio para otras duraciones, como: 5, 10, 15, 30,

40, 50, 60, 80, 100, 120 mm, e incluyendo todas las lluvias ocurridas en un lugar dado, se obtiene un conjunto de puntos relacionando intensidad máxima y duración, dando origen a una curva donde la intensidad media de las lluvias disminuye a medida que aumenta la duración.

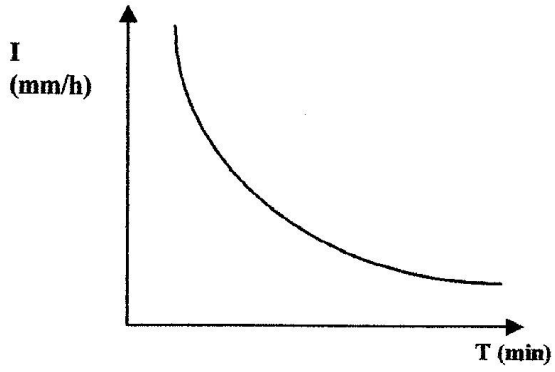


Figura 14.- Curva Intensidad – Duración de Lluvia

Las ecuaciones que representan las curvas de intensidad-duración, mostradas en la figura, tienen, en general, dos formas:

$$I = \frac{a}{t + b} \qquad \text{para: } 5 \le t \le 120 \text{ minutos}$$

$$I = a\,t^{n} \qquad \text{para: } t > 120 \text{ minutos}$$

Donde a, b y n son parámetros característicos de cada región, que pueden ser determinados estadísticamente.

Ejemplo:
Con la información de precipitaciones de la tabla anterior, determinar:

a) El histograma de intensidades y la curva masa y curva patrón para cada año.
b) Las intensidades máximas (mm/h) para periodos de duración de 10, 30, 60, 90, 150 y 180 minutos; para cada año.

Solución:

a) Con la información proporcionada, se elabora el siguiente cuadro:

Hora	Lluvia Mm	Tiempo (h)	Lluvia (mm)	Tiempo (h)	Lluvia (mm)	Intensidad (mm/h)	Tiempo adimen.	Lluvia adimen.
06:00	0.5	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
06:20	1.0	0.33	0.5	0.33	0.5	1.50	0.11	0.02
06:40	2.2	0.33	1.2	0.67	1.7	3.60	0.22	0.08
07:00	4.2	0.33	2.0	1.00	3.7	6.00	0.33	0.18
07:20	7.2	0.33	3.0	1.33	6.7	9.00	0.44	0.33
07:40	12.2	0.33	5.0	1.67	11.7	15.00	0.56	0.57
08:00	15.5	0.33	3.3	2.00	15.0	9.90	0.67	0.73
08:20	18.0	0.33	2.5	2.33	17.5	7.50	0.78	0.85
08:40	20.0	0.33	2.0	2.67	19.5	6.00	0.89	0.95
09:00	21.0	0.33	1.0	3.00	20.5	3.00	1.00	1.00

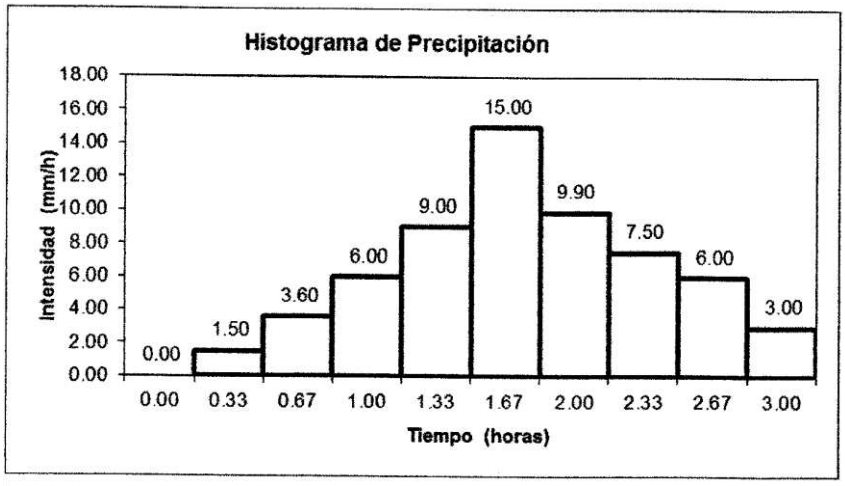


Figura Nº 15.- Hidrograma de una precipitación

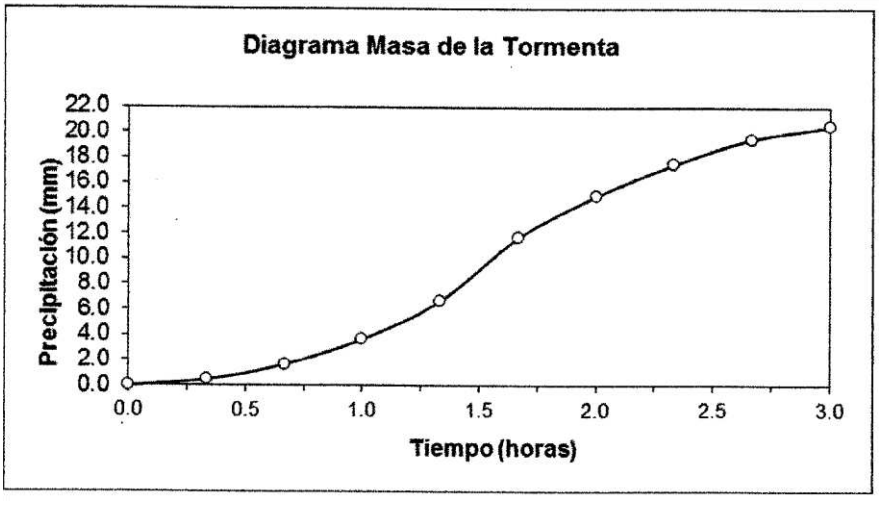


Figura Nº 16.- Diagrama Masa de una tormenta

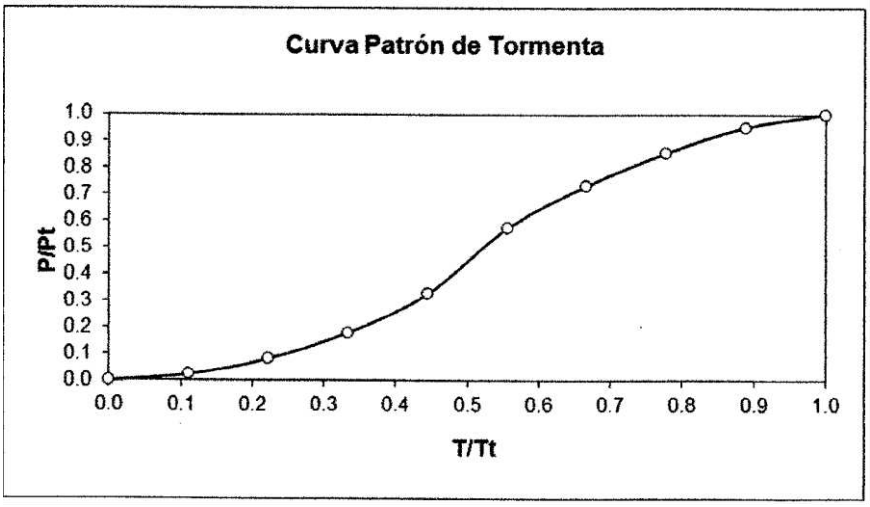


Figura Nº 17.- Curva patrón de una tormenta

b) Del cuadro anterior se desprende que la intensidad máxima de lluvia es de 15 mm/h para una duración menor o igual a 20 minutos. Para tiempos de duración mayores a 20 minutos la intensidad se calcula mediante una ponderación con las intensidades siguientes de mayor magnitud; así se tiene, por ejemplo, para una duración de 60 minutos:

$$I_{60} = \frac{15.00 \cdot 20}{60} + \frac{9.90 \cdot 20}{60} + \frac{9.00 \cdot 20}{60} = 11.30 \ mm/h$$

La siguiente tabla muestra los resultados de cálculo de intensidades máximas para otras duraciones:

Duración (min)	Intensidad (mm/h)
10 30	15.00
60	13.30 11.30
90	9.87
150 180	7.80
	6.83

5.6.9. Relaciones entre la intensidad, duración y frecuencia

Para considerar la variación de la intensidad con la frecuencia, se fija, cada vez, una duración determinada. Analizando los pluviogramas de una estación pluviométrica, se puede escoger el máximo de cada año, para cada duración t, organizando una tabla de una serie anual, constituida por n valores máximos susceptible de ser tratada estadísticamente para determinar las frecuencias de ocurrencia. Diversos métodos pueden ser usados, siendo el más común el de Ven Te Chow-Gumbel que permite calcular el valor de la lluvia para un período de retorno dado, según la siguiente ecuación:

$$X = \bar{X} + K S$$

Donde:

X : es la precipitación para un determinado período de retorno T

$\bar{X}$: es la media de X

K : es un factor de frecuencia

S : es la desviación estándar de los datos

Los factores de frecuencia para diferentes distribuciones fueron descritos anteriormente y dependen del período de retorno.

Cada serie es analizada y calculada las intensidades máximas probables para varios períodos de retorno y los resultados pueden ser organizados en tablas. El gráfico de estos valores origina una familia de curvas que relaciona la Intensidad, Duración y Frecuencia, válidas para el lugar donde fueron medidos los datos.

La obtención de los datos de intensidad para duraciones cortas requiere la existencia de pluviógrafos con resolución temporal alta. Dado que en la mayoría de las estaciones solo existe pluviómetro, proporcionando solo valores totales diarios de lluvia. Para este caso existe el método de la curva patrón de tormenta o diagrama masa adimensional, obtenida de la estación pluviográfica, y que permite desagregar las lluvias diarias de estaciones donde solo se cuenta con pluviómetro.

De otro lado, el procesamiento manual de los datos para definir las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia representa un trabajo mecánico muy grande, que afortunadamente puede ser facilitada con el uso de la computadora para los cálculos y manipulación de la información, o

digitalizadores para efectuar la interpretación de los pluviogramas, transformando la información gráfica directamente en información digital.

Grandes avances vienen ocurriendo en el área de instrumentación, y actualmente ya se trabajan en sistemas de recolección de datos de precipitación, por ejemplo, que almacenan directamente en memorias digitales para lectura por computadoras que procesan automáticamente los datos.

Ejemplo:
Con la información de intensidades máximas de lluvia precipitaciones dados en la siguiente tabla, determinar las curvas de Intensidad — Frecuencia — Duración, para diferentes periodos de retorno:

Cuadro Nº 16.- Intensidades máximas de tormentas en mm/h para 19 años de registro y diferentes duraciones registro y diferentes duraciones

Duración (minutos)			
10 minutos	**30 minutos**	**60 minutos**	**120 minutos**
80	52	48	37
105	60	29	23
91	59	15	10
62	47	20	17
98	36	21	22
70	43	23	20
85	45	15	10
89	29	19	14
90	77	17	9
102	46	24	18
110	49	27	21
81	28	16	11
100	29	14	8
103	38	20	16
75	41	18	12
92	39	26	22
65	50	34	28
84	40	28	24
113	52	36	29

Solución:

Cuadro Nº 17.- Procesamiento de datos de intensidades máximas para 19 años de registro

registro

Año	I Mm/h	I (orden) Mm/h	Posición M	P > =1 m/(N+1)	T (años) (N+1)/m	Y = Log I
1	2	3	4	5	6	7
1	80.0	113.0	1	0.050	20.00	2.0531
2	105.0	110.0	2	0.100	10.00	2.0414
3	91.0	105.0	3	0.150	6.67	2.0212
4	62.0	103.0	4	0.200	5.00	2.0128
5	98.0	102.0	5	0.250	4.00	2.0086
6	70.0	100.0	6	0.300	3.33	2.0000
7	85.0	98.0	7	0.350	2.86	1.9912
8	89.0	92.0	8	0.400	2.50	1.9638
9	90.0	91.0	9	0.450	2.22	1.9590
10	102.0	90.0	10	0.500	2.00	1.9542
11	110.0	89.0	11	0.550	1.82	1.9494
12	81.0	85.0	12	0.600	1.67	1.9294
13	100.0	84.0	13	0.650	1.54	1.9243
14	103.0	81.0	14	0.700	1.43	1.9085
15	75.0	80.0	15	0.750	1.33	1.9031
16	92.0	75.0	16	0.800	1.25	1.8751
17	65.0	70.0	17	0.850	1.18	1.8451
18	84.0	65.0	18	0.900	1.11	1.8129
19	113.0	62.0	19	0.950	1.05	1.7924
	Media	89.21			Media	1.9445
	Desv. Est.	14.72			Desv. Est.	0.0748
	Cof. Asim.	-0.2488			Cof. Asim.	-0.5553

Cuadro Nº 18.- Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno

Distribución Log-Normal Distribución Log-Normal

Periodo de retorno T (años)	Probabilidad de excedencia P	Intensidad máxima Imáx (mm/h)	Límite de confianza inferior LCI	Límite de confianza superior LCS
2	0.5000	88.00	83.97	92.23
5	0.2000	101.72	96.32	107.42
10	0.1000	109.73	103.00	116.90
25	0.0400	118.96	110.41	128.18
50	0.0200	125.34	115.39	136.14
75	0.0133	128.89	118.13	140.64
100	0.0100	131.36	120.02	143.77
150	0.0067	134.76	122.60	148.11
200	0.0050	137.12	124.39	151.15

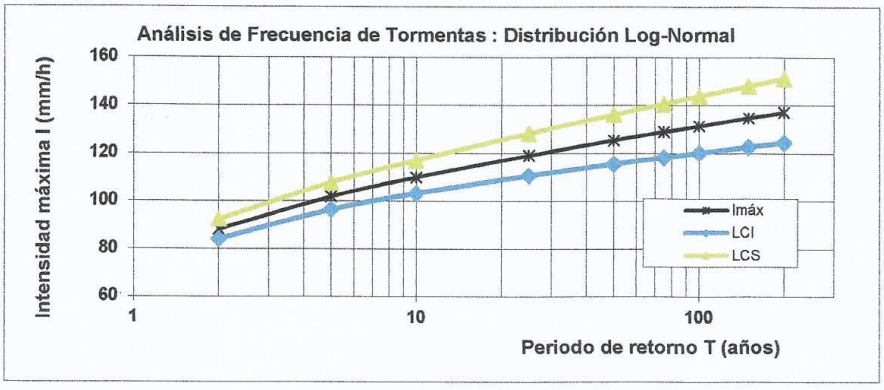


Figura Nº 18.- Análisis de frecuencias de tormentas – Distribución Log-Normal

Cuadro Nº 19.- Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno Distribución Gumbel

Periodo de retorno T (años)	Probabilidad de excedencia P	Intensidad máxima Imáx (mm/h)	Límite de confianza inferior LCI	Límite de confianza superior LCS
2	0.5000	86.79	82.76	90.83
5	0.2000	99.80	95.30	104.30
10	0.1000	108.42	102.96	113.87
25	0.0400	119.30	112.25	126.35
50	0.0200	127.37	119.00	135.75
75	0.0133	132.07	122.89	141.24
100	0.0100	135.39	125.63	145.14
150	0.0067	140.06	129.48	150.64
200	0.0050	143.37	132.20	154.55

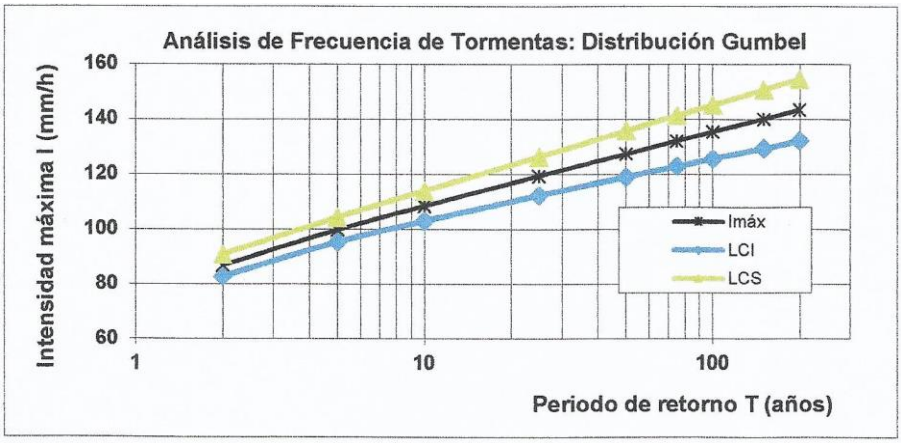


Figura Nº 19.- Análisis de frecuencias de tormentas – Distribución Gumbel

Cuadro Nº 20.- Intensidades máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno

Distribución Log-Normal

Duración minutos	Periodo de retorno T (años)								
	2	5	10	25	50	75	100	150	200
10	88.00	101.72	109.73	118.96	125.34	128.89	131.36	134.76	137.12
30	43.82	54.60	61.25	69.24	74.95	78.20	80.48	83.66	85.90
60	22.41	29.66	34.34	40.15	44.41	46.88	48.63	51.09	52.84
120	16.92	24.45	29.65	36.41	41.57	44.63	46.83	49.97	52.23

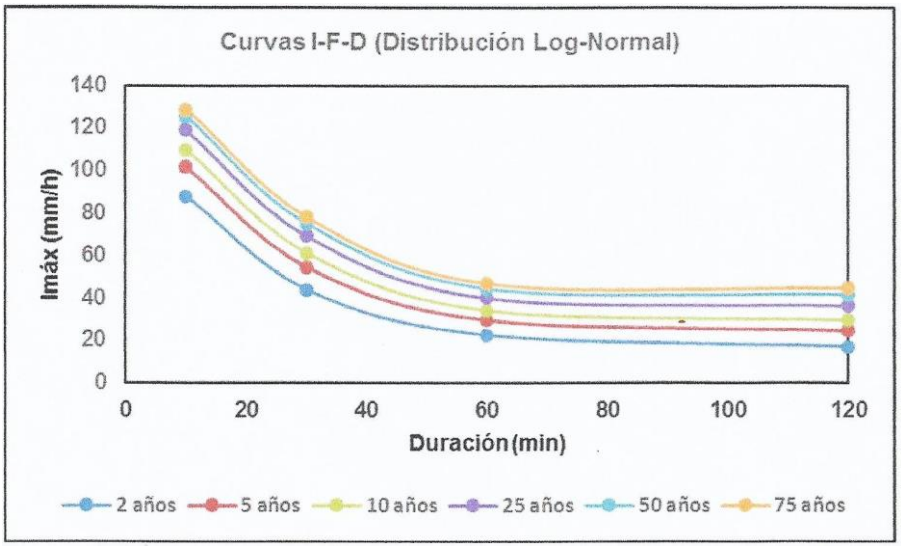


Figura Nº 20.- Curvas I – D – F, Distribución Log-Normal

Cuadro Nº 21.- Intensidades máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno

Distribución Log-Normal

Duración minutos	Periodo de retorno T (años)								
	2	5	10	25	50	75	100	150	200

10	86.79	99.80	108.42	119.30	127.37	132.07	135.39	140.06	143.37
30	43.29	53.91	60.94	69.83	76.42	80.25	82.96	86.77	89.48
60	22.26	29.92	34.98	41.39	46.13	48.90	50.85	53.60	55.55
120	17.19	24.09	28.67	34.44	38.73	41.22	42.98	45.46	47.22

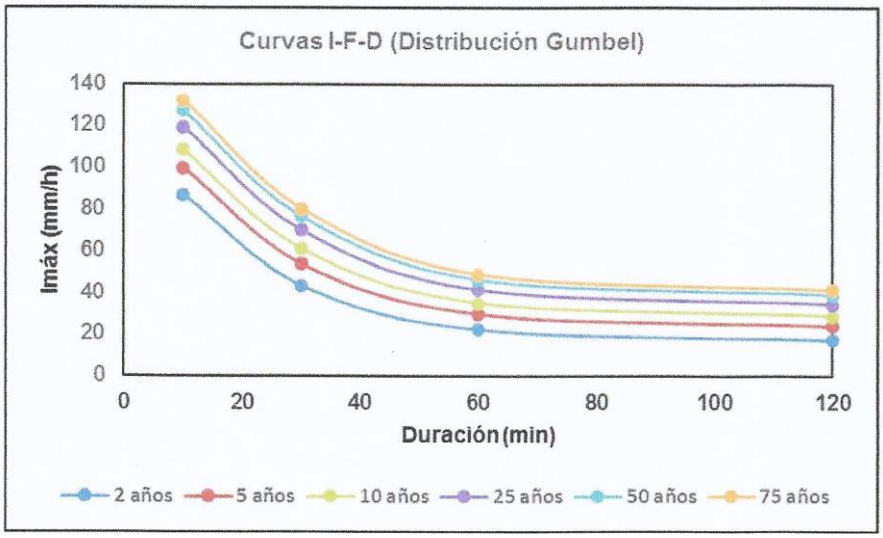


Figura Nº 21.- Curvas I – D – F, Distribución Gumbel

5.7. Determinación de las curvas I - D - F para la sierra peruana

En base a la información de las tormentas de las estaciones meteorológicas de Weberbauer (Cajamarca), Huancavelica (Huancavelica), Santa Rosa (Ayacucho), Yauricocha (Huancayo) y Kayra (Cuzco) así como a la revisión de diferentes trabajos hidrológicos llevados a cabo por el Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (PRONAPEPMI), durante ¡as décadas del 70 y 80; y de algunos trabajos de tesis efectuados para dichas estaciones metereológicas, se obtendrá un gráfico de Intensidad — Duración — Frecuencia a fin de poder definir la Intensidad máxima de precipitación para una duración de 60 minutos y para un periodo de retorno de 25 años, representativa para las condiciones críticas o más desfavorable que se puedan presentar en la sierra; la misma que servirá para efectuar las simulaciones en el cálculo de las características hidráulicas de las zanjas de infiltración y su espaciamiento recomendado entre ellas.

Evaluación de las lluvias

En los cuadros N° 22, 23, 24, 25 y 26 se presentan los resultados consolidados de los análisis de las tormentas para la elaboración de las curvas IDF de las siguientes estaciones:

Estación	Región	Altitud (msnm)
Weberbauer	Cajamarca	2.536
Yauricocha	Junín	4375
Huancavelica	Huancavelica	3680
Santa Rosa	Ayacucho	3600
Kayra	Cuzco	3.250

En los siguientes gráficos se presentan las curvas IDF de las estaciones indicadas.

Del análisis de estos cuadros y figuras, se deduce que el mayor valor de la intensidad máxima para una duración de 60 minutos y un periodo de retorno de 25 años es de 27.8 mm/h y que se registra en la Estación Weberbauer de Cajamarca. Para la estación Yauricocha (Cuenca del Mantaro), la intensidad máxima de precipitación es de 23.4 mm/hora; para la estación Huancavelica (Región Huancavelica), la intensidad máxima es 21.9 mm/hora, para la estación Santa Rosa (Región Ayacucho), la intensidad máxima es de 23.3 mm/hora y para la estación Kayra (Cuzco) es de 12.92 mm/hora.

Cuadro N° 22.- Relación Intensidad – Duración – Frecuencia de la Precipitación

Estación WEBERBAUER - Cajamarca

Duración (min)	Intensidad (mm/h)			
	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 50 años
5	88.3	103.8	124.4	140.0
10	65.3	74.2	85.9	94.8
30	34.2	38.8	45.0	49.6
60	20.5	23.7	27.8	30.9

Fuente: SENAMHI-Cajamarca

Cuadro N° 23.- Relación Intensidad – Duración – Frecuencia de la Precipitación
Estación HUANCAVELICA – Huancavelica

Duración (min)	Intensidad (mm/h)			
	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 50 años
60	16.8	19.1	21.9	24.1
180	7.3	8.2	9.2	10.0
360	4.2	4.6	5.1	5.4
720	2.3	2.4	2.7	2.9
1440	1.3	1.4	1.5	1.5

Fuente: ElectroPerú

Cuadro N° 24.- Relación Intensidad – Duración – Frecuencia de la Precipitación Estación, SANTAROSA – Ayacucho

Duración (min)	Intensidad (mm/h)			
	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 50 años
60	18.3	20.6	23.3	25.4
180	8.6	9.4	11.5	13.8
360	5.1	5.7	6.4	6.9
720	2.9	3.0	3.7	4.0
1440	1.6	1.9	2.2	2.4

Fuente: ElectroPerú

Cuadro N° 25.- Relación Intensidad – Duración – Frecuencia de la Precipitación Estación YAURICOCHA - Junín

Duración (min)	Intensidad (mm/h)			
	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 50 años
10	78.0	94.8	117.0	133.9
30	36.6	42.0	49.2	54.6
60	19.0	20.9	23.4	25.3
120	10.2	11.1	12.3	13.3
360	3.6	3.9	4.3	4.6
720	1.8	1.9	2.0	2.1

Fuente: Arias Lescano, UNALM.

Cuadro N° 26.- Relación Intensidad – Duración – Frecuencia de la Precipitación Estación KAYRA – Cuzco

Duración (min)	Intensidad (mm/hora)			
	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 50 años
10	14.00	16.00	20.00	20.34
30	9.51	10.94	19.00	13.84
60	5.17	5.95	12.92	7.52
120	3.52	4.05	4.77	5.10
360	2.39	2.75	3.25	3.50
720	1.63	1.87	2.20	2.38

Fuente: ElectroPerú

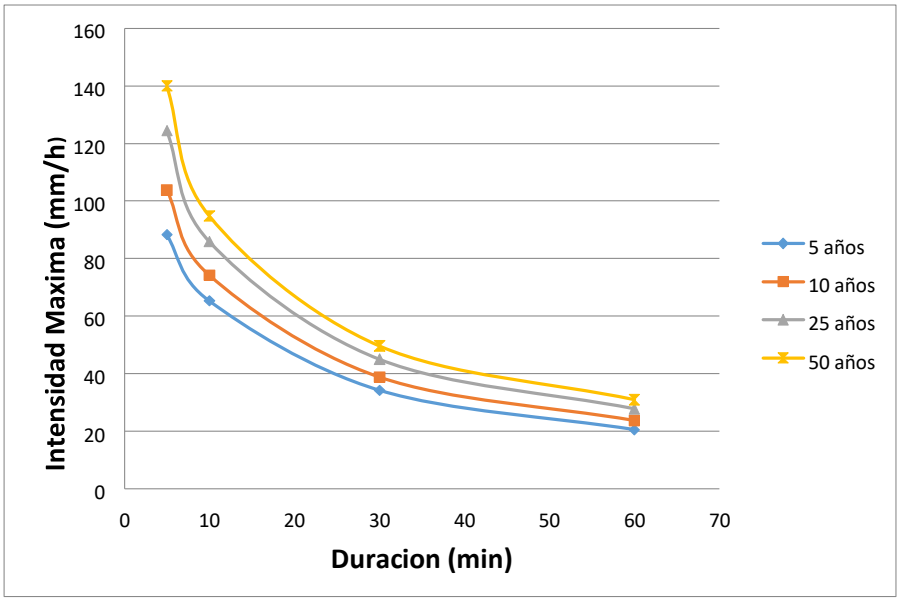


Figura Nº 22.- Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia. Estación A. Weberbauer – Cajamarca. Altitud: 2536 msnm

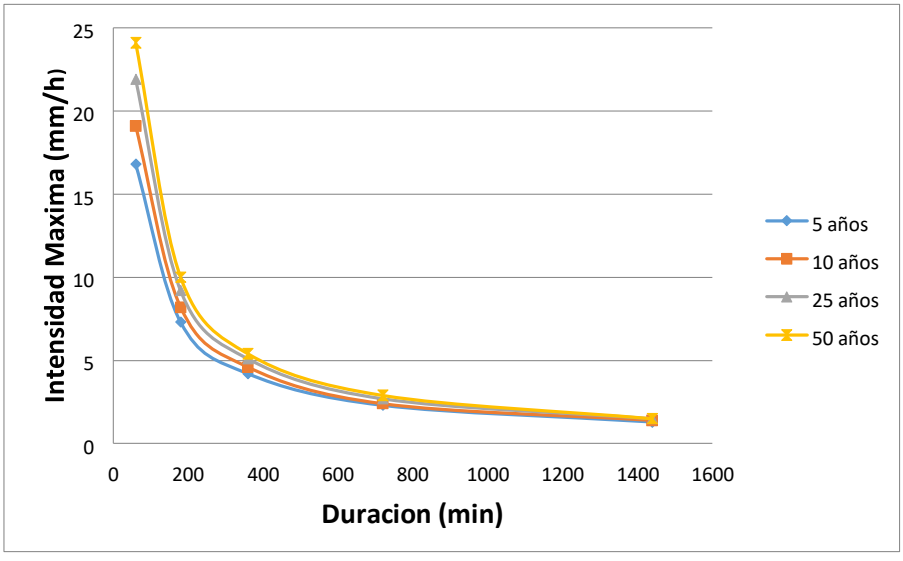


Figura Nº 23.- Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia. Estación metereológica – Huancavelica. Altitud: msnm

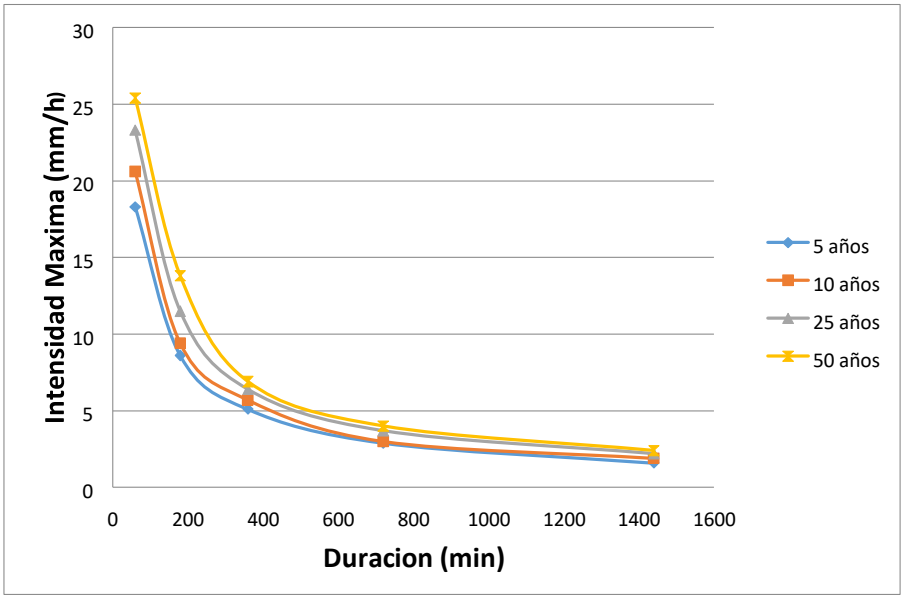


Figura Nº 24.- Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia. Estación metereológica – Santa Rosa. Altitud: msnm

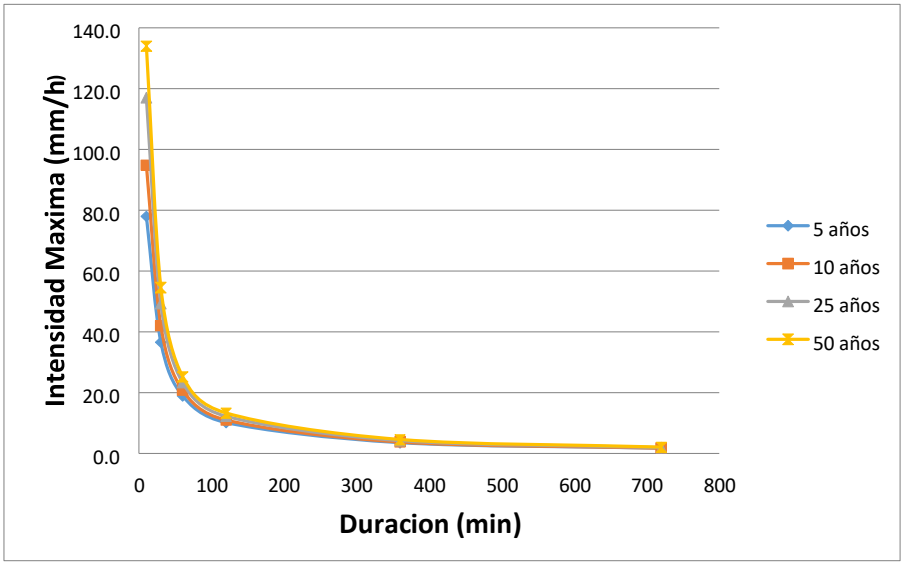


Figura Nº 25.- Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia. Estación metereológica – Yauricocha. Altitud: msnm

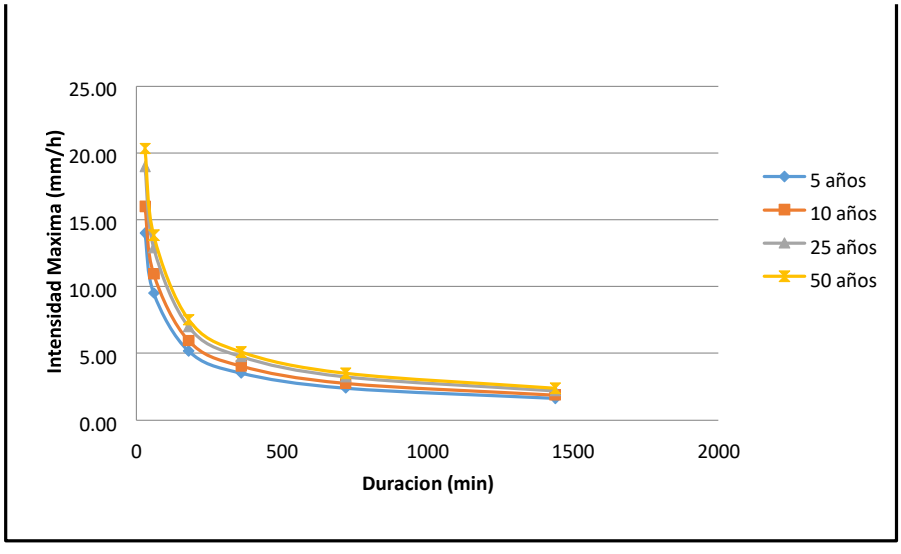


Figura Nº 26.- Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia. Estación Kayra - Cusco. Altitud: 3215 msnm

5.7.1. El coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la escorrentía directa y la intensidad promedio de lluvia. Se entiende como escorrentía directa el exceso de precipitación que se obtiene luego que el agua fluye por toda la cuenca. El coeficiente de escorrentía también se puede expresar como la relación entre la escorrentía y la precipitación en un período.
El coeficiente de escorrentía depende, además, de la intensidad de la lluvia, de las características del suelo, la vegetación y la pendiente del suelo.

5.7.2. El caudal

a. Medición del Caudal

La medición del caudal de un río se denomina AFORO. Para registrar los caudales de un río se instala en una sección del río una "Estación de Aforo" que debe estar implementada con un limnímetro o limnígrafo, que son aparatos que miden el nivel del agua en el río. El limnímetro es una mira graduada que mide la altura o nivel de agua alcanzada por el flujo en una sección; el limnígrafo es un aparato que registra (grafica) el nivel de agua en función del tiempo. En la misma sección del río se efectúa el AFORO mediante el correntómetro, que es un aparato que mide la velocidad del agua y que al multiplicarla por el área de la sección nos da el caudal del río. La altura de agua (h) se correlaciona con el caudal aforado (Q), según Q = f(h), obteniéndose la "curva de calibración" del río. Esta curva permitirá, en adelante, obtener el caudal del río en cualquier instante a partir del valor del nivel del agua.

b. Registro de Datos del Caudal

- **Caudales Medios diarios**
  Son los caudales que se obtienen del promedio de 2 ó 3 lecturas diarias de altura de agua del río. Se expresa en m^3/s o l/s.

- **Caudales Medios Mensuales**
  Son los que se obtienen del promedio de los caudales medios diarios dentro de un mes.

- **Caudales Medios Anuales**
  Son los caudales obtenidos del promedio de los caudales correspondientes a los 12 meses del año.
  En el cuadro N° 10, se presenta los datos de caudales medios mensuales del río Pisco.

El análisis de los datos de caudales es similar al de la lluvia. Se recurre también a la estadística como herramienta auxiliar, para calcular sus principales parámetros estadísticos y analizarlos probabilísticamente. La diferencia fundamental que hay que tener en cuenta en el tratamiento estadístico es que la lluvia es un fenómeno netamente aleatorio, mientras que el caudal, además de aleatorio es una variable que está relacionada en el tiempo (autocorrelacionado).

c. Análisis de Frecuencia de Caudales

En Hidrología el análisis de frecuencia de caudales es muy importante; porque nos permite predecir la disponibilidad de agua de un río a partir de datos históricos de caudales. Es decir, podemos saber con qué frecuencia se va a presentar un caudal de cierta magnitud. Para esto es muy útil el uso de la "curva de duración" que indica el porcentaje de tiempo en que el caudal es igual o mayor que un valor dado.

El método consiste en ordenar en intervalos de clase un conjunto o muestra grande de datos de caudales medios diarios y calcular el número de ocurrencias en cada intervalo. Luego, se "plotea" el límite inferior del intervalo con la frecuencia en porcentaje.

En el Cuadro N° 27, se presenta un ejemplo de cálculos para elaborar la curva de duración de caudales de un río, y en la figura N° 10 se muestra la curva correspondiente.

5.8. Estudio de disponibilidad de agua

Desde el punto de vista hidrológico se entiende por disponibilidad de agua a la cantidad de agua que se dispone en un sistema hidrológico para abastecer la demanda de un usuario del agua. Esta cantidad puede provenir directamente de la lluvia o estar disponible en ríos, quebradas o lagunas. La demanda puede ser poblacional (para agua potable), agrícola, pecuaria, para piscigranja, hidroeléctrica, etc. Como se puede apreciar, el uso del agua es múltiple dentro de una cuenca; por esta razón es muy importante hacer una buena evaluación de la disponibilidad de agua cuando se está efectuando planes de desarrollo y manejo de cuencas. En el caso agrícola, cuando la disponibilidad de agua en una región está dada exclusivamente por la lluvia para abastecer la demanda de los cultivos, se dice que en esta región se tiene una "agricultura en secano". Cuando la disponibilidad de agua se toma de flujos superficiales para regar los cultivos, estamos frente a una "agricultura bajo riego".

La agricultura en secano solo se puede dar en la Sierra o en la Selva Alta, que son regiones que registran una cantidad de lluvia alta pero de régimen

irregular. La Costa es una zona netamente de agricultura bajo riego debido a que la lluvia es prácticamente nula. Sin embargo, en la Sierra o Selva Alta de nuestro país, no se puede hablar estrictamente de una agricultura en secano porque la lluvia tiene un régimen tan irregular que la mayor cantidad se precipita en 4 ó 5 meses del año, disminuyendo notablemente en los otros meses, llegando a CERO durante algunos meses, como ocurre en la Sierra. Más aún, dentro de los meses "lluviosos", la lluvia no es uniforme (principalmente en la Sierra) y por lo tanto no está disponible en el tiempo oportuno para las plantas. Por esta razón, en la Sierra y en algunas zonas de la Selva Alta, el riego también juega un rol muy importante en la agricultura, por lo que se puede afirmar que en estas zonas se utiliza la lluvia y el flujo superficial para abastecer a los cultivos como riego complementario. En una agricultura "con lluvia y riego" es posible obtener "dos (02) cosechas al año", aumentando de esta manera la producción agrícola.

En nuestro país, existen pocos o ningún estudio de lluvia para hacer una buena práctica de agricultura en secano, a diferencia de otros países. Por esta razón, al referirnos a la disponibilidad de agua en este capítulo nos estamos refiriendo a los flujos superficiales.

Cuadro N° 27.- Caudales medios mensuales en m³/s del río Pisco

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1941	67.5	63.4	54.0	6.1	4.6	2.9	1.2	1.1	1.2	5.9	3.9	13.0
1942	102.0	69.7	53.6	13.5	16.1	3.0	1.8	1.7	1.6	2.2	3.6	3.4
1943	71.6	144.0	84.4	71.2	11.5	5.3	3.4	2.8	2.1	2.5	4.9	9.0
1944	60.1	85.0	110.0	23.9	6.9	3.8	4.2	3.0	1.9	7.8	2.8	4.3
1945	39.5	50.3	127.0	40.2	8.3	3.1	2.1	2.0	1.8	1.8	5.1	18.0
1946	64.2	127.0	109.0	48.2	12.6	2.9	2.3	1.9	2.0	2.9	9.8	28.6
1947	58.9	38.4	61.3	20.5	7.3	3.3	2.3	1.7	1.5	1.7	2.2	2.8
1948	46.2	93.7	79.5	48.0	31.3	13.2	7.9	3.5	2.3	15.1	25.0	5.4
1949	46.5	72.0	89.1	37.4	2.8	1.9	1.9	1.9	1.8	3.4	12.5	4.3
1950	34.6	52.5	51.2	46.6	7.3	1.9	1.6	1.6	0.6	2.9	4.5	64.0
1951	39.8	83.6	159.0	30.0	4.1	2.2	1.8	1.6	1.6	4.1	28.1	27.4
1952	100.0	105.0	72.0	27.0	4.1	3.6	2.8	2.4	2.4	3.8	4.6	11.6
1953	48.9	132.0	148.0	33.2	9.8	3.9	3.0	2.1	1.8	3.9	17.5	10.8
1954	71.9	103.0	124.0	4.9	3.0	2.5	2.1	2.0	1.8	5.4	19.0	14.4
1955	78.6	120.0	157.0	23.1	4.3	3.0	2.7	2.6	2.2	3.4	2.7	4.3
1956	32.7	157.0	66.9	35.4	5.2	2.8	2.4	2.0	1.7	2.8	3.3	0.9
1957	16.6	124.0	106.0	35.8	8.4	3.1	2.3	1.7	1.1	1.7	5.3	7.9
1958	23.6	64.8	62.6	6.4	2.8	1.8	1.2	0.9	0.8	1.8	5.0	1.5
1959	31.4	89.4	132.0	66.6	7.1	2.6	1.1	0.7	0.7	2.5	6.6	33.7
1960	80.0	81.2	31.3	4.4	3.4	2.7	2.0	1.1	1.1	2.8	6.9	6.7

Cuadro N° 28.- Cálculos para la elaboración de la curva de duración de caudales diarios de un río (correspondiente a un año)

INTERVALO DE CLASE (m^3/s)	LÍMITE INFERIOR DE INTERVALO (m^3/s)	N° DE OCURRENCIAS DEL INTERVALO	N° DE VECES QUE EL CAUDAL ES MAYOR O IGUAL AL LÍMITE INFERIOR	% TIEMPO QUE EL CAUDAL ES MAYOR QUE EL LÍMITE INFERIOR
10-34.5	10	118	365	100.0
35-59.5	35	80	247	67.7
60-84.5	60	95	167	45.8
85-109.5	85	36	72	19.7
110.134.5	110	16	36	9.9
135-159.5	135	8	20	5.5
160-184.5	160	3	12	3.3
185-209.5	185	2	9	2.5
210-234.5	210	3	7	1.9
235-259.5	235	1	4	1.1
260-284.5	260	1	3	0.8
285-309.5	285	0	2	0.5
310-334.5	310	0	2	0.5
335-359.5	335	0	2	0.5
360-384.5	360	0	2	0.5
385-409.5	385	1	2	0.5
410-434.5	410	0	1	0.3
435-459.5	435	0	1	0.3
460-484.5	460	1	1	0.3

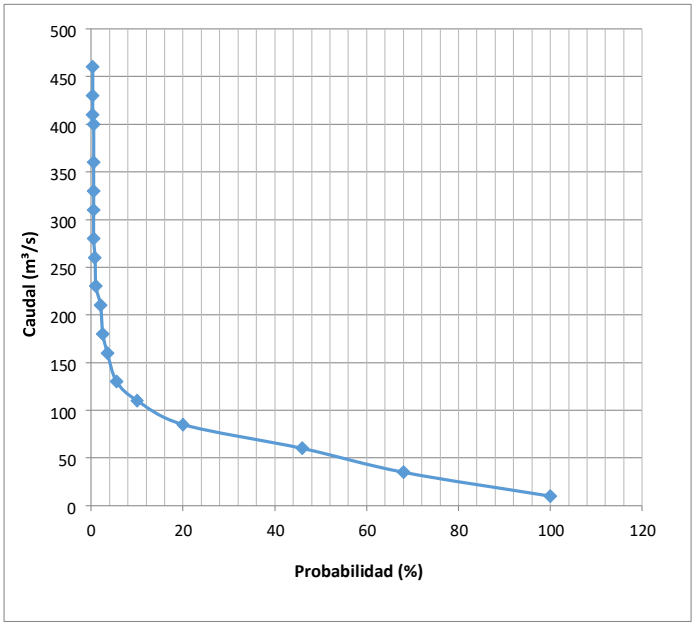


Figura N° 27.- Curva de duración de caudales diarios (m³/s)

5.8.1. Cálculo de la disponibilidad de agua

En el cálculo de la disponibilidad de agua nos encontramos generalmente frente a dos situaciones:
- Caso en que el río o fuente de agua tiene datos históricos de caudales.
- Caso en que la fuente de agua no tiene datos históricos de caudales.

1. **Caso en que la fuente de agua tiene datos de caudales** En este caso es suficiente procesar los datos históricos de caudales tal como se ha visto en el ítem 4. Los datos se pueden analizar estadísticamente, mediante un análisis de frecuencia.

   Lo más común es elaborar la "curva de duración" de caudales a partir de la cual se puede determinar los caudales disponibles para un determinado nivel de persistencia (en %). Para el caso de proyectos de riego, es suficiente trabajar con datos mensuales. Para el caso de centrales hidroeléctricas, se debe usar datos diarios de caudales.

2. **Caso en que la Fuente de Agua No tiene Datos de Caudales**

a. Uso de la fórmula racional modificada

En este caso, si se trata de cuencas pequeñas, es posible utilizar la Fórmula Racional Modificada, aunque esto no es estricto, porque esta fórmula fue desarrollada para el cálculo de crecientes. Sin embargo, en la práctica da buenos resultados. Cuando se trata de cuencas pequeñas, la precipitación utilizada, es la total anual. La fórmula modificada es:

$$V = 1000 \times C \times P \times A$$

Donde:
V = Volumen de agua de escorrentía (m^3)
C = Coeficiente de escorrentía
P = Precipitación total anual media (mm)
A = Área de la cuenca (Km^2)
Este método debe usarse únicamente para calcular volúmenes anuales de escorrentía superficial.

Ejemplo:
Calcular el volumen de escorrentía anual de una subcuenca que tiene un área de 50 Km^2 y cuya precipitación total anual calculada con el método de las Isoyetas es 700 mm. El coeficiente de escorrentía estimado de la cuenca es 0,40.

Solución:
De los datos:
C = 0,40
A = 50 Km^2
P = 700 mm
Aplicando la fórmula:
$V = 1000 \times 0{,}40 \times 700 \times 50$
$V = 14\,000\,000\ m^3$

b. Uso de modelo precipitación (lluvia) – escorrentía

Cuando se requiere obtener datos mensuales de caudales, la fórmula vista en el punto anterior a) ya no es suficiente. En este caso es necesario utilizar un modelo que posea las características de autocorrelación que presentan los caudales mensuales. Esto se puede conseguir mediante el uso de un modelo "Precipitación Escorrentía" como el siguiente:

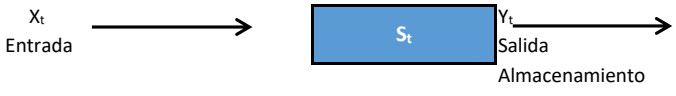
$$Q_t = a_1 + a_2 Q_{t-1} + a_3 P_t + a_4 E_t$$

Donde:
Q_t = Caudal del mes t (generado)
Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1) P_t = Precipitación total del mes t a_1, a_2, a_3, a_4 = Parámetros del modelo
E_t = Variable aleatoria normal

Este método da buenos resultados en la sierra peruana, y también en zonas de selva alta. Es práctico, porque utiliza datos de precipitación mensual que se encuentran disponibles en todas las estaciones meteorológicas del país.

5.9. Estudio de abastecimiento de agua o balance hídrico

El estudio de abastecimiento de agua de un proyecto de aprovechamiento de agua, principalmente con fines de riego y/o energéticos (hidroeléctricas) implica fundamentalmente el estudio del esquema hidráulico visto como un sistema hidrológico.



La relación entre la entrada, salida y almacenamiento de agua está dada por la ecuación de conservación de la masa.

$$\frac{dS}{dt} = X_t - Y_t \qquad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = X_t - Y_t \qquad (2)$$

Donde:
X_t = Entrada del sistema
Y_t = Salida o demanda del sistema
S_t = Almacenamiento del sistema
$ds = (X_t - Y_t)\, dt$

$$\int_{S_1}^{S_2} dS = (t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} dt$$

□□□□-1 0

Límites: $t = 0$ $S = S_{t-1}$

$t = 1$ $S = S_t$

Para un incremento de tiempo dt = 1, la ecuación (1) se puede escribir así:

$S_t - S_{t-1} = X_t - Y_t$ ó

$S_t = S_{t-1} + (X_t - Y_t)$ (3)

Que constituye una Ecuación General de Almacenamiento
Esta es la ecuación fundamental para el Estudio de Operación de Embalses que se utiliza en Proyectos de Riego y/o Hidroeléctricas, donde:

X_t = Volumen disponible (m^3)
Y_t = Demanda del Proyecto (m^3)
S_t = Almacenamiento del mes t (m^3)
S_{t-1} = Almacenamiento del mes anterior (m^3)
X_t e Y_t = Son las variables con datos disponibles
S_{t-1} = Es un valor inicial

Por lo tanto, la variable cuya magnitud es S_t, es decir, S_t es el almacenamiento requerido para abastecer al Proyecto.

5.9.1. Estudio de máximas avenidas

Una creciente o avenida es un caudal de gran magnitud que desborda los ríos, quebradas y canales artificiales. En manejo de cuencas interesa estudiar el caudal, creciente o avenida de diseño para estructuras de conducción (canales, obras de demasía, bocatomas, alcantarillas, etc.), y para estructuras de regulación (embalses).

En el análisis de los datos hidrológicos puede presentarse el caso de que se tenga a disposición registros históricos de caudales; entonces dependiendo del problema a resolver un análisis probabilístico puede ser conveniente. El caso más frecuente es cuando no se dispone de caudales, por lo que es necesario calcular éstos a partir de la lluvia, usando un modelo hidrológico precipitación – escorrentía. También interesa conocer el hidrograma de la creciente o avenida, principalmente cuando se trata de embalses.

En el Cuadro N° 29, se presenta la información de caudales máximos instantáneos anuales del río Tabaconas.

Cuadro N° 29 Caudales máximos instantáneos anuales del río Tabaconas

AÑO	Q (m³/s)
1965	67.6
1965	81.1
1966	
1967	110.5
1968	83.0
1969	80.6
1970	183.1
1971	86.8
1972	99.6
1973	75.0
1974	72.6
1975	105.4
1976	90.2
1977	110.1
1978	64.3
1979	77.8
1980	89.5
1981	100.6
1982	79.5
1983	68.4
1984	70.1
1985	92.7

a. El método racional

El método racional es el método más conocido y usado en el diseño de estructuras hidráulicas de conducción de caudales altos. Este método data del siglo XIX, pero tal vez es uno de los más eficientes por su sencillez, y porque se ha probado su bondad con datos reales y con métodos más avanzados.

De acuerdo a las premisas de su origen, la fórmula racional tiene validez únicamente en cuencas pequeñas, porque es un modelo que responde bien a lluvias de alta intensidad y de corta duración, y esto generalmente

ocurre en cuencas pequeñas. Además supone que la intensidad de lluvia es constante durante un tiempo igual o mayor que el tiempo de concentración (Tc) y es uniforme en toda la cuenca. El método racional tiene la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde:
Q = Caudal máximo (m^3/s)
I = Intensidad máxima de precipitación en el tiempo de concentración (mm/h)
C = Coeficiente de escorrentía
A = Área de la cuenca (Ha)

Para el cálculo del tiempo de concentración se puede usar la siguiente fórmula: $Tc = 0{,}0256\ K^{0,77}$

$K = L_{3/2}/H_{1/2}$

Donde:
Tc = Tiempo de concentración (min)
L = Longitud máxima del recorrido del agua (m)
H = Diferencia de altura entre el punto más remoto y el punto de desagüe (m)

Estadísticamente se demuestra que con la intensidad de lluvia para un determinado tiempo de retorno, se puede obtener, aplicando la fórmula racional, el caudal con el mismo tiempo de retorno. Por lo tanto, para el cálculo de caudales máximos, aplicando la fórmula racional, el problema radica únicamente en hacer un buen cálculo de la intensidad de la precipitación, suponiendo que se asume un adecuado valor del coeficiente de escorrentía que normalmente se obtiene de tablas en función de las características de la cuenca.

En el Cuadro N° 30, se presentan algunos valores del coeficiente de escorrentía.

Cuadro N° 30.- Valores del coeficiente de escorrentía para zonas rurales

Coeficiente de escorrentía C

Pendiente del terreno						
Cobertura vegetal	**Tipo de suelo**	**Pronunciada**	**Alta**	**Media**	**Suave**	**Despreciable**
Sin Vegetación		50%	20%	5%	1%	
	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.66	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos Vegetación Ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques Vegetación Densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Estructuras de conservación de suelos y aguas. CIDIAT. Razuri Ramírez

b. Métodos probabilísticos

Consiste en efectuar el análisis de frecuencia utilizando funciones de distribución de probabilidad, siendo las más utilizadas las distribuciones NORMAL, LOG – NORMAL y LOG – PEARSON TIPO III. Estudios hidrológicos realizados en zonas montañosas como la sierra del Perú han demostrado que la distribución Log – Pearson Tipo III da buenos resultados en la predicción de caudales máximos. Esta distribución tiene la siguiente forma:

$$\text{Log } Q = \bar{X} + KS$$

Donde:
Q = Caudal Máximo
$\bar{X}$ = Media de los Log Q
S = Desviación estándar de los Log Q

K = Factor de Frecuencia. Está en función del sesgo G y la probabilidad de excedencia.

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum xi^2 - \frac{(\sum xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$G = \frac{n^2(\sum x^3) - 3n\,(\sum x)\,(\sum x^2) + 2\,(\sum x)^3}{n\,(n-1)\,(n-2)\,S_3} \quad \text{ó}$$

$$G = \frac{n\sum(x-\bar{x})^3}{(n-1)\,(n-2)\,S_3}$$

Los pasos para aplicar el método son:

1. Transformar los caudales a logaritmos, X = log Q
2. Calcular la media de X ($\bar{X}$)
3. Calcular la desviación estándar de X (S)
4. Calcular el coeficiente de sesgo de X (G)
5. Determinar K de tablas para el nivel de probabilidad seleccionado.
6. Determinar:
   Log Q = $\bar{X}$ + KS
7. Calcular: Q = antilog X

La distribución log normal también es muy utilizada en el análisis probabilístico de crecientes. El valor de la variable estandarizada Z, que se presenta en el Cuadro N° 9, también se puede calcular a partir de una variable intermedia W:

$$W = [\mathrm{Ln}\,(p_2)]^{1\,1/2} \qquad ; 0 < p \leq 0{,}5$$

con la cual se calcula Z:

$$2{,}515517 + 0{,}802853W + 0{,}010328\,W^2$$

$$Z = W - 1+1{,}432788\,W+0{,}189269W^2+0{,}0011308\,W^3$$

Para el caso de la distribución log Pearson Tipo III, el factor de frecuencia K se calcula con:

$$K = Z + (Z^2 - 1)C + 1/3(Z^3 - 6Z)C^2 - (Z^2 - 1)C^3 + ZC^4 - 1/3C^5$$

Donde:

$$C = \frac{G}{6}$$

También se puede utilizar el Cuadro N° 31 para calcular K.

Cuadro N° 31.- Valores del coeficiente de sesgo

SESGO G_z	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
	PROBABILIDAD (%)							
	99	50	20	10	4	2	1	0.5
3.0	-0.667	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.904
2.8	-0.714	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.740	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	2.845	4.652
2.4	-0.832	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.970	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.990	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223

0.6	-1.880	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	-2.326	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
0.0	-2.326	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.400	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	-2.615	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	0.132	0.586	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	-3.022	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.330	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.444	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	-3.499	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9 - 2.0 -2.1 -2.2 - 2.3	-3.553 - 3.605 - 3.656 - 3.705 - 3.753	0.294 0.307 0.319 0.330 0.341	0.788 0.777 0.765 0.752 0.739	0.920 0.895 0.869 0.844 0.819	0.996 0.959 0.923 0.888 0.855	1.023 0.980 0.939 0.900 0.864	1.037 0.990 0.946 0.905 0.867	1.044 0.995 0.949 0.907 0.869
-2.4	-3.800	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.845	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.889	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.973	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	0.390	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.051	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667

Ejemplo:

Determinar los caudales máximos instantáneos para 50 años de período de retorno del río Tabaconas cuyos datos se presentan en el Cuadro N° 12. Utilizar la distribución log normal, con factor de frecuencia.

Solución:

Los datos son:

T = 50 años

n = 21

p = $\frac{1}{50}$ = 0,02

Los pasos son los siguientes:

1. Se hace la transformación x = log Q con los datos del Cuadro N° 15.
2. Se calcula $\bar{X}$ $\bar{X}$ = 4,4697
3. Se calcula S: S = 0,150 4. Se calcula Z: $1/2$

   W = [Ln ()] $\frac{1}{0,02^2}$

   W = 2,8

$$K = 2,8 - \frac{2,515517 + 0,0802853(2,8) + 0,010328\,(2,8)^2}{1 + 1,432788(2,8) + 0,189269\,(2,8)^2 + 0,001308\,(2,8)^3}$$

   Z = 2,054

   Entonces K = Z = 2,054

5. Se calcula log Q

   Log Q = 4,4697 + 2,054 (0,15)

   Log Q = 4,4778

6. Se calcula Q Q = antilog (4,4778)

   Q = 88 m^3/s

   El caudal máximo instantáneo para 50 años de período de retorno es 88 m^3/s.

Ejemplo:

Determinar el caudal máximo instantáneo para 50 años de período de retorno con los datos del ejemplo anterior, utilizando la distribución log Pearson tipo III.

Solución:

Se sigue los pasos 1 y 2 del ejemplo anterior, y luego se sigue:

1. Se calcula G con la fórmula descrita anteriormente:

   G = 6,7

2. Se calcula K con la fórmula indicada
   Del ejemplo anterior, Z = 2,054
   C = $\frac{6,7}{6}$ = 1,1167

   K = 2,054 + $(2,054^2 - 1)$ (1,1167) + 1/3 $(2,054^3 - 6 \times 2,054)$ $(1,1167)^2$ – $(2,054^2 - 1)$ $(1,1167)^3$ + $2,054(1,1167)^4 + 1/3(1,1167)^5$
   K = -0.206

3. Se calcula log Q log Q = 4,4697 – 0,206 (0,15)
   log Q = 4,4388

4. Se calcula Q Q = antilog (4,4388)
   Q = 84,7 m^3/s
   El caudal máximo instantáneo para 50 años de período de retorno es 84,7 m^3/s.

c. Método del hidrograma unitario

Algunos estudios hidrológicos con fines de protección contra las crecientes requieren conocer la descarga o caudal máximo en función del tiempo, es decir el HIDROGRAMA DE LA AVENIDA, que es una curva que refleja la variación del caudal durante una determinada tormenta. Generalmente los problemas de estudio de crecientes se presentan en zonas donde no hay datos de caudales. En este caso, es imprescindible para poder determinar el hidrograma de avenida, recurrir a los datos de intensidades de lluvia. El método del HIDROGRAMA UNITARIO permite conocer el hidrograma de avenida a partir del conocimiento de la intensidad de la lluvia (estudio de tormenta). Este método fue desarrollado por Sherman en 1932, y tiene bastante aplicación en estudio de crecientes.

El hidrograma unitario de una cuenca se define como el hidrograma del escurrimiento directo que resulta de un centímetro de lluvia en exceso, generada uniformemente sobre la cuenca. El método del hidrograma unitario requiere la disponibilidad de datos de precipitación (histograma de tormenta) y de escorrentía.

Sin embargo, en la práctica, generalmente no se dispone de datos de precipitación ni mucho menos de caudales. Para estos casos, los hidrólogos han desarrollado los HIDROGRAMAS UNITARIOS SINTÉTICOS, que son hidrogramas unitarios desarrollados en zonas con datos de precipitación y que pueden ser utilizados en lugares de

características similares con el fin de determinar el hidrograma de avenida. Existen varios tipos de hidrogramas unitarios sintéticos. Los más empleados son el Hidrograma Sintético de Snyder, el del Soil Conservation Service y el de Clark. El más sencillo es el de Snyder.

Hidrograma unitario de Snyder

En 1938, Snyder, en las cuencas de los montes Apalaches en EE.UU, definió el Hidrograma Unitario Standard como aquel cuya duración de precipitación T_r está relacionada con el retardo de la cuenca T_1 por:

$$= 5{,}5\ T_r \qquad \text{ó} \qquad T_r = \frac{2\,T^l\,T_l}{11}$$

Donde:
T_l = Tiempo de retardo de la cuenca
T_r = Duración de la lluvia neta Además:
T_p = Tiempo de elevación hasta la escorrentía punta. Tal como se muestra en la Figura N° 11

El tiempo de retardo de la cuenca se calcula con:

$$T_l = Ct(L * Lca)^{0,3}$$

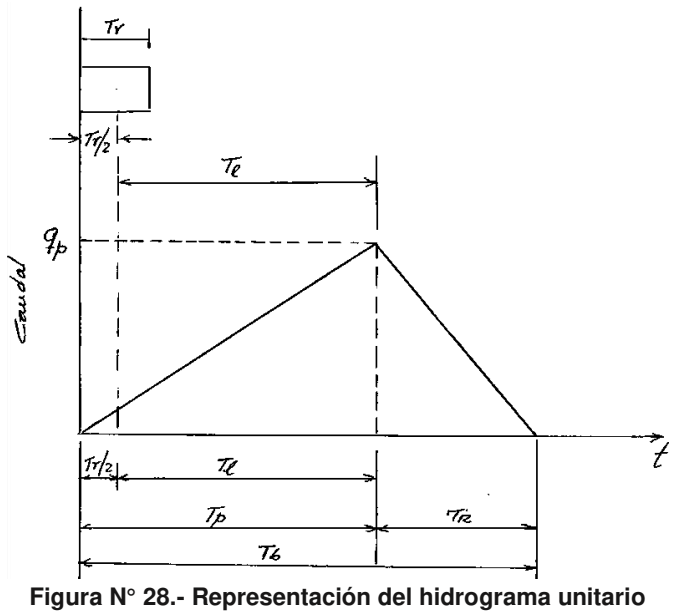


Figura N° 28.- Representación del hidrograma unitario

Donde:
Ct = Coeficiente, calculado para las zonas donde se desarrolló el hidrograma (montes Apalaches, EE.UU) = 1.35 – 1.65 L = Longitud del curso principal (millas).
Lca = Distancia desde la salida de la cuenca al punto del río más cercano al centro de gravedad de la cuenca (millas).
El caudal pico por unidad de área del hidrograma sintético es:

$$= \frac{C_2 C_p \, q_p}{T_l}$$

Donde:
C_2 = 640 (en unidades inglesas), C_2 = 2,75 (en unidades métricas) C_p = 0,4 – 0.65
Son valores que fueron determinados para las zonas medianamente montañosas de los Apalaches.
q_p está dado en pie^3/s/mi², para 1 pulg. de lluvia, ó en m³/s/Km² para 1 cm. de lluvia

Luego:

$$Q_p = \frac{2.75 \, C_p A}{t_l}$$ En el sistema métrico

Donde:
Q_p = Caudal pico (m³/s) A = Área de la cuenca (Km²) t_l = Tiempo de retardo de la cuenca (horas) El tiempo base T_b se calcula con

$$T_b = \frac{5.56}{q_p}$$ En el sistema métrico

El ancho del hidrograma unitario para un canal igual a in porcentaje del caudal pico q_p se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$W_{50} = 2.14 \, q_{-1p.08}$$

$$W_{75} = 1.22 \, q_{-1p.08}$$

Hidrograma unitario del SCS

El Soil Conservation Service (SCS) ha desarrollado un método que se denomina "Hidrograma Unitario Sintético del SCS" y que actualmente tiene gran aplicación en cuencas pequeñas y medianas. Este método utiliza el concepto de tiempo de retardo (t_l) que lo relaciona con el tiempo pico (t_p) del hidrograma unitario.

Cálculo del tiempo de retardo (T_L)

El cálculo del tiempo de retardo (t_l) se basa en el uso de la curva número:

$$t_l = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900\, y^{0.5}}$$

$$S = \frac{1000}{N} - 10$$

Donde:

L = Longitud del curso principal de la cuenca (pies)
S = Retención potencial máxima de la cuenca (pulg)
Y = Pendiente media de la cuenca (%)
N = Curva número de la cuenca (tablas)

Cálculo del tiempo pico (T_P)

El tiempo pico t_p se calcula con la siguiente ecuación: t_r

$t_p = \frac{}{2} + t_l$ Ver figura N° 10

Además: $\frac{t_p}{} = 5\, t_r$

Haciendo operaciones con estas 2 ecuaciones, se obtiene: t_r

$\frac{2}{t_l} = \frac{9}{10}$

$\frac{t_p}{t_l} = \frac{10}{9}$

También: $t_l = 5\, t_p$

Donde:

t_r = Tiempo de duración de la lluvia
(horas) t_l = Tiempo de retardo de la
cuenca t_p = Tiempo pico del hidrograma
unitario
t_b = Tiempo base del hidrograma unitario

Cálculo del caudal pico

El caudal pico Q_p del hidrograma unitario se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$Q_p = \frac{2.08\ A}{} \qquad \text{En el sistema métrico } t_p$$

$$Q_p = \frac{484\ A}{} \qquad \text{En el sistema inglés } t_p$$

Donde:
Q_p = Caudal pico del hidrograma unitario ($m^3/s/cm$ ó $pie^3/s/pulg$)
A = Área de la cuenca (Km^2)
T_p = Tiempo pico del hidrograma unitario (horas)

5.9.2. Miscelánea de problemas de hidrología de cuencas

En este capítulo se proporciona una serie de problemas de hidrología que son frecuentes en estudios de recursos hídricos a nivel de cuencas o microcuencas y que pueden ser resueltos aplicando simplemente los conceptos teóricos de hidrología, pero con el auxilio de la estadística, que constituye un gran apoyo en el análisis hidrológico.

Es conveniente mencionar que la hidrología (o hidrología básica) es una sola; pero su aplicación en diversos problemas de ingeniería hidráulica requiere de ciertos criterios que los da la experiencia; lo cual ha derivado en obtener términos tales como hidrología urbana, hidrología subterránea, hidrología superficial, hidrología de cuencas, hidrología de carreteras, etc. Pero, no hay que perder el concepto de que todos estos análisis se fundamentan en el conocimiento del ciclo hidrológico y el máximo entendimiento de su proceso físico.

a. Estudio de disponibilidad de agua

Problema N° 01

Los datos históricos de caudales mensuales del río Blanco se presentan en el cuadro N° 32. Muy cerca aguas debajo de la estación hidrométrica que registra dichos caudales se proyecta derivar el agua y conducirla

mediante un canal para abastecer un proyecto de irrigación. ¿Cuál es la disponibilidad de agua del proyecto?

Solución

Dado que el Proyecto consiste en una captación directa, sin regulación de agua, un criterio muy utilizado consiste en calcular los caudales para un nivel de frecuencia de ocurrencia, los cuales se pueden obtener a partir de las curvas de duración mensuales y/o del análisis de frecuencia de los caudales.

El criterio de abastecimiento para Proyectos de riego es que la disponibilidad de agua estará dada por los caudales que ocurren con una frecuencia de 75% en el tiempo o también se suele decir "los caudales con una persistencia del 75%".
Los pasos para obtener las curvas de duración y los caudales al 75% de persistencia son los siguientes:

1. Ordenar los datos de caudales mensuales en forma decreciente tal como se muestra en el cuadro N° 33.
2. Calcular la frecuencia relativa para cada uno de los caudales ordenados, utilizando la siguiente fórmula empírica:

$$F = \frac{m}{n+1} \times 100$$

Donde:
F = frecuencia de ocurrencia m = posición de la variable ordenada n = número de datos
Por ejemplo (del cuadro N° 16):
Para m = 1, n = 29

$$F = \frac{1}{30} \times 100 = 3{,}33\%$$

Para el mes de enero, le corresponde un caudal de 10,61m^3/s.

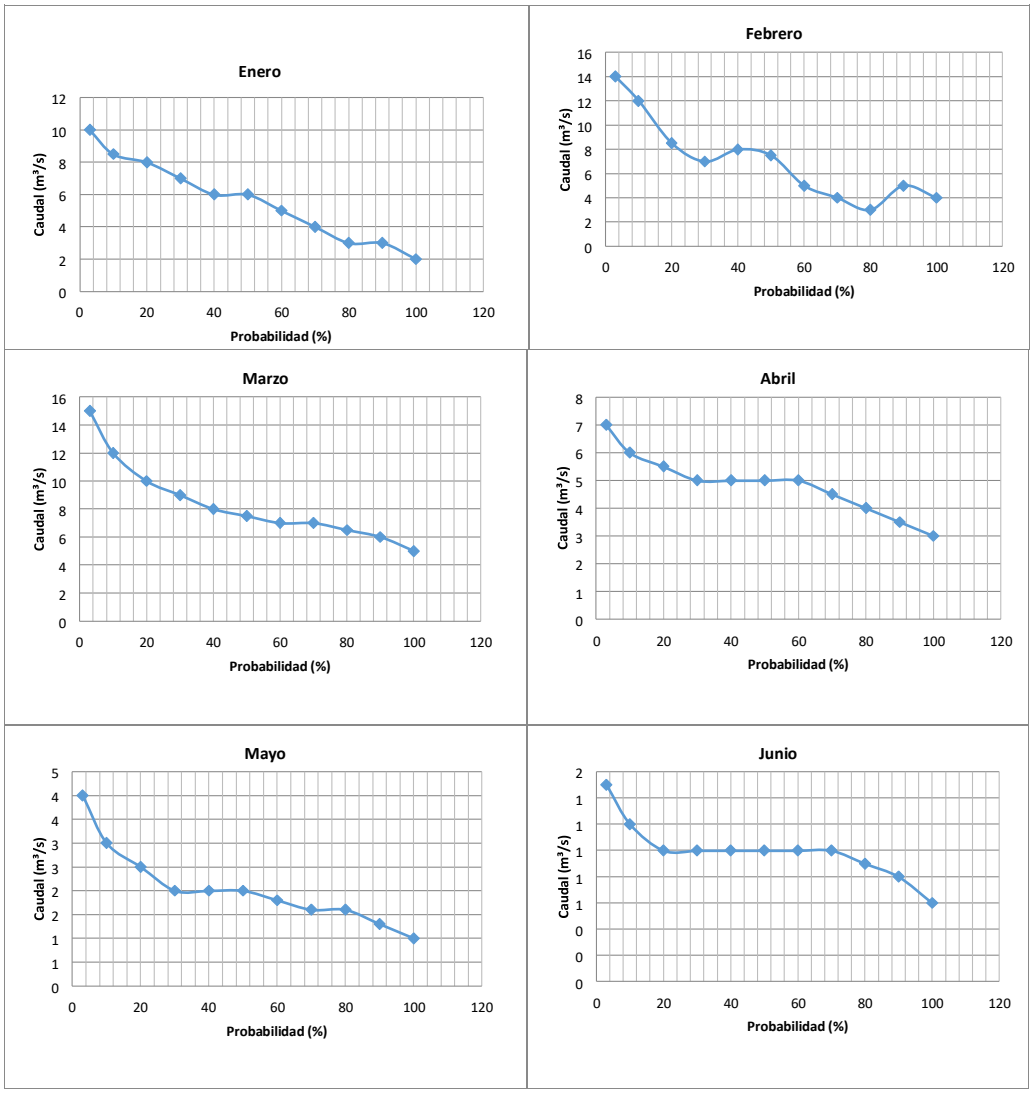
3. Dibujar la curva de duración, ploteando los datos de la columna 2 con los correspondientes valores de los caudales para cada mes, obteniéndose los gráficos que se muestran en la figura N° 11.
4. Calcular los caudales al 75% de persistencia. Esto se puede determinar entrando a la curva de duración del mes de enero donde se obtiene un caudal de 3,6m^3/s (por interpolación).

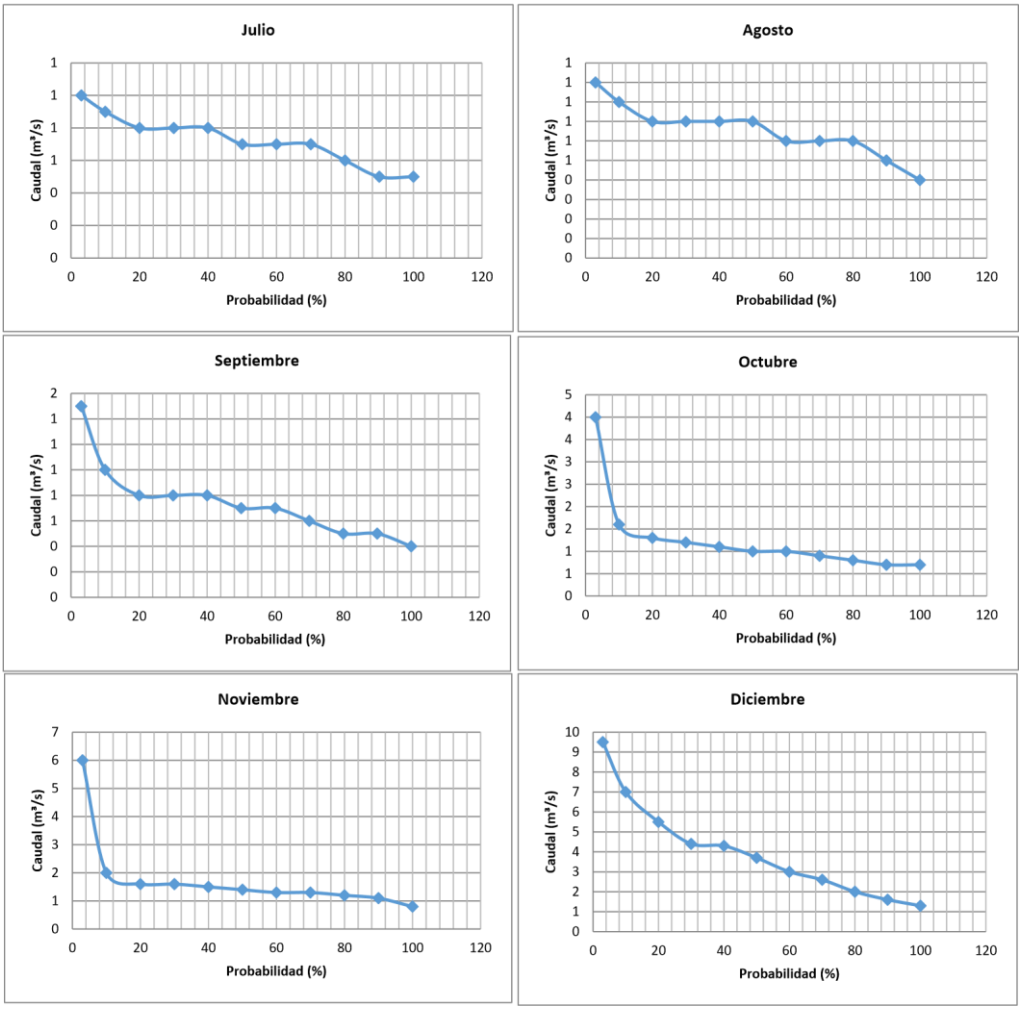
También se puede obtener del cuadro N° 33, correspondiendo un caudal de 3,52m^3/s.

Es decir, en el mes de enero se espera tener con una frecuencia de 75%, un caudal de 3,52m^3/s, o también el caudal al 75% de persistencia en el mes de enero es de 3,52m^3/s.

Igual procedimiento se sigue para los otros meses, obteniéndose un resumen de los resultados en el cuadro N° 34. La disponibilidad de agua del Proyecto estará dada por los caudales mensuales al 75% de persistencia, de donde se puede observar que el menor caudal se presenta en el mes de setiembre y es de 0,54m^3/s. También se observa que le volumen anual al 75% de persistencia es de 76,85 millones de m^3.

Figura N° 29.- Curva de duración mensuales del río Blanco (m³/s)




Julio
Caudal (m³/s)
Probabilidad (%)
Agosto
Caudal (m³/s)
Probabilidad (%)
Septiembre
Caudal (m³/s)
Probabilidad (%)
Octubre
Caudal (m³/s)
Probabilidad (%)
Noviembre
Caudal (m³/s)
Probabilidad (%)
Diciembre
Caudal (m³/s)
Probabilidad (%)

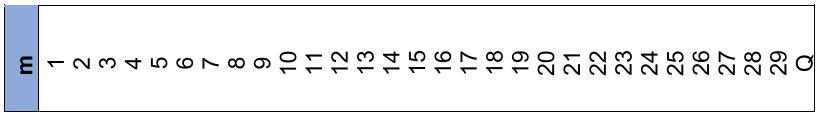
Cuadro N° 32.- Caudales mensuales del río Blanco

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
7.670	7.490	7.940	5.180	1.690	0.960	0.630	0.620	0.540	0.930	1.120	5.430	3.357
7.970	8.530	12.070	5.710	2.070	1.150	0.880	0.780	0.580	0.990	1.130	4.420	3.857
6.970	7.540	8.320	5.250	2.080	1.080	0.730	0.680	0.710	1.180	1.290	4.290	3.343
6.800	7.360	7.360	5.340	1.910	1.020	0.680	0.650	0.640	1.100	1.140	2.550	3.046
4.500	7.230	7.360	5.110	1.930	1.020	0.680	0.650	0.780	1.280	1.350	1.640	2.794
3.020	5.930	6.530	4.610	2.350	1.030	0.660	0.640	0.560	0.960	1.290	1.950	2.461
3.560	6.290	5.040	3.980	4.120	0.990	0.690	0.660	0.670	1.130	1.340	1.910	2.532
3.460	7.580	6.350	5.020	1.630	0.940	0.860	0.770	0.950	1.460	1.420	3.150	2.799
5.400	5.930	6.670	4.540	2.410	1.040	0.720	0.680	0.520	0.740	1.420	6.250	3.027
3.490	5.810	6.550	4.760	2.020	1.020	0.750	0.700	0.520	0.740	1.420	6.250	2.836
8.640	7.880	9.370	5.450	1.670	0.950	0.680	0.650	0.770	1.060	1.610	3.260	3.499
5.560	7.290	9.050	5.420	1.530	0.940	0.700	0.660	0.810	1.310	1.340	5.500	3.342
8.010	7.790	7.490	4.910	1.950	0.980	0.720	0.680	0.800	1.070	1.560	2.890	3.237
5.020	7.180	8.360	5.010	2.140	1.010	0.530	0.540	0.500	0.720	1.610	2.600	2.935
7.850	7.650	7.660	4.640	2.450	1.130	0.480	0.510	0.540	0.710	1.880	7.540	3.587
5.080	8.150	10.550	6.090	2.030	1.020	0.700	0.670	0.690	1.110	1.510	2.130	3.311
3.190	5.000	5.800	4.110	3.340	1.300	0.780	0.720	0.420	0.790	1.990	4.160	2.633
1.770	5.920	6.990	5.270	1.520	1.050	0.790	0.770	0.810	1.340	1.850	7.140	2.935
10.610	6.510	5.400	4.260	2.710	1.050	0.660	0.610	1.480	1.900	1.450	4.590	3.436
6.060	7.840	9.230	5.150	1.760	0.970	0.680	0.640	0.710	0.830	0.830	4.270	3.247
5.940	7.670	12.190	7.320	2.300	1.130	0.830	0.660	0.770	1.600	1.250	2.920	3.715
7.470	8.420	8.210	5.780	1.600	0.680	0.470	0.380	0.450	0.900	1.410	3.880	3.304
6.060	7.670	6.990	4.070	1.310	0.790	0.490	0.460	0.480	0.680	0.830	1.640	2.622
4.270	4.570	9.440	4.800	3.460	1.450	1.020	0.920	1.110	1.340	1.580	3.700	3.138
8.390	12.710	11.470	4.840	1.740	1.040	0.680	0.650	0.860	1.050	1.020	1.730	3.848
2.860	8.440	10.090	3.080	2.080	0.840	0.710	0.720	0.810	0.840	5.460	4.420	3.362
6.910	13.860	6.030	2.820	1.220	0.870	0.780	0.670	0.800	1.100	1.560	3.600	3.352
2.320	12.430	14.690	5.700	1.700	0.990	0.810	0.780	0.840	0.920	1.160	1.340	3.640
6.090	5.340	6.740	3.600	1.210	0.940	0.780	0.720	0.830	3.850	5.820	9.510	3.786

AÑO
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980

Cuadro N° 33.- Análisis de frecuencia de caudales mensuales – río Blanco

f (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
3.33	10.61	13.86	14.69	7.32	4.12	1.45	1.02	0.92	1.48	3.85	5.82	9.51
6.67	8.64	12.71	12.19	6.09	3.46	1.30	0.89	0.78	1.11	1.90	5.46	7.54
10.00	8.39	12.43	12.07	5.78	2.71	1.15	0.88	0.78	0.95	1.60	1.99	7.14
13.33	8.01	8.53	11.47	5.71	2.45	1.13	0.88	0.77	0.86	1.46	1.88	6.25
16.67	7.97	8.44	10.55	5.70	2.41	1.13	0.86	0.77	0.84	1.34	1.85	6.25
20.00	7.85	8.42	10.09	5.45	2.35	1.08	0.83	0.72	0.83	1.34	1.61	5.50
23.33	7.67	8.15	9.44	5.42	2.34	1.05	0.81	0.72	0.81	1.31	1.61	5.43
26.67	7.47	7.88	9.37	5.34	2.30	1.05	0.79	0.72	0.81	1.28	1.58	4.59
30.00	6.97	7.84	9.23	5.27	2.14	1.04	0.78	0.70	0.81	1.18	1.56	4.42
33.33	6.91	7.79	9.05	5.25	2.08	1.04	0.78	0.68	0.80	1.13	1.56	4.42
36.87	6.80	7.67	8.36	5.18	2.08	1.03	0.78	0.68	0.80	1.11	1.51	4.29
40.00	6.09	7.67	8.32	5.15	2.07	1.02	0.75	0.68	0.78	1.10	1.45	4.27
43.33	6.06	7.65	8.21	5.11	2.03	1.02	0.73	0.67	0.77	1.10	1.42	4.26
46.67	6.06	7.58	7.66	5.02	2.02	1.02	0.72	0.67	0.77	1.07	1.42	3.88
50.00	5.94	7.54	7.49	5.01	1.95	1.02	0.72	0.66	0.71	1.06	1.42	3.70
53.33	5.56	7.49	7.36	4.91	1.93	1.01	0.71	0.66	0.71	1.05	1.41	3.60
56.67	5.40	7.36	7.36	4.84	1.91	0.99	0.70	0.66	0.69	0.99	1.35	3.26
60.00	5.08	7.29	6.99	4.80	1.76	0.99	0.70	0.65	0.67	0.96	1.34	3.15
63.33	5.02	7.23	6.99	4.76	1.74	0.98	0.68	0.65	0.64	0.93	1.34	2.92
66.67	4.50	7.18	6.99	4.64	1.70	0.97	0.68	0.65	0.58	0.92	1.29	2.89
70.00	4.27	6.51	6.99	4.61	1.69	0.96	0.68	0.65	0.56	0.90	1.29	2.60
73.33	3.56	6.29	6.67	4.54	1.67	0.95	0.68	0.64	0.54	0.84	1.29	2.55
76.67	3.49	5.93	6.55	4.26	1.63	0.94	0.66	0.64	0.54	0.83	1.25	2.13
80.00	3.46	5.93	6.53	4.11	1.60	0.94	0.66	0.62	0.52	0.79	1.21	1.95
83.33	3.19	5.92	6.35	4.07	1.53	0.94	0.63	0.61	0.52	0.74	1.16	1.91
86.67	3.06	5.81	6.03	3.98	1.52	0.87	0.53	0.54	0.50	0.74	1.14	1.73
90.00	2.86	5.34	5.80	3.60	1.31	0.84	0.49	0.51	0.48	0.72	1.13	1.64
93.33	2.32	5.00	5.40	3.08	1.22	0.79	0.48	0.46	0.45	0.71	1.02	1.64
96.67	1.77	4.57	5.04	2.82	1.21	0.68	0.47	0.38	0.42	0.68	0.83	1.34
0.75	3.52	6.11	6.61	4.40	1.65	0.94	0.67	0.64	0.54	0.83	1.27	2.34


m
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
Q

Cuadro N° 34.- Caudales mensuales al 75 % de persistencia del río Blanco

MES	CAUDAL AL 75% DE PERSISTENCIA m³/s	VOLUMEN AL 75% DE PERSISTENCIA (millones de m³)
Enero	3.52	9.43
Febrero	6.11	14.78
Marzo	6.61	17.70
Abril	4.40	11.40
Mayo	4.65	4.42
Junio	0.94	2.44
Julio	0.67	1.79
Agosto	0.64	1.71
Septiembre	0.54	1.40
Octubre	0.83	2.22
Noviembre	1.27	3.29
Diciembre	2.34	6.27
Anual	2.71	76.85

Cuadro N° 35.- Operación de embalse

INTERVALO DE TIEMPO t	VOLUMEN DE ENTRADA Xt	VOLUMEN DE SALIDA Yt	VARIACIÓN EN EL ALMACENAMIENTO Ast = Xt - Yt	ALMACENAMIENTO EN EL MES t St
0				0
1	100	60	40	340
2	300	80	220	560
3	150	70	80	640
4	60	100	-40	600
5	40	60	-20	580
6	20	80	-60	520
7	10	200	-190	330
8	30	130	-100	230
9	50	40	10	240
10	40	50	-10	230
11	30	70	-40	190
12	40	80	-40	150

b. Operación de embalse

Problema N° 02

Los volúmenes mensuales de entrada y salida de un embalse son los que se presentan en el siguiente cuadro. Si el embalse está vacío en enero, ¿Cuál es el volumen de agua que hay en el embalse en agosto y al final del año?

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

Volumen de entrada (miles m^3)	100	300	150	60	40	20	10	30	50	40	30	40
Volumen de salida (miles m^3)	60	80	70	100	60	80	200	130	40	50	70	80

Solución

El problema se trata de un embalse al que se puede considerar como un sistema hidrológico con entradas y salidas representadas por la ecuación general de almacenamiento:

$$S_t = S_{t-1} + (X_t - Y_t) = S_{t-1} + \Delta S_t$$

Donde:
S_t = almacenamiento del mes t (m^3)
S_{t-1} = almacenamiento del mes t-1 (m^3)
X_t = volumen de entrada al embalse en el mes t (m^3)
Y_t = demanda o volumen de salida del embalse en el mes t (m^3)
ΔS_t = variación en el almacenamiento (m^3)

Dado que el embalse tiene 300 mil m^3 al comenzar enero, entonces $S_0 = 300$

Para enero, t = 1:
$\Delta S_1 = X_1 - Y_1$
$\Delta S_1 = 100 - 60 = 40$
$S_1 = S_0 + \Delta S_1$
$S_1 = 300 + 40$
$S_1 = 340$

Para Febrero, t = 2:
$\Delta S_2 = X_2 - Y_2$
$\Delta S_2 = 300 - 80 = 220$
$S_2 = S_1 + \Delta S_2$
$S_2 = 340 + 220$
$S_2 = 560$

Para los demás meses se sigue el mismo procedimiento obteniéndose el cuadro N° 18, de donde se puede observar que el volumen de agua en el embalse en agosto es de 230 mil m^3 y en diciembre 150 mil m^3.

Problema N° 03

En la comunidad de Lachaqui, en la provincia de Canta, departamento de Lima, las tierras agrícolas se abastecen con las aguas del río Lachaqui, cuyos caudales al 75% de persistencia se presentan en el Cuadro N° 19. La demanda de agua de estas tierras se presenta en el mismo cuadro. ¿Es posible que el río pueda abastecer al 100% a las tierras de la comunidad?

Solución

Lo que se debe hacer es un balance entre la entrada (Xt) y la salida (Yt) y verificar si se produce déficit.
Por ejemplo, para enero, t = 1
$X_1 - Y_1 = 536 - 130 = 406$, no hay déficit.
Par Junio, t = 6
$X_6 - Y_6 = 91 - 215 = -124$, si hay déficit.

Así sucesivamente, los resultados se presentan en el cuadro N° 19 de donde se concluye que el río no puede abastecer plenamente ala Proyecto, produciéndose un déficit anual de 511 000 m^3.

Cuadro N° 36.- Balance hídrico del Proyecto Lachaqui. Canta - Lima

MES	DISPONIBILIDAD DE AGUA DEL RÍO LACHAQUI		DEMANDA DE AGUA DEL PROYECTO (miles m^3) Yt	BALANCE HÍDRICO (miles m^3) Xt - Yt
	CAUDAL (l/s)	VOLUMEN (miles m^3)		
Enero	200	**Xt** 536	130	406
Febrero	210	508	0	508
Marzo	230	616	0	616
Abril	140	363	67	296
Mayo	65	174	191	-17
Junio	35	91	215	-124
Julio	33	88	257	-169
Agosto	30	80	281	-201
Septiembre	50	130	123	7
Octubre	100	268	244	24
Noviembre	95	246	230	16
Diciembre	160	428	215	213
			Déficit Anual	511

c. Fórmula racional

Problema N° 04

En la zona de la Oroya se ha trazado una carretera en la que se considera la construcción de una alcantarilla en una quebrada de cruce que conduce aguas superficiales provenientes de la lluvia.

En el punto de cruce, el área de la cuenca de la quebrada es 250 Has. De acuerdo a la información de los planos cartográficos, la longitud máxima del recorrido del agua es 1500 m; el punto más alto de la cuenca es 3300 msnm y el de desagüe tiene3000 msnm. Del estudio de tormentas se ha determinado la siguiente tabla de frecuencia de lluvias:

Intensidad de lluvia (mm/h)

DURACIÓN (mm)	TIEMPO DE RETORNO (años)			
	1	10	50	100
10	4,6	6,7	9,5	12,5
20	4,1	6,2	9,0	11,9
30	3,6	5,9	8,3	11,0
60	3,4	5,2	7,4	10,4

El tipo de suelo de la cuenca es semipermeable con pendiente alta con vegetación densa.
Calcular el caudal máximo de la quebrada de cruce.

Solución

De acuerdo a las características de suelo y cobertura vegetal de la cuenca el coeficiente de escorrentía (cuadro N° 13) es 0,40.
El tiempo de concentración se calcula con: L
= 1500m

H = 3 300 – 3 000 = 300m

$$K = \frac{1500^{3/2}}{300^{1/2}} = 3\,354{,}20$$

$$K^{0.77} = (3\,354{,}20)^{0.77} = 518{,}44$$

Tc = 0,0256 × 518,44 Tc

= 13,3 min.

Se puede adoptar un valor de Tc = 10min.

Considerando un tiempo de retorno de 50 años y de acuerdo al tiempo de concentración (10 min.) y la tabla de intensidad de lluvia, corresponde una lluvia de diseño de 9,5mm/h. Reemplazando datos en la fórmula racional:

$$Q = \frac{0{,}40 \times 9{,}5 \times 250}{360}$$

$Q = 2{,}6\ m^3/s.$

d. Fórmulas empíricas para caudales máximos

Existen numerosas fórmulas empíricas para calcular las descargas máximas, las cuales han sido desarrolladas por investigadores en hidrología en base a la Fórmula Racional, estrictamente válidas para las zonas en las que fueron deducidas. Sin embargo, en la práctica se utilizan para otros lugares con resultados aceptables. Las fórmulas de mayor aplicación son las de Mac Math y Fuller.

- **FÓRMULA DE MAC MATH**

Esta fórmula tiene la siguiente forma:

$$Q = 10^{-3}\ C \times P \times A^{0,58} \times I^{0,42}$$ Donde:

Q = Caudal máximo (m^3/s)
C = Coeficiente de escorrentía
P = Precipitación máxima en 24 horas (mm)
A = Área de la cuenca (Ha)
I = Pendiente del curso principal (m/Km)

- **FÓRMULA DE FULLER**

Esta fórmula se expresa en términos de frecuencia:

$$Q_T = Q\ (1 + C \log T)$$

Donde:

Q_T = Caudal máximo para un período de retorno T (m^3/s)
Q = Caudal medio anual (m^3/s)
T = Período de retorno considerado (años)
C = Coeficiente

Problema N° 05

En la zona de Huancavelica a 3800 msnsm se está efectuando el trazo de una carretera y se requiere el diseño de un puente para

cruzar una quebrada tormentosa. El área de la cuenca de la quebrada hasta el lugar del puente proyectado es de 8.2 Km^2, la pendiente del curso principal es 11,43 m/Km; el tipo de suelo es impermeable con cubierta vegetal de bosques y pendiente alta. La precipitación máxima en 24 horas se da en el siguiente cuadro. Calcular el caudal máximo para un período de retorno de 50 años. Aplicar la fórmula de Mac Math.

AÑO	Precipitación máxima en 24 horas (mm)	AÑO	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
1980	33,5	1987	27,6
1981	34,1	1988	25,3
1982	30,4	1989	20,2
1983	19,0	1990	21,5
1984	28,2	1991	21,0
1985	24,2	1992	21,1
1986	28,3		

Solución

Del cuadro N° 30 se tiene C = 0,50
A = 820 Ha
I = 11,43 m/Km

Con los datos anuales de la precipitación máxima en 24 horas (P) y empleando la fórmula de Mac Math:

$$Q = C \times P \times A^{0,58} \times I^{0,42} \times 10^{-3} \text{ Para}$$

1980:

$Q = 0,50 \times 33,5 \times (820)^{0,58} \times (11,43)^{0,42} \times 10^{-3}$ Q

$= 2,28\ m^3/s.$

El mismo cálculo se efectúa para los demás años, obteniéndose el siguiente cuadro:

AÑO	Caudal Máximo (m^3/s)	AÑO	Caudal Máximo (m^3/s)

1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986	2,28 2,32 2,07 1,29 1,92 1,65 1,93	1987 1988 1989 1990 1991 1992	1,88 1,72 1,37 1,46 1,43 1,44

Esta serie de caudales se ajusta a una distribución probabilística como la log – Pearson III:

$$\text{Log } Q = \bar{X} + SK$$

Donde:

Q = Caudal máximo (m^3/s)

X = log Q

$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{n}$, n = 13

$\bar{X}$ = 0,2359

$$S = \left(\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n-1}\right)^{1/2}$$

S = 0,085

K = f (sesgo, probabilidad)

El sesgo G se calcula con:

$$G = \frac{n^2(\sum X^3) - 3n(\sum X)(\sum X^2) + 2(\sum X)^3}{n(n-1)(n-2)S^3}$$

G = 0,11

Log Q = 0,2359 + 0,085K

Para G = 0,11 con diversas probabilidades y con el cuadro N° 31 se obtiene los siguientes valores:

Probabilidad p	Tiempo de retorno (años) T = 1/p	K	Q (m^3/s)
0,9999 0,2000 0,100 0,040 0,020	1 5 10 25 50	-2,250 0,8364 1,2918 1,7846 2,1469	1,10 2,03 2,22 2,44 2,62

De donde se deduce que el caudal máximo para un período de retorno de 50 años es 2,62 m^3/s.

e. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE CAUDALES MÁXIMOS

Problema N° 06

El río Huancabamba, localizado en la provincia de Jaén es controlado por una estación hidrométrica que registra caudales diarios. En el cuadro N° 37 se presenta los caudales máximos instantáneos registrados por la estación hidrométrica. ¿Cuál es el caudal máximo para un período de retorno de 100 años?

Solución

Los datos del cuadro N° 37 se ajustan a la distribución de probabilidad log Pearson III que tiene la siguiente forma:

$\text{Log } Q = \bar{X} + SK$

Luego de hacer operaciones:

$\bar{X} = 2{,}0745$

$S = 0{,}09439$

$G = 1{,}03$

$\text{Log. } Q = 2{,}0745 + 0{,}09439\ K$

Con G = 1,03 y T = 100 se entra al cuadro N° 34 y se obtiene K = 3,022. Reemplazando los valores en la ecuación y haciendo las transformaciones se obtiene un caudal máximo de 229 m^3/s.

Cuadro N° 37.- Descargas máximas instantáneas anuales del río Huancabamba

AÑO	DESCARGA MÁXIMA INSTANTÁNEA (m^3/s)	AÑO	DESCARGA MÁXIMA INSTANTÁNEA (m^3/s)
1946	211.2	1964	152.7
1947	113.7	1965	124.0
1948	113.6	1966	117.0
1949	113.3	1967	128.0
1950	92.6	1968	101.0
1951	99.4	1969	142.0
1952	98.4	1970	184.0
1953	121.6	1971	180.0
1954	99.8	1972	126.0
1955	101.7	1973	128.0
1956	97.7	1974	138.0
1957	88.0	1975	118.0
1958	88.1	1976	128.4
1959	98.3	1977	136.6

1960	98.0	1978	109.3
1961	115.0	1979	106.5
1962	191.0	1980	64.6
1963	130.1		

f. ANÁLISIS DE RIESGO

El diseño de estructuras para el control de agua considera el factor de riesgo. Esta estructura puede fallar si la magnitud correspondiente al período de retorno T se excede durante la vida útil de la estructura. Este riesgo hidrológico (o riesgo de falla) puede calcularse usando la ecuación:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{n}$$

Donde:
J = P ($X \geq x_T$ al menos una vez en n años) = Riesgo de falla
1/T = P ($X \geq x_T$)
n = vida útil de la estructura

Problema N° 07
En el río Huancabamba, cerca de la estación de aforo se va a construir una bocatoma. Calcular la avenida de diseño que debe soportar el barraje de esta estructura si se considera un riesgo de 10% de que falle la estructura o de que se presente el caudal máximo al menos una vez en 20 años de la vida útil de la bocatoma. Usar los datos del problema 06.

Solución

De los datos del problema:
Entonces J = 0,10, n = 20 años
De: $J = 1 - (1 - 1/T)^n$

Despejando T: $T = \frac{1}{1-(1-J)^{1/n}}$

$$T = \overline{1 - (1 - 0{,}10)_{1/20}}$$

T = 190 años, P = 1/T = 0,005

De la ecuación de predicción del problema 06:
Log. Q = 2,0745 + 0,09439K
Con P = 0,005 y G = 1,03 se entra al cuadro N° 14 y se obtiene por interpolación K = 3,515.

Reemplazando en la ecuación de predicción:
Log Q = 2,0745 + 0,09439 (3,515)
Log Q = 2,4063
Q = 255 m^3/s

g. Hidrograma de avenida

En cuencas sin información de caudales se puede determinar el hidrograma de avenida a partir del hidrograma unitario sintético, cuya obtención mediante los métodos de Snyder y del SCS se ha explicado anteriormente. El método más utilizado es el del SCS que es el que se va a emplear para obtener el hidrograma de avenida en una cuenca sin datos de caudales.

Problema N° 08

En el cauce de una quebrada en la sierra peruana se ha proyectado la construcción de una pequeña presa que tendrá por función almacenar agua para abastecer a un proyecto de riego. La cuenca de la quebrada hasta el punto donde se proyecta la presa tiene las siguientes características: área, 9,2 Km2; longitud del cauce, 3,6 Km; pendiente de la cuenca, 5 %; correspondiendo a un grupo hidrológico de suelo tipo B, con pastizales de una condición pobre. Del estudio de tormentas realizado, se ha obtenido el hietograma de la tormenta de 40 mm. que se presenta en el Cuadro N° 37. Calcular el hidrograma de avenida que se presentará en el embalse proyectado. Utilizar el método del SCS para el cálculo del hidrograma unitario.

Solución

Determinación del hidrograma unitario – método del SCS:

- **Cálculo del tiempo de retardo: tl**

  El tiempo de retardo tl se calcula con la siguiente fórmula, que usa el método de la curva número CN: $L^{0.8}(S + 1)^{0.7}$

  $$tl = \frac{}{1900Y^{0.5}}$$

  Donde:

  L = Longitud del curso principal de la cuenca (pie)

  S = Retención potencial máxima de la cuenca (pulg)

  $$S = \frac{1000}{} - 10\ CN$$

  CN = Curva número (de tablas)

  Y = Pendiente promedio de la cuenca (%)

  Los datos para la quebrada son los siguientes:

  L = 3600 m = 11811 pies

  Y = 5%

  Las características de la cuenca corresponden a una con grupo Hidrológico del suelo tipo B, con pastizales de condiciones pobre. Con esta información y empleando el cuadro N° 22 de las curvas Número, se obtiene CN = 79.

  Reemplazando valores resulta: S = 2.7 pulg

  tl = 1.1 horas

- **Cálculo del tiempo pico: tp**

  El tiempo pico "tp" es el tiempo transcurrido desde el comienzo de la escorrentía directa a la ocurrencia del caudal "pico". El tiempo pico está relacionado con la duración de la lluvia efectiva y el tiempo de retardo por la siguiente ecuación:

  $$tp = \frac{tr}{2} + tl$$

  Donde:

  tp = Tiempo pico

  tr = Tiempo de lluvia efectiva

  tl = Tiempo de retardo

  El método CS de

  $$tr = \frac{tl}{2} \quad y \quad tp = \frac{tl}{10}$$

El método del SCS determina que: 9 9
2

Para la cuenca se obtiene:
tr = 0.24 horas tp
= 1.2 horas

- **Cálculo del caudal pico: Qp**
  Con el método del SCS se determina un caudal pico expresado con la siguiente ecuación: 480 A

  $$Qp = \frac{}{tp}$$

  Donde:
  Qp = Caudal pico (pie³/s)
  A = Area de la cuenca (milla²) = 9.2 Km² = 3.58
  milla² tp = Tiempo pico (hora) obteniéndose:
  Qp = 1432 pie³/s = 40.5 m³/s

- **Cálculo de las ordenadas del hidrograma unitario**
  Luego de haber calculado Qp y tp, se utiliza el hidrograma adimensional del SCS cuyas coordenadas se presentan en el cuadro N° 40; con el cual se obtiene el hidrograma unitario de la cuenca de la quebrada, cuyas coordenadas se presentan en el cuadro N° 41.

- **Cálculo del hidrograma de avenida**
  El hidrograma de avenida se determina aplicando al hidrograma unitario obtenido anteriormente, la tormenta de la precipitación máxima (40 mm) según el hietograma calculado. Los cálculos se presentan en el cuadro N° 42 y el hidrograma de avenida máxima de la quebrada se muestra en la figura N° 12, de donde se deduce que el "pico" de la avenida es 102.3 m³/s.

Cuadro N° 38.- Histograma de la precipitación máxima para una duración de 6 horas

Lámina total = 1.575 pulg = 4.00 cm

DURACIÓN hr.	LAMINA		INCREMENTO DE LAMINA		%
	pulg.	mm.	pulg.	mm.	
1	0.032	0.08	0.032	0.08	2
2	0.284	0.72	0.252	0.64	16
3	0.756	1.92	0.472	1.20	30
4	1.134	2.88	0.378	0.96	24
5	1.449	3.68	0.315	0.80	20
6	1.575	4.00	0.126	0.32	8

Cuadro N° 39.- Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (Condiciones antecedentes de humedad II, I = 0.2S)

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin	45	66	77	83
	hierbas, cubierta buena. (1)	25	55	70	77
Áreas cubiertas, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
Óptimas condiciones:	Cubierta de pasto en el 75% ó más	39	61	74	80
Condiciones aceptables:	Cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial (2)					
	Porcentaje promedio impermeable (3)				
1/8 acre ó menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. (4)		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados, con cunetas y alcantarillados (4)		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Fuente: Hidrología Aplicada. V.T. Chow

1) Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.
2) Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacía el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.
3) Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curvas
4) En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Cuadro N° 40.- Coordenadas del h.u. adimensional SCS

t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp
0.0	0.00	2.6	0.107
0.2	0.10	2.8	0.077
0.4	0.31	3.0	0.055
0.6	0.66	3.2	0.040

0.8	0.93	3.4	0.029
1.0	1.00	3.6	0.021
1.2	0.93	3.8	0.015
1.4	0.78	4.0	0.011
1.6	0.56	4.2	0.010
1.8	0.39	4.4	0.0070
2.0	0.28	4.6	0.0030
2.2	0.207	4.8	0.0015
2.4	0.147	5.0	0.0000

Fuente: Hidrología Aplicada. V.T. Chow

Cuadro N° 41.- Coordenadas del hidrograma unitario sintético – Método del SCS

t/tp	Q/Qp	t(h)	Q (pie³/s)
0.0			
0.2	0.10	0.24	143.2
0.4	0.31	0.48	443.9
0.6	0.66	0.72	945.1
0.8	0.93	0.96	1331.8
1.0	1.00	1.20	1432.0
1.2	0.93	1.44	1331.8
1.4	0.78	1.68	1170.0
1.6	0.56	1.92	801.9
1.8	0.39	2.16	558.5
2.0	0.28	2.40	401.0
2.2	0.207	2.64	296.4
2.4	0.147	2.88	210.5
2.6	0.107	3.12	153.2
2.8	0.077	3.36	110.3
3.0	0.055	3.60	78.8
3.2	0.040	3.84	57.3
3.4	0.029	4.08	41.5
3.6	0.021	4.32	30.1
3.8	0.015	4.56	21.5
4.0	0.011	4.80	15.8
4.2	0.010	5.04	14.3
4.4	0.007	5.28	10.0
4.6	0.003	5.52	4.3
4.8	0.001	5.76	1.4

Cuadro N° 42.- Cálculo del hidrograma de avenida

Tiempos hora	Hidrograma Unitario h.u. m³/s	0.08 x h.u.	0.64 x h.u.	1.20 x h.u.	0.96 x h.u.	0.80 x h.u.	0.32 x h.u.	Hidrograma de avenida m³/s
0								
0.5	12.5	1.0	0					1.0

1.0	39.0	3.1	8.0	0				11.1
1.5	34.7	2.8	25.0	15.0	0			42.8
2.0	19.2	1.5	22.2	46.8	12.0	0		82.5
2.5	9.9	0.8	12.3	41.6	37.4	10.2	0	102.3
3.0	5.1	0.4	6.3	23.0	33.3	31.2	4.0	98.2
3.5	2.7	0.2	3.3	11.9	18.4	27.8	12.5	74.1
4.0	1.2	0.1	1.7	6.1	9.5	15.4	11.1	43.9
4.5	0.6	0.05	0.8	3.2	4.9	7.9	6.1	22.9
5.0	0.4	0.03	0.4	1.4	2.6	4.1	3.2	11.7
5.5	0.1	0.01	0.3	0.7	1.1	2.2	1.6	5.9
6.0	0	0	0	0.5	0.5	1.0	0.9	2.9
				0.1	0.4	0.5	0.4	1.4

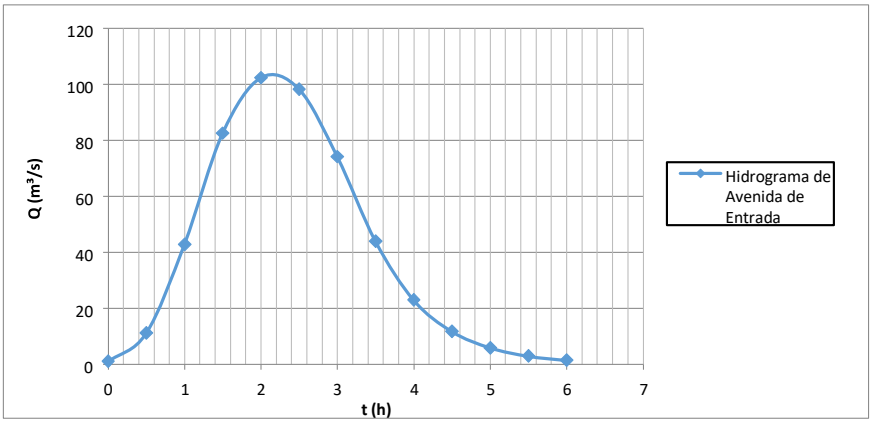


Figura N° 30. Hidrograma de avenida

h. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en laderas

Una de las principales obras de conservación de suelos y por lo tanto muy eficiente para controlar la erosión hídrica es la zanja de infiltración.

La zanja de infiltración es un canal sin desnivel que se construye en laderas y que tiene por función captar el agua producida por el escurrimiento de la lluvia, aumentar la infiltración del agua en el suelo y disminuir la erosión hídrica. Para que exista un mayor poder de control de la erosión por la zanja de infiltración, es necesario forestar los espacios intermedios entre zanjas.

El dimensionamiento de la zanja de infiltración requiere el diseño hidrológico, basado en un análisis de la intensidad, duración y frecuencia o período de retorno (IDF) de la tormenta, tal como se vió en el capítulo 3. La obra debe estar diseñada para un período de duración de la lluvia y una vida útil que puede ser igual al período durante el cual la plantación alcanza una óptima cobertura ya sea productiva y/o que controle la erosión hídrica, que podría ser 10 ó 20 años. Por lo tanto, el período de retorno T en este caso seria 10 ó 20 años.

Problema 11

En una zona de la sierra peruana se va a construir zanjas de infiltración para controlar la erosión hídrica. En el Cuadro N° 7 se presenta los datos de intensidad de lluvia para varias duraciones que pueden utilizase para esta zona. De acuerdo a las condiciones del Proyecto, se está considerando una duración de la lluvia de 60 minutos y un periodo de retorno de 20 años. Se ha efectuado pruebas de infiltración y se ha determinado una velocidad de infiltración promedio de 60 mm/h. La zona donde se construirá la zanja de infiltración está sin vegetación, el tipo de suelo es semipermeable y pendiente pronunciada. Se está considerando una zanja de infiltración de sección rectangular cuya base y altura son de 30 cm. Calcular el espaciamiento entre las zanjas de infiltración.

Solución

1. Se calcula la lluvia de diseño, es decir la intensidad máxima de la precipitación para una duración de 60 minutos y un tiempo de retorno de 20 años, de la siguiente manera:
   - Se utiliza los datos de intensidad de precipitación para una duración de 60 minutos del Cuadro N° 7.
   - Se ajusta los datos de intensidad de precipitación para una duración de 60 minutos a la distribución log-normal, utilizando la Ecuación de Distribución de Probabilidad de V.T. Chow:

     $$Y = \bar{Y}_1 + S_Y K_T \text{ Donde:}$$

     Y = Ln X

     X = Intensidad máxima de precipitación para una duración de 60 minutos

     $\bar{Y}$ = Media de los Ln X

     S_Y = Desviación estándar de los Ln X

     K_T = Factor de frecuencia de la distribución normal = Z
   - Se halla la nueva serie Y = Ln X

     Para X_1 = 48 mm/h, Y_1 = Ln 48 = 3.8712

X_2 = 29 mm/h, Y_2 = Ln 29 = 3.3673

X_{19} = 36 mm/h, Y_{19} = Ln 36 = 3.5835 - Se calcula los parámetros $\bar{Y}$ y S_Y :

$\bar{Y}$ = 3.1121

S_Y = 0.3318

- Se determina la Ecuación de la Distribución de Probabilidad: Y = 3.1121 + 0.3318 K_T
- Se determina $K_T = K_{20} = Z$
  El valor de K_{20} corresponde al valor de Z para p = 1/T = 1/20 = 0.05
  = 0.05
  Entrando a la Tabla Z del Cuadro N° 9, con 0.5 – 0.05 = 0.45, se obtiene K_T = 1.64
- Se reemplaza el valor de K_T en la Ecuación de V.T. Chow: Y = 3.1121 + 0.3318 (1.64)
  Y = 3.6562
- Se obtiene el valor de X

  X = antilog (3.6562)
  X = 38.7
  Redondeado, X = 40 mm/h
  Luego, la intensidad máxima de la precipitación para una duración de 60 minutos y un periodo de retorno de 20 años es 40 mm/h

2. Se calcula la distancia entre las zanjas de infiltración con la siguiente ecuación:

$$d = \frac{B(H + V)}{P \times C}$$

Donde:
d = Distancia entre las zanjas de infiltración (m)
B = Base de la zanja de infiltración (m)
H = Altura de la zanja de infiltración (m)
V = Lámina infiltrada en 1 hora (m)
P = Lámina de la precipitación máxima en 1 hora (m)
C = Coeficiente de escorrentía

Los datos son los siguientes:
B = 0.30 m
H = 0.30 m
V = 0.060 m

P = 0.040 m
C = 0.70 (valor obtenido del Cuadro N° 13, de acuerdo a las características del suelo)
Reemplazando en la ecuación para calcular d:

$$d = \frac{+ 0{,}060) \quad 0.30\ (0.30}{0.040 \times 0.70} = 3.85$$

Redondeando,
d = 4.00 m
Es decir, la distancia entre las zanjas de infiltración es 4.00 m

CAPÍTULO 6

CUBIERTA VEGETAL Y REVEGETACION

LA CUBIERTA VEGETAL Y EL MANEJO DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS

6.1. Cobertura vegetal existente

En términos generales la cobertura vegetal de los ecosistemas se caracterizan por su gran complejidad vegetal, climática, edáfica y morfológica, especialmente en áreas donde por el tipo de labores realizadas por el ser hombre, éstas áreas vienen enfrentando una serie de procesos de erosión permanentes y cada vez con mayor intensidad. Estas acciones erosivas se ven incrementadas según las características de suelo (textura y estructura), las pendientes pronunciadas propias de las zonas de ladera y las labores extractivas y agrarias desarrolladas. La cobertura vegetal en el Perú, se caracteriza por una diversidad florística que la encontramos distribuidas en paisajes que van desde las llanuras desérticas y semidesérticas, o las llanuras aluviales con bosques lluviosos de valles interandinos y aquellos paisajes colinosos y montañosos propios de la región alto andina y parte de la selva alta.

En el Perú y especialmente en la sierra alto andina, la cobertura vegetal ha cambiado en el último siglo, debido entre otras causas a las actividades realizadas por el hombre, principalmente en su afán de satisfacer sus necesidades alimenticias básicas, motivando una presión muy fuerte sobre la cobertura natural existente; es así que en los últimos años el Ministerio del Ambiente ha levantado información nacional de la cobertura vegetal existente en el país – Mapa Nacional de cobertura vegetal, determinando el tipo de flora existente en las diferentes regiones del país, lo cual facilita no solamente la implementación de las políticas ambientales relacionadas a la conservación y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural del Perú, sino también a la prevención de la degradación de los recursos forestales, el monitoreo de la cobertura boscosa, la reforestación y la conservación de la diversidad biológica y los servicios ambientales. En dicha publicación encontramos la distribución geográfica y características biofísicas generales de los diversos tipos de cobertura vegetal que cubren el país, como por ejemplo los bosques

lluviosos y los aguajales de la selva baja, los bosques lluviosos de la selva alta, los bosques secos del noroeste, los bosques relictos andinos, los herbazales alto andinos (pajonales, bofedales), las lomas, los manglares, etc.

El Ministerio del Ambiente, al realizar sus estudios para elaborar el mapa nacional de cobertura vegetal, como documento oficial y público del país, agrupa la cobertura vegetal existente al año 2014, agrupándolos para el caso de la sierra peruana, por espacios geográficos, tal como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 01.- Clasificación de las áreas geográficas de la sierra peruana

N°	DENOMINACION	SIMBOLOS	RANGO ALTITUDINAL
1	Bosque Relicto Meso andino	Br-me	3,000 - 3,800 m.s.n.m.
2	Bosque Relicto Meso andino de conífera	Br-me-co	3,000 - 4,000 m.s.n.m.
3	Bosque montano occidental andino	Bm-oca	1,500 - 3,500 m.s.n.m.
4	Bosque relicto alto andino	Br-al	3,500 - 4,900 m.s.n.m.
5	Páramo	Para	3,000 - 3,600 m.s.n.m.
6	Jalca	Jal	Sobre 3,000 m.s.n.m.
7	Pajonal Andino	Pj	3,800 - 4,800 m.s.n.m.
8	Bofedal	Bo	Sobre 3,800 m.s.n.m.
9	Matorral arbustivo	Ma - ar	1,500 - 3,800 m.s.n.m.
10	Cardonal	Car	1,800 - 2,700 m.s.n.m.

Las áreas clasificadas por el Ministerio del Ambiente, muestran como la cobertura vegetal existente en estas áreas geográficas, lo cual nos demuestra una gama enorme de la biodiversidad existente en el país; sin embargo, si trasladamos la existencia de estas especies a aquellos lugares donde actualmente no tienen cobertura vegetal, por efecto de las labores agrarias del hombre, podemos entender la necesidad de realizar trabajos de conservación y manejo de estos tipos de suelos, donde ya no se encuentran la gama de especies detalladas en el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal.

Tomando como referencia la información oficial existente y haciendo un esfuerzo por sintetizar la información de las especies que conforman la cobertura vegetal en éstas áreas, presentamos el cuadro siguiente, donde mostramos las características y la población arbustiva y herbácea predominante existente actualmente.

Cuadro N° 02.- Características y población arbustiva y herbácea de la sierra

COBERTURA VEGETAL	CARACTERISTICAS	POBLACION ARBUSTIVA Y HERBACEA
Bosque relicto meso andino (Br-me)	Bosque caracterizados por su porte bajo o achaparrado, con árboles dispersos y con alturas máximas que oscilan entre 3 y 9 m	*Aristeguietia sp, Odonea viscosa, Ophryosporus heptanthus, Jungia sp., Hesperomeles sp., Colletia sp., Berberis sp. Viguiera sp. Y manojos de Festuca sp.*
Bosque relicto meso andino de conífera (Br-me-co)	Este pequeño bosque se localiza en una pequeña porción de la vertiente montañosa interandina del departamento de Apurímac	*Vallea stipularis* ("chuyllur"), *Escallonia myrtiloides* ("tasta"), *Clusia sp.* ("ollanta"), *Duranta mandonii* ("muti-muti"), *Prunus rígida* ("pisccay"), *Cestrum conglomeratum* ("nockay"), *Hydrocotyle ranunculoides* ("matecllo"), *Duranta pentlandii* ("wankartipa") y *Sonalum sp.* ("ushpa-ushpa"); *Mycianthes oreophylla* ("unka"), *Styloceras laurifolia* ("huamanquero"), *Escallonia resinosa* ("chachacoma"), *Escallonia herrerae* ("pawka") y *Lupinus platiphyllus* ("quera").
Bosque montano occidental andino (Binoca)	Este tipo de cobertura vegetal está conformada por bosques remanentes fuertemente fragmentados, que se encuentran distribuidos en algunas zonas puntuales de la vertiente occidental de los Andes del norte de Perú, entre los 1500 y 3500 msnm.	Especies de las familias y géneros: Lauráceas *(Necrandro, Ocotea, Persea),* Cunoniáceas *(Weinmonnia),* Rubiáceas *(Cinchona),* Podocarpáceas *(Podocarpus),* Arecaceas *(Ceroxylon)* y helechos arborescentes de la familia Cyateaceae *Nephelea y Cyathea.* El sotobosque está integrado por arbustos adaptados a la sombra, destacando especies de las Familias Rubiáceas, Aráceas, Ericáceas, Musáceas Helechos. En el Parque Nacional de Cutervo y otros bosques de la provincia de Cutervo, se registra una biodiversidad relevante, encontrando especies de orquídeas, líquenes, hongos, bromelias y vegetación arbórea de importancia económica y medicinal, como *Cinchona sp. "*Cascarilla*", Cedrela sp. "*cedro*", Ocotea sp. "Roble", Juglans sp. "*nogal*".*
Bosque relicto alto andino (Br-al)	Distribuido a manera de pequeños parches en la región alto andina del país, sobre terrenos montañosos con pendientes empinadas hasta escarpadas, casi inaccesibles y excepcionalmente formado parte de la vegetación ribereña de ciertos ríos y quebradas, entre 3500 y 4900 msnm.	Una serie de especies del género *Polylepis* conocido localmente como **"queñoal", "quinual" o "quenual"**, el cual está conformado por más de 19 especies, como: Polylepis canoi, P. flavipila, P. incana, P. incarum, P. lanata, P. microphylla, P. multijuga, P. pauta, P. pepei, P. racemosa, P. reticulata, P. rugulosa**, *P. serícea, P. subsericans, P. subtusalbida, P. tarapacana, P. tomentella, P. triacontandra y P. weberbouer**i. (Mendoza & Cano, 2011).* En ciertas ocasiones el género *Polylepis* se asocia a los Géneros ***Gynoxis sp. ("cotoquisuar"), Escallonia resinosa ("chachacomo") y Escallonia mirtilloides ("tasta").***

Páramo (Para)	En nuestro país, el páramo se ubica en la cima de las vertientes montañosas de los Andes del Norte, entre 3000 y 3600 msnm. (Departamentos	Predominan gramíneas que pueden alcanzar hasta un metro de altura, como los géneros *Calamagrostis, Agrostis, Stipa* y las especies *Paspalum bonplandianum*

	de Piura y Cajamarca como el "Santuario Nacional Tabaconas-Namballe"). Se caracteriza por su clima frío y con mucha neblina, llegando a ocasionar lloviznas persistentes, que alimentan a las lagunas.	Y *Neurolepis aristata.* Así como especies de *Blechnum loxense,* y especies de los géneros *Huperzia, Lycopodium, Jamesonia, Niphidium y Lophosoria.* Las Angiospermas, mono y dicotiledóneas de tallos cortos o de baja estatura habitan los espacios dejados por las gramíneas. Entre otras especies encontramos *Neurolepis laegaardii, Chuquiraga jussiuei, Bejaria resinosa, Hypericum spruci, Geranium ayabacense, Valeriana convallaroides, Viola dombeyana, Coreopsis venusta, Pterichis sp., y Baccharis genistelloides; Hesperomeles sp., Dunalia sp., Ageratina piurae, Senecio llowelyinii, Loricari ferruginea, Tibouchina laxa, Brachyotun rostratum, Miconia sp., Monnina tomentela, Symplocos sp., Lachemilla sp., Polylepis weberbahueri, Weinmania microphylla, Morella pubescens, Mauria simplicifolia,* etc.
Jalca (Jal)	Este tipo de cobertura se encuentra ubicado en la porción superior o cima de los andes del norte (cabecera de cuenca), marcando el límite geográfico entre el pajonal andino y el páramo que viene del extremo norte hasta la depresión de Huancabamba, arriba de los 3000 msnm.	Encontramos una serie de gramíneas macollantes de hojas convolutas y rígidas, que forman manojos dispersos, al lado de pequeños arbustos. Entre las especies típicas y endémicas predominantes encontramos *Laccopetalum giganteum "*pacra pacra*", Ascidiogyne sanchez-vegae, Calceolaria caespitosa, Calceolaria percaespitosa, Chuquiraga oblongifolia, Jalcophila peruviana, Lucilioclineplicatifolia, Nicotiana thyrsiflora, y* esporádicamente la especie *Blechnum loxense (Sánchez-Vega & O. Dillon, 2006).*
Pajonal andino (Pj)	Este tipo de cobertura vegetal está conformado mayormente por herbazales ubicado en la porción superior de la cordillera de los andes, aproximadamente entre 3800 y 4800 msnm.	Predomina la asociaciones de *Calamagrostis - Stipa (Calamagrostis rígida, Stipa hans-meyeri,* seguido de *Pycnophyllum wolfe, Parastrephia phylicaeformis, Loricaria graveolens;* la Asociación *Festuca - Stipa, (Festuca weberbaueri, Stipa inconspicua, Calamagrostis amoena);* la asociación *entre Stipa – Margiricarpus (Stipa ichu, Margyricarpus strictus* seguidas de *Aciachne pulvinata).* En el tipo "césped", entre otras predominan las familias *Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Cyperaceae, Umbelliferae,* siendo las especies más abundantes*: Festuca rigescens, Pycnophyllum wolfe, Calamagrostis vicunarum, Scirpus rigidus, Aciachne pulvinata, Stipa conspicua.*

Bofedal (Bo)	El bofedal o "turbera", que significa mojado, constituye un ecosistema hidromórfico distribuido en la región altoandina, a partir de los 3800 msnm., principalmente en las zonas sur y central del país.	La vegetación herbácea es siempre verde, compacta y almohadillado o en cojín, predominando entre otras especies: *Distichia muscoides* ("champa") de la familia Juncaceae, *Plantago rígida* ("champa estrella") de la familia Plantaginaceae, *Alchemilla pinnata* de la familia Rosaceae, *Werneria caespitosa* de la familia Asteraceae, *Hypochoeris sp* de la familia Asteraceae, *Hypochaeris sp* de la familia Asteraceae, *Eleocharis sp* de la familia Cyperaceae, *Poa ovatum* de la familia Poaceae, *Rorippa nasturtium* de la familia Cruciferae, *Luzula peruviana* de la familia Juncaceae, *Gentiana sedifolia* de lafamilia Genúanaceae, *Calamagrostis rigescens* de la familia Poaceae, *Calamagrostis jamesoni* de la familia Poaceae, *Scirpus rigidus* de la familia Cyperaceae), *Agrostis sp* de la familia Poaceae, *Genciana prostrata* de la familia Gencianaceae.
Matorral arbustivo (Ma)	Este tipo de cobertura vegetal se encuentra distribuido en la región andina, desde 1500 hasta 3800 msnm, en la zona sur y centro del país, y desde 1000 hasta los 3000 msnm en la zona norte del país, en ambos casos, hasta el límite de los pajonales naturales	Las especies arbustivas más comunes son: *Jatropha sp.* ("huanarpo"), *Cnidoscolus sp.*, *Ortopterigium huasango* ("huancoy"), *Carica candicans* ("mito"), *Heliotropium arborescens*, *Mutisia sp., Tecoma arequipensis, Fourcroya andina* ("maguey"), *Grindelia sp.*, *Ambrosia artemisioides*, *Balbisia sp.*, *Dodonea viscosa ("*chamana*"), Kageneckia lenceolata ("*lloque*"), Mutisia acuminata ("*chinchilcuma*"), Barnadesia dombeyana ("*yauli*"), Agave americana ("*maguey azul*"), Tecoma sambucifolia ("huaranhuay"), Ophryosporus peruvianus ("*arenilla*"), Ambrosia arborescens ("*marco*"), Grindelia sp., Heliotropium sp., Spartium junceum ("*retama*"), Senecio sp., Bidens sp., Aristeguietia sp.;* entre las cactáceas más frecuentes se encuentran *Opuntia subulata "*anjokishka*";* también encontramos especies arbóreas de porte bajo como: *Acacia macracantha ("*faique*"), Schinus wolfe ("*wolfe*") y Caesalpinea spinosa ("*tara / taya*").*
Cardonal (Car)	Este tipo de cobertura vegetal se extiende desde la vertiente occidental andina norte (La Libertad hasta Tacna), en el norte del Perú, entre los 1800 y 2700 msnm y al sur del país entre los 1500 y 2500 msnm., limitado en su distribución en su parte inferior con el desierto costero y en su parte Superior con el matorral arbustivo.	Predominan abundantes áreas de la familia Cactaceae, las cuales se distribuyen de manera dispersa en las laderas colinosas y montañosas. Las especies que sobresalen por su porte de hasta 5 m de altura son: *Neoraimondia arequipensis* ("gigantón") y *Browningia candelaris* ("candelabro").

La mayor cantidad de áreas de la sierra peruana están cubiertas de un pajonal improductivo, pero que con acciones de revegetación y reforestación pueden no solamente mejorar las condiciones de vida del poblador rural, sino generar polos de desarrollo económico y gestión sostenible de los recursos agua y suelo. La vista siguiente muestra áreas abandonadas en el distrito de la Encañada – Cajamarca.



Figura Nº 1.- Áreas para revegetar propias de la sierra alto andina, Bambamarca – Cajamarca

La ampliación de la frontera agrícola realizada en el país y especialmente en la sierra peruana viene motivando una pérdida constante de la cobertura vegetal natural, y nos está llevando a un proceso de desertificación de la sierra peruana, motivando que los campos se muestren descubierto en forma casi permanente y con ello ocasionando un proceso erosivo muy acentuado, con pérdidas del poco suelo existente y motivando su abandono posterior, simplemente porque esos terrenos dejan de ser productivos; motivando un mayor empobrecimiento y migración de las familias campesinas, desmejorando la calidad de vida, que depende en gran parte de la producción de alimentos en términos de cantidad, calidad y variedad; pero ello depende de la importancia atribuida

al productor, del territorio que usa, de los insumos que utiliza y de su distribución y comercialización.

Las actividades agrícolas, forestales y pasturas pueden ser muy bien utilizadas en éstas áreas a revegetar, tal como se muestra en la siguiente vista, ubicada en el distrito de La Encañada – Cajamarca.



Figura Nº 2.- Plantaciones forestales que favorecen actividades agrícolas y cultivo de pastos, en zonas alto andinas, La Encañada – Cajamarca

Aprovechar y recuperar la biodiversidad existente en la sierra, expresada en especies arbustivas y herbáceas tal como se ha detallado anteriormente, es tener una visión de futuro, especialmente hoy que a nivel mundial sentimos una transformación rápida debido a causas naturales y por las intervenciones humanas; transformaciones que en muchos casos implican impactos negativos al medio ambiente, expresados en cambios abruptos tanto en el clima como en la biodiversidad existente y especialmente los servicios que nos presta a la humanidad, los servicios de los ecosistemas. Dentro de esta pérdida de cobertura vegetal, se encuentra la deforestación agresiva que sufre el planeta y el país en particular, analizado en muchos eventos de índole mundial y nacional, cabe citar la conclusión a la que llegaron en el seminario “El Futuro de la Energía: el camino de América Latina hacia la sostenibilidad”, realizado en Santiago de Chile, donde el Director de

la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) José Lui Samaniego, advirtió que el cambio de uso de suelo y la deforestación representa una quinta parte (21%) del total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la región, mientras que en el conjunto del planeta suponen alrededor del 5%.

Una de las acciones de mayor importancia a llevar a cabo en la sierra peruana, es que la revegetación y manejo de la cobertura vegetal nos permite cosechar el agua de lluvia y aumentar el número de nacientes u ojos de agua así como incrementar el nivel o formar lagunas que almacenan agua en forma permanente, tal como se muestra en la vista siguiente ubicada en la provincia de San Miguel – Cajamarca.



Figura Nº 3.- Infiltraciones de agua de lluvia en matorrales de la Sierra alto andina, San Miguel – Cajamarca

6.2. Rol de la cobertura vegetal en una cuenca hidrográfica

La cobertura vegetal es un elemento fundamental en una cuenca hidrográfica, pues cumple las siguientes funciones:

a. Protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, ya sea de las plantas vivas o muertas que se encuentran cubriendo el suelo. Con esta protección se mitiga la remoción y desprendimiento de las partículas de suelo, así como también evita el aumento de la velocidad del agua de escorrentía debido a la resistencia hidráulica que genera la vegetación o cubierta vegetal existente.

b. Aumenta la tasa de infiltración del agua en el suelo, debido a que al proteger al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, esto evita el desprendimiento de las partículas del suelo y la consecuente formación de una delgada película formada por partículas finas de suelo en su superficie, lo cual genera una importante disminución de la velocidad de infiltración del suelo. Por otro lado las raíces de las plantas se constituyen en verdaderos canales en el perfil del suelo facilitando así la infiltración del agua en el suelo. A una mayor densidad de la vegetación, mayor será la cantidad de agua infiltrada.

c. La cobertura vegetal al proteger y dar sombra al suelo, disminuir la tasa de evaporación del agua del suelo, manteniendo la humedad, lo cual favorece el desarrollo de las diferentes especies de microorganismos que ayudan a descomponer la materia orgánica y convertirlas en abono y humus, mejorando así la porosidad, estructura y la capacidad productiva de los suelos.

d. La materia orgánica generada a partir de la vegetación existente: raíces, tallos y hojas muertas mejora la estructura del suelo y su nivel de fertilidad y consecuentemente aumenta su capacidad productiva.

e. La cobertura vegetal en zonas con pendiente disminuye la escorrentía superficial debido al aumento de la resistencia hidráulica al flujo de agua y al aumento de la tasa de infiltración del suelo.

f. La cobertura vegetal con árboles, arbustos y demás especies vegetales que se plantan en laderas o zonas inestables ayudan grandemente a estabilizar dichas áreas debido a que sus sistemas radiculares “amarran” a las partículas del suelo dándoles estabilidad, por ello es recomendable sembrar árboles y especies vegetales que tengan un buen sistema radicular tanto en densidad como en profundidad; así se disminuirá grandemente los deslizamientos y huaycos.

g. Crea microclimas favorables para fines productivos, ambientales y estéticos.

h. Mejora el paisaje y el potencial para un ecoturismo floreciente pues la vegetación da sombra y disminuye la temperatura del ambiente.

i. Permite el hábitat de la vida silvestre posibilitando la producción de los alimentos y el espacio natural para su reproducción y su supervivencia.

j. Protege al suelo de la erosión tanto hídrica como eólica.

k. Protege y mejora la calidad del agua y la infiltra antes de que se produzca la escorrentía superficial y con ello termine en las quebradas y los ríos.
l. Filtra el aire de la atmósfera al absorber el anhídrido carbónico (CO_2) y otros elementos contaminantes y liberar oxígeno (O_2) como producto de la fotosíntesis y la conversión de la energía lumínica en energía química, que la producen las plantas.

m. Existen algunas especies vegetales que tienen una gran capacidad de Fito remediación, absorbiendo elementos contaminantes del suelo y el agua.

n. Produce una variada gama de alimentos, madera y leña.
o. En zonas áridas y semiáridas y en épocas del año con una densa presencia de nieblas o neblinas, la cubierta vegetal absorbe la humedad atmosférica y descarga el agua captada en el suelo alimentando o formando los puquiales o manantiales de agua.



Figura Nº 4.- Actividades agrícolas en ladera con partes altas reforestadas; Chetilla – Cajamarca

6.3. Sistemas de cobertura vegetal o revegetación en las cuencas hidrográficas

La descripción de los tipos de cobertura vegetal detallada anteriormente corresponde a una cobertura natural existente; sin embargo, frente a la pérdida constante de la cobertura vegetal existente en el país y especialmente en la sierra peruana, sabemos que desde tiempos inmemoriales el hombre aprendió a utilizar la combinación más adecuada a sus necesidades de las diferentes especies vegetales; así podemos mencionar los siguientes:

a. **Sistemas forestales**; que son normalmente la combinación de árboles y arbustos, formando bosques o bosquetes y/o macizos forestales, sean con fines maderables, de protección y mixtos.

b. **Sistemas pastoriles;** que son áreas cubiertas con pastos, los mismos que pueden ser de especies nativas o exóticas, según las condiciones climáticas, de los suelos y de los aspectos socio-económicos de la población propietaria de dichas áreas.



Figura Nº 5.- Macizos forestales plantados sobre los 3,000 msnm, Chetilla – Cajamarca

c. **Sistemas agrícolas;** que se refiere fundamentalmente a la producción de cultivos alimenticios y que son principalmente plantaciones temporales.

d. **Sistemas silvopastoriles;** aquí los terrenos son utilizados tanto para la siembra de pastos y especies forestales en un aprovechamiento asociado

del terreno. El éxito de este sistema radica fundamentalmente en el manejo de los pastos y en el mantenimiento que se les pueda dar a los árboles.

e. Sistemas agroforestales; se refiere a la utilización de los terrenos bajo una forma de asociación de plantaciones forestales y cultivos agrícolas.

f. Sistemas agrosilvopastoriles, este sistema consiste en el uso asociado de los suelos para la producción agrícola, pastos y forestales. Cualquiera de los usos asociados de las tierras antes mencionados es propio de pequeños productores, que tienen una economía de subsistencia o de grandes extensiones de terreno con diferentes capacidades de uso de sus tierras, es decir dependerá de las condiciones técnicas, económicas y sociales de las poblaciones propietarias o conductoras de sus parcelas.



Figura Nº 6.- Sistema silvo pastoril de gran importancia en la sierra alto andina, San Miguel - Cajamarca.

Por otro lado, es importante resaltar algunos aspectos acerca de la interacción entre los diferentes componentes de los sistemas asociados de cultivo antes mencionados:

Los árboles y arbustos aportan materia orgánica al suelo: hojas, flores, frutos, ramas y raíces muertas, las mismas que al descomponerse producen humus. Asimismo a través de sus sistemas radiculares absorben elementos nutritivos desde horizontes más profundos y que son depositados en las capas

superficiales del terreno, haciéndolos disponibles para los pastos y cultivos. Cuando se trata de que los árboles, arbustos, pastos o cultivos son leguminosas y por lo tanto tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en el suelo, esta propiedad constituye un beneficio adicional.

La **revegetación** es una práctica común, realizada técnicamente desde tiempos muy remotos y que consiste en desarrollar una serie de actividades orientadas a devolver el equilibrio o restaurar la cobertura vegetal de una determinada área, que por una acción antrópica, ha perdido su formación vegetal original, y que como consecuencia de ello sus suelos se encuentran alterados o degradados, especialmente los suelos de laderas.

Las actividades de **revegetación**, deben desarrollarse tomando como elemento base la capacidad de uso mayor del suelo, así por ejemplo en las actividades mineras lo primero que debe evaluarse es el uso que tendrá la tierra en la concesión, posterior a las operaciones mineras, en las áreas de pastoreo debe identificarse el tipo de ganado que se alimentará en las áreas revegetadas e incluso si hay posibilidad de desarrollar cultivos agrícolas, determinar si serán eventuales o temporales o tendrán un carácter permanente; considerando siempre las actividades iniciales que tuvieron anteriormente, de tal manera que la revegetación contribuya a recuperar dichas áreas, tal es el caso de las actividades de revegetación en terrenos de explotación miera, donde su restauración se orienta a mantener el uso que tenían antes de la actividad minera, pero tomando en cuenta que los requerimientos de alimentos y otras necesidades de la población aumentan en forma permanente, debemos buscar mejoras en la revegetación, a fin de alcanzar mejores condiciones de vida de las pobladores asentados en dichas zonas, y que en el caso de la sierra peruana, son las zonas con mayor pobreza y pobreza extrema; en consecuencia la definición del uso de la tierra determinará el tipo de revegetación que se debe realizar en las áreas degradadas o seleccionadas y determinará las prácticas de revegetación específicas que se desarrollarán en dichas áreas. Las actividades de cobertura vegetal no solamente se debe utilizar en suelos improductivos en el campo agrario, sino también para la recuperación de suelos como consecuencia del cierre de minas, tal como se muestra en la siguiente vista en el distrito de La Encañada – Cajamarca.



Figura Nº 7.- Áreas de pastos naturales en buen estado



Figura Nº 8.- Trabajos de apertura de hoyos para una plantación forestal en una zona alto andina, provincia de Huamachuco – Región La Libertad



Figura Nº 9.- Áreas disturbadas por la minería en proceso de revegetación, Región Cajamarca

6.4. Caracterización de las áreas a revegetar

Tomando en cuenta que a largo plazo, el objetivo principal de la **revegetación** es mejorar la calidad del suelo o del terreno, protegiéndolo contra la erosión y con ello generar ecosistemas acordes al medio circundante para contribuir con la recolonización natural y el mantenimiento del equilibrio ecológico de las especies vegetales, es que debemos revisar toda la información histórica y si fuera posible un inventario detallado del área a revegetar, así como todos aquellos factores bióticos y abióticos presentes en dicha área, es decir, debemos describir los recursos ambientales del área a revegetar, principalmente relacionados al clima, los suelos y la vegetación.

a. **Información histórica:** Se debe revisar toda la información posible de actividades productivas anteriores, de las poblaciones que habitaron en dichas áreas y especialmente de la cobertura vegetal que tuvieron antes de haber sido erosionadas, ello sin duda nos permitirá definir el tipo de revegetación futura y como mejoramos las condiciones ecológicas y productivas de dichas áreas. Es común escuchar en los antiguos pobladores, que antes de tal o cual actividad, existieron bosques o cobertura arbórea o arbustiva muy intensa, y es allí donde debemos encontrar el por qué? se realizó la destrucción o eliminación de la cobertura

vegetal, además de tener una referencia de las especies de flora y también de fauna que poblaban dichas áreas.

b. Información climatológica: En este aspecto es fundamental recolectar información de todos los indicadores meteorológicos, pero fundamentalmente alguna información sobre la precipitación pluvial, no solamente la cantidad sino la distribución anual que tienen, en la sierra podemos encontrar hasta 1,200mm de precipitación anual, pero se concentran en determinados meses del año y en otros meses hay ausencia total de lluvias; y también recolectar información de las temperaturas máximas, medias y mínimas. Para lograr contar con información de estos dos parámetros en el área a revegetar, debemos recurrir a estaciones meteorológica cercanas y del mayor especio de tiempo posible, si logramos un espacio de 10 años será suficiente para definir las condiciones de crecimiento de la planta y el momento adecuado para las actividades de revegetación. Cuanto mayor sea el periodo para recolectar información climatológica, más confiables serán los datos para tomar decisiones de revegetación. En muchos casos se deberá recurrir a interpolar información de estaciones meteorológicas cercanas y que estén ubicadas en áreas con características similares a las áreas donde se quiere realizar los trabajos de revegetación.

c. Información Edafológica y de la capa arable: Son dos aspectos fundamentales para determinar el tipo de revegetación que se quiere instalar, por lo que debemos investigar en principio su capacidad de uso mayor del suelo, conocer exactamente a qué actividades se dedicaron en el pasado (antes de ser erosionadas) y a que actividades podemos dedicarlo en el futuro (con la revegetación y recuperación del suelo), es decir, comenzar a mejorar los suelos y no solamente pensar en dejarlos como eran antes de la actividad trópica, como sucede actualmente con los proceso de revegetación de las actividades mineras, donde el propósito de esta investigación es ayudar en la identificación y conservación de todo material apropiado de la capa superficial del suelo.

Indudablemente que la información que debe recogerse no solamente debe estar centrada en la capa arable o superficial del suelo, sino debe incluir a todos los horizontes de suelo, desarrollando para cada horizonte su propia data. Actualmente la forma más sencilla es recurriendo a un laboratorio de análisis de suelos, como lo que tiene la UNALM, INIA, etc., pero lo más importante es recolectar la información del pasado y compararla con los resultados actuales de algún laboratorio que tenga la seriedad y aceptación técnica. Actualmente los parámetros para el

análisis de suelos incluyen la profundidad del horizonte, el pH, el porcentaje de materia orgánica, la conductividad eléctrica, la tasa de adsorción de sodio, tamaño de las partículas (textura), etc., aspectos que tienen que ser correlacionados con la información e interpretación histórica del área a revegetar.

d. Información sobre la vegetación: En este aspecto es importante reconstruir un mapa sobre la vegetación que existió en el pasado antes de ser erosionada, ello permitirá definir el tipo de plantas a ser instaladas en el proceso de revegetación. La elaboración de mapas del pasado y del futuro, donde se describa detalladamente la vegetación y los aspectos básicos del nicho ecológico del área a revegetarse, genera condiciones de familiaridad y de confianza con los pobladores de las comunidades o localidades donde se realiza labores de revegetación, aspectos que han olvidado los planes y programas de vegetación minera. El resultado de este estudio comparativo, debe permitir el proyectar el establecimiento de plantas dominantes y con capacidad y proyección de mejorar la calidad de los suelos y por ende la economía rural futura, cuidando siempre que las especies vegetales tengan una buena capacidad productiva, de densidad y de cobertura, con lo cual generen condiciones favorables de protección de los suelos expuestos a diferentes procesos de erosión y de destrucción; generando más bien indicadores exitosos para los diferentes programas y proyectos de revegetación.

6.5. Factores básicos a ser considerados para la revegetación

Considerando que el objetivo prioritario de todo proceso de revegetación es la recuperación de suelos erosionados, tenemos que evaluar los factores que se encuentran en dichos suelos, que mayormente están ubicados en áreas con pendientes pronunciadas, con una capa arable muy superficial, donde deberá analizarse detenidamente las propiedades físicas, químicas y biológicas de dichos suelos.

a. Propiedades Físicas: En general todos los suelos, pero especialmente aquellos que se encuentran erosionados y que requieren ser revegetados, presentan una serie de limitaciones físicas que deben ser analizadas previamente a cualquier labor de revegetación, puesto que de ello dependerá el éxito de los programas o planes de revegetación futuros. Los principales factores físicos que deben ser analizados en este tipo de suelos (erosionados), son:

- **Erosión:** La erosión es uno de los factores más críticos que deben ser controlados con las labores de revegetación y se presentan mayormente en suelos con pendientes pronunciadas, sobre pastoreadas y por un uso inadecuado de la capacidad que tiene el suelo - es común encontrar suelos de aptitud forestal dedicadas a actividades agrícolas o ganaderas - con explotaciones intensivas, que lo único que hace es acelerar los procesos erosivos a los que están sometidos. La erosión puede ser hídrica o eólica, ambas con pérdidas hasta de un 30% de suelos, los mismos que son desplazados al fondo de los ríos y quebradas, para finalmente terminar en el fondo de los océanos o de los grandes reservorios construidos en las partes bajas de las cuencas, los mismos que como consecuencia de la colmatación que sufren en forma permanente, acortan su vida útil, con grandes pérdidas para las actividades agrarias del país.

  Como resultado de escorrentía superficial, encontramos una erosión laminar, que es una combinación de dispersión de gotas de lluvia y el movimiento del agua en capas poco profundas - propias de las laderas de la sierra peruana – las que se presentan en forma casi uniforme en toda la superficie del suelo; pero también podemos encontrar erosiones formando surcos o cárcavas, dependiendo de la intensidad de lluvias, de las pendientes y de la orientación del flujo de agua hacia cursos definidos, como quebradas y riachuelos.

  Los factores que controlan la erosión de los suelos, son principalmente la ausencia de cobertura vegetal (revegetación), pero también influyen directamente las características fisicoquímicas del suelo, la topografía y las características de las lluvias; en consecuencia los principales métodos disponibles para controlar la erosión están relacionados con las labores de coberturas vivas con especies vegetales permanentes, procurando en todo ello mejorar las condiciones anteriores y establecer plantas que generen algún tipo de utilidad para los agricultores propietarios de aquellos suelos erosionados, inicialmente y en forma temporal serán acompañados de materiales inertes *(mulchs*) durante los procesos de revegetación, pero también ayuda significativamente la reducción de las pendientes de los suelos (laderas), estableciendo andenes o terrazas de formación lenta, con la utilización de especies vegetales permanentes y de cercos vivos con plantaciones forestales. Las pendientes pronunciadas en áreas pequeñas, pueden reducirse por trabajos de nivelación, que es un método menos caro y más efectivo, lo cual además permitirá conservar el agua y mejorar la infiltración de dicho elemento.

- **Compactación del suelo**: En algunos casos excepcionales podemos encontrar que los suelos han sido compactados, especialmente en lugares planos y mayormente como consecuencia de sobrepastoreo de la ganadería local, el paso de vehículos motorizados y otros factores que degradan las características del suelo, las mismas que en algunos casos resulta beneficiosa para establecer el contacto con las semillas de las especies vegetales que se utilizan para la revegetación, pero cuando la compactación es excesiva, ocasiona efectos dañinos y nocivos para el suelo, afectando directamente el crecimientos de las plantas y de cualquier especie vegetal que pueda desarrollarse en dichos suelos.

La alternativa más común para mitigar los problemas asociados a la compactación es a través del manejo físico del suelo, para lo cual se debe hacer uso de implementos agrícolas con características especiales, a fin de lograr araduras profundas, y también mediante enmiendas orgánicas y de otros elementos que mejoren o modifiquen la textura original de los suelos, por ejemplo en suelos arcillosos se podrá incorporar arena para mejorar la textura y estructura de los suelos, en suelos con pH ácidos podemos utilizar enmiendas con cal, que además de mejorar la textura y estructura de los suelos, contribuyen a incrementar el pH, haciendo posible la utilización por las plantas de elementos químicos bloqueados por un pH ácido. Por otro lado cuando se establece pastos cultivados, es mejor aprovecharlos mediante cortes y evitar un pastoreo intensivo, por cuanto ello permite acelera la compactación de los suelos.

- **Textura:** La textura del suelo es muy variada en suelos erosionados y sin cobertura vegetal, tiene una influencia directa en la infiltración del agua de lluvia, en la conductividad hidráulica, en la capacidad de retención de agua y en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos. Ni siquiera en suelos manejados y cultivados permanentemente existe una textura

  óptima, por cuanto cada tipo de plantas o grupos de plantas requieren de características específicas de textura, variando enormemente de una especie vegetal a otra.

  Las condiciones ideales de la textura de los suelos y que se adapten a los diferentes tipos de plantas, que permitan una adecuada aireación y eviten pérdidas para lograr el crecimiento y desarrollo del sistema radicular de las plantas, deben tener una suficiente cantidad de arena, ya que en suelos arcillosos o con alto contenido de gredas vamos a encontrar siempre drenajes inadecuados para el crecimiento y desarrollo de las

especies vegetales, no obstante un alto porcentaje de partículas de arcilla (menos de 0,002 mm de diámetro) tienen una capacidad de retención de agua relativamente mayor y muchos nutrientes disponibles para las plantas.

Realizar labores de revegetación en suelos con características extremas en cuanto a textura es riesgoso, por cuanto modificar estás características no es tarea fácil; sin embargo, la textura del suelo puede ser modificada realizando enmiendas con materiales de texturas diferentes, por ejemplo utilizando cal, suelos procedentes de relaves o desperdicios, pero analizado y evaluados previamente, aplicaciones de enmiendas orgánicas vivas, etc., evaluando siempre costos y medios de transporte de dichos materiales; así por ejemplo la incorporación de enmiendas orgánicas en suelos arenosos mejorará la capacidad de retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes; la incorporación de materia orgánica a suelos arcillosos, mejorará e incrementará la infiltración del agua de lluvia, el drenaje y la aireación del suelo, reduciendo significativamente la formación de costras en la superficie de los suelos. Las principales fuentes de materia orgánica lo constituyen la incorporación de abonos verdes, principalmente leguminosas, la utilización de todo tipo de estiércol, residuos de madera como aserrín y viruta, la utilización de henos y general todo tipo de pajas procedentes de cultivos de cereales y forrajeros.

- **Estructura y otros tipos de agregados de los suelos**: Además de los elemento señalados anteriormente, existen en los suelos diferentes tipos de agregados, compuestos de dos o más partículas primarias unidas, constituyendo un conjunto de bloques, que forman la estructura de los suelos, donde tanto el contenido de arcilla, como de óxidos y en general todo material orgánico, están totalmente correlacionados con la formación y estabilidad del agregado. Cualquier falla en su manejo o todo caso el desconocimiento de este tipo de agregados, nos puede enfrentar a mayores problemas de erosión y/o compactación de los suelos, ocasionando la pérdida de la estructura, la reducción de la infiltración y la formación de costras superficiales, que afectarán directamente el crecimiento de las especies vegetales que se utilicen en la revegetación.

Un suelo compactado tiene una reducida estabilidad de sus agregados, por ello es común que en este tipo de suelos, se utilicen implementos especiales para aradura profunda (corte, cincel, disco). La inestabilidad de estos agregados, reducirá la infiltración del agua de lluvias, por lo que se hará necesario aplicar enmiendas orgánicas o en todo caso esperar que el problema se resuelva de manera natural a través de los procesos de crecimiento de plantas o cobertura vegetal natural. A medida que se

desarrolla una comunidad de plantas, el crecimiento de sus brotes, raíces y en general todas las partes de una planta llegan a tener una maduración natural, por lo que su descomposición agregará materia orgánica al suelo, mejorando lentamente la estabilidad del agregado a través del tiempo, por lo que en estos casos lo más recomendable es utilizar enmiendas orgánicas, siendo lo más aconsejable las leguminosas.

b. Propiedades Químicas: Las propiedades químicas de todos los suelos y en particular de los suelos erosionados y que requieren una revegetación, merecen un análisis y conocimiento previo a desarrollar cualquier proyecto o programa de revegetación, por cuanto el desconocimiento por ejemplo del pH y contenido de nutrientes disponibles para las plantas que se quieren establecer, puede convertirse en una serie limitante y por ende el fracaso de cualquier proceso de revegetación, en consecuencia debemos contar con información de los siguientes factores químicos:

- **Nutrientes:** Es importante tener información previa del conjunto de macro elementos – NPK – disponibles en los suelos donde se pretende establecer programas de revegetación, pero también de algunos micro elementos que constituyen elementos prioritarios para el buen desarrollo de las plantas que se utilicen en la revegetación. En términos generales no encontraremos deficiencias de K, pero las deficiencias de nitrógeno (N) y fósforo (P) en las tierras erosionadas constituyen los factores más limitantes para el éxito de la revegetación.

  Las deficiencias de nitrógeno (N) en los suelos, se generan mayormente como una consecuencia de la falta de microorganismos capaces de convertir los compuestos orgánicos del suelo en formas nitrogenadas capaces de ser usadas por las plantas, generando muy bajos niveles de N disponible para la planta; en consecuencia el restablecimiento del ciclo biológico activo de reciclaje de nitrógeno, será clave para el éxito de la revegetación en aquellas áreas erosionadas y en general en aquellos suelos donde se desarrolle un proyecto o programa de revegetación.

La causa principal para encontrar deficiencias de fósforo (P) en los suelos, está dado por la insolubilidad de P y la fijación del P por minerales arcillosos en el suelo, generando un desarrollo restringido del sistema radicular de las plantas, debido a que las plántulas enfrentan un periodo difícil para establecerse pues poseen habilidad limitada para acceder a cantidades adecuadas de P.

No obstante saber que los suelos con más de 0,2 meq de K intercambiable/100 g de suelo son generalmente adecuados para el crecimiento de la planta y que estas cantidades de potasio (K) están disponibles en el suelo, es importante realizar el análisis nutricional respectivo, y con ello contar con la información real de los tres macro elementos, tan indispensables para el buen crecimiento de las especies vegetales que se siembren en la revegetación.

La utilización de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, nos permitirá superar las deficiencias de nitrógeno y fósforo; sin embargo, la preocupación principal es limitar la cantidad de N agregado debido a la estimulación que causa en el crecimiento de las plantas anuales, por lo que el límite de la cantidad de N aplicado dependerá de las condiciones del suelo y de las prácticas agronómicas que se desarrollen en los procesos de revegetación.

Los análisis de suelos deberían incluir no solamente elementos mayores, sino la presencia de micro elementos como el calcio, boro y fierro, así como la determinación de $N\text{-}NO_3$.

- **pH del suelo**: Es importante analizar previamente a iniciar el proceso de revegetación esta propiedad del suelo, que puede ser ácida, neutra o alcalina, por cuanto influye directamente en la capacidad de absorción de los nutrientes disponibles en el suelo. Existen suelos que tienen una marcada preponderancia de hidrógeno sobre los iones hidroxilos y, por lo tanto, son suelos ácidos (pH7), mientras que otros suelos tienen una concentración igual de hidrógeno y iones hidroxilos y son suelos neutros (pH=7).

  Es conocido que la mayoría de plantas tienen la capacidad de tolerar un rango amplio de los iones de hidrógeno, siempre y cuando exista un balance adecuado de otros elementos nutricionales de las plantas; sin embargo, la disponibilidad de varios de los nutrientes esenciales es afectada drásticamente por el pH del suelo, acción que puede ser aún más perjudicial para el crecimiento de las plantas, cuando se incrementa la solubilidad de ciertos elementos que son tóxicos para el crecimiento de las plantas. Igualmente varios elementos esenciales tienden a ser menos aprovechables a medida de que se eleva el pH de 5,0 a 7,5 u 8,0.

  Por otro lado se tiene información que la disponibilidad de fósforo disminuye a medida que el pH se incrementa a partir de 6,5 y luego se

incrementa en niveles de pH sobre 8,5; en cambio la disponibilidad de nitrógeno es más alta en suelos con un pH en el rango de 6 a 8 y luego decrece en el rango de 8 a 9.

Cuando los valores de pH se encuentran por debajo de 5,0, el aluminio, el hierro y el manganeso son frecuentemente solubles en cantidades suficientes como para ser tóxicos para el crecimiento de algunas plantas; igualmente sucede con el ion bicarbonato que en pH altos se presenta en cantidades suficientes como para interferir con la captación normal de otros iones, y de esta manera ser perjudicial para el óptimo crecimiento de las plantas.

El crecimiento y desarrollo de microorganismos en el suelo también se ve afectado por el pH del suelo; así tenemos que los hongos son más activos en pH por debajo de 5,5, en cambio los actinomicetos y las bacterias, son más activas en pH superiores a 6,0. El efecto de las poblaciones de organismos, a su vez, influye en los procesos microbianos que son importantes para la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas, además favorecen la nitrificación, la mineralización de materia orgánica y la fijación de nitrógeno.

La alternativa más común para incrementar el pH de los suelos ácidos es a través de la adición de cal agrícola, que es muy abundante en la sierra, en cambio si los suelos son alcalinos, se puede utilizar azufre, el mismo que por acción de las bacterias del suelo, principalmente el *Thiobacillus sp*, y la presencia de la humedad propia del suelo, hace que el azufre se convierta en ácido sulfúrico. Pero no debemos olvidar, que cualquier enmienda que se quiera realizar para mejorar el pH, debe tener como punto inicial un análisis de suelos.

Los mayores riesgos de salinidad de los suelos, se presentan cuando hay suficiente sal soluble en el suelo para interferir con el crecimiento de la vegetación deseada, generando como consecuencia inmediata la reducción de la disponibilidad de agua para las plantas; esto se produce debido a que la presencia de sal en el agua utilizada por las plantas, incrementa el esfuerzo que éstas deben hacer para extraer agua de la solución suelo, requerido para su desarrollo y crecimiento normal. Este esfuerzo se conoce como potencial osmótico, el mismo que es adicional al potencial matrico, o también conocido como el trabajo que la planta realiza para extraer agua de una solución de suelo no salina. La suma de los potenciales, osmótico y matrico, se conoce como potencial del agua del suelo.

Las especies de plantas tienen diferentes habilidades para hacer ajustes osmóticos con el fin de mantener una gradiente constante de potencial de

agua entre la planta y la solución de suelo; y las plantas que son capaces de adaptarse y realizar cambios fisiológicos asociados con estos ajustes, son las plantas consideradas tolerantes a la sal.

El efecto negativo de la salinidad con las especies vegetales, se manifiesta durante la germinación y el crecimiento inicial de las semillas, y en general causan una reducción general o atrofia del crecimiento de la planta. Cuando los niveles de salinidad son bajos o moderados, sus efectos negativos se revierten aplicando fertilizaciones limitadas.

Por otro lado es importante tener presente que existen algunos tipos de fertilizantes, principalmente inorgánicos, que tienen un índice de sal relativamente alto y que por lo tanto su utilización podrían agravar o incrementar las concentraciones de salinidad en los suelos, por lo que se recomienda adicionar al suelo abundante materia orgánica, la misma que además mejora la infiltración y lixiviación natural de los suelos, y mantener al suelo con buen sistema de drenaje.

c. Propiedades Biológicas: El conocimiento de las propiedades biológicas de los suelos en general y en particular los suelos erosionados, nos permite determinar el tipo de enmiendas a utilizar para el establecimiento de una revegetación exitosa. Muchas de las transformaciones que ocurren durante el ciclo de los nutrientes en el suelo y su utilización por las plantas, son realizadas parcial o totalmente por microorganismos.

Las bacterias y hongos presentes en los suelos, realizan una serie de actividades, que de no producirse reducirían drásticamente la productividad de los ecosistemas, en consecuencia la comunidad microbiana del suelo en los sistemas ecológicos maduros, abarca una gama intensa de microorganismos altamente interrelacionados entre ellos y con características igualmente complejas dentro del ciclo trófico. En consecuencia el sistema microbiano está estrechamente asociado a la comunidad de plantas.

La materia orgánica de los suelos sirve como fuente alimenticia de numerosos tipos de macro y micro fauna, ocasionando un cambio de su composición química y reduciendo su tamaño, materia orgánica que química y físicamente se ve aún más alterada por la presencia de

bacterias y hongos saprofitos, reduciéndolo inicialmente en humus y luego en anhídrido carbónico y una serie de componentes solubles, que son liberados en los suelos y de allí aprovechados directamente por el complejo de plantas utilizados en la revegetación de suelos degradados.

Existe una serie de protozoarios, amebas, nematodos y micro artrópodos, que se comportan como depredadores de la macro fauna, se alimentan de los organismos saprófitos y de hongos micorriticos, incrementando la complejidad de la red alimenticia que utilizan las plantas. Los hongos micorriticos se asocian con las raíces de las plantas, formando una simbiosis, utilizando los exudados radiculares para su abastecimiento de energía y proporcionando a la planta huésped cantidades mayores de agua y nutrientes del suelo, especialmente fósforo. De igual manera existen bacterias simbióticas como el Rhizobium, que forma nódulos en las raíces de las leguminosas, fijando el nitrógeno gaseoso, hasta convertirlo en nitrógeno disponible para la planta.

La rizosfera del suelo en contacto con las plantas en crecimiento, se convierte en centros para procesos biológicos que incluyen la fijación del nitrógeno, la transferencia de material entre las plantas a través de las hifas de las micorrizas, la formación y mantenimiento de la estructura del suelo mediante la producción de componentes húmicos y de polisacáridos, que la planta y el subsistema desintegrador aprovechan íntegramente y cualquier alteración de un afecta al otro. Los exudados de las raíces de las plantas junto con las porciones más solubles de humus, proporcionan el abastecimiento más fácilmente aprovechable de energía para los desintegradores.

Los organismos depredadores que se alimentan principalmente de hongos micorriticos o de depredadores micorriticos, deben encontrar fuentes alimenticias adicionales, con lo cual se reduce la complejidad trófica y se incrementa la competencia. La reducción de una fuente de alimentos ocasiona una disminución de consumidores.

Las perturbaciones que afectan a la comunidad de plantas y alteran físicamente el suelo, como sucede en suelos erosionados, pueden ocasionar la eliminación total de la población microbiana o la desorganización de la función y estructura microbiana, bajo cuyas condiciones será muy difícil restablecer una comunidad de plantas erradicada sin restaurar el subsistema microbiano o en todo caso proporcionando una fuente de nutrientes fácilmente aprovechable para mantener el crecimiento de la planta, en tanto la comunidad microbiana logra recolonizar el suelo.

La mejor manera de restablecer una comunidad microbiana afectada o destruida en el suelo, consiste en aplicar una capa superficial de suelo al

sitio disturbado que contenga mucha materia orgánica y por lo tanto una población microbiana viable y diversa; donde ésta población microbiana tenga una fuente adecuada de energía (carbón) para que funcione apropiadamente. En algunos casos se adiciona conjuntamente con la materia orgánica, una cantidad de nitrógeno inorgánico para satisfacer sus necesidades nutritivas y energéticas; también se puede complementar con incorporaciones de cualquier tipo de estiércol, que puede originar el incremento rápido de la población microbiana del suelo.

6.6. Muestreo y análisis del suelo de áreas a revegetar

En general todos los suelos donde se quiere desarrollar alguna actividad productiva, y especialmente los suelos erosionados destinados a los procesos de revegetación deberán ser muestreados para caracterizar las principales propiedades físicas y químicas para el crecimiento óptimo de las plantas.

El muestreo y análisis de suelos debe realizarse en los seis meses anteriores al inicio de la revegetación y el número de muestras y la profundidad del muestreo debe ser el apropiado para representar el material muestreado. El muestreo del suelo debe ser realizado de manera completamente aleatoria o al azar y el número de muestras dependerá de la heterogeneidad del suelo. Las muestras de suelo deben ser localizadas en bolsas de polietileno limpias y transportadas a un laboratorio de análisis de suelo lo más rápido posible. Las muestras deben ser protegidas de la luz solar directa y mantenidas a una temperatura lo más fría posible hasta que lleguen al laboratorio.

Es importante que el método de análisis del suelo utilizado sea el apropiado para las características químicas del material que se muestrea, especialmente el pH.

6.7. Nutrientes del suelo y fertilización de áreas a revegetar

En los suelos erosionados y no utilizados adecuadamente de acuerdo a su capacidad de uso mayor, es común encontrar una falta de materia orgánica y por ende una deficiencia fuerte de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, pero también micronutrientes (Ca, Mg, S, etc.), necesarios e indispensables para el ben crecimiento de las plantas.

Los nutrientes en el suelo, se encuentran en diferentes formas o fuentes, generalmente una buena parte en soluciones del suelo fácilmente

disponible para las raíces de las plantas, pero otra parte en forma orgánica o en el complejo de intercambio catiónico, que fácilmente se convierte en nutrientes disponibles para las plantas; sin embargo, puede existir otra parte de nutrientes está en forma insoluble y no disponible para las plantas.

Los fertilizantes generalmente se agregan a los suelos como elementos adicionales a las fuentes de nutrientes disponibles en forma inmediata en los suelos, pero también tomando en cuenta las fuentes de nutrientes que está siendo disponible lentamente; siendo lo más común cubrir deficiencias elementos mayores como el nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que analizaremos un poco más estos tres elementos; pero no debemos de dejar de lado los requerimientos de elementos menores que muchas veces se convierten en indispensables para el desarrollo de algunas especies vegetales que se utilizan en los proyectos o planes de revegetación.

a. Nitrógeno: El nitrógeno (N) es típicamente el nutriente más limitante en los suelos erosionados y de las laderas, no obstante existir un alto contenido de nitrógeno atmosférico, la cantidad que es fijada y añadida al suelo cada año es bastante limitada.

En general encontramos tres fuentes naturales de nitrógeno: (a) La primera es el nitrógeno que se fija de la atmósfera a través de las descargas eléctricas durante tormentas con relámpagos, el mismo que llega directamente a las plantas en forma de NH4 y/o NH3; (b) La segunda fuente es el nitrógeno simbiótico con plantas de leguminosas y otro tipo de plantas, que lo transforman hasta convertirlo en una forma que está directamente disponible para las plantas; (c) La tercera fuente de nitrógeno es la fijación no simbiótica a través de las bacterias y algas que viven libremente en el suelo. Si las tres fuentes de nitrógeno disponibles son deficientes y especialmente en forma de NO3-N y NH4-N, el efecto en el crecimiento de la planta será visto en las dos primeras semanas después del brote de la planta.

La deficiencia de nitrógeno en los suelos, es relativamente fácil de superar a corto plazo, aplicando en forma superficial formas de nitrógeno inorgánico como nitrato de amonio, el mismo que al igual que otras formas de nitrógeno muestran una alta movilidad en el suelo y pueden perderse fácilmente, no encontrándose al alcance del sistema radicular de las plantas, pero también puede perderse en la atmósfera a través de la

volatilización y por lo tanto tampoco pueden estar disponibles para las plantas.

En el largo plazo, proporcionar una fuente de nitrógeno es mucho más difícil y necesariamente debe incluir una fuente de materia orgánica, incorporando estiércol u otro tipo de abonos orgánicos como residuos de cultivos de gramíneas y leguminosas, viruta, aserrín y en forma general cualquier otras enmienda orgánica, que utilizan la población microbiana de la capa superficial del suelo y permiten que el sistema radicular de las plantas cuentes con formas de nitrógeno disponible.

La comunidad microbiana del suelo realiza un trabajo de descomposición del material residual de cualquier tipo de enmienda orgánica que se incorpore, liberando el nitrógeno a través de los procesos de mineralización.
Otra alternativa y de mucha aplicación práctica es la utilización de plantas leguminosas fijadoras de nitrógeno, con beneficios a largo plazo, no solamente de incorporación de nutrientes al suelo, sino de mejora de la estructura del suelo.

b. Fosforo: El fosforo es el segundo nutriente de las plantas con mayor limitación en suelos erosionados y en general en todos los suelos en los cuales desarrollamos actividades productivas, que limita el establecimiento de plantas, especialmente las perennes que muestran un limitado crecimiento del sistema radicular.

El fósforo es un elemento altamente inmóvil y su movimiento en el suelo es por difusión, el desarrollo normal del sistema radicular de las plantas, especialmente de las más jóvenes que son las encargadas de proveer alimento a las plantas.
El fertilizante fosfatado generalmente se aplica en forma inorgánica, como por ejemplo las rocas fosfóricas que posee un alto contenido de fósforo y que actúa principalmente en suelos ácidos, pero debido a la inmovilidad del fósforo, debe ser incorporado en la zona de la raíz para su máxima efectividad. El fósforo puede añadirse al suelo en grandes cantidades para proporcionar una fuente de fosforo a largo plazo sin temor a la pérdida ocasionada por la lixiviación.

c. Potasio: El potasio es el tercer elemento de los macronutrientes que tiende a ser limitado en suelos de textura gruesa, pero su deficiencia no es tan común como la del nitrógeno o fósforo.

El potasio tiene una menor movilidad que el nitrógeno, pero mayor que la del potasio; sin embargo, puede perderse fácilmente por procesos de lixiviación en suelos arenosos, mas no en otro tipo de suelos; y su efectividad es mayor cuando se incorpora directamente al sistema radicular de las plantas.

Las aplicaciones o incorporaciones de fertilizantes a los suelos erosionados y en general a todo tipo de suelos donde se realice actividades productivas, requiere previamente del análisis del suelo, el mismo que en combinación con los ensayos de campo determinan el programa de fertilización óptimo para lograr el desarrollo sostenible a largo plazo, y de ninguna manera es posible recomendar dosis únicas, debido a la extrema variabilidad que existe de un suelo con otro; sin embargo, siempre será recomendable que las dosis de nitrógeno y Potasio se dividan por igual en dos aplicaciones espaciadas.

En general la cantidad de fertilizante necesitado y la frecuencia de aplicación son determinados por una serie de factores que deben analizarse técnicamente con la ayuda de profesionales agrarios, pero que incluyen el requerimiento de nutrientes de las especies vegetales que estamos revegetando, la calidad y profundidad del suelo done se establecerá las plantas de la revegetación, las prácticas de manejo usadas, el clima y la comunidad microbiana presente en el suelo.

6.8. Selección de especies de plantas para revegetar

La selección de las especies vegetales más apropiadas para la revegetación es un aspecto de mucha importancia para el establecimiento efectivo en suelos erosionados, para lo cual se debe tomar en cuenta una serie de aspectos como el clima, las características físicas y químicas del suelo, el uso anterior y futuro de la tierra revegetada y el control del área, entre otros factores.
Por otro lado es importante tomar en cuenta la identificación de las especies que están en proceso de crecimiento en las tierras aledañas al área a revegetar, esta información nos puede proporcionar información valiosa para seleccionar las especies y poblaciones de especies que han probado su adaptabilidad a las condiciones existentes en el sitio, pero también evaluar los beneficios que brindará a los pobladores del área y a la recuperación de este tipo de suelos.

En consecuencia, la selección de especies vegetales para la revegetación es crítico y decisivo para el éxito del plan de revegetación; no es posible determinar en un documento el listado de especies

vegetales, puesto que ello dependerá de las características ecológicas en las cuales se desarrollan estas especies, de las condiciones ambientales que son tan variables de una zona a otra; por lo que además de lo detallado en el
cuadro adjunto que es referencial y no limitativo, debemos tener en cuenta algunos principios como los que explicamos a continuación:

a. Capacidad de las especies vegetales seleccionadas, para el establecimiento bajo condiciones de crecimiento locales, tomando en cuenta la disponibilidad de semillas u otros materiales vegetativos de propagación que se utilicen para el establecimiento de dichas especies.

b. Factores de uso y adaptación de los suelos materia de la revegetación, por ejemplo, si la tierra era utilizada para pastos, entonces debe considerarse el sabor y valor nutritivo para el ganado que aprovecharán dichos pastos, la tolerancia por otros pastos, la estación y velocidad de crecimiento, etc.

c. Adaptabilidad a la presencia aunque estacional de climas extremos, como la sequía, las heladas, vientos y otros factores climáticos; adaptabilidad a las condiciones de del suelo predominante en el área de revegetación, como salinidad, toxicidad, etc.

En el siguiente cuadro citamos las especies vegetales herbáceas, arbustivas y arbóreas de mayor utilización en los procesos de revegetación en la sierra peruana; existiendo otras poco utilizadas, pero que debe ser materia de una investigación aplicada, sobre todo relacionada a procesos de adaptabilidad y utilidad económica para los agricultores, así como aprovechar la gran biodiversidad vegetal existente a lo largo de toda la sierra peruana, especialmente la Jalca, Puna y laderas de dichas zonas ecológicas, especies que pueden recuperarse fácilmente mediante procesos de revegetación y especialmente reforestación con especies nativas.

Cuadro N° 3.- Especies de pastos nativos, arbustivas, arbóreas y frutales utilizadas en revegetación

Nombre Común	Nombre Técnico	Ciclo de vida
Pacochampa	*Aciachne pulvinata*	perenne
Chiji	*Agrostis breviculmis*	perenne
Crespillo	*Agrostis tolucensis**	perenne
Cola de zorro	*Andropogon saccharoides*	perenne
Paja plumilla	*Aristida adscencionis*	anual

Garbancillo	*Astragalus sp*	perenne
Mishigo	*Bidens andicola*	anual
Cebadilla	*Bromus catharticus*	anual
Cebadilla	*Bromus lanatus*	perenne
Sora	*Calamagrostis antoniaca*	perenne

Crespillo	*Calamagrostis curvula*	perenne
Sora sora	*Calamagrostis eminens*	perenne
Mula-pasto	*Calamagrostis heterophylla*	perenne
Huaylla-ichu	*Calamagrostis recta*	perenne
Tullupasto	*Calamagrostis rigescens*	perenne
Ichu	*Calamagrostis rígida*	perenne
Crespillo	*Calamagrostis vicunarum*	perenne
Bolsa de pastor	*Capsella bursa pastoris**	anual
Kunkuna	*Carex sp*	perenne
Cortadera	*Cortaderia sericantha*	perenne
keito	*Dissanthelium minimun*	anual
keito	*Dissanthelium peruvianum*	perenne
Kunkuna Waricha	*Distichia muscoides*	perenne
Aguja aguja	*Erodium cicutarium*	anual
Yuraq ichu	*Festuca dichoclada*	perenne
Chillihua	*Festuca dolichophyllia*	perenne
Ichu	*Festuca rigescens*	perenne
Cola de ratón	*Hordeum muticum*	perenne
Mulapilli	*Liabum ovatum*	anual
Pasto estrella	*Lucila aretiodes*	perenne
Una sutu	*Luzula peruviana*	perenne
Kanlli	*Margiricarpus pinnatus*	perenne
Carretilla	*Medicago hispida**	anual
Trébol	*Medicago lupulina**	anual
Ichha pichana	*Muhlenbergia angustata*	perenne
Grama	*Muhlenbergia peruviana*	anual
Llama-pasto	*Nassella meyeniana*	perenne
Pasto plumilla	*Nassella pubiflora*	perenne
Thurpa	*Nototriche sp*	perenne

Warago inkaroga	*Opuntia sp*	perenne
sara sara achoquita	*Paspalum pigmaeum*	anual
sara-sara, "nodillo"	*Paspalum tuberosum*	perenne
Kacho	*Piptochaetium panicoides*	anual
Llanten	*Plantago sp*	anual
Kcehua	*Poa annua*	anual
Kcacho	*Poa candamoana*	perenne
Chumpicura	*Poa gymnantha**	perenne
Koña pasto	*Poa horridula*	perenne
Kcacho	*Poa lilloi*	perenne
Chiji	*Poa spicigera*	perenne

Totrilla	*Scirpus rigidus*	perenne
Grama fuerte	*Sporobolus poiretii*	perenne
Grama ichu	*Stipa brachyphylla*	perenne
Ichu	*Stipa ichu*	perenne
Aycha ichu	*Stipa mexicana*	perenne
Gransa Ichu	*Stipa mucronata*	perenne
Ichu	*Stipa obtusa*	perenne
Diente de León	*Taraxacum officinalis*	perenne
Trébol	*Trifolium amabile*	perenne
Trébol	*Trifolium peruvianum*	perenne
Habichuela	*Vicia andicola*	anual
Habichuela	*Vicia graminea*	anual
Suña pasto	*Vulpia megalura*	anual
Qello wayta	*Warneria sp*	anual
Huarango	*Acacia macrocantha*	perenne
Agave	*Agave americano*	perenne
Aliso	***Alnus acuminata***	**perenne**
Cedrón	*Aloysia triphylla*	perenne
Colle	***Buddleja coriacea***	**perenne**
Quishuar	***Buddleja incana***	**perenne**
Casuarina	*Casuarina cunninghamiana*	perenne
Taya - tara	*Caesalpinia spinosa*	perenne
Uña de gato	*Caesalpinia sepiaria*	perenne

Mutuy	*Cassia hooqueriana*	perenne
Cedro de altura	*Cedrela liiloi*	perenne
Membrillo	*Cordia sp*	perenne
Ciprés	*Cupressus macrocarpa*	perenne
Chachacoma	***Escallonia resinosa***	**perenne**
Eucalipto	*Eucalyptus globulus*	perenne
Pajuro	*Erythrina edulis*	perenne
Fresno	*Fraxinus americana*	perenne
Japru	*Gynoxys oleifolia*	perenne
Nogal	*Juglans neotropica*	perenne
Chacpa	*Oreocallis grandiflora*	perenne
tuna	*Opuntia ficus-indica*	perenne
Tumbo	*Passiflora mollissima*	perenne
Pino	*Pinus patula*	perenne
Pino	*Pinus radiata*	perenne
Pino	*Pinus seudostrobus*	perenne
Alamo	*Populus nigra*	perenne
Ciruela	*Poecilochroma punctata*	perenne
Lucmo	*Pounteria lucma*	perenne
Queñua	***Polylepis incana***	**perenne**
Quinual	***Polylepis recemosa***	**perenne**
Capuli	*Prunus serotina*	perenne
Durazno	*Prunus persica*	perenne
Sauce	*Salix chilensis*	perenne
Sauco	*Sambucus peruviana*	perenne
Molle	*Schinus molle*	perenne
Retama	*Spartium junceum*	perenne

Es importante disponer de las semillas o material vegetativo de propagación, de acuerdo a la especie seleccionada, y cuando ello no es posible, entonces se debe recolectar semillas o materiales vegetativos, en todos los casos el material recolectado debe ser seleccionado de poblaciones desarrolladas en forma exitosa y bajo condicione ambientales similares a las áreas donde serán establecidas.

La selección apropiada de las especies vegetales para la revegetación es fundamental, por lo que debe tomare en cuenta los factores limitantes que existen para el establecimiento de dichas especies vegetales, siendo

lo más común los climas secos o fríos donde la variabilidad estacional de temperatura y humedad es más crítica, la preparación de las camas de siembra, la técnica de siembra, la profundidad de colocación de la semilla, la estación de siembra, la tasa de siembra, la aplicación de "mulch" y otros factores que influyen en la capacidad para establecer la revegetación de manera exitosa.

Para la revegetación de áreas erosionadas y en general para tener una cobertura vegetal, se pueden utilizar todo tipo de especies nativas de pastos naturales y cultivados, especies arbustivas y arbóreas en macizos arbustivos o forestales, pero también asociados bajo sistemas agroforestales y silvopastoriles, es decir, las especies arbustivas o arbóreas asociados con cultivos permanentes o temporales y con pasturas, respectivamente.

6.9. Semillas para la revegetación: viabilidad y cantidad

Es importante que la compra de semillas se realice de establecimientos debidamente autorizados, cuenten con el control de sanidad y calidad garantizados y que en los envases o depósitos que contiene dichas semillas, tengan la etiqueta oficial y se detalle entre otros aspectos, el origen de la semilla, su poder germinativo, la pureza y las fechas de las pruebas respectivas como de vigencia o durabilidad de la semilla. La certificación es la única garantía para el consumidor de que la semilla adquirida es de buena calidad, sin esta información, no es posible determinar su viabilidad.

Utilizar una suficiente cantidad de semilla para obtener un crecimiento, pero no más de lo necesario, es fundamental y de ello dependerá el éxito de un plan de revegetación, especialmente en áreas erosionadas. Cuando se utiliza semilla en exceso, puede producir crecimientos muy densos, donde la competencia entre plantas generan un crecimiento deficiente y de muy poca aceptación por los agricultores que realizan la revegetación, y por otro lado utilizar cantidades muy bajas de semillas, no ayudarán en la cobertura vegetal mínima para contrarrestar los efectos erosivos del suelo revegetado. En consecuencia debemos procurar utilizar la dosis técnicamente adecuada, evitando competencias entre las propias plantas, tomando en cuenta siempre que la dosis de siembra es la suma de los porcentajes de siembra de las especies individuales; ésta dosis se expresan normalmente como el número de semillas por metro cuadrado o kilogramo por hectárea.

Considerando que cada especie vegetal produce semillas de pesos diferentes, el uso de dosis de siembra basadas puramente en el peso por unidad de área producirá dosis erróneas, por ejemplo existen especies vegetales cono el césped con semillas muy pequeñas y que alcanzan hasta 500 000 semillas por kg, mientras que arbustos con semilla grande sólo tendrán 50 000 semillas por kg.

Cuando la siembra se realiza surcos o líneas se utilizara menor cantidad de semillas que cuando la siembra es al voleo, en este último caso puede incrementarse hasta en tres veces la cantidad utilizada en surcos; pero siempre tomando en cuenta la composición deseada de la comunidad de plantas sean estas de tipo césped, arbustivo e incluso arbórea.

6.10. Recolección y almacenamiento de las semillas para revegetar

Las semillas para acciones de revegetación o cualquier siembra de plantas, provienen básicamente de tres fuentes u opciones: (a) Comprar la semilla de establecimientos oficiales y autorizados; (b) Recolectar semillas de localidades vecinas al área de revegetación; y (c) Recolectar las semillas de áreas previamente seleccionadas para multiplicarlos para futuras revegetaciones.

La compra de semilla a proveedores oficiales y de reconocida trayectoria, puede ser una de las alternativas más fáciles, pero también puede resultar la más costosa debido a que las semillas disponibles en el mercado son importadas; con estas semillas existe la seguridad de mostrar las características genéticas seleccionadas y se adaptará a ciertas condiciones climáticas y edáficas. Sin embargo, tenemos el inconveniente de que la mayoría de especies nativas no están disponibles en los mercados, y por otro lado existe el riesgo que las semillas adquiridas no se adapten a las condiciones ambientales donde se realizará la revegetación.

La recolección de semillas de localidades vecinas y que tendría una adaptabilidad probada a las condiciones de crecimiento presentes en el área, cuenta con limitaciones relacionadas a la falta de las cantidades requeridas para cada período de revegetación y por otro lado su recolección requiere de cierta especialidad, sobre para mantener su poder germinativo, por lo tanto también tiene limitaciones. Cuando las cantidades de semilla requeridas son relativamente pequeñas, pueden ser recolectadas en el área de interés e incrementadas por un semillarista o productor local.

La producción de semilla en base a recolecciones previas, puede resultar las más cara y la que tome más tiempo para un plan de revegetación, pero al mismo tiempo nos puede proporcionar mayor seguridad en cuanto a adaptabilidad y cantidad; sin embargo está sujeta a los cambios de la naturaleza y los fenómenos naturales como la sequía y la presencia de plagas y enfermedades que afectarán su producción. Esta semilla incrementada producirá plantas que se adaptan fácilmente a las condiciones de crecimiento del área a revegetar y se puede generar cantidades que satisfagan las necesidades específicas de revegetación; sin embargo esta opción requiere de tiempo relativamente largo para su maduración y poder producir las semillas de calidad y en las cantidades requeridas para los planes de revegetación; experiencias como las de la Asociación Civil para la Investigación y Desarrollo Forestal –ADEFOR, en Cajamarca estiman un mínimo de tres años para producir semilla de especies anuales para un proyecto específico de revegetación.

Determinar el momento oportuno para recolectar las semillas, es uno de los pasos más importantes pero al mismo tiempo más difíciles y cruciales en el proceso de obtención de semillas; debe tener la madurez fisiológica propia de cada especie vegetal, por cuanto si recolectamos semillas sin la madurez fisiológica propia de la especie vegetal, tendrán una baja viabilidad o periodo de vida latente de la semilla; y por el contrario cuando se retarda la época de recolección, existe el peligro de que los frutos de muchas plantas se abran y dejen caer las inflorescencias o racimos que contienen a las semillas y por lo tanto se pierdan. En síntesis, para iniciar un proceso de recolección de semillas con buena calidad fisiológica, será necesario conocer detalladamente la fenología de las especies que serán recolectadas.

Las etapas fenológicas de mayor interés son la floración, la formación de la semilla y la maduración de la semilla. La floración, es la primera etapa fenológica que debe ser conocida y que en muchas especies se observa muy fácilmente con la presencia de pétalos, sépalos y brácteas de colores, las mismas que en otras especies pude resultar más dificultosa de ser observada; sin embargo, en ambos casos y adicionalmente se debe poner mucha atención y especial interés en observar la antesis (liberación del polen), que se constituye en el elemento esencial de las semillas de cualquier especie vegetal.

Posterior a la floración, la secuencia de la fenología es la siguiente: (a) etapa de pasta suave, caracterizada por la excreción de pasta de las semillas cuando se les aprieta entre los dedos de la mano, si se recolectara en esta etapa las semillas que se obtienen no germinan y por

lo tanto no es recomendable efectuar la recolección en este momento; (b) etapa de pasta dura, caracterizada por ser dura, ya no se puede aplastar entre los dedos de la mano, incluso al pretender morderla se muestra bastante dura, lo cual nos indica que ha alcanzado su total madurez y es el momento ideal para realizar la recolección de las semillas; y (c) madurez, caracterizada por que como consecuencia de la madurez puede al mismo tiempo iniciarse la caída de la semilla.

Muchas veces para poder asegurar la obtención de semillas de calidad y sobre todo viables, puede ser necesario repetir la recolección, es decir, las colecciones deberían extenderse desde el final de la etapa de pasta suave hasta que todas las semillas se pierdan. Para algunas especies, será necesario recolectar semillas en diferentes etapas de su desarrollo, determinando inmediatamente su viabilidad e identificar la etapa correcta para la recolección. Durante el proceso de recolección se debería enviar una muestra de semillas a un laboratorio reconocido, para que pueda determinar la viabilidad de las semillas recolectadas y en el lapso no mayor de 48 horas el recolector tenga la información de del poder germinativo de las semillas recolectadas.

Las semillas de muchas malezas pueden ser recolectadas sosteniendo una bandeja debajo de la inflorescencia y agitándolas las mismas, haciendo que las semillas caigan dentro del recipiente; en otros casos puede ser cortando toda la planta y guardando el material en bolsas de papel, dejándolas en un lugar abierto seco, bien ventilado hasta que la semilla madure. Para otras semillas de plantas herbáceas con cápsulas (leguminosas) o frutas que revientan, se recolecta cuidadosamente los frutos mientras están inmaduros y luego se los deja madurar en bolsas cerradas. Para especies arbustivas, la recolección se realiza sosteniendo una bandeja debajo de las ramas extendidas, mientras se sacuden los arbustos con un palo, y en otros casos cosechándolos directamente a mano.

Las semillas recolectadas deben ser almacenadas en forma apropiada, de tal manera que se pueda garantizar su viabilidad hasta su germinación; y cuando se pretenda almacenar por un período largo (más de un año), se debe tener especial cuidado con la temperatura y humedad, por cuanto si esas condiciones no son las adecuadas la reducción del poder germinativo será significativo; por lo tanto las semillas deben ser secadas lo antes posible a una humedad por debajo de 13% y debe ser almacenada bajo este contenido de humedad todo el tiempo. Para secar semillas, la humedad relativa del aire debe estar en equilibrio con la humedad de la semilla de manera que habrá una gradiente de humedad desde la semilla al aire; sin embargo, las semillas pueden ser

secadas en aire caliente, pero se debe tener especial cuidado que la temperatura no exceda de 38°C.

El mantenimiento o almacenamiento de las semillas debe realizarse en instalaciones apropiadas y de ninguna manera se recomienda en espacios con contenidos de aire ambiental; para lograr almacenarlo adecuadamente y en condición seca se recomienda utilizar una de las tres maneras siguientes: (a) Con equipos de des humificación funcionando adecuadamente en los almacenes; (b) Almacenadas en depósitos a prueba de humedad; (c) Utilizando indicadores de sílica gelatinosa en depósitos debidamente sellados.

6.11. Métodos de siembra y plantación en revegetación

Antes de realizar cualquier siembra, será necesario preparar el terreno y crear un ambiente apropiado para la germinación de las semillas y el establecimiento de la planta. Las labores de preparación del suelo nos permiten tener un ambiente favorable para la germinación y el crecimiento de las plántulas, facilita las labores culturales para el control de malezas y permite retener mayor cantidad de humedad en el suelo, todo lo cual facilitará el establecimiento y crecimiento de la revegetación.

Por otro lado el cultivo de los suelos antes de realizar la siembra o plantación de un área a revegetar, permite mejorar la aireación del suelo, reduce la escorrentía, incrementa la infiltración, reduce la compactación y produce condiciones para el buen contacto de la semilla con el suelo.

Existen métodos de cultivos primarios y secundarios; los primeros afectan el suelo a una profundidad relativamente grande y deja la superficie accidentada, y los segundos reducen la aspereza de la superficie del suelo, remueve la maleza y ayuda a conservar el agua. Las formas más comunes de cultivo primario son el arado utilizando cuchillas y cinceles, y la forma más común de cultivo secundario es la escarificación con un escarificador de disco o diente. Conjuntamente con los métodos de cultivo mencionados, la preparación del suelo genera cambios en la superficie del suelo, creando pequeñas depresiones que contribuyen a reducir el flujo o movimiento del suelo y con ello evita y controla la erosión de los suelos, así como mejora la relación agua-suelo, todo lo cual facilita el crecimiento de las plantas.

Las depresiones en los suelos se realizan más fácilmente con una herramienta agrícola denominada “canalizador”, el cual excava depresiones en la superficie del suelo, lo cual permite retener mayor

humedad y proteger las semillas y plántulas de efectos adversos como por ejemplo los vientos. El canalizador puede ser acoplado a un tractor, para ser potenciado por el sistema hidráulico del tractor, que permite levantar y bajar las cuchillas cortadoras. Las depresiones creadas por esta máquina pueden tener una longitud de 0.9 a 1.2 m, con un ancho de 46 a 56 cm y una profundidad de 15 a 20 cm.

a. Siembra: Lo más importante cuando se realiza la siembra de cualquier tipo de semillas es colocar la semilla en el suelo a la profundidad más favorable para su germinación y establecimiento.

Cada especie vegetal que se quiera sembrar tiene una profundidad óptima de localización de la semilla en el suelo, aspecto que está directamente relacionado con la cantidad de reservas de alimento que contiene la semilla para producir un coleoptilo lo suficientemente largo, que le permita penetrar fácilmente las superficie del suelo; pero en términos generales cuanto más pequeña sea la semilla, su colocación en el suelo debe ser más superficial, en cambio cuanto más grande sea la semilla, su colocación en el suelo será más profunda.

Existen semillas que para una mejor germinación son estimuladas por la luz, y otras que son estimuladas por la oscuridad; por lo que debemos tener una información detallada de cada una de los tipos de semillas que se utilizará en el proceso de revegetación; y ello determinará que una técnica de siembra o una determinada plantación no sea la óptima para las especies vegetales con las que se pretende revegetar. Para el caso de especies nativas, se estima que la profundidad promedio óptima está alrededor de un centímetro de la superficie del suelo.

En términos generales se recomienda que la siembra debe realizarse al inicio de las lluvias, por lo que la época variará de una localidad a otra, tomando en cuenta siempre que las especies de clima frío tienden a desarrollar mejor cuando son sembradas en otoño y las especies de clima cálido tienden a desarrollar mejor cuando son plantadas en primavera o verano.

Por otro lado es importante detallar que la siembra de especies leguminosas, que son plantas fijadoras de nitrógeno ambiental, hasta convertirlos en formas de nitrógeno aprovechable por las plantas, previa a su siembra deben ser inoculadas con bacterias específicas del genero *Rhizobium.*

- **Sembrado en surcos**: La siembra bajo esta modalidad consiste en colocar la semilla en el fondo del surco a una profundidad determinada,

haciendo uso de un implemento agrícola específico, con lo cual se pretende optimizar su potencial y capacidad de retención de agua. Los surcos deben ser más profundos cuando la textura es arenosa, y serán más superficiales cuando los suelos son de textura más fina.

Cuando las semillas son más pequeñas o tienen cubiertas suaves, se desplazan más rápidamente al fondo del surco, por lo que debe tenerse especial cuidada para lograr una distribución uniforme; de igual manera cuando las semillas tienen cubiertas de pelusa, vellosidades o aristas, se van agrupar formando una especie de racimos, los mismos que interfieren con el movimiento de la semilla al momento de sembrarlo, por lo que se recomienda sembrarlos utilizando algún material que impida dicho fenómeno, y esos materiales pueden ser por ejemplo arena, restos de los mismos cultivos, etc.

- **Sembrado al voleo**: La siembra al voleo se considera un método de dispersión de semillas sobre los suelos, pero que no los colca dentro del suelo, es decir, la semilla quedará esparcida en forma superficial, y por lo tanto para que la semilla quede sembrada será necesario pasar algún tipo de instrumento agrícola, como por ejemplo el arado, el escarificador, una rastra u otra forma que permita enterrar la semilla a una profundidad adecuada, de acuerdo al tamaño de la misma.

  La hidrosiembra es una forma de sembrado al voleo, caracterizada por dispersar la semilla mediante presión de agua, y lógicamente utilizando la máquina denominada “hidrosembradora”; éste método es bastante costoso, pero tiene la ventaja de utilizarse en terrenos con pendientes muy pronunciadas y que es imposible poder realzarlo con algún otro tipo de maquinaria agrícola; también puede utilizarse aeronaves (avionetas) y que es otra forma de distribuir la semilla al voleo, especialmente cuando se trata de grandes áreas y también pendientes excesivas. En ambos casos y con el fin de lograr un establecimiento, debemos asegurarnos que las semillas sean debidamente fijadas y enterradas a la profundidad que técnicamente determina la especie de semillas con las que se está revegetando.

b. Plantación: La plantación se refiere a colocar el suelo o área de revegetación a plantas enteras o partes de plantas. Cuando se utiliza plantas enteras, podemos definirlo como un trasplante, es decir, que son extraídas de su ambiente natural o de un vivero donde se les ha cultivado y son establecidas en el área específica e revegetación; y cuando se utilizan partes de plantas, nos referimos a estacas, esquejes y otras partes de una planta.

Cuando se realiza revegetación con especies arbóreas, especialmente de forestales de las especies de *Pinus sp*, se tiene la experiencia más importante de la sierra peruana, inicialmente desarrollada por la Cooperación Técnica Belga con la Asociación para la investigación y el Desarrollo Forestal – ADEFOR, y que actualmente se viene utilizando en diferentes proyectos de forestación, utilizando plantas a raíz desnuda, que manejadas técnicamente en los viveros respectivos desarrollan un sistema radicular que permite un fácil establecimiento en campo definitivo y son de fácil transporte a áreas alejadas donde se quiere desarrollar la plantación, pero también se pueden utilizar plantones producidos en bolsas, que es mucho más difícil y costoso su transporte desde los centros de producción de plantones (viveros).

El éxito al utilizar plantones a raíz desnuda, depende de cuánto tiempo podemos mantener a las plantas casi inactivas, puesto que antes de sacarlos a campo definitivo se someten a un proceso de estrés, reduciendo la humedad, los nutrientes y de ser posible la temperatura, lo cual permite que las plantas incrementen sus reservas de carbohidratos; en cambio las plantas producidas en bolsas presentan un crecimiento activo cuando son trasplantadas, siendo de vital importancia la época o período de plantación, que debe ser cuando existe lluvias y no hay peligro de bajas temperaturas.

Cuando se utilizan plantas silvestres, éstas son extraídas de su ambiente natural y trasplantadas al área de revegetación y esta tecnología lo podemos utilizar tanto para especies arbustivas como arbóreas; incluso podemos preparar plantas aplicando la técnica de acodos, especialmente el etiolado, que facilita el enraizamiento de aquellas plantas que es difícil poder realizarlo por semillas sexuales o por estacas.
En todos los casos debemos tener especial cuidado de que las plantas antes de ser llevadas a campo definitivo, se realicen una poda de los brotes aéreos, reduciendo la transpiración y la tensión del agua en las plantas.

Cuando se utiliza como material de propagación las estacas, debemos cuidar que éstas procedan de raíces leñosas o pedazos de tallos que incluyen los nudos, pero también dependiendo de las especies vegetales, podemos utilizar tejidos meristemáticos de tallos y yemas de la raíz. Una práctica común es el tratamiento de las estacas con una hormona de crecimiento, como el ácido naftalinacético (ANA) o ácido indolbutírico (AIB), que estimula el crecimiento de las raíces y por lo tanto facilita el proceso de enraizamiento.

En muchos casos y posterior a la siembra o plantación se recomienda utilizar coberturas inertes o *mulch*, que es un material no vivo colocado sobre la superficie del suelo, con el propósito de proteger las semillas o plantas del calor, frío o sequía, controlar el establecimiento de maleza y adicionar materia orgánica, además que el uso del *mulch*, puede mejorar la germinación y el establecimiento de las plantas. Se recomienda su uso cuando las áreas revegetadas tienen pendientes excesivas, cuando la humedad del suelo va a constituir una limitación para el establecimiento de la planta y cuando en la zona se presentan fuertes vientos.

El *mulch* más comúnmente utilizado es la paja, formada por tallos de cereales (cebada, trigo, avena) y se puede utilizar hasta 2 t/ha, esparcida manualmente para asegurar una buena uniformidad y eficacia en los aspectos citados anteriormente. También se puede utilizar el heno natural, que es muy similar a la paja en cuanto a su efectividad y su procedimiento de aplicación en el suelo revegetado; en ambos debe realizarse una buena selección a fin de evitar se lleven semillas de malezas o de otras plantas no deseadas para el proceso de revegetación.

También pueden utilizarse los residuos de madera, que incluye fragmentos de corteza, viruta y aserrín en cantidades superiores al heno de paja o heno (6 t/ha), caracterizados por una mayor duración, pero con la limitante que son menos efectivos en suelos con pendientes pronunciadas, recomendándose aplicar en suelos planos o pendientes muy ligeras; además una vez que ha cumplido su función de *mulc*h, debe incorporarse al suelo, proveyendo una cantidad adicional de nitrógeno.

6.12. Uso del riego en áreas revegetadas

El riego es muy necesario en revegetación, pero como en la sierra a veces es imposible realizarlo, se recomienda que las plantaciones se realicen al inicio de la estación lluviosa; no obstante es un tratamiento costoso; debería ser considerado sólo como una medida temporal para mejorar la germinación y el establecimiento de la planta, o para lixiviar los constituyentes indeseables solubles en agua a profundidades mayores en el perfil del suelo.

En un programa normal de riego existen muchos factores que influyen en la necesidad misma del riego y en la cantidad de agua que debe ser aplicada;

pero en términos generales, el uso de agua para riego debe ser considerado seriamente en zonas con precipitaciones anuales menores a 250 mm; adicionalmente, debe considerarse el riego para zonas que tienen precipitaciones limitadas durante la época de crecimiento de las plantas, con lo cual se aseguraría su establecimiento y con ello el éxito de los planes de revegetación.

Cuando se utiliza inadecuadamente el riego, podrían presentarse efectos negativos como la contaminación con sales, que afectará negativamente los planes de revegetación; cantidades excesivas de riego pueden originar un crecimiento muy bueno de las plantas utilizadas en la revegetación, pero que al no tener agua en forma permanente y retornar a un clima natural, puede convertirse en un serio problema de la revegetación; y cuando se aplica pequeñas cantidades es muy probable que las plantas establecidas desarrollen sistemas radiculares con baja densidad y escasa profundidad, con muy poca posibilidad de sobrevivir extensos periodos de sequía después de eliminar el riego. En cambio cuando se utiliza adecuadamente el riego, se mejora la calidad en el establecimiento de las plantaciones, se reduce el tiempo para su establecimiento, se alarga el periodo de plantación y como consecuencia de ello se mejoran los sistemas de control de la erosión de los suelos.



Figura Nº 10.- Sistemas agro silvo pastoriles, (plantaciones forestales – cultivos – pasturas), Chetilla – Región Cajamarca

6.13. Importancia de la cubierta vegetal en la captación e infiltración del agua de lluvia y nieblas

La cubierta vegetal juega un rol fundamental en la activación del ciclo hidrológico, mediante la evapotranspiración, la infiltración y la captación de agua a partir de las lluvias, nieblas y neblinas, especialmente en las zonas áridas y semiáridas.

En área de bosques, los árboles llegan a infiltrar el agua de lluvia hasta en un 40 – 50% del agua precipitada, con lo cual disminuye grandemente la cantidad de agua de escorrentía hacia las quebradas o ríos, llegando a

representar tan sólo el 20 a 25% del agua precipitada. En áreas de pastizales, la infiltración del agua de lluvia debido a los pastos bordea entre 20 a 25% del agua precipitada y la escorrentía superficial del agua se incrementa considerablemente llegando a ser hasta 40 a 50% del agua precipitada.

En áreas sin vegetación, la situación es totalmente diferente, pues el agua infiltrada es tan sólo unos 15 a 20% del agua precipitada; mientras que el agua de escorrentía bordea entre 70 a 80% del agua precipitada. A continuación se muestra una vista que puede ilustrar la relación de agua precipitada, evapotranspirada y la descargada en los ríos o quebradas, especialmente en los meses de estiaje.



Figura Nº 11.- Quebrada con agua

En regiones áridas y semiáridas y cuando se presentan zonas con abundante cantidad de nieblas y neblinas, la vegetación juega un rol fundamental en la captación de las moléculas de agua y su posterior descarga en el interior del perfil del suelo mediante su sistema radicular. Aquí, un aspecto clave es utilizar las especies vegetales más adecuadas para tal fin; así por ejemplo para las cabeceras de cuenca o zonas ubicadas sobre los 3,500 msnm (puna y jalca) las especies más adecuadas se han descrito en el Cuadro N° 03 (Especies de pastos nativos, arbustivos, arbóreos y frutales utilizados en revegetación).

Las plantas de queñua, quinual o quishuar puede captar y descargar en el suelo entre uno a 8 litros de agua por planta durante unas 24 horas, dependiendo del grado de crecimiento y desarrollo de la planta y del grado de concentración de la niebla o neblina en la atmósfera.

Por ello, la importancia de la reforestación de las partes altas de las cuencas con especies vegetales que atrapan la humedad atmosférica en época de estiaje para alimentar la cantidad de agua en los puquios o manantiales que se ubican en las partes medias y mitigar así la gran falta de agua en dichas áreas.
En algunas zonas de las partes bajas de las cuencas, especialmente en zonas cercanas a los mares como son las llamadas **"Lomas"**, donde la vegetación también cumple la misma función de atrapar las nieblas o neblinas y alimentar la cantidad de agua de los manantiales; con lo cual se mejora o regenera la biodiversidad. Aquí se combina muy sabiamente plantaciones de arbustos, yerbas, tunales y árboles.

Como un resumen, se puede decir que las especies más recomendadas para las partes altas son:

Jalca: Quinual, Colle negro, Colle blanco, Queñua, entre otras.
Puna: Quishuar, Quinual, Colle, Chachacomo, Aliso, entre otras.
Ladera: Tara o taya, Quinual, Chachacomo, Sauco, Tunas, Nogal, Aliso, Capulí, entre otras.

CAPÍTULO 7

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA EROSIÓN EN LOS CAUCES Y RIBERAS DE LOS RÍOS

Son el conjunto de medidas tendientes a solucionar problemas generados por la energía erosiva del agua en época de lluvia. Entre ellas se tienen: medidas agronómicas y medidas estructurales.

7.1. Medidas agronómicas

Entre las medidas agronómicas se tienen a las defensas vivas:

7.1.1. Defensas vivas naturales

Son las mejores defensas contra la inundación y la erosión del río. Constituido por variedades de árboles y arbustos de buena densidad dispuestos en ambas márgenes del lecho del río, manteniendo un ancho entre 30- 40 m, lo cual, en cierta manera constituye una garantía de su protección.

La acción del hombre, y la inadecuada explotación del área con fines de uso de madera, leña y otros, originan el debilitamiento de los cauces y riberas, ocasionando que el río se desborde provocando serios daños (figura N° 1).

7.1.2. Defensas vivas forestadas

Están basadas en la plantación de arbustos y árboles de raíces profundas que se realiza una vez determinada la sección estable del río. Su densidad debe estar en función de las características de las especies. Esta plantación se efectúa en sectores críticos, o como complemento a las estructuras o defensa artificial. El ancho de plantación en cada margen varía de acuerdo a las características del río, por lo general son de 10 a 30 m. En la costa peruana, las especies más empleadas son los “Sauces”, “Huacán”, “Huarango”: arbustos como “Chilca”, “Callacas”, “Pájaro Bobo”, etc.; también la caña en sus variedades “Guayaquil”, “Castilla”, “Carrizo”, “Caña brava”, etc. (figura N° 2)

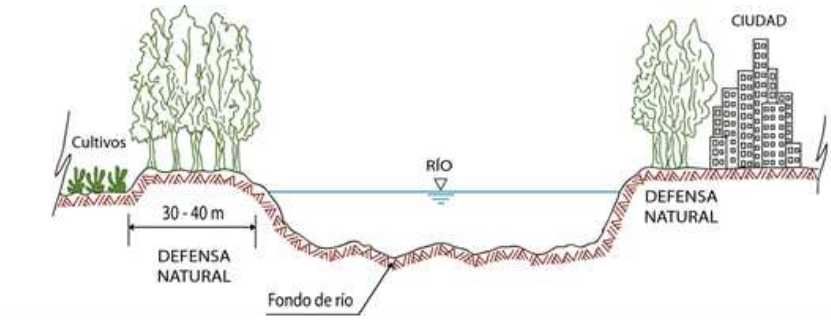


Figura N° 1.- Defensas vivas naturales

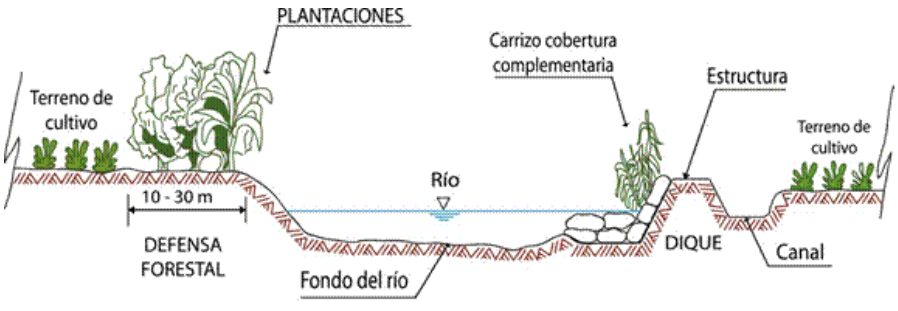


Figura N° 2.- Defensas vivas forestadas

7.2. Medidas estructurales

Son aquellas medidas que controlan la erosión producto de la escorrentía superficial. Consisten en estructuras diseñadas sobre la base de los principios de la ingeniería. En el aspecto de diseño se toma en cuenta la hidrología e hidráulica fluvial.

En la hidrología, es necesario considerar los registros hidrológicos (descargas de los ríos) y la frecuencia con las que éstas se producen. Por lo general se recomienda 50 años de registros, anteriores al año de ejecución, para determinar el periodo de retorno y la descarga máxima de diseño.

En hidráulica, se debe recabar datos en lo concerniente a pendiente, sección estable, tirante, sedimentación, socavación, etc.; elementos básicos para realizar el diseño de la estructura.

Los tipos de estructuras más utilizadas en la previsión y control de la erosión en las riberas de los ríos son:

7.2.1. Permanentes

Son aquellas estructuras que se construyen utilizando concreto armado, ciclópeo, rocas y/o gaviones. Su diseño y ejecución requieren de conocimientos y experiencia especializados. Se emplean para prevenir y controlar la erosión hídrica de terrenos de cultivos y otros efectos, desviando el flujo del agua y encauzando el río en los sectores críticos. Estas estructuras son:

a. Diques enrocados

Estructuras conformadas sobre la base de material de río dispuesto en forma trapezoidal y revestido con roca pesada en su cara húmeda; pueden ser continuos o tramos priorizados donde se presentan flujos de agua que actúan con gran poder erosivo.

Las canteras de roca deben ser de buena calidad, y estar ubicadas lo más cercano posible a la zona de trabajo (ver figura N° 3).

- **Enrocados con roca al volteo**

  Son estructuras revestidas con roca pesada al volteo o colocada en forma directa por los volquetes, pudiendo ser en forma parcial, sólo la cara húmeda o en forma total, uña y cara húmeda (figura N° 3) El volumen de roca empleado es mayor y su talud de acabado no es muy estable.

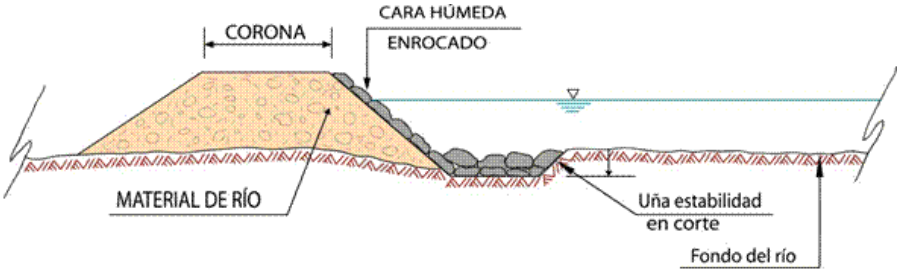


Figura N° 3.- Vista de Dique enrocado

- **Enrocado con roca colocada**

  Cuando la roca es colocada con la ayuda de un cargador frontal, excavadora o pala mecánica, en la uña y cara húmeda del terraplén. El volumen de roca empleada es menor y el talud que se logra es estable y guarda las especificaciones de diseño

b. Estructuras de concreto

Estas obras son construidas sobre la base de concreto y sirven para la protección de la acción erosiva del río. Sobresalen, dentro de estas obras, los muros de encauzamiento; destacándose los siguientes:

- **Muros de concreto ciclópeo**

Son de forma longitudinal, de dimensiones variables en función al caudal máximo de diseño y el nivel de socavación. Son construidos con material de río (figura N° 4).

- **Muros de concreto armado**

Construidos con armadura de fierro y son de dimensiones menores que los muros de concreto ciclópeo (figura N° 4-B)

- **Dados**

Son cubos de concreto de 1.0 a 1.5 m de lado, construidos in situ y superpuestos entre sí con empleo de maquinaria pesada. Se utiliza material de río. Su ventaja es que, conforme se van hundiendo, puede colocarse encima otro, hasta estabilizarse. Son estructuras de gravedad.

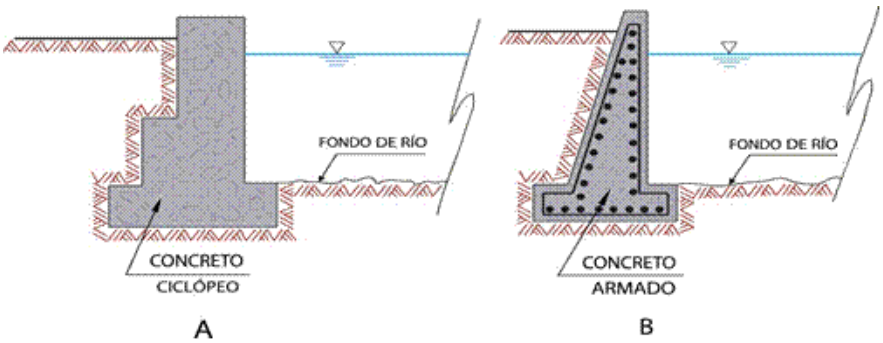


Figura N° 4.- Vista de Muros de concreto armado

- **Tetrápodos**

Son estructuras individuales que se asemejan a un "Yack" por apoyarse en sus cuatro brazos. Son empleados como disipadores de energía y permiten un control de la erosión hídrica (figura N° 5).

- **Losas**

Son de concreto armado que se colocan en la cara húmeda del dique trapezoidal y espaciados entre sí (figura N° 6).

- **Colchones**

  Son estructuras hechas en base a una malla de alambre galvanizado, de espesor variable y que se colocan en la cara húmeda del dique (figura N° 6).

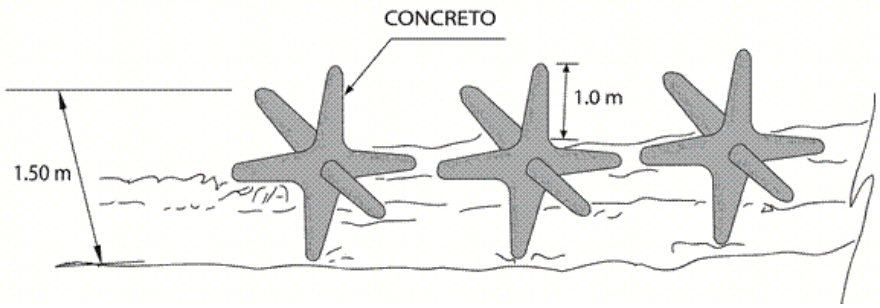


Figura N° 5.- Vista de Tetrápodos

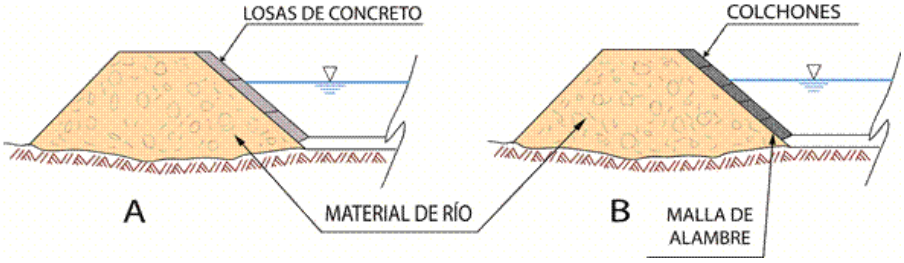


Figura N° 6.- Losas de concreto – colchones

c. Presas de regulación

Se emplean en aquellos lugares donde es necesario almacenar agua para los temporales de estiaje, o donde la estabilización de los ríos no es suficiente con la protección de las riberas. Estas presas regulan el caudal de descarga, almacenando el agua en los momentos de descarga máxima (figura N° 7).

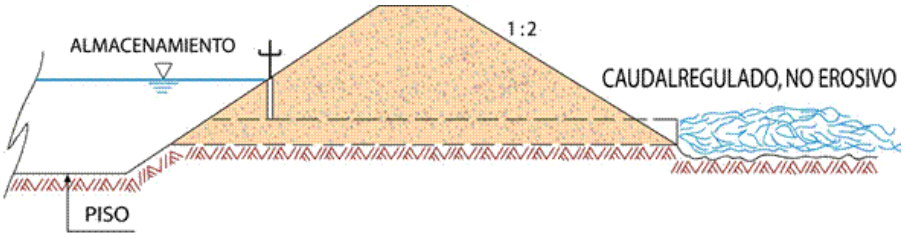


Figura N° 7.- Presas de regulación

d. Gaviones

Son estructuras flexibles construidas por una red de malla hexagonal tejida a doble torsión. El alambre galvanizado tiene un recubrimiento plastificado que debe garantizar una vida útil adecuada del alambre.

El llenado de las cajas del gavión se hace normalmente sobre la base de cantos rodados, que se encuentran en los cauces de los ríos. Estas estructuras son apropiadas en zonas donde el río presenta pendiente suave y media (figura N° 8)

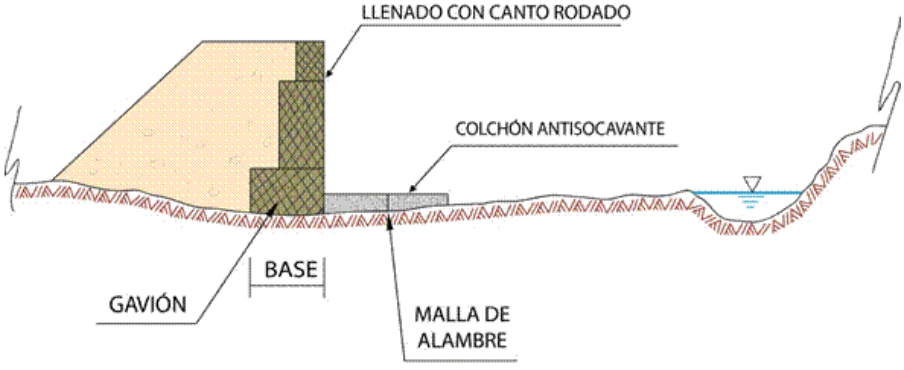


Figura N° 8.- Vista de Gaviones y eslabón antisocavante

7.2.2. Medidas temporales

Son estructuras construidas eventualmente y generalmente duran un periodo de avenida, de costos relativamente bajos, y su construcción no requiere de mayor especialización. Su finalidad es desviar el flujo del agua de los terrenos de cultivo. Dentro de estas estructuras temporales se tiene:

a. Espigones o deflectores

Dentro de las obras de carácter temporal, son las que demuestran mayor eficiencia en el trabajo de control. En esencia vienen a ser acumulaciones de material de río dispuestas en forma trapezoidal, revestidas con roca pesada y construidas con empleo de maquinaria. Los espigones van dispuestos en forma perpendicular o paralelos al flujo del río, con longitudes variables de 50 a 100 m y espaciamientos entre sí de 50 a 200 m; en este caso se denominan deflectores disipadores (ver figura N° 9).

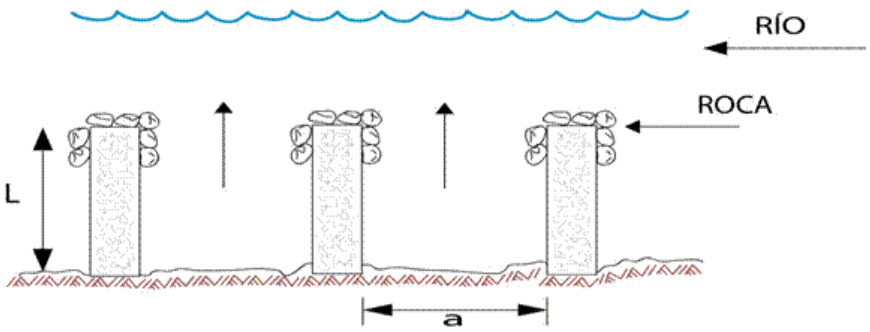


Figura N° 9.- Vista de espigones deflectores disipadores de energía.

b. Rayados o terraplenes

Consiste en la acumulación de material de río mediante maquinaria pesada, por lo general tractores de oruga. Esta acumulación se efectúa con el objeto de desviar el flujo y proteger terrenos de cultivos. El material arrimado generalmente toma la forma trapezoidal con dimensiones de 15 m de base mayor por 4 m de corona y alturas variables de 2,0 a 2,5 m en función del caudal, y sección estable. El material acumulado no es compactado. En otros casos solo se acumula frente a los terrenos de cultivo, tratando de profundizar el cauce. Estos trabajos son ejecutados anualmente ya sea por cuenta estatal o por los propios agricultores. Sus resultados son bastante irregulares, ya que por lo general con una descarga de 400, fácilmente lo erosiona debido al flujo concentrado en la zona de trabajo (figura N° 10).

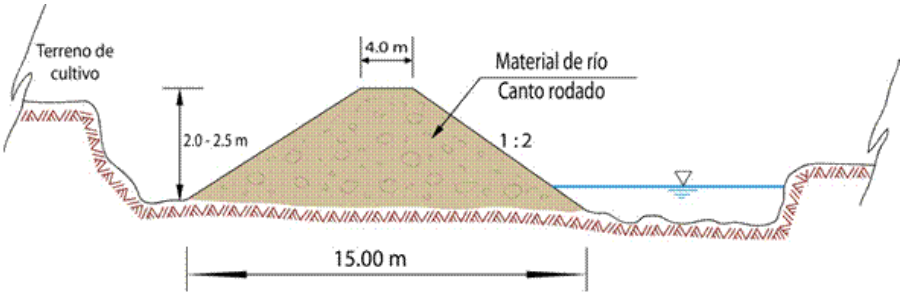


Figura N° 10.- Rayados o terraplenes

c. Limpieza del cauce

Consiste en realizar la limpieza y darle uniformidad al cauce del río para lo cual utilizamos maquinaria pesada, con la finalidad de recuperar la pendiente y obtener una sección estable en el tramo crítico.

La profundidad de corte de la parte central es en promedio 1,5 m con respecto al nivel de las formaciones de la terraza última o nivel del terreno a proteger; estableciendo un ancho mínimo estable de 60 m, lo cual permite en las primeras avenidas definir un cauce no erosivo (figura N° 11).

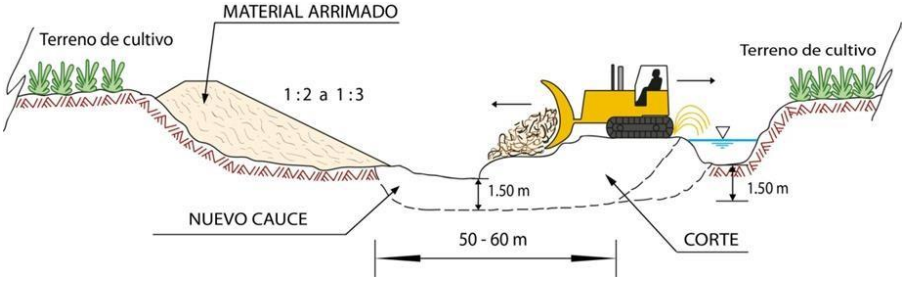


Figura N° 11.- Limpieza del cauce

d. Caballos abarcados

Son estructuras formadas por 3 o 4 troncos dispuestos en forma piramidal, amarrados con alambre; en la parte media, lleva una plataforma amarrada, la cual es cargada con piedra de río o de cantera si la hubiera cerca. Las dimensiones más usadas son de 3 a 4 m de altura y espesor de 40 a 50 cm, siendo por lo general de "Sauce", los troncos más usados. A los caballos cuando van fijados en baterías de 10 a 20 m, se les denomina "abarcados", existiendo una separación mínima de 80 cm entre ellos, en la parte media y en las bases en forma continua. En la parte media va una plataforma, donde, a manera de depósito, tiene un cajón tejido con troncos que es llenado con cantos rodados de 12´´ a 20´´. Se le emplea en gran parte de los valles y su estabilidad depende de la magnitud de la descarga del río. Si estas estructuras son colocadas en forma perpendicular al flujo del agua, serán fácilmente arrasadas, sin embargo con las que sirven de desviación del flujo y colocadas en forma paralela sucede lo contrario. (figura N° 12).

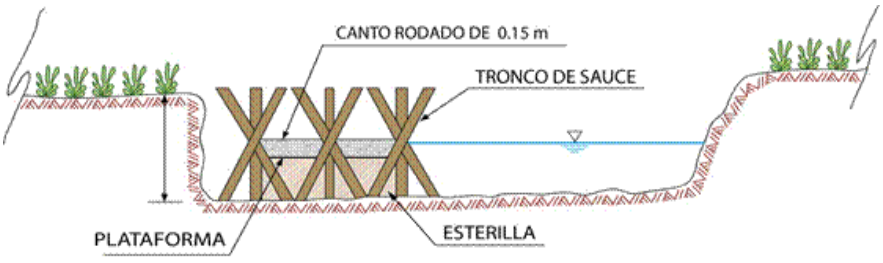


Figura N° 12.- Caballos abarcados

e. Cestones

Son depósitos de forma cilíndrica o canasta, construidos sobre la base de ramas o troncos flexibles y llenados con piedra de río, amarrados en la parte terminal. Se comportan como estructuras de gravedad. En crecientes se usa como medida para evitar desbordes (figura N° 13).

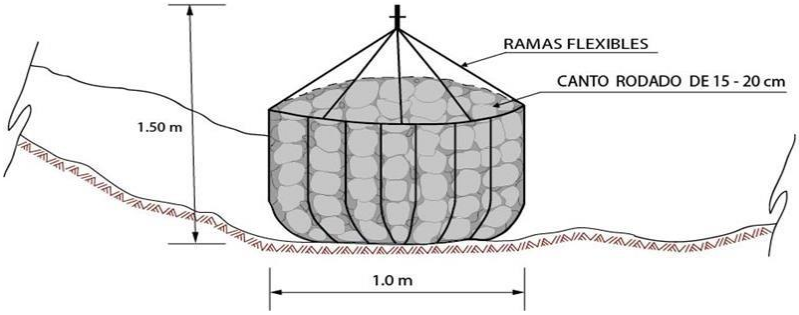


Figura N° 13.- Cestón

7.3. Estrategias para la gestión y el manejo de una cuenca hidrográfica

Para poder llevar a cabo las medidas de prevención y control de la erosión e inundaciones en los ríos se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

7.3.1. Evaluación de áreas susceptibles a erosión

Esta evaluación se efectúa en las áreas que se encuentran en evidente estado de erosión, para lo cual se requiere una evaluación de los daños existentes y daños potenciales, a fin de tomar medidas de control o prevención en forma oportuna. Para estas evaluaciones se consideran los siguientes aspectos:

a. Aspecto agrícola

Es una evaluación referida a las áreas erosionadas o sujetas a este fenómeno, a la rentabilidad de la tierra y a los productos que se extraen. La unidad de medida es la hectárea (ha). El valor del terreno se considera como daño y, si estaba sembrada el área, se cuantifica el valor potencial del cultivo instalado. El grado de pérdida del terreno o cultivo se tipifica.

b. Aspecto urbano

Se consideran los diferentes centros urbanos y anexos existentes, susceptibles a la inundación y erosión, que pone en riesgo a la población y que requieren protección. Para ello es necesario un inventario pormenorizado de centros poblados, número de viviendas, servicios, población, etc.

c. Aspectos de infraestructura

Se evalúa la infraestructura de riego y drenaje del área agrícola, la infraestructura vial, caso de puentes y caminos, el abastecimiento de agua para la población, las plantas hidroeléctricas, etc. Es decir, todas las estructuras sujetas a erosión en función a máximas avenidas.

d. Aspecto industrial

Se debe evaluar las probables pérdidas económicas referidas al aspecto agroindustrial del valle y otras industrias existentes en la zona.

7.3.2. Geomorfología

Este elemento de análisis es de mucha importancia para los trabajos de diseño de las obras de prevención y control. Entre las evaluaciones se tiene:

a. Curso de agua

Los ríos con mayor o menor incidencia, presentan un lecho móvil, con varios canales que se unen y separan. El tiempo de escurrimiento es perenne, con pendientes fuertes; de gran tamaño como el río Amazonas cuyo lecho principal es de 2 km y otros de menor tamaño; y en cuanto a su aspecto pueden tener un lecho único o dividido por tipo de ríos que se presentan en zonas planas con energía de agua bastante baja. Los torrentes o cursos de agua varían en su longitud, con pendientes variables y regímenes variados, según las épocas de estiaje y de máximas avenidas. Los ríos invaden continuamente las terrazas, al menor incremento, sale el agua de su lecho para ocupar otro de inferior nivel. Por los procesos de sedimentación, este lecho se levanta y el torrente

pasa a ocupar otro lecho hasta formar su cono de proyección (figura N° 14)



Figura N° 14.- Curso de agua

b. Tipo de flujo

En época de avenidas, cuando los ríos presentan mayores caudales y de acuerdo a su potencia "bruta" adquirida, es notorio destacar tipos de flujo que son lo que determinan los desplazamientos o modificaciones del lecho.

El flujo de un rio, por la oscilación de la concentración del mayor caudal de un punto determinado, puede ser central y lateral.

- **Flujo central**

  Es turbulento y variable en dimensiones, motivado por el grado de sedimentación y tipo del lecho. Este tipo de flujo es el que produce erosión en un punto y sedimentación en el lado opuesto. El tirante máximo se moviliza en forma continua y erosiona en el sentido que tome o inunde. En cambio, cuando la sedimentación es rápida y bastante fuerte, es brusco.

- **Flujo lateral**

  Es erosivo en menor grado, produce las sedimentaciones denominadas de deposición. Puede considerarse que un flujo lateral bajo ciertas condiciones especiales de pendiente y nivel con respecto al área agrícola sea bastante erosivo, y puede llegar a ser un flujo central.

c. Tipo de lecho

Lecho es el espacio que puede ser ocupado por el agua o los cursos de agua. El lecho temporal es un álveo determinado por dos orillas de catos rodados o vegetación. Los materiales pueden ser rocas o materiales transportados por el río.

Los ríos presentan lechos de inundación recubiertos por aluviones en extensiones variables. El lecho temporal está cubierto por cantos rodados, carece de vegetación, y es de amplitud variable. El canal de estiaje ocupa una pequeña parte del lecho ordinario, no está limitado por orillas bien definidas, y tiene curso sinuoso en el lecho aparente, los cual varía sustancialmente en avenidas, donde el lecho se desplaza o moviliza.

Las orillas están limitadas por zonas que presentan una cobertura arbórea importante, la amplitud del lecho se reduce en unas zonas más que en otras.
La parte de mayor profundidad en el canal de estiaje se encuentra en la curvatura. En las partes rectas que atraviesa entre curva y curva son menos profundas.

El material del lecho del río está constituido por cantos rodados que son acarreados por la fuerza del agua, de formaciones geológicas de diferente

constitución, así mismo se puede observar los diferentes grados de transporte y rodamiento en el análisis de sus bordes.

La movilización del lecho varía con el tiempo y según los caudales en épocas de avenidas. Esto se debe a que no tiene estructura alguna que le reste amplitud de cauce y lo defina, estabilizándolo, a este caso se le llama lecho móvil (figura N° 15).

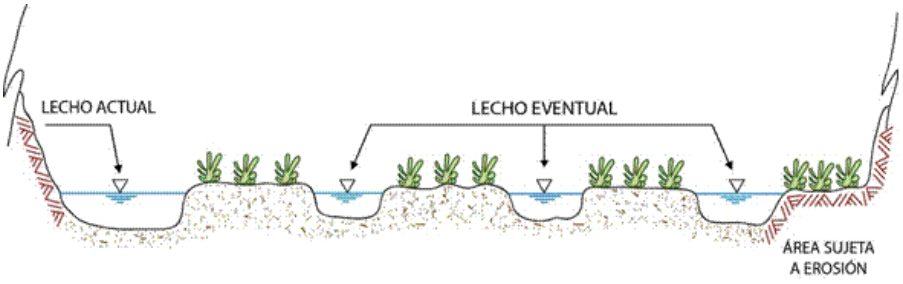


Figura N° 15.- Tipo de lecho – móvil

d. Potencia de flujo

En un punto y un momento determinado, todos los cursos de agua tienen una cierta potencia. Esta potencia depende de la masa de agua y de la velocidad de la misma, siendo esta última una función de la pendiente longitudinal del lecho.

En las avenidas, existe una potencia bruta que es suficiente para el transporte de materiales, mientras que la potencia neta es utilizada en la erosión del lecho. La potencia bruta se presenta en avenidas donde se tiene los máximos caudales y la energía es mayor, mas no en los casos de estiaje donde el río modifica su potencia, que es solo suficiente para el transporte de un mínimo de sedimentos y frotamientos internos entre moléculas de agua y sedimentos finos en suspensión.

e. Sedimentación

Es el proceso geológico mediante el cual materiales detríticos erosionados se acumulan en un determinado lugar como en las depresiones continentales.

Los procesos de sedimentación en los ríos de régimen tormentoso y jóvenes constituyen un problema complejo y difícil de evaluar, debido a las características de flujos inestables y no uniformes, es decir, se trata de un lecho móvil, etc. Los procesos de sedimentación varían con el tipo de sedimentos que produce la cuenca.

Los sedimentos se mueven e suspensión en la corriente de agua y como acarreo a lo largo del lecho. La saltación es el movimiento de partículas rebotando a la largo del cauce.

Las mediciones de sedimentos son bastante complejas. Los grados de sedimentación dependen de la velocidad y tamaño de las partículas, etc.

7.3.3. Hidrología aplicada a defensas ribereñas

a. Características generales del río

Las características de los ríos de la costa peruana obedecen a iguales o similares condiciones hidrológicas entre ellos. En efecto, son representativos de un régimen permanente a eventual, gran variación de caudal durante el año y elevado caudal en épocas de avenidas, notándose diferencias en el grado de sedimentación y el tipo de sedimento por la naturaleza de las mismas cuencas.

Al hablar de ríos cuyas características de formación provienen de lechos de ríos jóvenes o en proceso de rejuvenecimiento, es preciso uniformizar criterios basados en observaciones para un área de estudio determinado, siendo estos los que más se ajustan a las condiciones del río, dadas sus características intrínsecas y a la vez teniendo en cuenta los movimientos oscilatorios leves a nivel de continentes y lecho odónico que pueden hacer variar las mismas, según sea el orden de su incidencia.

Basado en aspectos específicos que pueden extraerse del estudio, se puede llegar a establecer diseños de estructuras que controlen o den solución a ciertos aspectos negativos que ocasiona esta masa de agua en movimiento. Así se evitan o disminuyen los daños que causa a lo largo de su trayectoria, y en las riberas con cultivos sin protección natural alguna.

b. Descargas máximas

Es conveniente recabar la información de todas las descargas máximas de las estaciones de aforos confiables, que corresponden a cada año.

El período de máximas descargas se da por lo general en los meses de enero y marzo y, excepcionalmente, en abril, y es debido a las precipitaciones en la parte media y alta de la cuenca, que definen el período de avenidas. Los meses de setiembre – noviembre se caracterizan, porque en dicho período se presentan las descargas mínimas que se dan en el período de estiaje. Son estos valores extremos los que permiten efectuar el análisis hidrológico para el diseño de las obras hidráulicas de control, almacenamiento, regulación y balance del recurso hídrico (cuadro N° 1).

Cuadro N° 1.- Descargas del río majes

Estación de aforos: Huatiapa
Extensión de la cuenca hasta la estación de aforos: 12 494
Longitud: 72° 18
Latitud: 16° 00 Altura:
700 m.s.n.m.
Área húmeda: 11 603

Año	Descarga (□□□/□□)			Vol. Total anual □□□□□ (□□□)
	Mínima	Máxima	Media anual	
44	24.00	X	X	X
45	17.00	620.00	87.22	2750.57
46	24.50	619.00	87.88	2771.38
47	21.60	580.78	105.57	3329.26
48	22.80	506.50	94.11	296785
49	23.50	1012.80	135.97	4287.95
50	20.84	458.33	X	X

51	23.00	687.32	105.78	3335.87
52	20.20	592.50	84.12	2652.80
53	13.80	980.10	90.01	2838.55
54	21.80	980.00	103.39	3260.50
55	20.00	2400.00	127.93	4034.40
56	16.80	445.30	63.42	2000.00
57	20.84	316.00	52.08	1642.40
58	11.20	985.50	106.99	3374.04
59	8.00	1400.00	78.01	2460.12
60	X	600.00	82.22	2592.88
61	X	X	X	X
62	12.18	X	X	X
63	21.22	340.00	X	X
64	X	X	40.75	1285.09
65	20.19	171.94	34.17	1077.59

7.3.4. Hidráulica en la protección de cauces y riberas

a. Formas de encauzamiento

El sistema de encauzamiento tiene por objeto proteger áreas de cultivo, poblaciones, infraestructuras, industrias, etc. A fin de evitar el desborde del río y la erosión, ya sea producto de avenidas normales o extremas en función del desplazamiento del lecho del río.

Generalmente el encauzamiento es sobre la base de material arrimado de río, revestido con roca pesada en su cara húmeda, pudiendo ser otra estructura en función a la disponibilidad de materiales, recursos económicos y cercanía a canteras, caso gaviones, muros de concreto, etc.

b. Longitud y ubicación de encauzamiento

Con la protección directa de la zona crítica, la recuperación de áreas de cultivo que forma parte del cauce por erosión, desplazamiento, y la amplitud del cauce que permita controlar el tirante de la máxima avenida, se determina la longitud necesaria y la ubicación del encauzamiento para cubrir las necesidades actuales. Se considera los puntos críticos.
Con una sección estable, se puede controlar el desplazamiento del lecho del rio, para que consecuentemente se tenga el flujo central en una caja interior y con su misma energía.

c. Sección estable del río o amplitud de cauce

Existen varios métodos de cálculo de la sección estable del lecho del río. Se considera que las condiciones de los ríos requieren de una

observación directa. En tal sentido, sobre la base de ensayos en este tipo de obras en los ríos de la costa, se puede establecer una sección representativa para un río promedio. Es recomendable en condiciones de valle, verificar el ancho estable, como el caso de zonas forestadas, y en base a esto efectuar los cálculos de los otros parámetros.

d. Profundidad de socavación

Es uno de los parámetros más importantes dentro del diseño de las estructuras de defensas ribereñas, sobre todo en las de carácter permanente, pues ésta define la profundidad de cimentación y su cálculo está referido a la máxima descarga, pendiente de río, tipo de suelo, sección estable, velocidad de flujo. Su cálculo y aplicación y aplicación garantiza la estabilidad de la obra

e. Altura de la estructura

Está en función de la máxima descarga y se calcula hidrológicamente para un periodo de retorno mayor a los 200 años, para una sección determinada, para un tirante para la máxima avenida, más la altura de energía y factor de ondas y viento. Su cálculo evitará el desborde por encima de la estructura.

7.3.5. Topografía

a. Levantamiento topográfico con coordenadas

Las coordenadas son las distancias "X" e "Y" medidas a partir de un par de ejes. La coordenada "Y" también llamada ordenada o coordenada Norte y la "X" llamada también abscisa o coordenada Este. Cuando se dan las coordenadas Norte y Este de un punto queda determinado el sistema de coordenadas rectangulares; y, a partir de ello, se puede establecer una cuadrícula rectangular.

En los levantamientos topográficos efectuados con coordenadas absolutas, es fácil localizar un punto específico en un plano, asimismo el replanteo correspondiente para ubicar y definir el proyecto de construcción (figura N° 16 – A).

Es conveniente tomar los detalles del río así como las variaciones del lecho. Del mismo modo, considerar ambas márgenes del río, su colindancia con las áreas agrícolas afectadas y sujetas a erosión, centros poblados, los servicios, etc. En gabinete se procede a efectuar el dibujo y de acuerdo a los cálculos hidrológicos e hidráulicos, se fija el eje central y la amplitud del cauce, lo que permitirá determinar las áreas a proteger en forma directa,

áreas a recuperar y áreas a ganar a la caja del río, así como la ubicación de los muros de encauzamiento.

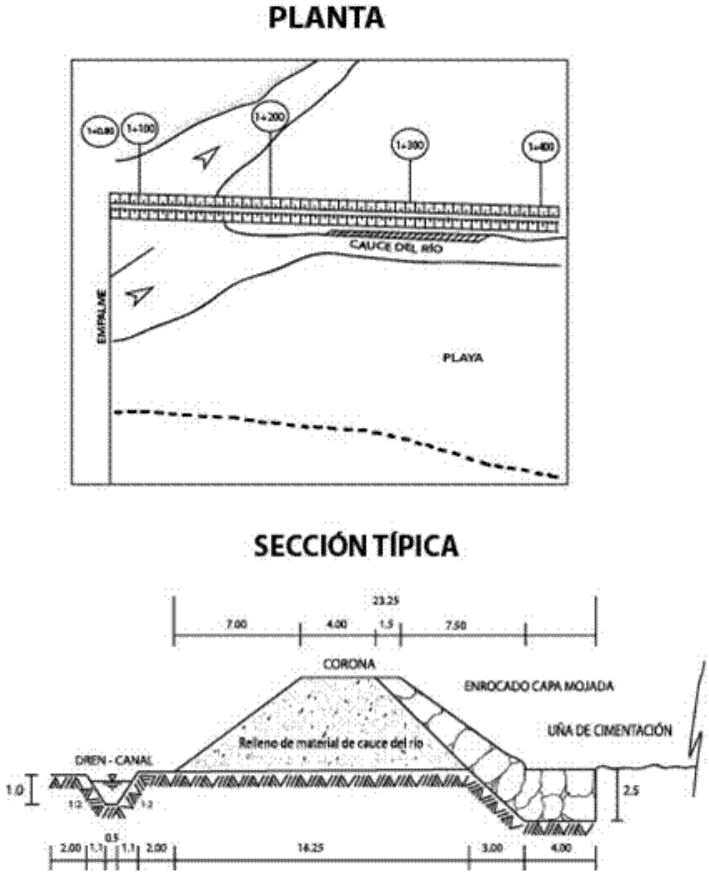


Figura N° 16 – A.- Plano de planta de una zona por proteger y sección típica de un dique

b. Secciones Transversales

Una vez definido el eje principal de diseño en gabinete, se procede en el campo a efectuar secciones transversales cada 20m y a ambos lados del eje, de acuerdo a los requerimientos y consideraciones topográficas del terreno, para determinar áreas de corte y relleno. Se recomienda tomar el área afectada en ambas márgenes (figura N° 16 – B), así como el área inundable para la máxima avenida, cada 100m.

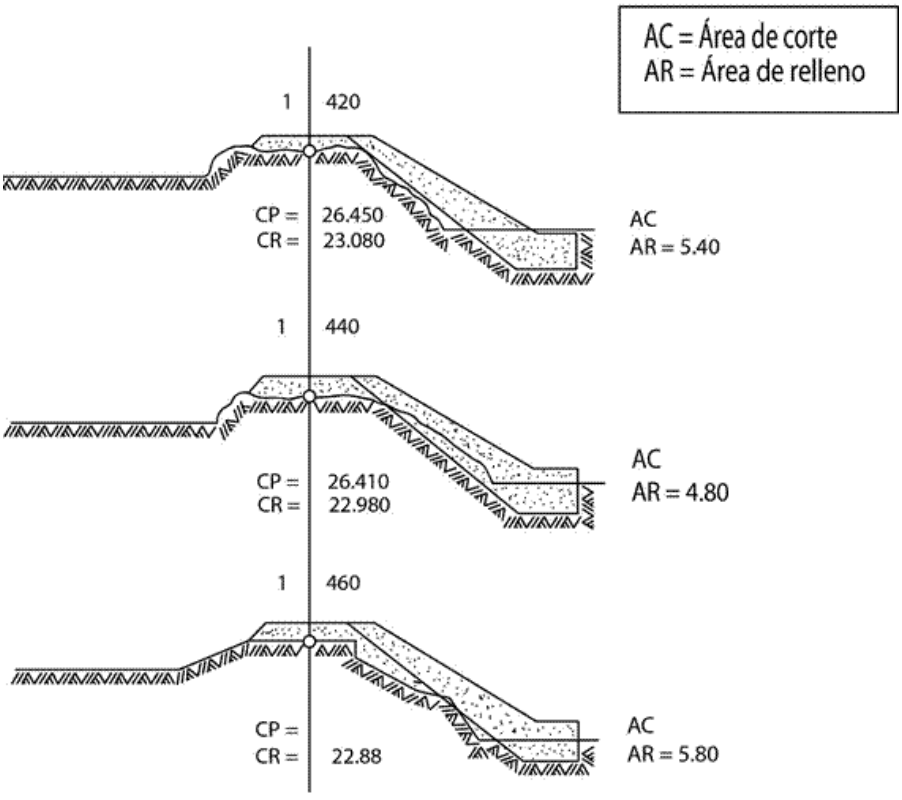


Figura N° 16 – B.- Secciones transversales

c. Perfil longitudinal

Teniendo la progresiva inicial y final del proyecto, se define el perfil longitudinal trazando la rasante diseñada, con la pendiente adecuada, considerando el acotamiento tanto de la uña de estabilidad, la cota de coronación, la cota de fondo cada 20 m (figura N° 17), etc.

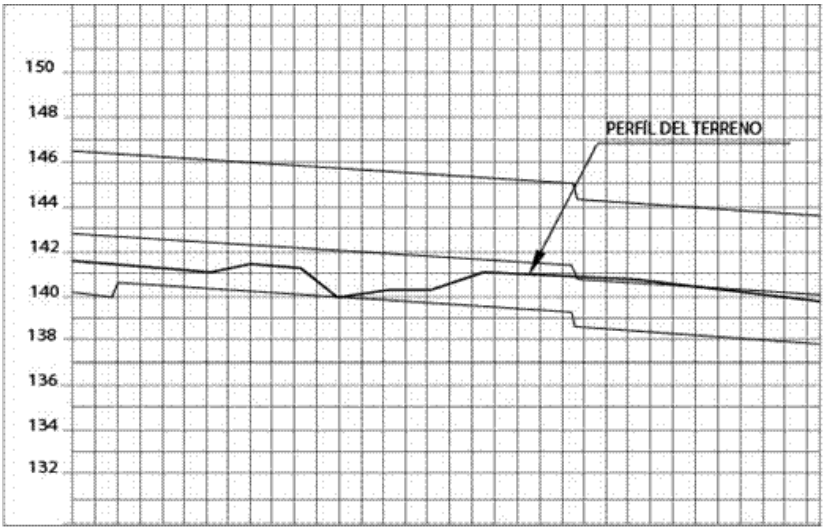


Figura N° 17.- Perfil longitudinal del proyecto

d. Red de bases marcadas (B.M)

La nivelación de la red de Bases Marcadas (B.M) se debe materializar debidamente, empotrándolas en lugares adecuados y seguros, de tal forma que sirvan de base para futuros trabajos topográficos. Asimismo las estaciones de las poligonales deben ser niveladas altimétricamente, a fin de tener cotas reales.

e. Planilla de movimiento de tierras

Definidas las áreas corte y relleno de cada sección y las distancias equidistantes, se procede a confeccionar la planilla de movimiento de tierras que establece los volúmenes de corte y relleno para cada progresiva (cuadro N° 2).

7.3.6. Aspecto económico

a. Daños probables por inundación y necesidades de obras de defensa

La determinación de estos daños económicos es sobre la base de los efectos que ocasionaría una avenida superior a la del promedio de las avenidas anuales registradas.

Se consideran los daños basados en la evaluación de áreas susceptibles de daños por inundación y erosión. Es decir, tanto el cultivo en producción, como los terrenos, viviendas, infraestructura, industria, etc. Que se podrían producir en épocas de avenidas.

Cuadro N° 2.- Planilla de movimiento de tierras

Progresiva	Longitud (m)	Área de Corte ( )	Área de Relleno ( )	Volumen de Corte ( )	Volumen de Relleno ( )
0+000		5.00	4.50		
0+020	20	3.20	4.60	82.00	91.00
0+040	20	2.80	5.80	60.00	104.00
0+0.60	20	5.00	1.90	78.00	77.00
0+080	20	4.40	7.30	94.00	92.00
0+100	20	3.60	12.40	80.00	197.00
0+120	20	3.60	11.60	72.00	240.00
0+140	20	3.00	13.80	66.00	254.00
0+160	20	7.50	11.40	105.00	252.00
0+180	20	4.50	4.20	120.00	156.00
0+200	20	3.80	8.20	83.00	124.00
0+220	20	5.40	7.60	92.00	158.00
0+220	20	5.50	12.80	109.00	204.00
0+240	20	8.20	11.30	137.00	241.00
TOTAL				10178.00	2 190.00

La estimación de los daños es relativa, y está en función del comportamiento del río en su aspecto erosivo, a fin de establecer las necesidades de defensa, para alcanzar a cubrir todos los sectores que requieren de ejecución de obras, y así evitar mayores daños, protegiendo áreas de producción, y planeando una política de recuperación y ampliación de terrenos agrícolas.

b. Beneficio de las obras de encauzamiento

El encauzamiento de un río implica beneficios bien definidos como:

- Protección de áreas de cultivo,
- Recuperación de áreas agrícolas perdidas por el efecto erosivo,
- Incorporación de nuevas áreas al cultivo que se recuperan en la caja de río,
- Protección de viviendas y centro poblados, y
- Protección de obras de infraestructura de servicios.

La protección de sectores urbanos repercute en el equilibrio socioeconómico con los sectores de producción agrícola y otros.

Dentro de los lineamientos de la política de encauzamiento, se incrementan áreas de producción, con inversiones de bajo costo, pero

con beneficios inmediatos. Se incide así en el incremento de la economía familiar y nacional.

7.4. Consideraciones en la construcción de un dique enrocado

a. Periodo de ejecución

La ejecución de estas obras de defensa debe ser en los meses de estiaje, por lo general de mayo a diciembre, época que permite efectuar una obra enmarcada dentro del proceso constructivo y cumplir con las especificaciones técnicas, constructivas. Las obras que se ejecutan en periodo de avenidas, diciembre a abril, requieren un empleo mayor de maquinaria incidiendo en el costo de la obra y su calidad.

b. Sin proyecto

Por lo general después de un periodo de avenidas (meses de mayo a diciembre), y cuando los caudales han bajado significativamente, se procede a efectuar las labores de campo, abril, mayo (topografía de suelos, geomorfología, etc.) para luego en gabinete estructurar el proyecto, el mismo que debe estar culminando en el mes de junio. Se estima para su financiamiento o tramite 30 días, lo cual significa que la ejecución de la obra se debe iniciar a más tardar en el mes de agosto y debe culminarse en el mes de diciembre, para no correr el riesgo del deterioro de la obra. Obviamente, si el ciclo de avenidas se retrasara es factible proseguir la ejecución de estas obras, para los cual se tomaran las medidas del caso y correr los riesgos respectivos.

c. Con proyecto

Si existe un proyecto integral de obras de defensa ribereña, efectuado antes de las avenidas y trabajado parte de él, se proseguirá su ejecución en los meses de abril a diciembre. Si es un proyecto nuevo elaborado con anterioridad a las avenidas y que recién se inicia su ejecución, el periodo será el mismo, teniendo en consideración lo indicado en el acápite anterior.

7.4.1. Aspectos preliminares

Descripción

El trabajo consiste en desviar los brazos del rio existentes que obstaculizan las obras siguientes: preparación de vías de acceso tanto de cantera de río (ver foto N° 8), como para limpieza del material flotante (tronquería) acarreado por el río y depositado en la zona de trabajo. También se considera dentro de este

acápite la preparación de una vía paralela a la uña de estabilidad para efectuar el vaciado del material pesado, ya que por la plataforma no es bien distribuido en la superficie que deba ocupar o, si es colocado, facilite esta operación.

Estos trabajos se deben realizar con anterioridad, requiriendo para tal acción visitas a la zona de trabajo, un análisis sobre la manera de operar y los obstáculos naturales que se pueden presentar. De no tomarlos en cuenta repercuten en la ejecución de la obra, ocasionando pérdidas de tiempo y recursos económicos.

Equipo

El equipo recomendado consiste en tractores de oruga tipo bulldozer de 160 HP a 250HP. Por lo general, el equipo deberá tener un rendimiento de trabajo en estas obras superior a los 300. En otras circunstancias es necesario emplear algún equipo adicional que esté en función del tipo de suelo o vegetación de la zona; tales como motoniveladora, volquetes cargador frontal; que servirán para estabilizar la vía por donde pasara el equipo con roca para la construcción de la obra.

Operación

El desvío del brazo del río se efectuará mediante el tapado o desvío de éstos con el tractor de oruga, para evitar el ingreso de agua a la zona de trabajo. El material será cortado del cauce principal hacia el brazo del río a cortar, para posteriormente cerrarlo con el empuje de material de costado.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□/□□íí□□	Hoja		Sproket
				Tipo	capacidad	
Tractor oruga *)	1	140-170	880	SU*+)	5.5 □□³	Elevado
Tractor oruga *+)	1	230-250	1300	SU	6.0 □□³	Elevado

*) Tractor sobre orugas, de menor potencia para zona de difícil acceso.

*+) Hoja semi-universal “SU”, combina las mejores características de las hojas rectas “S” y universal “U”, tiene mayor capacidad por habérseles añadido alas cortas que mejoran la retención de la carga y permiten conservar la capacidad de penetrar y cargar con rapidez en materiales muy compactos y trabajar con una gran variedad de materiales en aplicaciones de producción.

Las vías de acceso serán efectuadas con el tractor de oruga, el cual eliminará los desniveles, uniformizando la vía. El material de afirmado para la vía de acceso será preparado en cantera con el empleo de tractor de oruga de 140 –

170 HP, cargado con empleo del cargador frontal, transportado en volquetes de 15 – 17, y explanado en obra con empleo de motoniveladora.

7.4.2. Armado de terraplén y excavación de uña

a. Terraplén o plataforma Trazado y características

Efectuados los trabajos preliminares, e instalado el campamento, con la brigada de topografía se procede a efectuar el trazado del dique, con el empleo de estacas cada 20 m, fijando puntos de apoyo y control.

- **Equipo**

  Esta labor se efectúa con empleo del tractor de oruga y bulldozer de 200 – 250 HP con escarificador o riper, con rendimientos de 800 a 1 500, según el material de río (figura N° 18).

- **Operación**

  Con el empleo del tractor de oruga se procede a efectuar la acumulación del material de río en forma transversal al cuerpo del dique, teniendo cuidado que esta acumulación se efectúe del cauce del río hacia la cara húmeda y no de la cara seca o terrenos de cultivos hacia el dique, lo que propiciaría un mayor escurrimiento de agua en época de avenidas, originando asentamientos del terraplén con riesgo de ser erosionado (figura N° 18). Se verificará las dimensiones y taludes del terraplén. Por lo general, esta acumulación de material de río incluye parte del material que corresponde a la excavación de la uña.

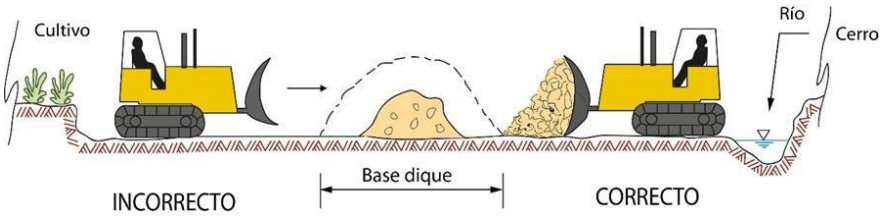


Figura N° 18.- Armado de plataforma

b. Excavación de la Uña de Estabilidad

- **Trazado y características**

  Con un estudio de campo y gabinete, se ubica en el terreno el trazo de la uña de estabilidad con sus acotamientos respectivos, para así llevar el control exacto de los cortes y rellenos existentes.

  Se empleará estacas debidamente marcadas cada 20 m, y se fijará los BM de control, los cuales serán de concreto y llevarán la señalización de las cotas.

- **Equipo**

  El equipo pesado a utilizar consiste en un tractor de oruga y bulldozer de 200 – 300 HP con escarificador o riper, con rendimiento de 80 a 120, según condición del piso de río. Una excavadora sobre orugas, de brazo de 10 m y de una potencia de 160 – 170 HP, con rendimiento de 60 o más (figura N° 19).

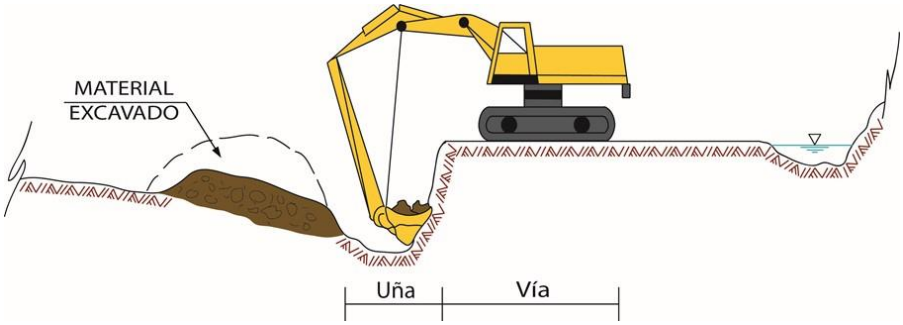


Figura N° 19.- Excavación de la uña de estabilidad

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□□/□□í□□	Hoja		Sproket	Capacidad cucharón
				Tipo	capacidad		
Tractor s/o+	1	230-250	880	SU*+	6 □□3	Elevado	-
Excavadora	1	160-170	1200	-	-	-	1.0 □□3

- **Operación**

  Con el del tractor de oruga en la fase de armado de plataformas, se cortó parte del material que corresponde a la excavación de la uña. Esto en forma trasversal. El acabado de excavación se efectuara con el empleo de la excavadora, la cual operara por vía paralela y longitudinal al trazado de la uña; el material excavado será depositado en el terraplén formando parte de este. Se tendrá cuidado de que el ancho del fondo de la uña es desde el pie del talud

de la cara húmeda del terraplén , y el ancho superior, del piso del río al talud del terraplén; de no efectuarlo así, al colocar al roca en la cara húmeda ésta será inestable, así como el conjunto del dique.

7.4.3. Acabado de la plataforma o terraplén

- **Descripción**
  La plataforma es un prisma construido sobre la base, de material de río debidamente compactado, y de buena formación granulométrica, donde debe predominar un 60% de material grueso o cantos rodados, con dimensiones y características de talud, en función al ángulo de reposo; la cara húmeda revestida con roca y la otra cara sin revestir, con ancho de base, de corona y altura según diseño para las condiciones de río. Si el material predominante no tuviera cantos rodados, se debe prever el uso de un geotextil en la cara húmeda, para evitar las filtraciones y por lo tanto la desestabilidad del talud o caso contrario emplear arcilla compactada.
- **Equipo**
  Se requiere generalmente un cargador frontal tipo CAT 966 o similares de 220 a 240 HP, volquetes (2) de una capacidad de 10 , tractor de oruga y bulldozer de 230 – 250 HP, complementado por una compactadora tipo "pata de cabra", específica para el tipo de material. En caso contrario, se emplea el mismo tractor de oruga.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□□/□□í□□	Hoja		Sproket	Capacidad cucharón
				Tipo	capacidad		
Tractor s/o+	1	230-250	1300-1320	SU	6 □□³	Elevado	-
Cargador F.	1	220-240	1600	-	-	-	3.5 – 4 □□³
Volquetes	2	300-320	1200				15 – 17 □□³

c. Operación

Inicialmente el material del río extraído de la apertura de la uña y la acumulación inicial será debidamente explanado y compactado; luego se procede a efectuar el levantamiento de la plataforma hasta completar la altura diseñada, en capas no mayores de 0.40 formadas por material transportado por volquetes. Es necesario que a continuación de la plataforma o cerca de ella se acumule el material del río con el tractor de oruga. Este material removido será cargado a los volquetes, los que a su vez lo transportarán hasta el prisma, donde será depositado y luego explanado con el tractor de oruga y compactado con una compactadora;

en caso de no contar con ésta, podría efectuarse con el mismo tractor, y luego se procederá en forma similar hasta llegar a la altura de diseño.

d. Lastrado y acabado

- **Descripción**

  Alcanzada la de coronación de acuerdo con el diseño, se firmará con un espesor de lastre determinado, debidamente compactado. Este material deberá contener cierto porcentaje de arcilla que le dé una rigidez al acabado proyectado. Como cascajillo o ripio menudo de cantera, se procederá a explanarlo y compactarlo.

- **Equipo**

  Se debe contar básicamente con un cargador frontal de tipo CAT 966 o similares de 220 – 240 HP, para efectuar el carguío del lastre; eventualmente un tractor de orugas 200 – 250 HP para la remoción de lastre; además es necesario para la explanación transportarlo en volquetes; asimismo rodillo autopropulsado de 9.5 o 12.0 TM, motoniveladora de 140 – 160 HP, y tanque cisterna de 3000 galones.

- **Operación**

  El lastre será cortado y cumulado en la cantera con empleo del tractor de orugas seleccionado, cargado y transportado en volquetes al dique, explanado y preparado con la motoniveladora, previo humedecimiento (16 a 18 %), luego es compactado con el rodillo hasta lograr la rigidez y el acabado deseado.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□/□□í□□	Hoja		Sproket	Capacidad cucharón
				Tipo	capacidad		
Tractor s/o+	1	230-250	1880	SU	6 □□³	Elevado	-
Cargador F.	1	220-240	1600	-	-	-	3.5 – 4 □□³
Volquetes	*	300-320	1600				15 – 17 □□³
Motoniveladora	1	140-160	800				-
Rodillo Vibrador	1	130-150	800				9.5 – 12TM
Tanque Cisterna		200	822				3000 GLS

7.4.4. Enrocado

Se refiere al proceso de preparación de la roca en cantera, selección, carguío, transporte y colocado.

a. Preparación de Roca en Cantera

Selección de cantera

Consiste en seleccionar una cantera de donde se va a extraer material. Se considera el tipo de roca que ofrezca las características de diseño. Por lo general son rocas ígneas como; granitos, granodiorita, diorita, gabro, dolerita, basalto, pórfido granítico pórfido diorítico, riolita, etc., con pesos específicos mayores de 2.

Esta acción se debe efectuar con anterioridad a los trabajos en el río, analizado debidamente para tener las alternativas del proyecto, sobre todo lo referido a distancias del río.

Es necesario tener cuidado en la selección de la cantera. Sobre todo que la roca se encuentre en volúmenes compactados y no fracturados ni muy erosionados por la acción del intemperismo.

Se debe considerar que la distancia de la cantera al río sea la más cercana, a fin de economizar el costo de transporte. Se toma en cuenta el estado de la vía por donde se desplaza el equipo, determinando la distancia y los ciclos de transporte óptimos.

- **Extracción de roca**
  Según el volumen efectivo de roca necesaria para la obra, se prepara la voladura, que depende del trazo del calambuco y la carga explosiva a utilizar. Efectuada la selección de roca en cantera, se procede a la extracción de la roca y su preparación para el carguío.

- **Características del material**
  De preferencia se deben emplear rocas ígneas existentes en la zona, con un peso específico adecuado, volumen mínimo de roca por unidad definido en el diseño, con menor grado de fracturación e intemperismo. Debe soportar una compresión promedio de 1480, límite de fatiga oscilante entre 370 y 3790, tensión de 30 a 50, que soporte presión al par de fuerzas entre 150 a 300.

Se debe considerar los minerales esenciales de rocas ígneas como ortoclasa y cuarzo, accesorios como horblenda y otros, una textura granular con fenocristales de ortosa, y horblenda para definir el tipo de roca.

- **Equipo y materiales**

  Para la extracción, en necesario contar con una compresora con dos martillos de 400 a 800 CFM o libres de presión, con rendimiento adecuado en la zona y con barrenos de diferentes dimensiones 20, 40 y 60 cm, básicamente.

  Como materiales explosivos se emplea dinamita del tipo Semexa o similar, fulminante, guía y nitrato de amonio al 65%. Como equipo operativo del personal se debe contar con linternas o lámparas de carburo, guantes, casco y lentes protectores, sogas, baldes, puntas de acero ortogonales, botas de jebe, para la seguridad del personal.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□□/□□í□□	Capacidad
Compresora	1	180-200	800*	750 – 800 CFM

*.- Depende del tipo de cantera

□ Construcción del calambuco

Previo trazo en base al volumen de roca a extraer y con la operación de todo el equipo se realiza la preparación del calambuco. Es necesario tener criterio práctico sobre la forma que este va tener, en especial taza o depósito final, así como la dirección con respecto al cuerpo de roca, frontal o vertical.

El calambuco viene a ser un orificio de forma cilíndrica (de 50 cm de radio como mínimo) que se efectúa sobre la roca seleccionada con una profundidad variable en función al volumen de roca requerido .Al final de este orificio tendrá la taza que varía de forma, sea circular o rectangular, así como la posición con respecto al eje de orificio sea longitudinal o transversal con cierta caída.

La preparación del calambuco es efectuada con la compresora. Es decir, con el accionar de los martillos y los barrenos, operados por los perforistas, efectuando los destajes y consiguiendo la roturación de roca, con dinamita, colocada en orificios pequeños del diámetro del barreno y dispuestos en forma circular.

Efectuado el disparo se procede a limpiar, es decir a sacar el material disgregado, para luego seguir en forma similar hasta llegar a la taza. Una vez concluida la taza, se procede al carguío, que es la operación en la cual se va colocando los explosivos y el nitrato de amonio, el cual se hace dormir en petróleo en proporción de un galón por cada saco de nitrato. Esta carga explosiva se calcula en función al volumen y tipo de roca.

Colocados los materiales explosivos, se procede a ir cerrando el orificio con tierra y piedras chicas, siendo estas golpeadas con barretas, para poder formar una cámara cerrada que permita un accionar perfecto de los gases de nitrato así como la onda explosiva de la dinamita.

Concluido el sellado, se acciona mediante chispa eléctrica o con el prendido de la guía o mecha, el cual está en contacto con el material explosivo. Efectuada la acción explosiva el material quedará diseminado para una posterior selección y acarreo (figura N° 20).

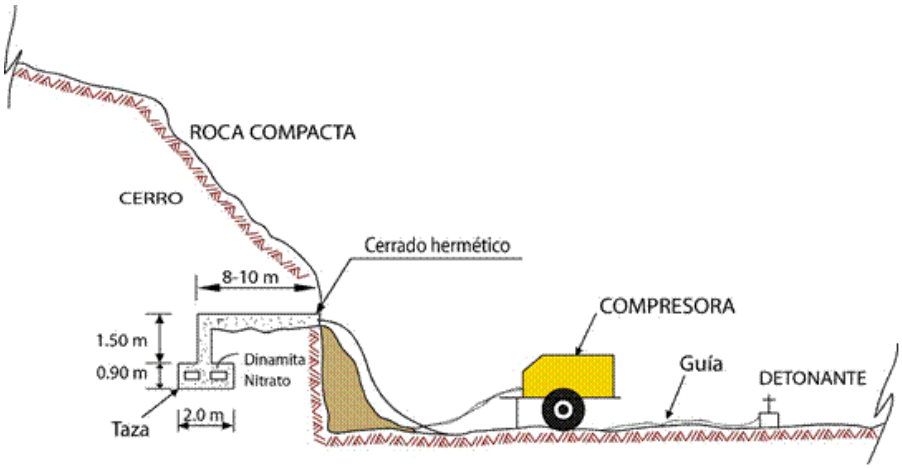


Figura N° 20.- Construcción del calambuco

b. Selección de roca

- **Descripción**

  Después de la explosión o voladura, mediante el tractor de oruga se irá acumulando la roca seleccionada para facilitar la operación de carguío.

Para la selección de roca se considera el "cachorreo" o fraccionamiento para volúmenes mayores de lo especificado. Esto se hará calculando el volumen y la carga que se requiera, debiéndose emplear cierto porcentaje de nitrato grado ANFO, para evitar desperdicio del material extraído; esto se efectúa con empleo de compresoras y barrenos. Es importante el desplazamiento del equipo para la explanación y carguío. Por lo general, debe haber material listo para el carguío (figura N° 21).

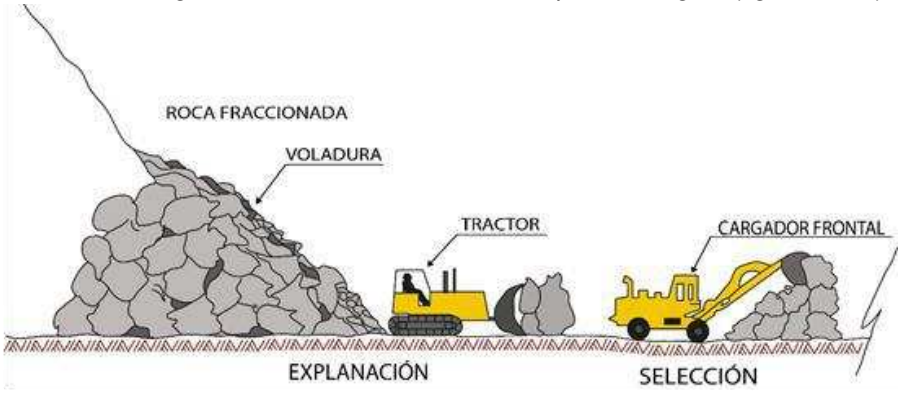


Figura N° 21.- Selección de las rocas a usar

Equipo

Tractor de oruga y bulldozer de 230 – 250 HP con cuchillas y cantoneras reforzadas, compresora de 750 – 800 CFM o lb de presión para fraccionamientos de roca.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento /í	Hoja		Sproket	Capacidad cucharón
				Tipo	capacidad		
Tractor s/o+	1	230-250	800	SU	6 3	Elevado	-
Compresora	1	180-200	720	-	-	-	750-800 CFM

- **Operación**

  Efectuada la voladura, se procede a la selección de roca con el empleo del tractor de oruga que la irá acumulando a un punto determinado para facilitar el trabajo de carguío. Esta actividad es importante dentro del costo del enrocado, de ahí que su operación requiere de un trabajo coordinado del pool de cantera. Para la selección de la roca se considera el fraccionamiento de roca o "cachorreo" de los volúmenes mayores. Para esto se emplea la compresora y martillos que irán perforando la roca con el uso de explosivos para efectuar su ruptura.

- **Material de contacto** - **Equipo**

Se emplea cargador frontal y volquetes que se consideran dentro del pool de maquinaria a usar:

- **Operación**
  El material es cargado en cantera, con el cargador frontal a los volquetes, los cuales lo trasladan al dique y lo descargan en la cara húmeda para su posterior esparcimiento con mano de obra o equipo. Este material será gravas o roca fraccionada.

c. Carguío, transporte y colocado

- **Carguío**
  Es el carguío del material seleccionado en la cantera a las unidades de transporte. Se debe tener cuidado con el tiempo que se demora cargar un volquete. Es importante programar este carguío a fin de evitar paros innecesarios que repercuten en el costo de la obra.

Es imprescindible llevar un control por unidad sobre el volumen transportado por día. Con la finalidad de ver la fluctuación del costo y

los cuadros de avance de obra. Todos estos puntos se deben tener presentes, pues son fundamentales.

- **Equipo**
  Es recomendable contar con una pala mecánica de 16 toneladas de izaje, porque es más operativo para el levante de roca y acomodo en las unidades de transporte. Esto se realiza mediante el “estrobeado”, que consiste en cables de acero con amarres circulares en los terminales, los cuales se pasan por la roca debidamente sujetada al gancho de izaje. En otros casos, se puede emplear un cargador frontal de 220 – 240 HP para un carguío rápido, capacidad de levante 6000 kg mínimo.

  Para la explanación del material así como la acumulación de éste, cerca de la zona de carguío, es necesario contar con un tractor de oruga de 140 – 1460 HP.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□□/□□í□□	Capacidad Cucharón □□□□	Capacidad de levante kg
Cargador frontal	1	220-240	720	3.5 - 4	+6000

- **Operación**
  El cargador frontal toma el material seleccionado que por lo general son rocas de un volumen mayor de 1, este es levantado a la altura de la tolva del volquete. Por lo general se carga una parte por las paredes laterales de la tolva, y la otra por la parte trasera, de tal forma que la carga sea equilibrada.

  Se requiere de una gran destreza del operador, lo cual repercute en el costo de la obra. Las tolvas que no sean específicas para roca, pese a ser forzadas, son seria y rápidamente afectadas.

- **Transporte**
  Es el traslado del material pesado desde la cantera al rio, al lugar donde se encuentra el prisma levantado.

  Este aspecto generalmente representa el 40% del costo de la obra; por ello, la eficiencia con que se efectúe será fundamental para que el costo se mantenga dentro de lo presupuestado.

  Se especifica el tiempo de un ciclo de ida y regreso de las unidades.
  Se debe considerar en este tiempo las demoras (tiempos muertos) por operación de carguío y descarguío; para lo cual previamente se debe haber establecido el tiempo de recorrido en un ciclo completo. Es recomendable tener un control permanente de este punto.

- **Equipo**
  El equipo para transporte estará compuesto básicamente de volquetes de una capacidad teórica para el tipo de material. Estas unidades deben estar dentro del límite del tonelaje. Por lo tanto son recomendables en zonas donde no se puede conseguir unidades de mayor capacidad, aunque lo mejor sería contar con volquetes de una capacidad mayor, ya que en la práctica representa un mayor avance de obra y un menor costo, en comparación con las otras unidades.

Es recomendable volquetes de 15 o de 22 toneladas con vía adecuada; también puede emplearse volquetes de 17 o 35 toneladas, pero es fundamental contar con vías especiales para ello.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□□/□□í□□	Capacidad □□□□	Observaciones
Volquetes	1	300-320	Variable	15 - 17	Tolva reforzada

- **Operación**

  Los volquetes una vez cargados proceden a trasladar la roca a la zona de la obra. Estos irán a velocidades no mayores de 30 en vías preparadas. De no estar en estas condiciones, las velocidades se reducen a 15 . El material será depositado en la explanada o cancha cerca de la plataforma, y al pie de la uña.

- **Revestimiento o colocado**

  Es la operación consistente en el descarguío del material pesado y revestimiento, tanto en la uña de estabilidad como en la cara húmeda del prisma. Se recomienda tener una cancha para acumular la roca lo más cerca posible de la obra.

- **Equipo**

  Cargador frontal de 220-240 HP, de las mismas características que el de descarguío; excavadora de 160 – 170 HP sobre orugas con cucharon de 1.0 de capacidad, levante o izaje de 6000 kg a 8000 kg a una altura máxima de 3 m.

Características y rendimientos de la maquinaria

Maquinaria	N°	Potencia HP	Rendimiento □□□□/□□í□□	Capacidad Cucharón □□□□	Capacidad de levante kg
Cargador frontal	1	220-240	600	3.5 - 4	+6000
Excavadora	1	160-170	520	1.0	+6000

- **Operación**

  El llenado de la uña de estabilidad se hará por la vía de acceso paralela a la uña para así lograr una buena distribución del material. No es conveniente efectuarla por la plataforma, en razón de que la

distribución del material no será uniforme, ya que se tendría tramos con bastante roca y otros carentes de ella (figura N° 22).

Según el volumen de diseño por metro lineal, para lograr el acabado pretendido se efectúa el acomodo y entrabado de las rocas con pala o cargador y personal capacitado para esta operación.

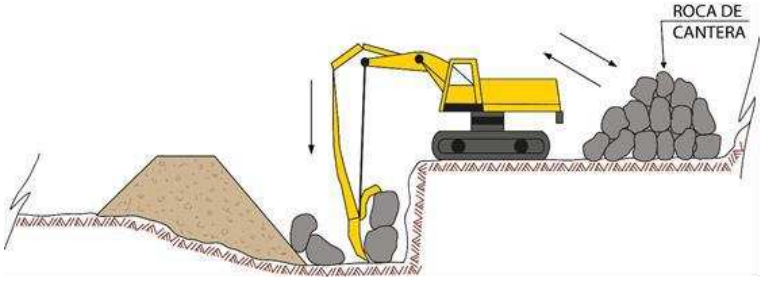


Figura N° 22.- Llenado de la uña de estabilidad

El revestimiento se realizará posteriormente al llenado de la uña y conforme se vaya elevando el prisma hasta llegar a la altura de diseño. Se puede efectuar alguna combinación, como ejecutar paralelamente el llenado de la uña, y una parte del prisma levantado con el material extraído de la excavación de la uña (figura N° 23).

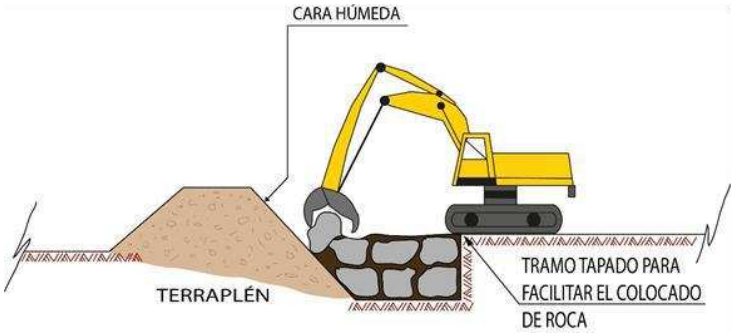


Figura N° 23.- Revestimiento de la cara húmeda

La parte final de la cara húmeda puede ser revestida por la vía superior de la plataforma del dique.

Para evitar que el material tenga algún desperdicio en cuanto a áreas a cubrir, es recomendable tener una pala excavadora o cargador en la plataforma, que lo estribe y lo acomode en la cara a revestir (parte final).

En la coronación se marca las progresivas correspondientes según lo propuesto. Es recomendable que si la obra se interrumpe, se cubra

con roca toda la parte final incluyendo 10 m de la cara seca, para evitar la erosión de lo ejecutado.

7.5. Consideraciones en la construcción de espigones

7.5.1. Criterio de ubicación de los espigones

Dentro de las diversas necesidades de defensa ribereña en los valles, a veces es necesario tener presente ciertos criterios prácticos para tomar la alternativa sobre cuáles son los puntos a proteger y en qué extensión.

Sucede que todos los sectores presentan necesidades de contar con alguna estructura que les dé cierta garantía de protección a sus terrenos; es aquí donde el aspecto económico entra en juego. Vale decir, se debe tener una alternativa adecuada, y está en función del tipo de evaluación que se efectúe. Esta alternativa lo pueden constituir los espigones. En lo técnico hay condiciones de río que escapan a algún análisis que se haya efectuado, sobre todo en los ríos de régimen torrentoso.

Los aspectos que a continuación se describen son producto de observaciones prácticas en este tipo de ríos.

- **Análisis de situación de río**

  Conviene tener un conocimiento general sobre la situación que presenta el río. En el valle e ir anotando todas las zonas en las que se ve una erosión evidente o puntos de cambio que pueda adoptar en la próxima avenida. Esta observación de campo es recomendable hacerla desde puntos altos hacia abajo para tener una idea más clara del problema.

  Lo más recomendable es contar con fotografías aéreas tomadas después de la última avenida o actualizarlas, pues éstas permiten tener criterios más amplios del problema. Esta labor nos llevara a considerar los puntos críticos del valle, donde se pueden ubicar espigones. Se deben considerar las zonas que presentan defensas naturales, y el riesgo de que puedan
  ser burladas o erosionadas. A veces se logra establecer cuál es la tendencia futura del cauce del río, reduciendo, con el empleo de espigones, las fluctuaciones producidas por la fuerte sedimentación.

7.5.2. Tipo de espigón respecto al río

Los espigones, tanto por su anclaje o apoyo, como por su ubicación respecto del río pueden ser:

a. Por su anclaje

Se refiere dónde van apoyados y en qué tipo de estructura se apoyan o inician.

Espigones anclados

Se denomina así a los espigones continuos que se inician en estructuras existentes (puentes, vías, etc.), en relieves topográficos (cerros) y en medios forestados.

Este tipo de espigón es el que mayores ventajas tiene en cuanto a estabilidad se refiere. En la evaluación del valle, es importante tener en cuenta lo señalado antes, ya que esto permitirá contar con un índice del trabajo que puedan tener los espigones; los medios forestados deberán tener una considerable cantidad de árboles que den la seguridad necesaria. Este sistema de anclaje se ha usado con buenos resultados en trabajos realizados en ríos torrentosos de la costa.

Este tipo de anclaje es recomendable cuando la forestación es paralela al lecho del río, mas no cuando éstas se presentan en cierta manera perpendicular al río. Depende asimismo de la amplitud del cauce para que queden estas defensas vivas.

Tanto el anclaje inicial como el final en obras integrales de encauzamiento, deberán efectuarse en cerros naturales que presenten en sus bases buena roca. Este anclaje a medios forestados funciona muy bien por espacios cortos, ya que cuando existe una infraestructura de encauzamiento aguas arriba, se incrementa la erosión en este medio por la reducción del cauce. Claro está que puede seguir un proceso de encauzamiento en forma paulatina y este medio permite ayudar a reducir el grado de erosión (figura N° 24). Se recomienda en su parte terminal protegerlo con roca y construir un alero enrocado corto de 10 m en forma perpendicular al flujo del río.

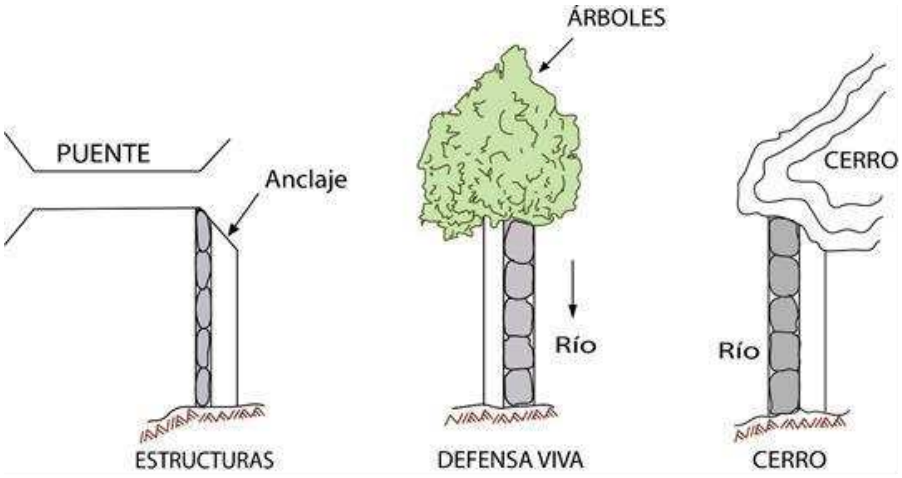


Figura N° 24.- Tipos de espigones anclados

- **Espigones flotantes**

Son aquellos que no tienen continuidad, ningún tipo de anclaje total, pudiendo tener apoyo en algún medio forestado. Estos espigones no muestran estabilidad y termina siendo erosionados totalmente. Estas condiciones de río no permiten emplear espigones flotantes paralelos al flujo del río, es decir, espigones cortos con luces pequeñas y en puntos de influencia de curva, salvo deflectores perpendiculares al flujo del río.

A veces, el medio de apoyo es un monte y éste termina erosionado, tanto en la parte seca como en la cara húmeda del prisma, salvo que la naturaleza del monte sea de gran densidad y aguas arriba no se produzca ningún cambio del curso, que oriente el flujo hacia la cara seca del prisma marginal (figura N° 25).

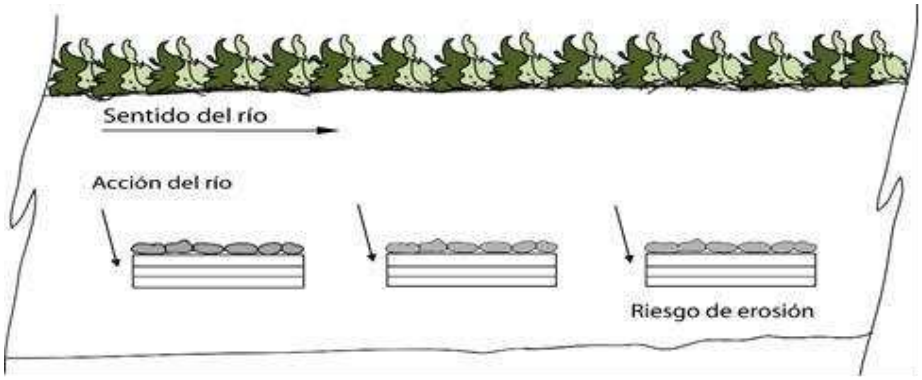


Figura N° 25.- Tipos de espigones flotantes

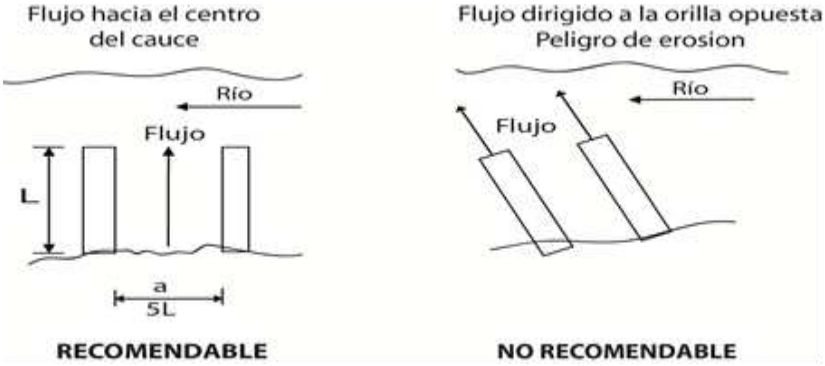
b. Por su ubicación

Se refiere a la forma como van ubicados los espigones respecto del cauce principal al flujo del río.

- **Longitudinales**
  Son espigones construidos paralelos al flujo del río. Son cortos de 100200 m, sirven como control al flujo lateral del río, en síntesis son enrocados cortos. Su proceso constructivo es similar al del enrocado.

- **Transversales**
  Son espigones construidos en forma perpendicular al flujo del río o en ángulos o taludes que van entre los 70° a 85°, con longitudes variables entre los 20 a 150 m. permiten la disipación de la energía de las aguas del río en las zonas afectadas, desviando el curso del río hacia la parte central.

  No se recomiendan espigones inclinados en razón de que éstos dirigen el flujo hacia las orillas opuestas ocasionando así daños.



Esquema de ubicación de deflectores

7.5.3. Deflectores disipadores

Cuando los espigones o deflectores van ubicado en baterías, espaciados entre 50 a 200 metros, se denominan deflectores disipadores. La separación de disipadores es recomendable que sea 5 veces la longitud del espigón, es decir, a = 5L.

Su funcionamiento consiste básicamente en el represamiento del agua del río, formando pozas entre deflectores, donde se produce sedimentación del material en suspensión, y se frena el material de arrastre del fondo, lo cual eleva el lecho del río, originado socavación en la margen opuesta. Como experiencia práctica se puede mencionar que en el valle de Camaná, se ha logrado estabilizar el río en una sección de 150 a 180 m (figura N° 26).

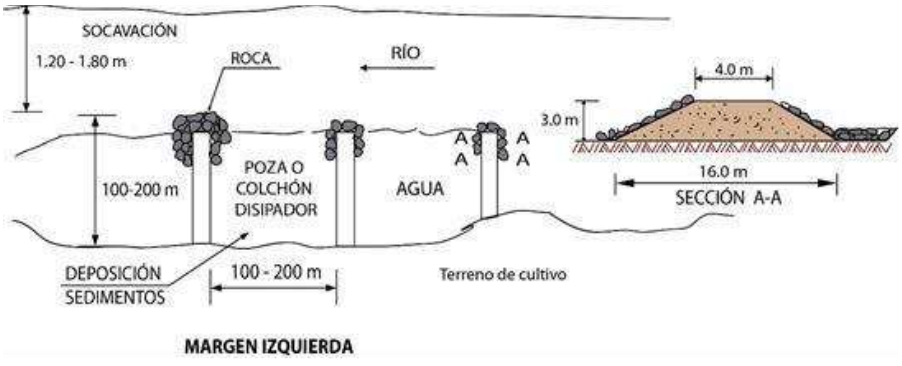
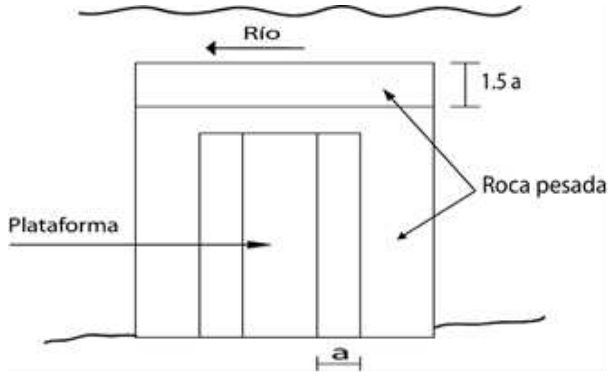


Figura N° 26.- Vista de Deflectores

- **Proceso constructivo**

  El armado del terraplén es en forma similar al del dique enrocado, así como a la excavación de la uña, lo cual solo es efectuado en la parte terminal en los 30 a 40 metros finales. El apoyo del espigón debe ser en zona con cobertura arbórea o en terraza elevada, respecto del piso del río. La cara húmeda y la cara seca (20m) serán revestidas con roca pesada. De igual forma delante de la cabeza del espigón o parte terminal de este, será necesario rellenar la uña con roca pesada, más un ancho adicional de 1.5 veces el valor del ancho superior de la uña, para controlar la energía socavante que se produce en la parte terminal. De no efectuar la protección del espigón en la parte terminal, éste colapsa.



Esquema del revestimiento de la parte terminal del deflector disipador

Equipo

Para su construcción se emplea la maquinaria pesada indicada en los acápites del proceso constructivo del enrocado, tales como tractores de oruga y bulldozer, cargador frontal, excavadora, volquetes, etc., equipo cuyas características y especificaciones técnicas se han indicado anteriormente. La operación y el proceso constructivo de cada uno de los espigones y/o deflectores disipadores son en forma similar al del enrocado.

Recomendaciones

- Por darse procesos rápidos de sedimentación entre deflectores y correr el riesgo que sea sobrepasado por el agua, el muro deberá tener una altura adicional de 1/5 de la altura (calculada) del espigón disipador.
- El terreno existente entre los espigones debe ser encimado a la misma altura del espigón deflector.
- Debe efectuarse una limpieza del cauce en toda la longitud en que se ubican los espigones.
- El enrocado de la parte terminal debe efectuarse con roca seleccionada, cuyo volumen unitario deberá ser mayor a 1.5.

7.6. Consideraciones en la construcción de gaviones

Se considera importante describir el proceso constructivo de un gavión. Pues es una alternativa económicamente viable, de instalación fácil, empelo de mano de obra no calificada y de la localidad donde se construye la obra.

7.6.1. Trazado y preparación del terreno

Se efectuará el trazo en el terreno con quipo de ingeniería, marcando el eje y el ancho a ocupar por los gaviones y el colchón antisocavante.

Luego, se procede a la línea de trazo. Puede ser con empleo de tractor de oruga y bulldozer de 140 a 160 HP; el cual, uniformará el trazo, eliminando arbustos, desniveles, o también con empleo de mano de obra y con las herramientas adecuadas.

7.6.2. Armado de gaviones

Tiene fases definidas, como: apertura del fondo, doblado de paneles, amarre de paneles, colocado de cajas del primer nivel. Luego de llenados, se irá colocando en forma similar los siguientes tramos.

7.6.3. Selección y acopio de cantos rodados

Por lo general los cantos rodados existen en los ríos de la costa, los cuales, con empleo de mano de obra, son seleccionados según las dimensiones del caso. Esta labor también se puede efectuar con empleo del cargador frontal.

El material seleccionado será trasladado a los gaviones. Se tiene en consideración que para los colchones antisocavantes las dimensiones de los cantos rodados serán menores y, en función a la velocidad, se tendrá en cuenta que deben ser resistentes a los impactos, tener buen peso específico y sus dimensiones serán 2.5 veces más que las dimensiones de la malla.

7.6.4. Llenado de gaviones

Será efectuado con el empleo de mano de obra, colocando los cantos rodados dentro de las cajas, para evitar deformación y lograr una mejor vista. Se pueden encofrar con madera. El atiramiento se efectuará al llegar el llenado a un tercio de la altura del gavión y consiste en amarrar con tirantes cruzados las caras opuestas verticales. Se prosigue el llenado hasta su culminación; luego viene el colocado de las tapas y el amarre que será a los bordes de los paneles verticales. En forma similar se culminará por cajas todo el amarrado de la estructura gavionada (figura N° 27).



Figura N° 27.- Colocado y llenado de gaviones

7.6.5. Llenado de colchones

- Colocado
  Consiste en abrir el fondo, retirar y estirar cada colchón; luego se aseguran los diafragmas. En forma similar las paredes frontales, luego se procede al llenado.

- Llenado
  Será con empleo de mano de obra o maquinaria, antes se colocará tirantes verticales, uniendo base con tapa; luego del llenado se tapará y amarrará la tapa al resto de la estructura (figura N° 28).

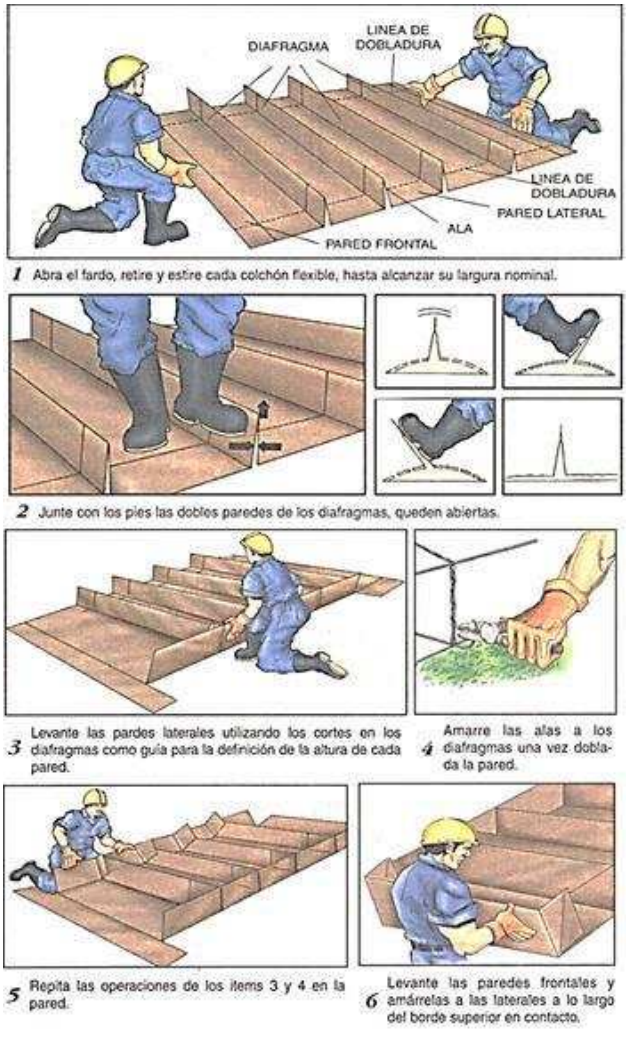


Figura N° 28.- Llenado de colchones

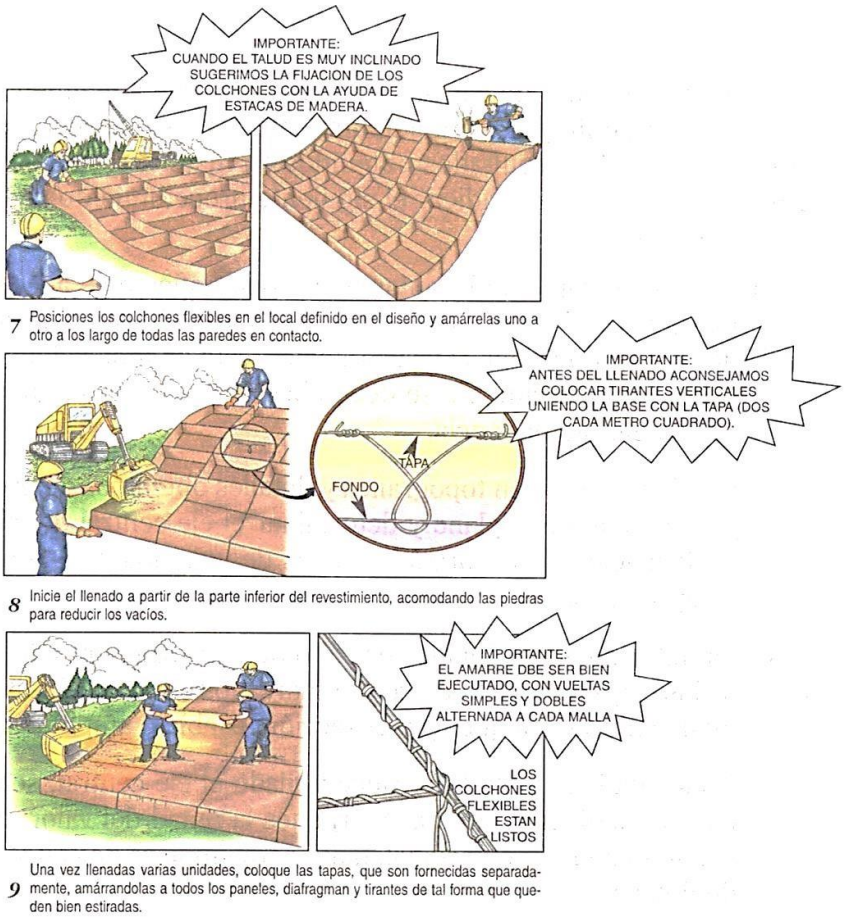


Figura N° 28.- Colocado y llenado de colchones (continuación)

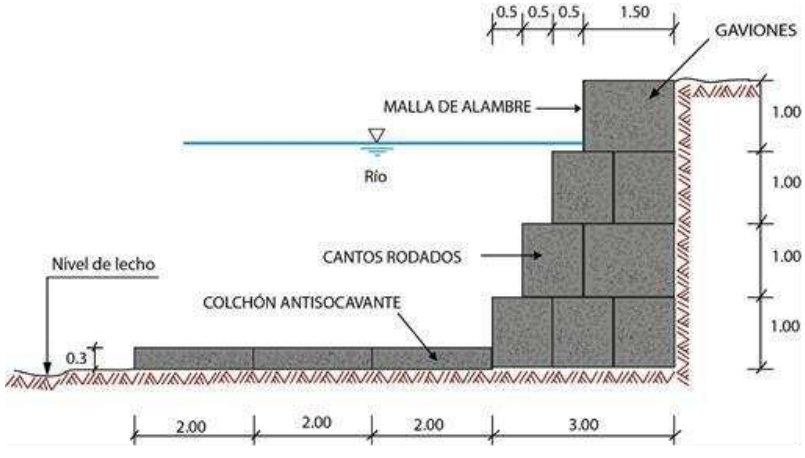


Figura N° 29.- Sección transversal típica de un gavión y colchón antisocavante

Figura Nº 30.- Obras de defensa de carácter permanente

7.7. Mantenimiento de defensas ribereñas

7.7.1. Obras temporales

a. Limpieza o mantenimiento de cauces

Los trabajos de limpieza de cauce efectuados después de un periodo de avenidas, nos permite hacer una evaluación sobre el comportamiento de esta, en su función especial, cual es evitar que el río oscile entre las orillas, y fije un cauce estable. En ríos con caudales máximos menores a 100 m^3/seg, con una pendiente de fuerte a moderada, se obtendrán resultados óptimos, teniendo como complemento efectuar la protección de las orillas.

En ríos jóvenes, cuya característica es tener una fuerte dinámica en su discurrir, con variación de lecho durante las avenidas, el trabajo a efectuar responderá, según el criterio y conocimiento que se tiene del río, para alejarlo de una ciudad o áreas agrícolas significativas. Los ríos de la costa, con caudales extremos de 800 a 2,500 m^3/seg, después de una avenida (sin defensa alguna) por lo general oscilan su desplazamiento de lecho en un ancho de 500 a 800 m, que es coincidente con su cono de eyección, sobre todo cuando la cobertura arbórea ha sido destruida o quemada y no ha sido restituida por defensa alguna; esto ocurre en épocas de avenidas menores, cuando los agricultores ribereños aduciendo que el río está "viejo" amplían sus áreas de cultivo.

El mantenimiento de cauce significa pues que anualmente es necesario efectuar un plan de limpieza o mantenimiento. En este aspecto es oportuno en base a los resultados obtenidos en materia de defensas ribereñas en varios valles de la costa, indicar lo siguiente para una adecuada limpieza de cauce:

- Debe efectuarse un levantamiento topográfico del cauce del río, de margen a margen, con los detalles necesarios, sobre todo como discurre el río, las profundidades del lecho principal, en toda la longitud

crítica del valle. Complementariamente se debe observar el río desde una parte alta.

- En base a la información topográfica y detalles, se procede una vez dibujado el plano a determinar el eje central del río, se recomienda la participación de las organizaciones de usuarios y la autoridad de aguas para su aprobación.

- Los criterios que determinan el eje central o de encauzamiento deben ser de carácter estrictamente técnico, enmarcados dentro de los conceptos de la hidrología e hidráulica, que fijan la sección estable o amplitud de cauce.

- Conocida la amplitud de cauce y fijado el eje central, se procede a partir de éste, a medir hacia ambas márgenes la mitad del valor encontrado, así como el ancho de la faja marginal.

- Esta labor topográfica en gabinete va a permitir ubicar el sistema de defensas en ambas márgenes, fijar los sectores críticos a defender, la limpieza de cauce según el comportamiento del río. El plano logrado es base para ejecutar obras de defensa, drenaje y vial de tal forma que éstas obedezcan a una política de encauzamiento y no de obras aisladas, que no guardan ninguna relación con estos conceptos técnicos.

- En el terreno se procede a efectuar el replanteo de lo diseñado en gabinete; para el caso de los sectores de limpieza de cauce, la amplitud y profundidad a excavar con maquinaria pesada.

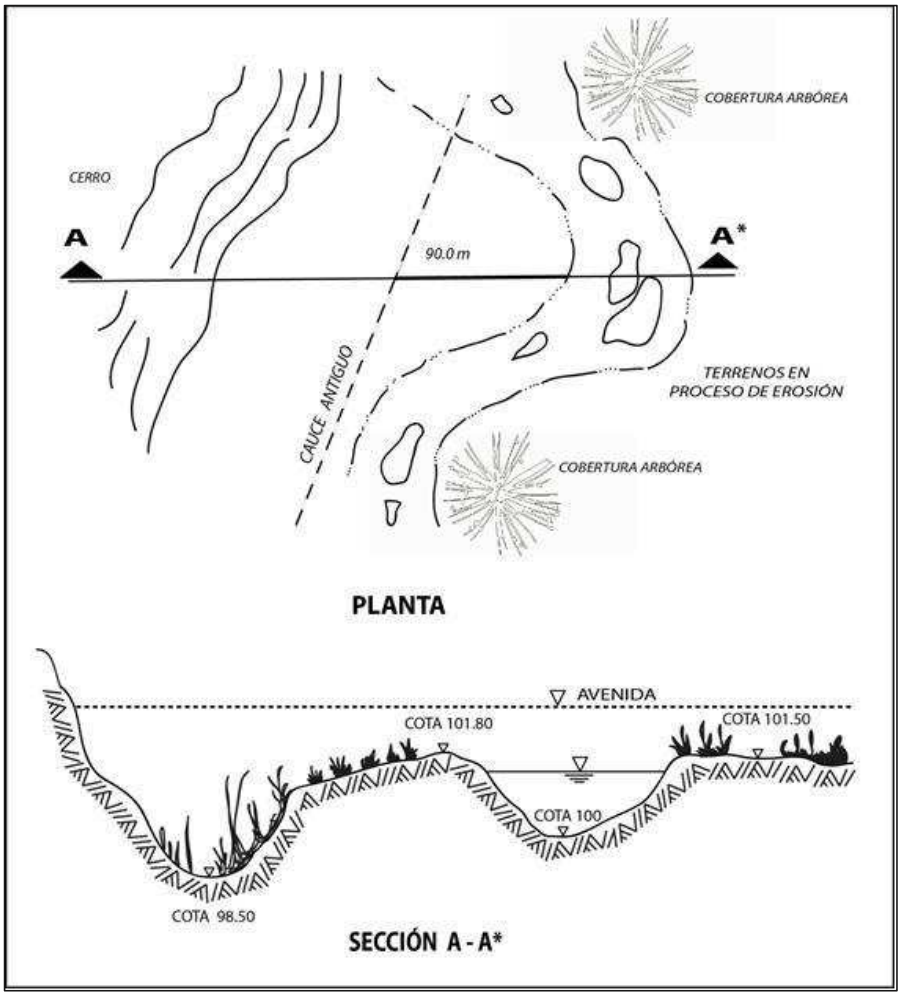


Figura Nº 31.- Planta y sección típica del río

Ejemplo

En la figura Nº 31 se presenta un plano planta de un río de la costa peruana, donde el río está afectando terrenos de cultivo en la margen izquierda; el plano corresponde a un sector crítico y forma parte de un levantamiento de 2 km. Este levantamiento y la información hidráulica e hidrológica nos han permitido determinar los parámetros necesarios como son:

Caudal máximo = 2000 m^3/seg, para un período de retorno de 200 años. Pendiente del río = 0.007

Características del material: De fondo: cantos rodados y arena De orilla: arcillo arenosos.

La información y cálculos nos determinan:

Sección estable o amplitud de cauce:	180	m.
Profundidad de socavación:	4	m.
Tirante máximo y altura de muro:	3.5	m.

De acuerdo a las recomendaciones efectuadas procedemos a determinar el eje de encauzamiento, para lo cual tenemos en consideración que la margen opuesta o derecha es un cerro, luego el eje se ubicará a 90 m del cerro y de éste 90 m hacia la margen izquierda, en el plano efectuamos y fijamos estas mediciones; lo recomendable sería ejecutar una obra de defensa longitudinal de carácter permanente, pero se carece de recursos económicos y es necesario tomar alguna alternativa, y ésta es efectuar la limpieza de cauce. Si observamos los acotamientos nos damos cuenta que es factible habilitar el cauce antiguo continuo al cerro con empleo de maquinaria pesada, lo que permitiría sacar al río de los terrenos en proceso de erosión, aprovechando el desnivel existente y profundizarlo un (1) metro más para una mejor labor.

También podemos indicar que al profundizar el cauce, se va a dar una mayor socavación en esta margen y deposición de sedimentos en la margen opuesta, lográndose de esta forma atenuar los efectos erosivos del río. Se destaca que se tiene en consideración las coberturas arbóreas como elementos de apoyo, (ver figura Nº 31).

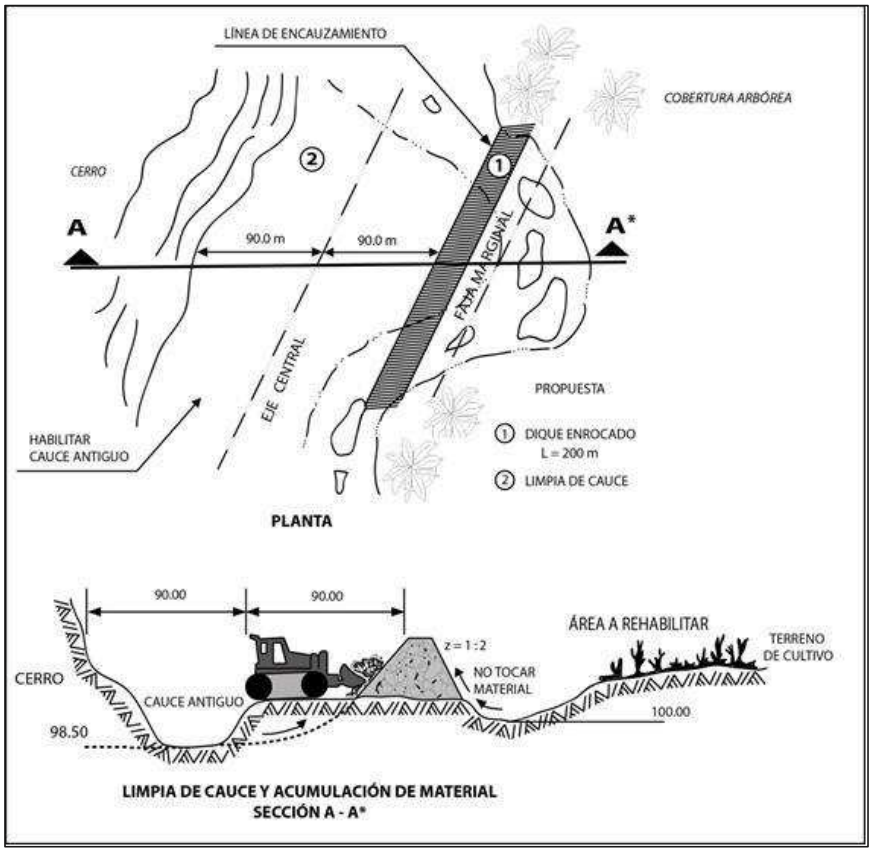


Figura Nº 32.- Limpieza de cauce y encauzamiento

Una buena limpieza de cauce en forma anual permite controlar al río en forma aceptable en función a sus caudales. Es conveniente arrimar el material de limpia a las orillas. El ancho y profundidad de limpieza están en función de los caudales máximos, siendo recomendable los siguientes:

Q MAX m^3/seg	**Sección estable estimada - m**	**Profundidad m**	**Ancho de limpia mínima m**
3,000 2,400 1,500 1,000 500	200 190 120 100 70	1.5 1.2 1.0 1.0 0.50	50 50 40 50 20

Finalmente, cabe indicar que mucho tiene que ver el conocimiento que se tenga sobre el río, para lograr los objetivos de control de erosión, lógicamente sin un conocimiento adecuado se corre el riesgo de decisiones que originarán pérdidas de la inversión, y lo peor causar mayores daños.

b. Caballos abarcados

En estas defensas rústicas, el mantenimiento debe efectuarse durante el periodo de avenidas y al término de éstas, siendo necesario efectuar una evaluación de necesidades (cuadro Nº 3) y programar su ejecución (cuadro Nº 4). Así se tiene:

- Verificar los amarres entre troncos, si es necesario reajustarlos.
- Que la plataforma de cada "caballo", y la de unión entre éstos, cuente con piedra adecuada.
- Antes o al término de las avenidas se debe arrimar material de río a los caballos abarcados, con empleo de tractor de oruga, esto permitirá que los troncos, caso del sauce, puedan brotar y echar raíces y así se consolide la defensa, constituyéndose en defensa viva.
- De haber sido erosionado o arrastrado algún "caballo", se procederá a repararlo o agregar alguno de ser conveniente, para así lograr una mayor eficiencia en el trabajo de defensa.
- En algunos ríos de caudales significativos, en ciertos lugares, alguna de estas estructuras rústicas han logrado conformar defensas naturales consistentes, debido a la preocupación de los agricultores en darle un mantenimiento permanente.

c. Cestones, fajinas

Estas defensas, si han dado buen resultado en cuanto a su ubicación pues el río no ha logrado ser muy incidente con su flujo central sobre éstas, se recomienda (ver figura N° 33)

- Efectuar una protección con material de río para fijarlos, a fin de que puedan generar una cobertura arbórea. Esta labor se puede realizar con tractor de oruga, el mismo que desplazará el material de la parte central del río, hacia ambas márgenes donde exista este tipo de defensa
- Debe efectuarse la plantación de especies forestales o estacas de especies que existen en el río, para así complementar el mantenimiento.

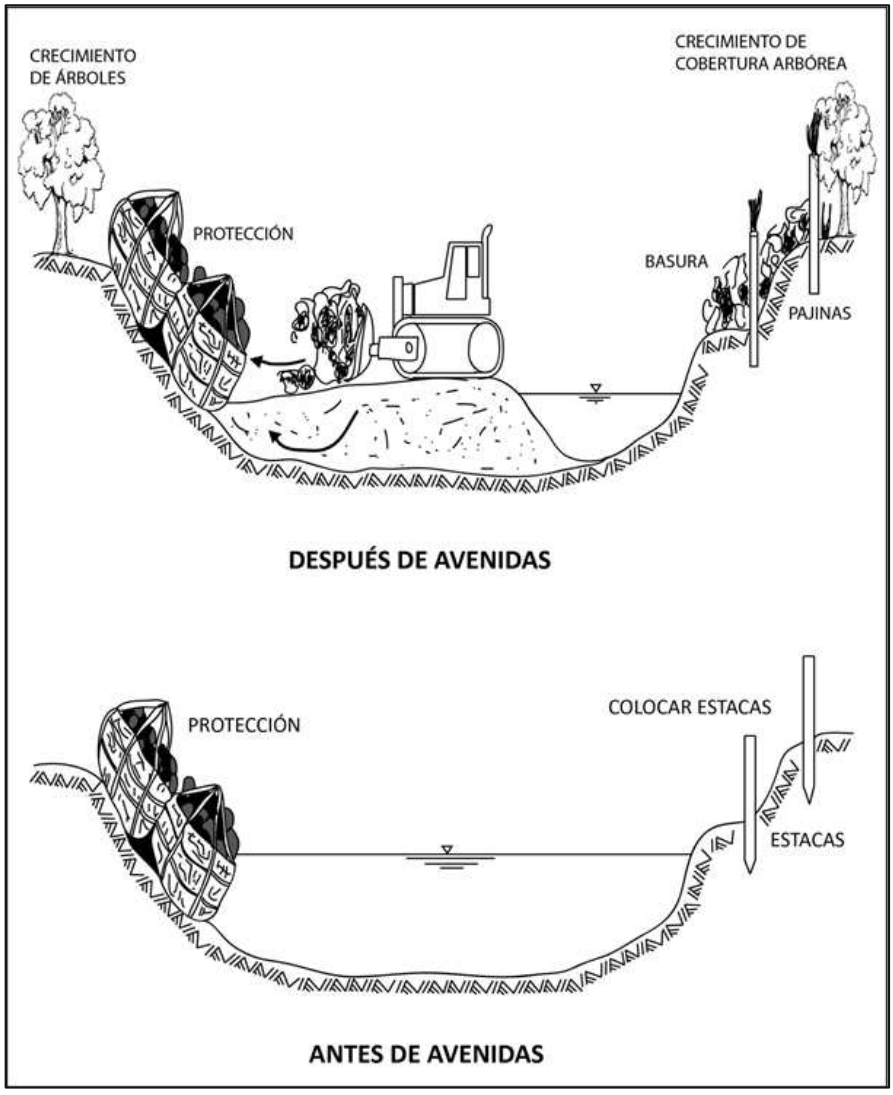


Figura Nº 33.- Mantenimiento en cestones y fajinas

Cuadro Nº 3.- Evaluación de necesidades de mantenimiento defensas rústicas

Infraestructura :
Sistema : Obra :
Nombre :
Fecha :
Responsable :

Sector	Limpieza de cauce (m)	Armado de terraplen (m^3)	Defensa rústica		Protección roca (m^3)
			Caballos Nº	Otros Nº	

Cuadro Nº 4.- Programación de necesidades de maquinaria y materiales para el mantenimiento Defensas rústicas)

Infraestructura : Defensas ribereñas
Sistema :
Obra :
Nombre :

Fecha :
Responsable :

Limpieza de cauce ( )	Armado terraplén ( )	Defensa rústica		Maquinaria		Materiales			M.O	Fecha de ejecución	
		Caballos N°	Otros N°	Tractor ( )	Excavadora ( )	Alambre ( )	Troncos ( )	Otros	JR.	Inicio	Final

Sector									

d. Rayados o terraplenes

Se ha indicado que su funcionamiento es muy relativo y está en función del caudal de avenida y al desplazamiento del lecho, en tal sentido se deberá tener en cuenta (ver figura Nº 34):

- Que existen períodos de avenidas que no son las extremas o medias, que originan que estas acumulaciones soporten las avenidas, lo cual puede permitir desarrollar programas de forestación, sobre estas defensas, o según la disponibilidad de recursos económicos revestirlas con roca o gaviones. (Ver Figura 34- a)

- De haber sido erosionados, puede optarse por reponerlos si el caso lo requiere, a falta de medios económicos para efectuar una obra de defensa de carácter permanente.

- De existir una definición sobre el plan de encauzamiento y el terraplén está sobre los eje programados, es conveniente efectuar el revestimiento, tanto de su cara húmeda como de la uña con roca pesada. (Ver Figura 34- c)

- Se puede revestir con colchones flexibles (mallas de alambre) y colocarle un antisocavante del mismo material, u optar por losas de concreto, convirtiéndolo en una estructura de carácter permanente. (Ver Figura 34-b)

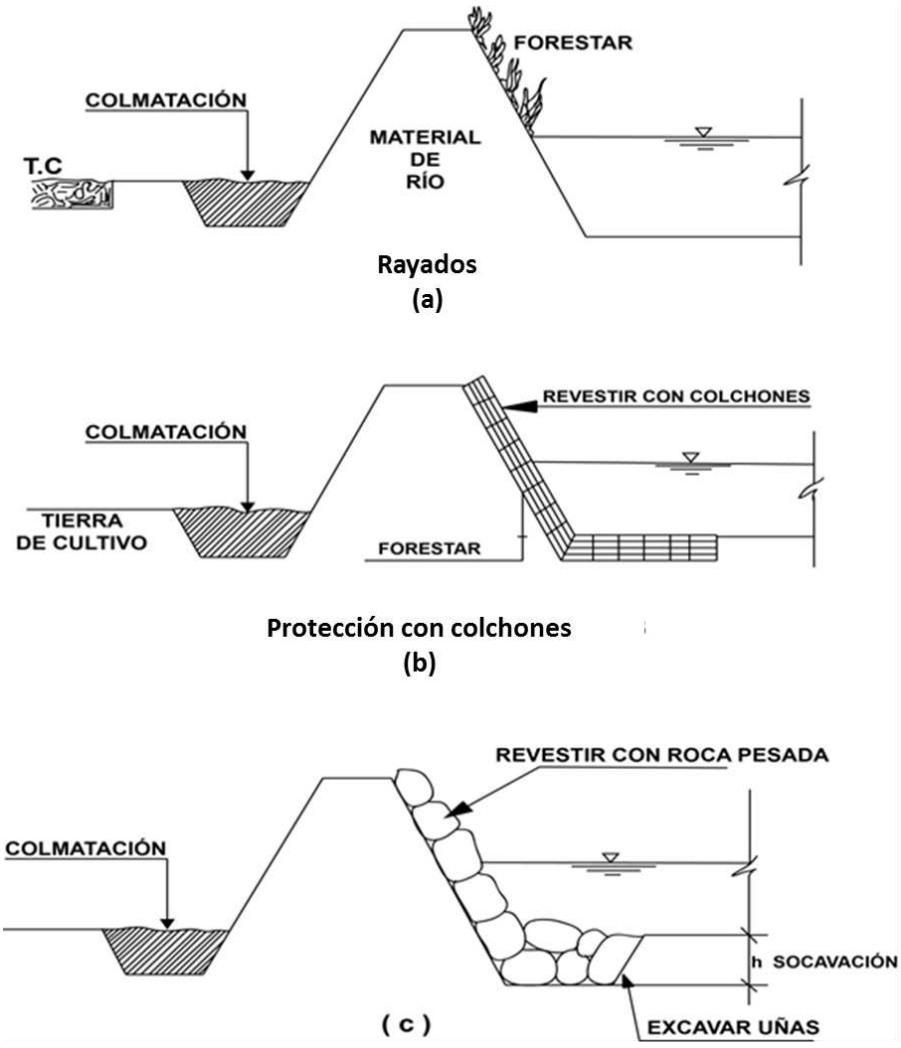


Figura Nº 34.- Mantenimiento de rayados o terraplenes

e. Deflectores o Espigones

e.1.- Deflectores cortos

El mantenimiento recomendado mayormente, debe ser durante el periodo de avenidas, pues estos, ayudan a dar solides a la estructura principal y en emergencias evitar su deterioro

- Su funcionamiento requiere tener durante las avenidas una especial observación y mantenimiento de su estructura; sobre todo ir agregando roca pesada, hasta lograr que el flujo central o lateral se

aleje. En muchas ocasiones se ha logrado alejar el río, ante una evidente ruptura de dique ó inundación de áreas agrícolas y centros poblados.

- Cuando los diques enrocados al volteo corren el riesgo de ser erosionados en avenidas, el empleo de espigones cortos tiene buenos resultados, actuando a tiempo y con la maquinaria adecuada (tractor, volquetes, cargador) y roca. (Ver figura Nº 35)

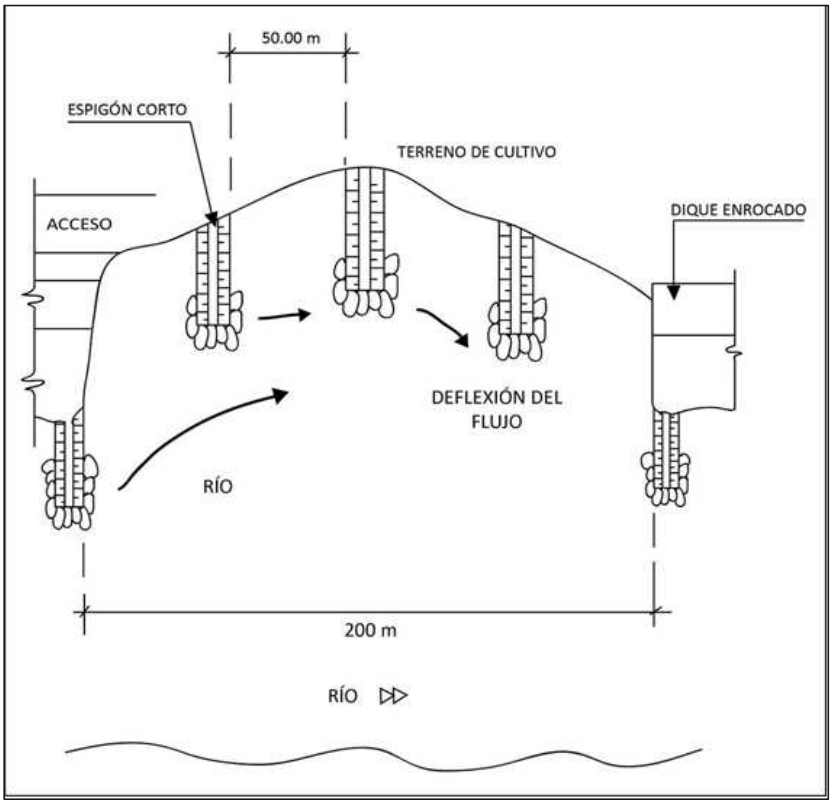


Figura Nº 35.- Colocación de espigones protegiendo un dique

- Después de las avenidas se verificará el espigón y se adicionará roca, y de ser necesario se efectuará su encimado, previa evaluación (Cuadro Nº 5).

e.2.- Deflectores disipadores

- El mantenimiento es similar al deflector corto, en cuanto a roca se refiere. Siendo en este caso mayor la amplitud de la uña para evitar la

socavación adicional por remolinos, requiriendo mayor volumen de roca. (Ver figura N°36)

- Se deberá tener especial cuidado en la altura de la plataforma, pues los procesos de colmatación son tan rápidos que puede darse un desborde por encima de la coronación de la plataforma, que termina destruyéndolo.

- Se recomienda efectuar un proceso de forestación a fin de darle mayor estabilidad.

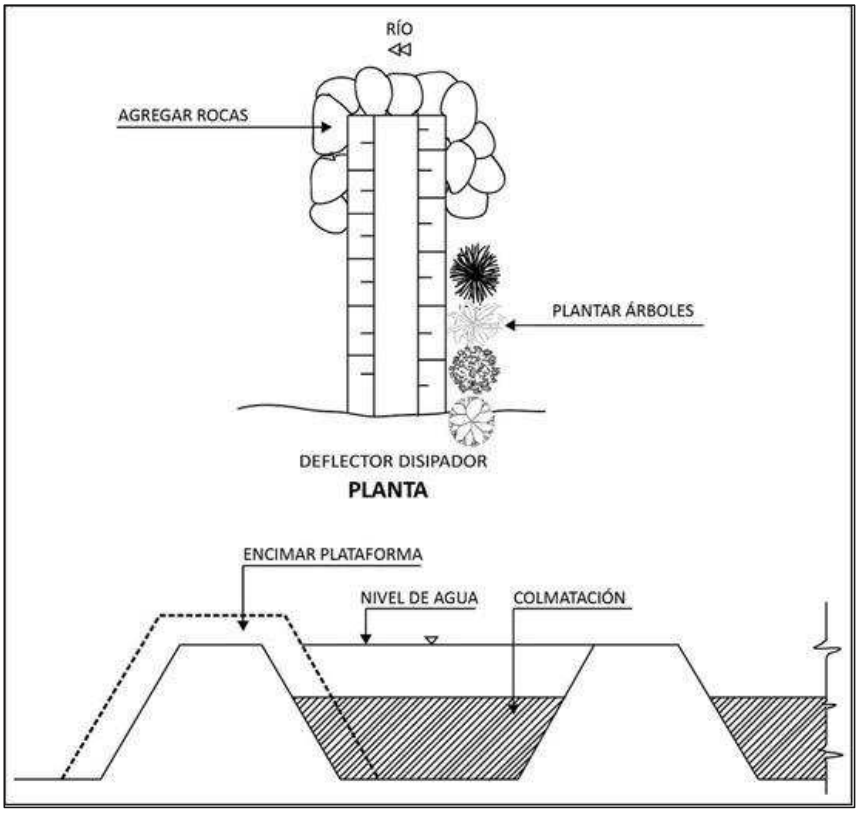


Figura Nº 36.- Mantenimiento en deflectores disipadores

e.3.- Maquinaria

La maquinaria mayormente empleada en estas obras de carácter temporal son:

- **Tractor de oruga y bulldozer**

De diversas potencias. La selección de esta maquinaria está en función al tipo de material del cauce, su amplitud y máximos caudales, del río. Se recomienda el tipo de tractor según las características del rio.

Sección de río m	Tipo de Material		Potencia HP
10 - 30	Cantos pequeños	2 a 5 cm.	40
	Cantos	15 a 40 cm.	200 - 300
30 - 90	Cantos pequeños	2 a 5 cm.	200
	Cantos	15 a 50 cm.	300 - 400
100 0	Cantos	2 a 60 cm.	450

- **Excavadora**

  Esta maquinaria logra en forma eficiente dar la profundidad del cauce proyectada, siendo un complemento ideal la labor del tractor de oruga para la limpieza del cauce; la potencia y características son:

Sección de río m	Tipo de Material	Potencia HP	Cucharón
10 - 30	Canto 2 a 5 cm	50 - 80	0.42Y³
			Canto 15 a 40 cm
		110 - 130	1.5 Y³
30 - 90	Canto 2 a 5 cm	110 - 130	1.8 Y³
	Canto 15 a 40 cm		
100 - 200	Canto 2 a 60 cm	150 - 190	2.5 Y³

- **Tractor sobre llantas y Bulldozer**

  Esta maquinaria es recomendable para ser usada en cauce con predominio de material fino y no muy consolidado. Existen de diversas potencias, son muy rápidos y pueden efectuar una adecuada limpieza de cauce, dentro de los términos indicados. Existen desde los 220 HP hasta 450 HP, con bulldozer de un ancho de 3.65 a 4.6m.

7.7.2. Obras permanentes

El mantenimiento en estas estructuras de defensa de carácter permanente debe ser efectuado con mayor cuidado y en forma anual durante y después

de las avenidas, de tal forma que en el próximo período de crecidas del río, estas obras mantengan su carácter de defensa; de no efectuarlo, la obra se irá deteriorando gradualmente hasta terminar erosionada. Se recomienda en términos genéricos un costo de mantenimiento cercano al 1% del valor total de la obra, lo que garantiza que el periodo de vida del proyecto sea real; por lo tanto es conveniente efectuar una evaluación de necesidades (cuadros Nº 3, 4 y 5) y su programación de ejecución (cuadros Nº 6 ,7 y 8).

Cuadro Nº 5.- Evaluación de necesidades de mantenimiento

Infraestructura : Defensa ribereña.
Sistema : Permanente.
Obra : Enrocado - volteo.
Nombre :

Fecha : Responsable :

Progresiva	Arreglo uña		Plataforma		Enrocado		La vía acceso dique
	Corte (□□□□)	Relleno (□□□□)	Encimado (□□□□)	Lastrado (□□□□)	Uña (□□□□)	Cara Húmeda (□□□□)	Dique (□□)
TOTAL							

Arreglo Gaviones	Arreglo de estructuras de concreto				Arreglo de deflectores			
	Armado		Ciclópeo		Uña	Terraplén		Gaviones
COLCHÓN (□ □)	BASE (□ □)	MURO (□ □)	BASE (□ □)	MURO (□ □)	ROCA (□ □)	ENCIMADO (□ □)	ROCA (□ □)	CAJAS (□ □)

Cuadro Nº 6.- Evaluación y necesidades de mantenimiento de defensas

Infraestructura : Defensa ribereña
Sistema : .. ..
Obra :
Nombre :

Fecha : .. ..
Responsable :

Progresiva	CAJA (□²)						

Cuadro Nº 7.- Programación de necesidades de maquinaria y materiales para el mantenimiento
Enrocado

Infraestructura defensas ribereñas (
Sistema :
Obra :
Nombre :

Fecha :
Responsable :

Uña		Terraplén		Maquinaria				Equipo	Materiales		Mano De Obra	Fecha de ejecución	
Excava. ( )	Llenado ( )	Encimado ( )	Rev. ( )	Trac. ( )	Excava. ( )	Carg. ( )	Volq. ( )	Compr. ( )	Río ( )	Roca ( )	Jornales	Inicio	Término

Progresiva						

Absalón Vásquez-Abel Mejía-Jorge Faustino-Rubén Terán-Issaak Vásquez-Jorge Díaz-Cristian Vásquez-Andrés Castro-Manuel Tapia-Julio Alcántara

Cuadro Nº 7.- Programación de necesidades de maquinaria y materiales para el mantenimiento Gaviones y concreto

Infraestructura : Defensas ribereñas
Sistema :
Obra :
Nombre (

Gaviones-materiales				Concreto-materiales y mano de obra									Fecha de ejecución	
				Concreto armado				Concreto ciclópeo				Equipo		
Cajas	Alambre	Colchón	Mano obra Jornales	Agreg.	Cemento Bolsas	Fierro	Mano de obra Jornales	Agreg.	Cemento Bolsas	Piedra	Mano de obra Jornales	MEZCLA.	Inicio	Final

Progresiva						

a. Diques enrocados

Se destaca por disposición de la roca tanto en la cara húmeda, como en la uña de estabilidad, dos tipos roca colocada y al volteo, las recomendaciones más relevantes se indican:

- **Durante el período de avenidas**
  - Se efectuará una observación continua a la estructura, sobre todo cuando estas obras son nuevas; de percatarse la pérdida de roca se procederá a restituirla; mayormente esto se da con más incidencia en diques con roca al volteo, (ver figura Nº 37).

  - Los diques que no cuentan con uña de estabilidad requieren tener un equipo de enrocado en forma estable para adicionar roca en cuanto se detecte desprendimiento del talud, caso contrario la defensa terminará destruida. Esto ocurre en gran parte de las obras efectuadas, por falta de un adecuado criterio técnico de diseño y ejecución de las mismas, (ver figura Nº 38).

  - En cantera se debe proveer la preparación de roca antes de las avenidas, con el fin de poder ser empleadas en casos de emergencia. En las recientes avenidas en algunos valles la falta de roca ha originado desbordes con graves consecuencias.

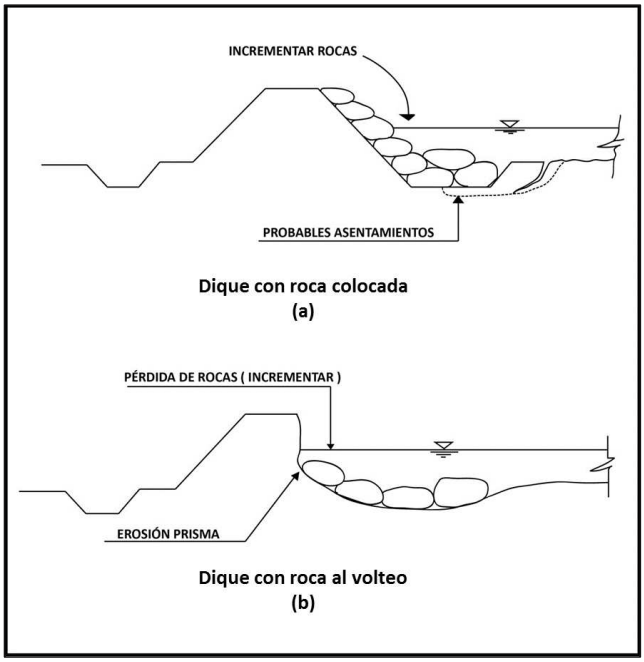


Figura N° 37.- Mantenimiento en diques durante las avenidas

- **Después de las avenidas**

  Terminado el periodo de avenidas, se deberá efectuar las siguientes recomendaciones.

b. Diques con roca colocada

- Es necesario verificar la estructura en su conjunto, especialmente la uña de estabilidad, pueda que existan tramos donde la profundidad ha sido mayor a la calculada, siendo necesario en este caso adicionar roca y consolidarla.

- Revisar el revestimiento de la cara húmeda y completar la roca faltante, esto con el empleo de cargador frontal o grúa.
- Verificar la existencia de hundimientos de la plataforma, esto suele ocurrir en algunos tramos, sobre todo en estructuras nuevas; de existir depresiones se efectuará el relleno y compactado del material de préstamo (río).

- Se recomienda sembrar arbustos y carrizo en la cara húmeda entre las rocas, para así darle mayor firmeza al dique.

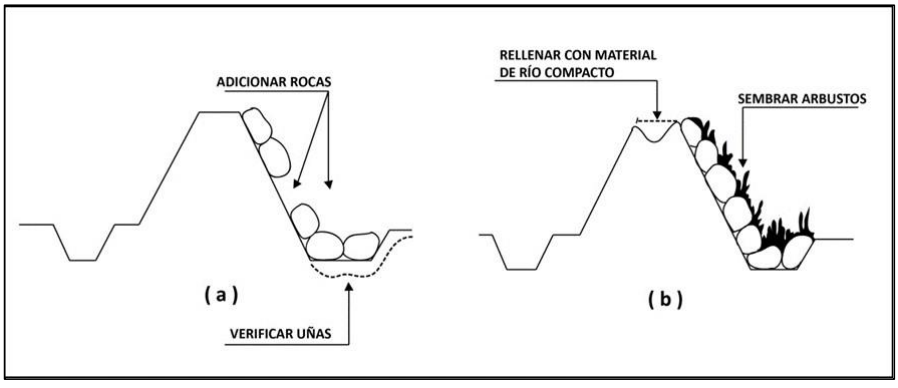


Figura N° 38.- Mantenimiento de diques con roca colocada

c. Diques con roca al volteo

Para mantener los diques enrocados con roca puesta al volteo, concluidas las avenidas, por lo general es necesario:

- Si no tienen uña de estabilidad en corte, hay que hacerla y llenarla con roca pesada.

- Los tramos que han trabajado por mayor incidencia del flujo central del río durante las avenidas, si no han sido erosionados quedan sin roca, por lo cual deberá ser revestida la cara húmeda con la roca faltante, colocada con empleo de cargador frontal, grúa o retroexcavadora con estrobos. (Ver Figura N° 39 b)

- La plataforma al carecer de uña de estabilidad, queda demasiada alta ó cubierta por el material de río, debiendo en este caso efectuar el encimado de la plataforma con empleo de cargador frontal y volquetes (2). Cuando las obras de defensa no han tenido un diseño y ejecución bajo las normas técnicas del caso, el mantenimiento prácticamente es sólo para enmendar errores. (Ver figura N°39 a)

- Se recomienda al término de las avenidas seccionar cada 20 m, para luego efectuar un perfil longitudinal, secciones transversales y planilla de movimiento de tierras, para así establecer el volumen de material de relleno y roca faltante.

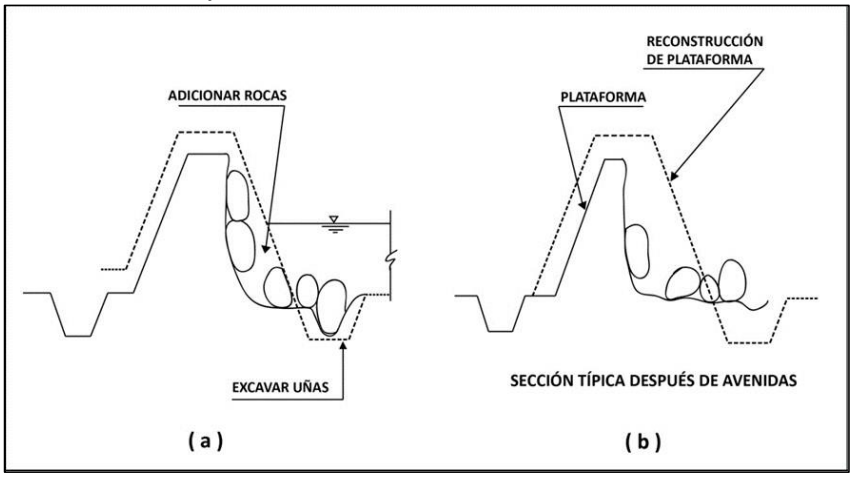


Figura N° 39.- Mantenimiento de diques con roca al volteo

- **Maquinaria y equipo**

Se recomienda para estas actividades contar con el equipo mínimo como

- Tractor de oruga y bulldozer para acumulación de material y conformación de plataforma erosionada.
- Cargador frontal y volquetes.
- Tanto para el encimado de plataforma con material de río como para el transporte de roca pesada de cantera, las características serán:

- **Encimado Plataforma o Prisma**

- Cargado frontal 150 – 200 Hp, de 3.5 – 4 m^3 de capacidad
- Volquetes 10 – 15 m^3

La explanación del encimado se efectuará con el tractor de oruga, que actuará como compactador.

- **Carguío, transporte y colocado de roca**
  - Cargador frontal 200 – 250 HP, 4 – 6 m^3 de capacidad
  - Volquetes 10 – 15 m^3

El número de unidades está en función a la distancia existente entre el dique y la cantera.

- Compresora y martillos (2) para la preparación de roca.
- Excavadora para la apertura de uña, también puede efectuar el revestimiento de la roca.
- Excavadora puede efectuar el acomodo ó colocado de roca, de programarse adecuadamente los tiempos de operación.

d. Gaviones

Después del período de avenidas es conveniente realizar una revisión de la estructura, desde el anclaje, caja, amarres y colchón antisocavante, rupturas, etc. recomendándose lo siguiente:

e. Espigones

En estas estructuras gavionadas cortas, es necesario tener en cuenta:

- Que los anclajes apoyados sobre terreno estén cubiertos con material de río.
- Que no existan rupturas en las mallas de alambre del gavión, de detectarse efectuar el cosido o amarre.
- La unión entre el gavión y colchón así como entre gaviones debe controlarse, dando los ajustes convenientes.
- Se recomienda sembrar especies arbustivas sobre el espigón y su apoyo para consolidar su estabilidad, (ver figura N° 40).

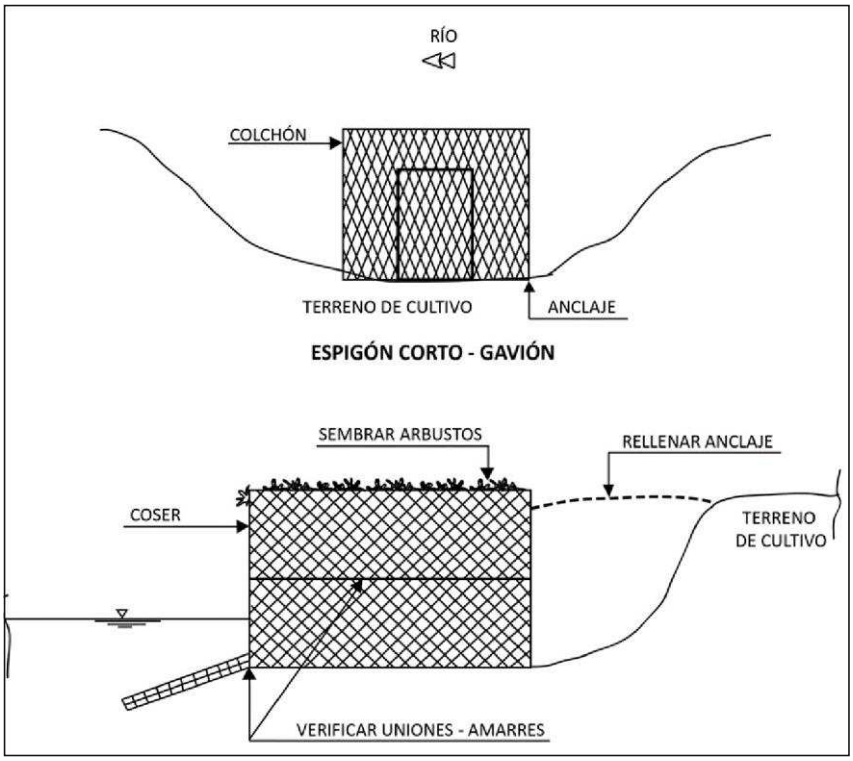


Figura N° 40.- Mantenimiento en espigón corto de gaviones

f. Gaviones continuos

- Controle la verticalidad y comportamiento de la estructura, puede existir alguna inclinación en algún tramo; si ésta es notoria, debe optarse por corregirla, ya sea con empleo de maquinaria o descargando el gavión.
- Revisar las mallas de los gaviones, sobre todo que no existan rupturas, de encontrarse es necesario coser o amarar con empleo del mismo tipo de alambre.
- Donde se producen rupturas de malla, por lo general los cantos o piedras disminuyen, en este caso deberá llenarse el material faltante y luego coser. (Ver Figura N° 41)
- Controlar que las uniones, gavión con gavión y gavión con colchón antisocavante estén en buenas condiciones, de haber alguna separación deberá asegurarse estos amarres.
- Las estructuras de gaviones que son cubiertas o rellenadas en sus espaldones, permiten la circulación de vehículos, y permiten un mejor comportamiento al empuje horizontal del flujo.
- Se recomienda en obras nuevas que pasada las avenidas, se debe sembrar especies arbustivas para consolidar la estructura.

- Conviene que terminada la construcción de gaviones, éstos sean enterrados con material de río, para evitar que las mallas sean cortadas por acción de la mano del hombre.
- Los gaviones que no llevan la estructura antisocavante son de fácil erosión, esto origina que se les tenga poca confiabilidad como estructura de defensa; en tal sentido, si después de las avenidas han quedado en pie debe colocárseles el colchón antisocavante.
- Complementariamente se puede efectuar una limpieza de cauce, para uniformizar el flujo que discurre por las estructuras, con mayor incidencia al término de las defensas, para evitar erosiones a zonas no protegidas.
- Puede ocurrir que por falta de anclaje, sea erosionados por la cara seca, por lo cual se requiere anclar el punto de inicio y restituir los tramos volteados.

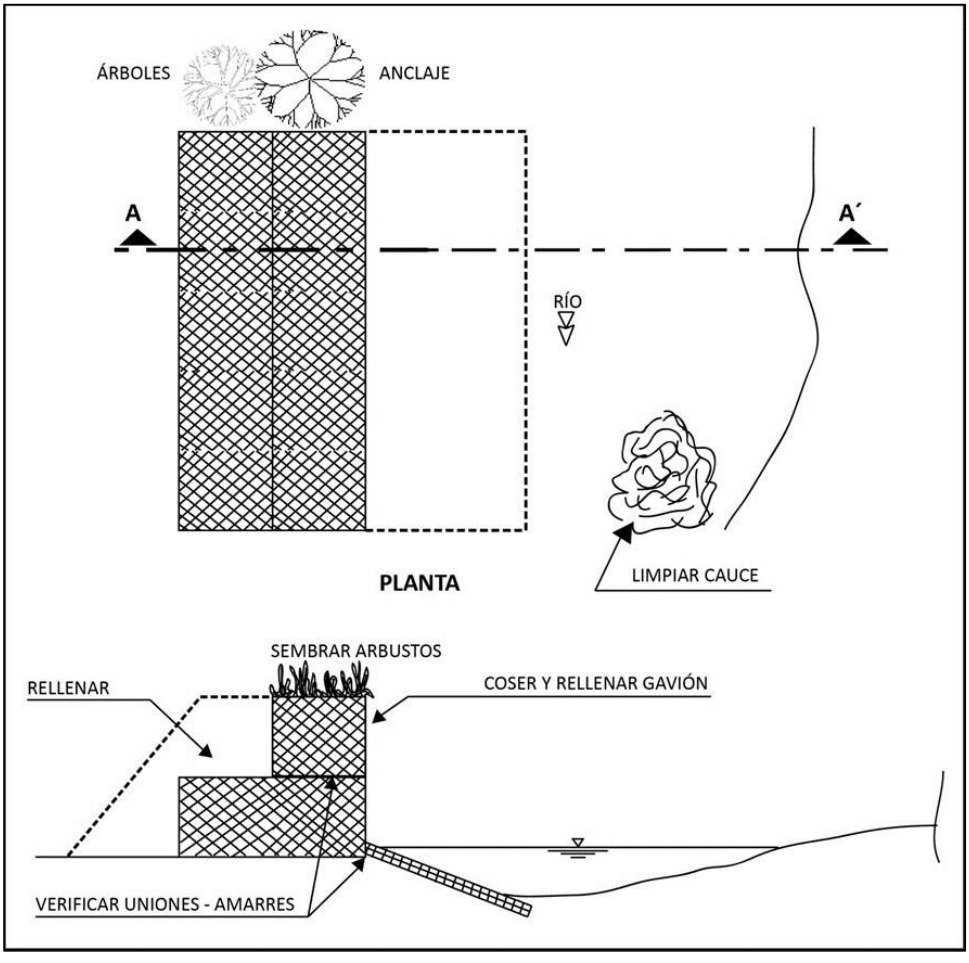


Figura N° 41.- Mantenimiento en gaviones continuos

- Se deberá tener cuidado con la especie arbustiva que se coloque, que no tenga raíces y troncos demasiados gruesos, porque éstos pueden romper la malla y desestabilizar la defensa.

g. Muros de concreto

- **Concreto armado**
  El mantenimiento de este tipo de estructuras de defensa, que predominan en ciudades, debe considerar (ver figura N° 42):

  - Un control sobre la verticalidad del muro, si no existe, se debe establecer la causa de la misma; por lo general se debe a procesos de socavación, consecuentemente será necesario protegerlo con el colocado de roca al pie del muro. Este cuidado debe tenerse durante y después de las avenidas.

  - Después de la época de avenidas es importante inspeccionar la base del muro en su cara húmeda y verificar la altura alcanzada por la socavación, si ésta ha dejado descubierta la base, (ver figura N° 42).

  - Será necesario efectuar el relleno con roca o estructura antisocavante.

  - Si existen fracturas o rajaduras en el muro, las mismas que pueden ser por asentamientos normales, se procederá a resanarlas.

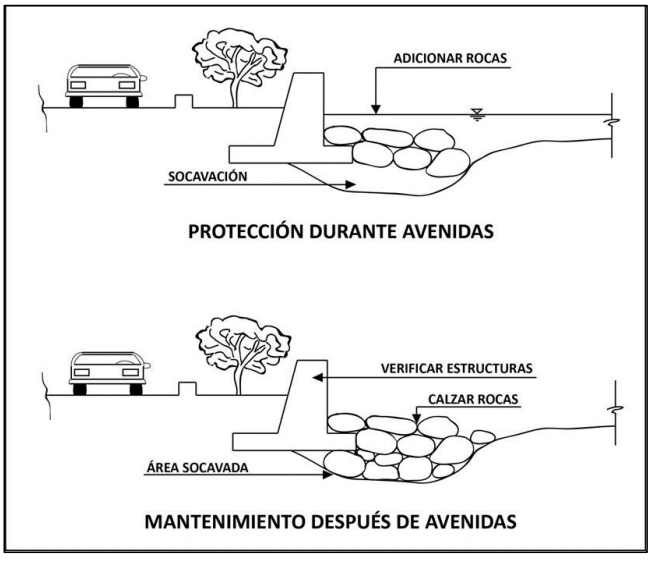


Figura N° 42.- Mantenimiento en muros de concreto armado

- **Concreto ciclópeo**

En los muros de concreto ciclópeo deberá tenerse especial cuidado en lo siguiente:

- Son estructuras que colapsan cuando su cimentación no está dentro de la profundidad de socavación, existen muchos ejemplos al respecto. Las estructuras de gravedad si no cuentan con un antisocavante o la cimentación no se funda sobre la profundidad de socavación, no son estables. Por tal razón, esto implica que las obras a ser volteadas, en este caso, se debe adicionar roca pesada en los sectores afectados. (Ver figura N° 43)

- Se recomienda después de las avenidas proceder a calzar o proteger la base de la cara húmeda del muro.

- La cara seca de los muros debe rellenarse con material propio y sembrado con arbustos de raíces profundas.

- Si existen tramos hundidos o fallados, deberán ser restituidos, teniendo en consideración la profundidad de cimentación.

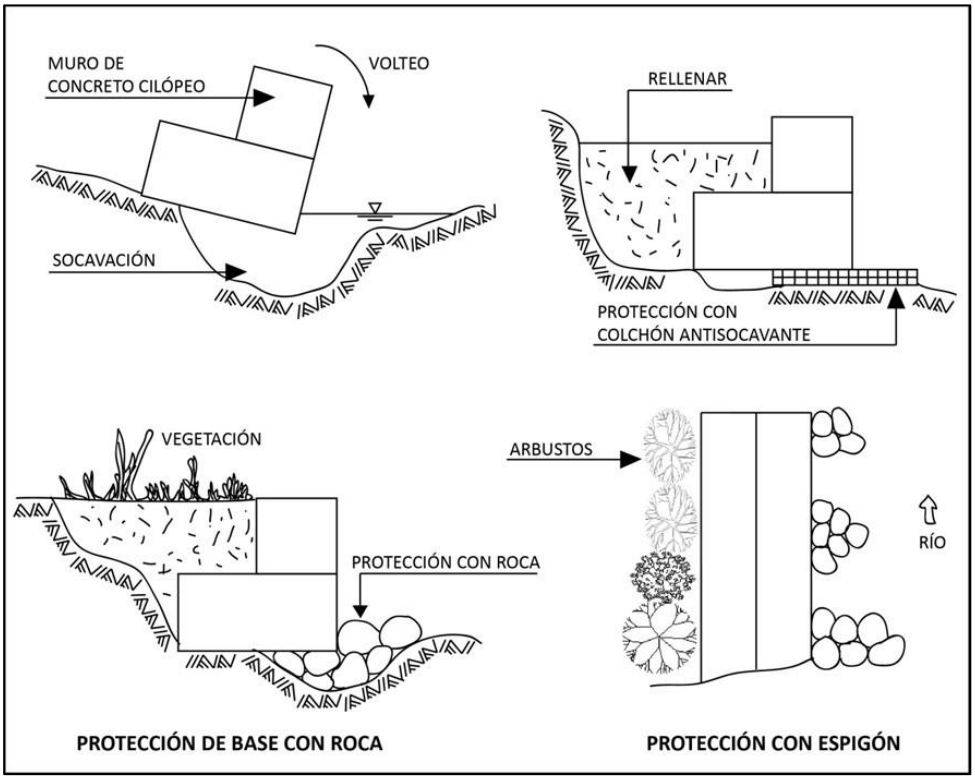


Figura N° 43.- Protección de muros de concreto ciclópeo

- **Dados de concreto**
  - Estas estructuras, que se van hundiendo por su propio peso, hace necesario que durante el período de avenidas, se debe contar con un equipo de concreto para cualquier emergencia, siendo ésta una de sus limitaciones, caso contrario pueden ser erosionados. De ahí que en su construcción, la base inicial debe contar con una protección para la socavación.

  - Su funcionamiento está determinado por los caudales de avenidas y la incidencia del flujo central sobre la estructura; al término del período de crecidas, en muchos casos no se puede precisar donde estuvo emplazada la obra, de ocurrir esto, se debe replantear su ejecución teniendo en cuenta los criterios indicados. (Ver Figura 44-a)

  - Después de las avenidas se debe colocar o encimar otro dado, teniendo siempre en cuenta el tirante máximo para la avenida extrema. (Ver figura N° 44-b). Se precisa que la primera hilada de

dados antes de las avenidas debe tener una altura superior al tirante máximo en un 40%.

- También es recomendable rellenar los espaldones con material de río y forestarlos.

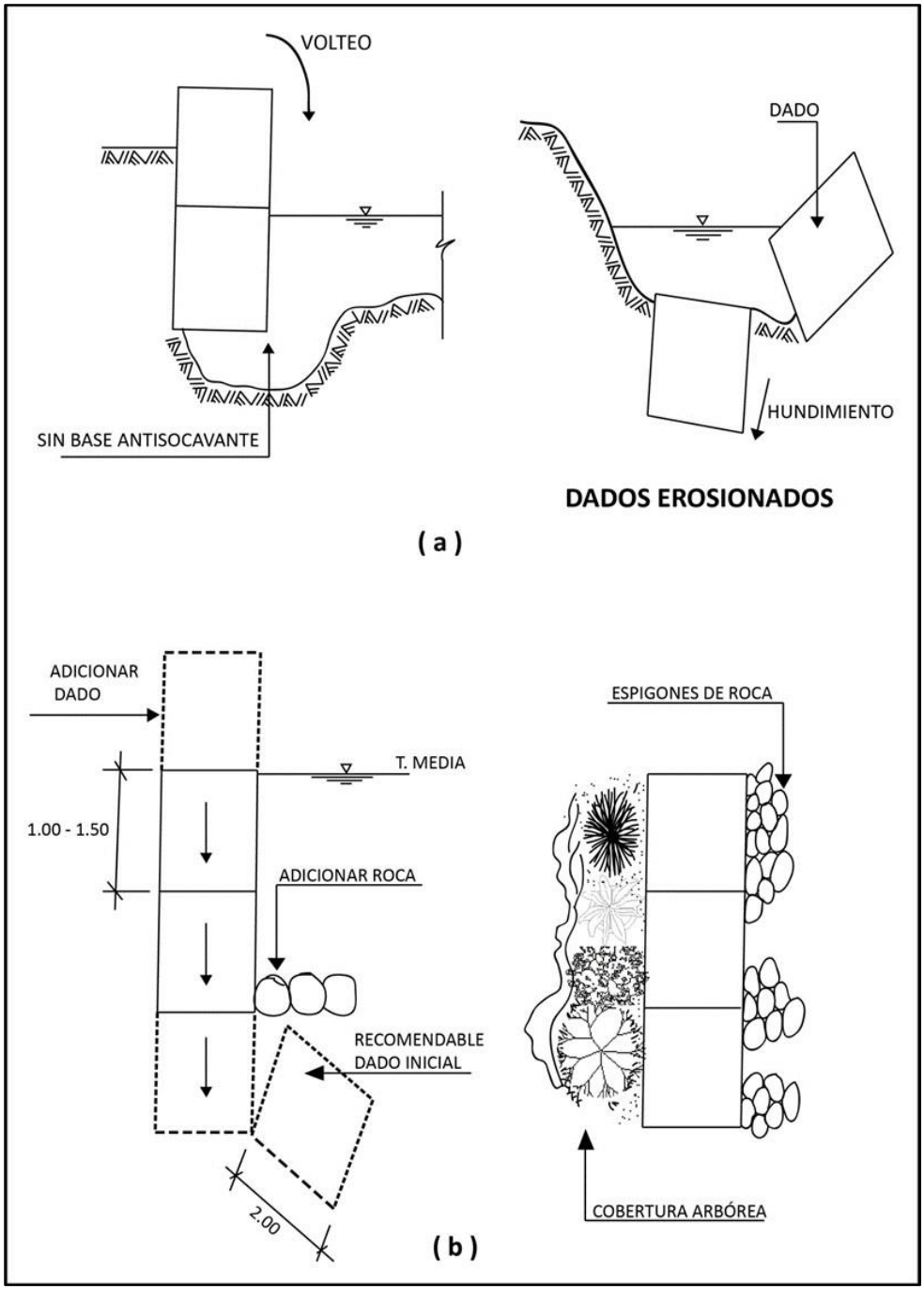


Figura N° 44.- Cuidados y protección de dados de concreto

- **Tetrápodos**
  Normalmente estas estructuras terminan enterradas en parte, logrando así afianzarse y disipar la acción erosiva del río. Su mantenimiento requiere: Efectuar una evaluación sobre su comportamiento, luego proceder a adicionar tetrápodos en sectores donde han sido enterrados, para consolidar la defensa. Una de las limitaciones de esta estructura es que puede evitar la socavación, pero no controla el tirante por encima de ésta. Efectuar un proceso de forestación tras estas defensas para darles mayor seguridad.

7.8. Evaluación, programación y ejecución

Para una correcta labor de mantenimiento de infraestructura, es necesario efectuar una evaluación del estado de los sistemas, y en base a éstas, programar las actividades de mantenimiento, de tal forma se concreticen los objetivos fijados. Así:

7.8.1. Evaluación

Esta debe ser permanente, para verificar el funcionamiento del sistema de defensas, siendo necesario recopilar información pormenorizada al respecto.
La evaluación debe traducirse en establecer las necesidades producto de las mediciones efectuadas en el campo. En cada capítulo se adjuntan los cuadros correspondientes.

7.8.2. Programación

Conocida la situación del sistema, producto de la evaluación, se efectuarán los requerimientos en materiales, maquinaria, equipo y mano de obra, así como los metrados correspondientes. Estos requerimientos estarán en función a lo que se pueda ejecutar en el tiempo previsto del mantenimiento y la disponibilidad de los recursos, siendo conveniente establecer un consolidado para tal fin. Ver cuadro Nº 7).

7.8.3. Cronograma de ejecución

Para poder cumplir con los trabajos de mantenimiento establecidos, las necesidades y la disponibilidad de los recursos, se efectuará el cronograma de ejecución, donde se considerarán los plazos (ver cuadro

N° 7). Es conveniente tener un cronograma y tipo de mantenimiento, y programar que los materiales y equipos estén disponibles en lo posible.

Cuadro Nº 8.- Consolidado de necesidades de maquinaria y materiales para el mantenimiento

Infraestructura Defensa ribereña
Sistema :
Obra :
Nombre :

Fecha :
Responsable :
Responsable :

Maquinaria						Materiales de construcción							Mano de obra jornales	Fecha entrega
Tractor (□□□)	Excavadora (□□□)	Cargador F (□□□)	Volquete (□□□)	Mesd. (□□□)	Compr. (□□□)	Roca (□ □)	Agreg. (□ □)	Cemento Bolsa	Gavs. (□ □)	Colch. (□ □)	Alamb. (□□)	Tron. Nº		

Sector									

7.9. Mantenimiento y conservación vías de acceso

El mantenimiento adecuado y oportuno durante el periodo de avenidas a las obras de defensa ribereña, se logra cuando existen las vías de acceso idóneas que permitan durante las avenidas atender cualquier emergencia que se presente. Este aspecto es de suma importancia, pues he sido testigo de excepción, cómo en un valle, por no contar con una vía hacia el dique, éste terminó erosionado, con la consecuente pérdida económica y causar daños a los cultivos.

7.9.1. Separación entre vías

Considero que a nivel de valle deben fijarse, según la longitud de la defensas, vías de acceso a éstas, las mismas que pueden ser empleadas como trochas carrozables para sacar productos, ingreso de maquinaria, transporte vehicular, etc. a los predios colindantes. Se ha desarrollado y ampliado la frontera agrícola de los valles hacia los ríos, sin prever los daños que éstos iban a sufrir y la necesidad de construir defensas. Esta situación se observa tanto en la costa como en la sierra y selva.

Para valles amplios y de áreas significativas, con longitudes de defensa de 5 a 25 km. en ambas márgenes, deberá tenerse accesos cada 500 – 1000 m. Para valles pequeños con longitudes de defensa de 1 – 2 km, se recomienda por lo menos 2 accesos. Estas vías deben ser bien afirmadas para que permitan la circulación de vehículos pesados, (ver figura N° 45).

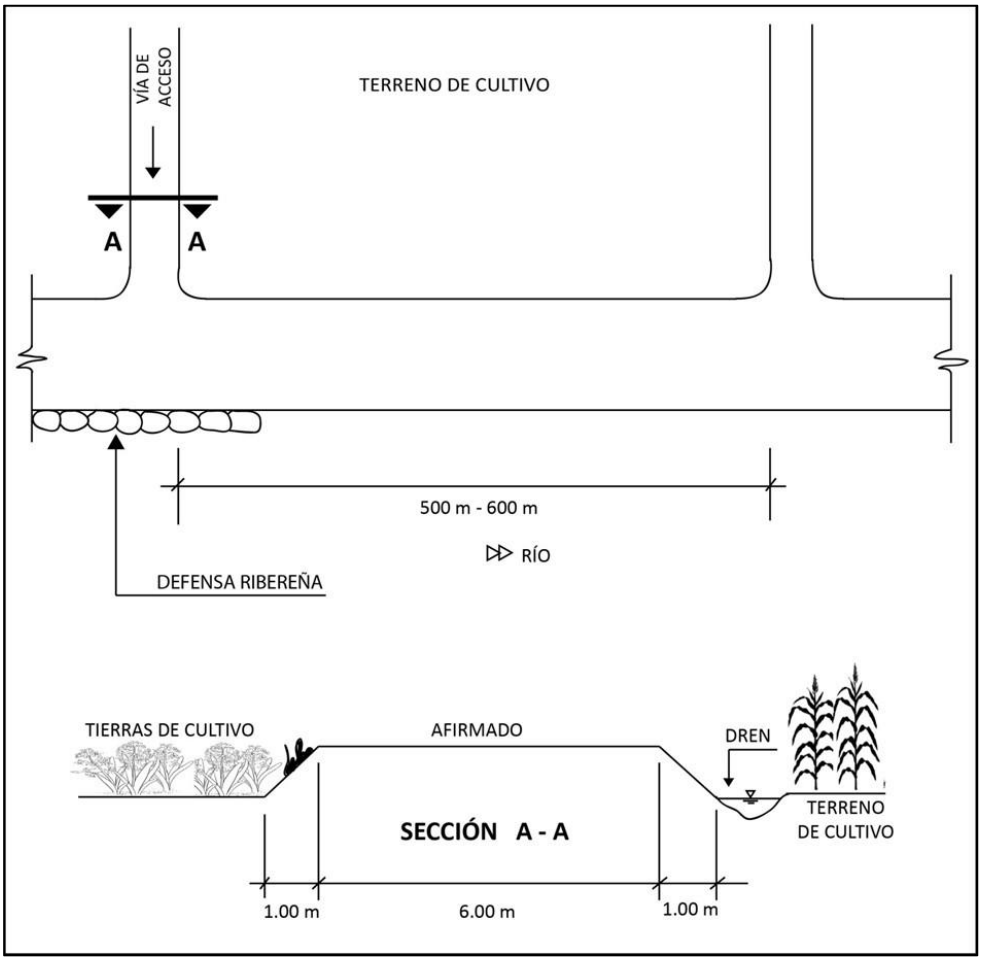


Figura N° 45.- Vías de acceso a obras de defensas ribereñas

7.9.2. Puentes y alcantarillas

El sistema de puentes y alcantarillas debe ser de concreto para soportar pesos mayores de 40 TM. (Volquetes con roca). Se debe dejar sobre anchos de vía, para el cruce vehicular.

Estas vías pueden ser efectuadas durante el proceso constructivo de las defensas, ya que éstas permiten abaratar los costos de la obra, sobre todo en la partida de transporte de roca.

7.9.3. Riesgos de no tener vías

Cuando el dique es cortado por algún tramo y no se tiene una vía de acceso, éste puede ser destruido, pues contar con un solo acceso, por lo

general al inicio de la obra de defensa, limita el tiempo de acción de protección. Las vías planteadas resuelven este problema, (ver figura Nº 46).

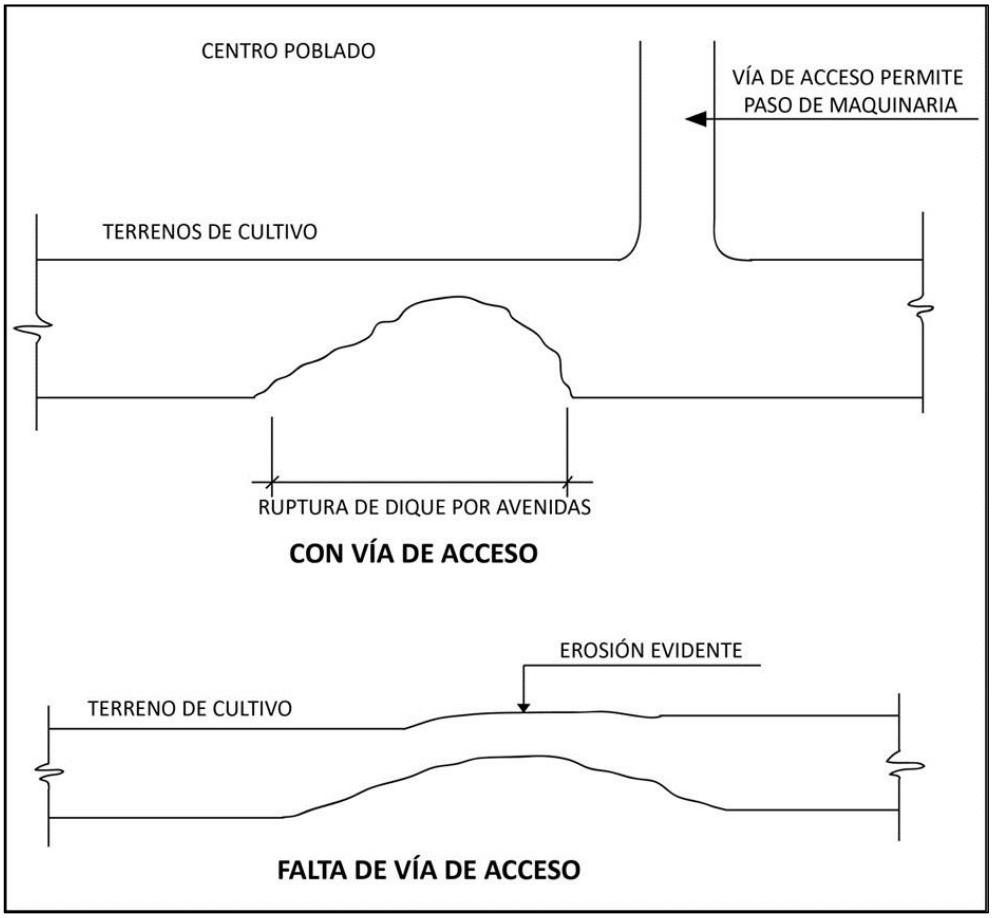


Figura N° 46.- Dique con y sin vía de acceso

7.9.4. Obras de defensa como vía alterna

La plataforma del dique se constituye en una vía de acceso alterna, por lo cual requiere tener un acabado final adecuado para la circulación

vehicular; en muchos casos se constituye en vía principal y genera desarrollo a sectores carentes de vías de comunicación, caso partes altas de los valles. Este tipo de vía ofrece mejores ventajas constructivas que vías por laderas rocosas o terreno suelto, tanto en su tiempo de ejecución, como en su costo, (ver figura N° 47).

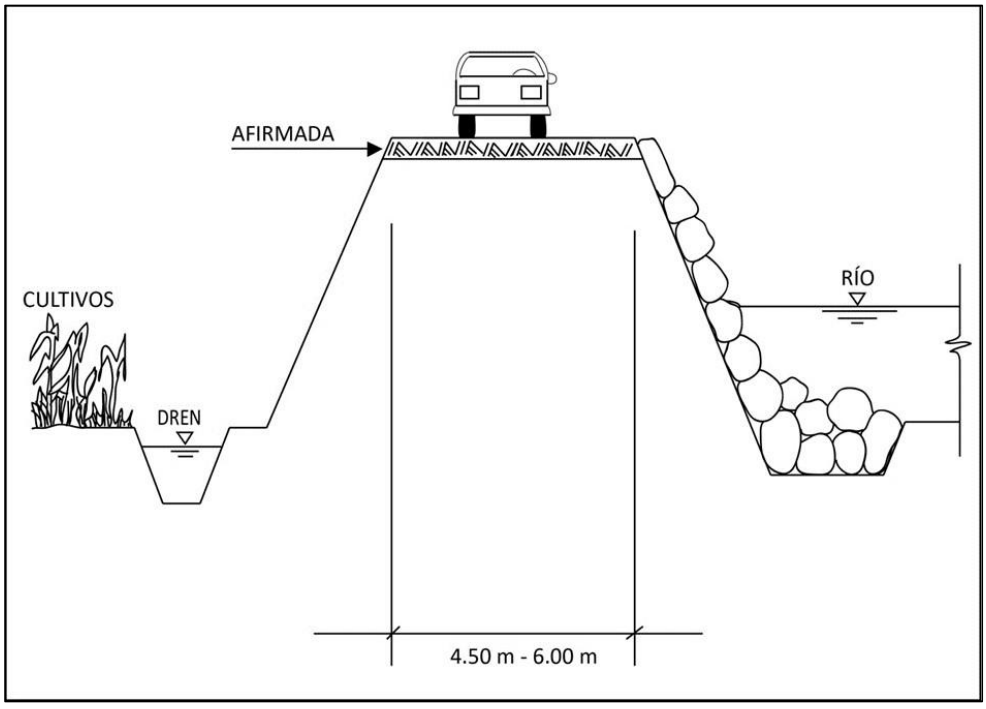


Figura N° 47.- Dique enrocado como vía alterna

7.10. Labores de prevención

Durante la gestión como asesor técnico de la Junta de Usuarios de Camaná por parte del Ph. D. Absalón Vásquez, se estableció algunas consideraciones sobre labores de prevención, la cual fue asumida con la responsabilidad del caso. Hay que aprender a convivir con la Naturaleza y sus fenómenos naturales, como son la avenidas de los ríos por fenómenos climatológicos, de este sabemos que la regla de oro es la prevención, para evitar desastres mayores, si no aplicamos esta labor pregunto ¿de qué nos lamentamos?

Por lo general antes del periodo de avenidas en las canteras había roca preparada para cualquier emergencia, los caminos de acceso a los diques conservados, se contaba con maquinaria como tractor D7G; adquirido en la gestión como presidente de la Junta de Usuarios de Don Horacio Valdivia Suarez. Hoy es imprescindible contar con un pool de Maquinaria, para esta labor de mantenimiento de diques y seguir encausando el río.

Existen varios sectores del valle de Camaná y en muchos otros valles, que requiere ser evaluados y corregir estas anormalidades, con profesionales idóneos y la experiencia del caso.

Recomendaciones

Las defensas ribereñas de carácter permanente como los diques enrocados, están sujetas a ser erosionadas, por lo siguiente:

- Cuando estas no han sido debidamente diseñadas y en su proceso constructivo no han sido supervisadas.
- Carecer de un mantenimiento adecuado que garantice su estabilidad.
- Cuando dentro del cauce del rio se efectúan labores agrícolas.
- No existen vías para efectuar acciones de controlar, evidentes ruptura de dique durante el periodo de avenidas.
- No contar con roca en cantera para periodo de avenidas y situaciones de emergencia.
- No asegurar las Bocatomas de carácter Rustico durante el periodo de avenidas y si son estructuras estables no tener el diseño adecuado.
- No corregir las puntas de cerros, efectuando voladuras, de tal forma se atenúa el efecto erosivo sobre los diques.

Estos son algunos aspectos que mayormente originan la ruptura de diques y el consecuente daño y erosión de terrenos de cultivo. Como lo ocurrido en Camaná y otros puntos del País, ante estas avenidas extraordinarias. Analizamos cada punto, a fin de que saquen las conclusiones del caso y se enmiende estos errores.

CAPÍTULO 8

COSECHA DE AGUA DE LLUVIAS EN CUENCAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS ALTO ANDINAS

En la actualidad, la población mundial supera los 7,200 millones de personas. De ellas, más de 2,000 millones viven en países que ya sufren de "estrés hídrico", es decir que tienen una disponibilidad per cápita de agua menor de 1,700 m^3/persona-año. Por otro lado, alrededor de unos 1,200 millones de personas de dicha población, adolecen de serias restricciones de agua para su propia supervivencia diaria y además, unos 900 millones de personas de esta población no tienen servicios de agua y desagüe.

Esta situación se agravará, pues para el año 2,050 la población mundial se estima que bordeará los 9,600 millones de personas y que para el año 2,100 superará los 11,200 millones; además, el mayor porcentaje de dicho crecimiento poblacional se presentará en los países más pobres, muchos de los cuales ya en la actualidad presentan serios problemas de falta de agua y por lo tanto dicha situación se les tornará crítica y más aún si se toma en cuenta las consecuencias de la alteración del ciclo hidrológico, producto del cambio climático que viene afectando a nuestro planeta. Toda esta situación de creciente falta de agua dará origen en unos casos y agravará en otros la presencia de grandes conflictos sociales, ambientales y políticos entre pueblos, regiones y naciones ubicadas especialmente en regiones áridas y semiáridas o en zonas con alta pendiente.

En el caso del Perú, de sus 3 regiones naturales con que cuenta, la costa es árida, la sierra es semiárida y la selva es tropical; la costa es la región donde se ubica la mayor cantidad de población y es la de mayor actividad y crecimiento económico y cuyo abastecimiento de agua depende fundamentalmente de las lluvias que caen en las partes altas de las cuencas (en la sierra) y de la explotación de las aguas subterráneas en las partes bajas de la cuencas y que su recarga depende de la infiltración de las aguas de lluvia en las partes altas y medias de estas cuencas ; en esta región se tiene actualmente un consumo per cápita promedio del orden de los 1,200 a 1,500 m^3/persona-año, cifra mucho menor que el límite considerado como estrés hídrico. Por otro lado, en la sierra se presentan las lluvias (400 a 1,300 mm/año) concentradas fundamentalmente durante los meses noviembre-abril, y en el resto del año es totalmente seco, aquí se tiene un consumo per cápita promedio que varía entre unos 400 a 900 m^3/persona-año, debido fundamentalmente a que gran parte del agua de las lluvias se escurren rápidamente hacia las quebradas y ríos para finalmente llegar al mar, al no ser captadas o retenidas por falta de reservorios, trabajos de

conservación de suelos y aguas, zanjas de infiltración o falta de cubierta vegetal en las partes altas y medias de las cuencas, todo lo cual ayudarían a infiltrar gran parte del agua precipitada. En la selva, la disponibilidad de agua no constituye mayormente un problema, salvo cuando el estiaje o falta de lluvias es pronunciado; aquí, el mayor problema es la contaminación de las aguas superficiales para uso poblacional, causante de muchas enfermedades y muertes. Toda esta situación de falta de agua se agravará en las próximas décadas por el constante crecimiento demográfico y económico que experimentará el país, pues para el año 2,050 los estimados de la población es de unos 46 millones y para el año 2,100 será de unos 52 millones de personas.

Ante este escenario sombrío y en base a las extraordinarias experiencias y trabajos de captación, manejo y conservación del agua desarrollados en la cultura incaica, así como a los resultados de décadas de experiencias de campo y a los diferentes trabajos de investigación llevados a cabo por profesionales o instituciones públicas y privadas, tanto nacionales como internacionales destacando entre ellas la Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Nacional de Cajamarca, Universidad Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz, Universidad San Cristóbal de Huamanga, Universidad Nacional del Centro, Universidad Nacional del Altiplano, Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cuzco, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, entre otras; las Cooperaciones Técnicas de Suiza, Bélgica, Holanda, Canadá, AID, GTZ, IICA, entre otras instituciones y las del propio ex_PRONAMACHCS (hoy Programa Agro Rural) sobre reforestación y pastos, conservación de suelos y aguas en la sierra, cosecha de agua en las partes altas y medias de las cuencas alto andinas y sobre manejo adecuado del agua de riego; además de experiencias en el manejo del agua de riego en la costa y el aprovechamiento de las nieblas para captar agua y aprovecharla en las necesidades humanas; se ha logrado sistematizar en el presente texto las valiosas experiencias sobre cosecha de agua de lluvia en regiones áridas y semi áridas del Perú, y que muchas de ellas son válidas para otras regiones similares del mundo. Además, se debe recalcar que es de vital importancias la decisión política de las autoridades del más alto nivel de un país o región para iniciar un agresivo programa de cosecha de agua de lluvia, conservación de suelos, siembra de árboles y repoblamiento de pastos desde las partes altas y medias de las cuencas altas andinas hacia abajo. Estamos seguros que los resultados que se obtendrían significará un incremento importante de la disponibilidad de agua, además de otros beneficios que generará, tanto en el aspecto social como económico y ambiental. Entre ellos, se pueden destacar:

- Mayor disponibilidad de agua de buena calidad en la época de estiaje.
- Generación masiva de empleo productivo.
- Generación de riqueza: leña, madera, alimentos, biodiversidad, entre otros.
- Regeneración y activación del ciclo hidrológico.
- Conservación de suelos y aguas.
- Mejoramiento del paisaje, del medio ambiente, de la biodiversidad y del

potencial turístico.

- Pago por los servicios ambientales: Bonos de Carbono, tarifas de agua para una mejor disponibilidad del recurso, entre otros.

En el 1,999 en el Perú, por decisión de las autoridades del gobierno de ese entonces se puso en marcha el programa **"SIERRA VERDE"** como parte del plan de trabajo del ex Pronamachs, el cual en su primera etapa contemplaba la siembra de 1 millón de hectáreas de árboles y la regeneración de pasturas, dichas áreas tratadas con zanjas de infiltración para la captación e infiltración del agua de lluvia en la sierra alto andina. Lamentablemente, a finales del año 2,001, dicho programa fue desactivado y los trabajos realizados hasta ese momento fueron totalmente abandonados por decisiones eminentemente políticas y no técnicas del gobierno de ese entonces. Evaluaciones realizadas posteriormente por el Banco Mundial y ESAN, en los años 2002 y 2003 determinaron que los resultados obtenidos en las áreas tratadas fueron de gran impacto a favor del mejoramiento del nivel de vida de la población lugareña beneficiaria del programa, tanto desde el punto de vista económico, social, ambiental y de una mayor disponibilidad de agua.

8.1. Técnicas para la cosecha del agua de lluvia

En las laderas de la sierra, ubicadas entre los 1,500 y 5,000 msnm, llueve en promedio entre unos 400 a 1,400 mm/año, concentrándose la mayor parte de estas lluvias durante los meses de diciembre a marzo. Estas precipitaciones representan un volumen de agua de unos 4,000 a 14,000 m^3/ha, de los cuales entre el 50 al 90 % se escurren rápidamente hacia las quebradas y ríos –debido a las condiciones topográficas y a la escasa cubierta vegetal de las laderas– y en consecuencia en la zona donde llueve quedará tan sólo entre 400 a 7,000 m^3/ha. Esto genera, entre otras consecuencias, una gran falta de agua en los meses de estiaje y la consecuente erosión de los suelos. Por lo tanto, es de vital importancia la cosecha o captación del agua de lluvia en las partes altas y medias de las cuencas y laderas a fin de disminuir o evitar la erosión hídrica y el rápido escurrimiento superficial hacia las quebradas y ríos. De esa manera, mejorará la disponibilidad de agua tanto para la actividad agropecuaria como para el consumo humano en la época de estiaje y sobre todo aplicando el pensamiento de un sabio chino que dijo hace algunos miles de año **"Quién controla las montañas, maneja los ríos".** En algunas zonas áridas de la costa peruana donde hay disponibilidad de nieblas se las deben aprovechar mediante técnicas adecuadas.

La puesta en marcha de un ambicioso plan como éste por parte del Estado, es de vital importancia para una región semi árida como la sierra alto andina o la región árida de la costa peruana, pues así se podrá tener más agua, base para el consumo humano y la generación de riqueza: bosque, pastos, agricultura, turismo, biodiversidad, medio ambiente, futuro turístico, entre otros beneficios. Esta captación o cosecha de agua se puede llevar a cabo principalmente mediante el desarrollo de las acciones que se plantean a continuación, pero que

requieren de una decisión política desde el más alto nivel del Estado para que puedan llevarse a cabo, pues se requiere disponibilidad de recursos económicos para poder llevarse a cabo dicho programa.

a. Construcción de pequeños y medianos reservorios de agua

A lo largo de toda la sierra alto andina, existen varios miles de configuraciones topográficas naturales –alrededor de 12,000– que reúnen las características adecuadas para ser convertidas y utilizadas como pequeños y medianos embalses o reservorios de agua que con relativamente pequeñas inversiones tendrían un gran efecto o impacto social, económico y ambiental, tanto en la zona de ejecución de la obra, como en zonas vecinas, especialmente en las partes medias y bajas de las cuencas. La capacidad de almacenamiento de estos reservorios puede variar entre 10,000 m^3 hasta unos 2 a 3 millones de m^3 cada uno de ellos en promedio. En las siguientes vistas, se presentan algunas muestras que ilustran objetivamente esta técnica de cosecha de agua en época de lluvia.



Quebrada típica de una zona alto andina con topografía adecuada para la construcción de reservorios



Reservorio Piedra Blanca: Hualgayoc – Bambamarca, Cajamarca (Volumen = 27,160 m^3)



Reservorio Segundo Tinajones: Hualgayoc–Bambamarca, Cajamarca (Volumen =

209,600 m^3)



Presa de tierra con enrocado: Comunidad Campesina Umpucu–Prov. Lampa – Región Puno



Presa de tierra Iskaiccocha, Comunidad Campesina Cuyuni– Prov. Quispicanchis –

Cuzco



Presa de tierra en Comunidad Campesina Machacca y Ccatscca –Prov. Quispicanchis–Cuzco



Mejoramiento del reservorio Chacshuña; Provincia de Huarochiri – Región Lima

b. Incremento de la capacidad de almacenamiento de lagunas naturales

A lo largo de la sierra en sus partes altas y medias, se encuentran ubicadas muchas lagunas naturales (de capacidad promedio entre 10,000 m^3 y que pueden alcanzar hasta unos 3 a 5 millones de m^3) que son utilizadas desde tiempos inmemoriales. Se puede incrementar significativamente la capacidad actual de almacenamiento de agua de estas lagunas mediante obras de encimamiento, con inversiones relativamente pequeñas, favoreciendo a los usuarios ubicados aguas abajo de la laguna. El impacto a lograrse será significativo tanto en el aspecto económico, social y ambiental.



Laguna Laranmayo – Provincia de Quispicanchis – Cuzco con potencial para encimamiento



Equipo responsable del estudio de la laguna Huacrachungo – Región Ancash



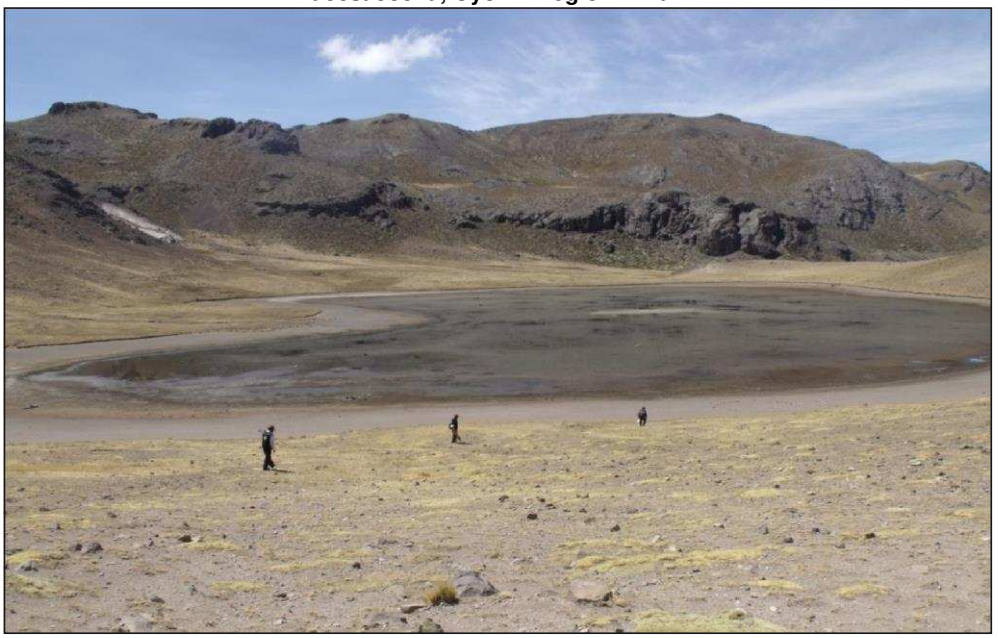
Laguna con capacidad para represamiento de agua, ubicada en la zona alto andina de la Región Lima



Lagunas altoandinas en serie, fácilmente encimables para incrementar su capacidad de Almacenamiento



Trabajos para incrementar la capacidad de almacenamiento de la laguna Laccsacocha, Oyón – Región Lima



Laguna Ajoyani, Comunidad Campesina K'omeruchu – Provincia Puno Volumen Actual = 156,800 m^3, Volumen Proyectado = 224, 686 m^3



Laguna Titilla, Comunidad Campesina Rumitia – Provincia Lampa – Puno Volumen Actual: 3'010, 729 m^3 Volumen Proyectado: 3'496'128 m^3



Laguna Saytoccha, Comunidad Campesina Rumitia: Provincia Lampa– Puno Volumen Proyectado: 9'539,780 m^3



Laguna ubicada en la zona alto andina de la provincia Bambamarca– Región Cajamarca



Lagunas naturales ubicadas en la Cordillera Blanca – Región Ancash



Laguna Pagoscocha, ubicada en la provincia de Huari – Región Áncash



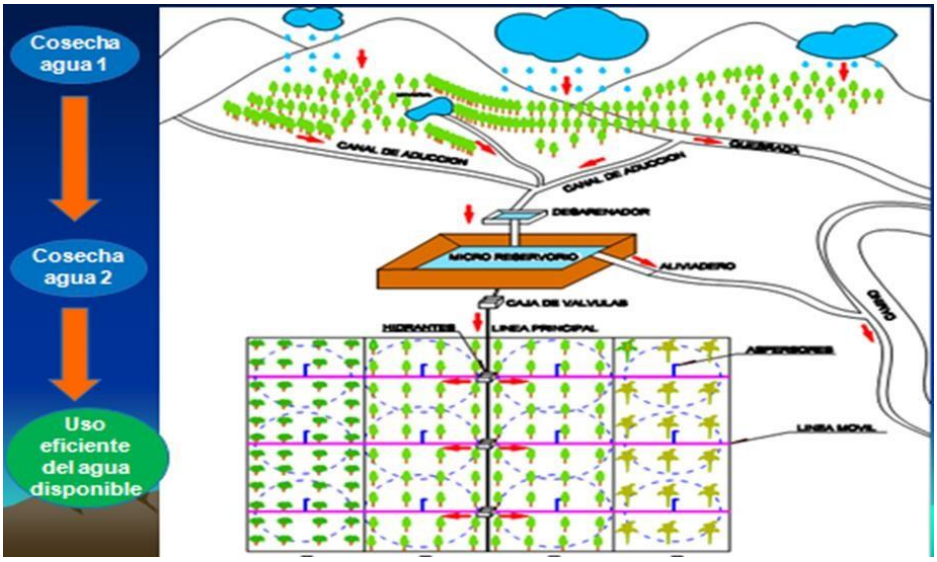
Laguna Hualgayoc, Provincia Bambamarca – Región Cajamarca



Laguna natural ubicada al pie del nevado Huascarán – Región Ancash

c. Construcción de mini reservorios y reservorios familiares

Una alternativa viable que puede ayudar a paliar el gran déficit de agua que sufren durante los meses de estiaje (mayo – octubre) gran parte de las familias asentadas en las partes medias y altas de las laderas de la sierra es mediante la construcción de mini reservorios y reservorios familiares, de capacidad de almacenamiento entre 600 – 3,000 m^3, los cuales son llenados durante la época de lluvia mediante la canalización de pequeños riachuelos o "hilos" intermitentes de agua que deberán ser conducidos hacia dichos reservorios. Estos pequeños reservorios pueden permitir a sus propietarios sembrar en época de estiaje y obtener cosechas adicionales así como también servirles para su uso doméstico y para alimentar su ganado. En este caso, es apropiado complementar el sistema de producción mediante el uso del riego por aspersión o goteo a fin de ahorrar agua y tener mejores rendimientos en la cosecha. Estas acciones son de gran impacto socioeconómico a favor de las familias campesinas de la zona al mejorar su disponibilidad de alimentos e ingresos familiares.



Esquema de cosecha, almacenamiento y aprovechamiento del agua de lluvia en laderas alto andinas mediante la construcción de un reervorio familiar



Trabajos iniciales de movimiento de tierra con maquinaria para la construcción de un reservorio familiar en zonas alto andinas



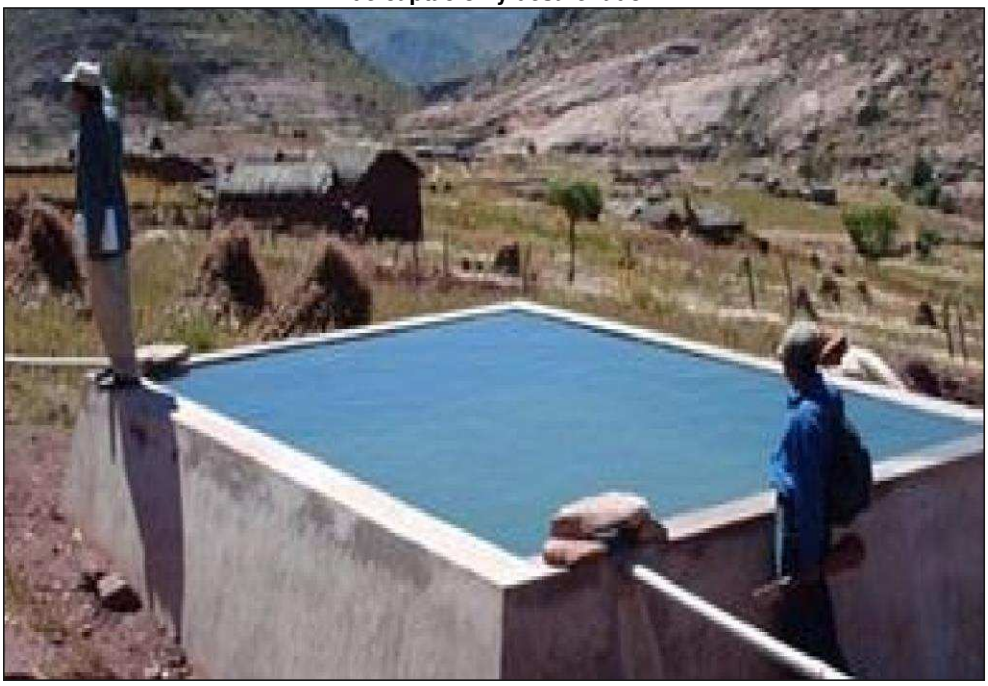
Reservorio familiar o mini reservorio ubicado en la Comunidad Campesina Quillihuara: Provincia Canas – Cuzco



Mini reservorio comunal construido con geomembrana en zona de sierra alto andina



Reservorio familiar en zona alto andina, cubierto con geomembrana con un sistema de captación y desarenador



Reservorio familiar construido con cemento en zona de sierra alto andina – Huancavelica



Mini reservorio comunal en pleno funcionamiento ubicado en zona alto andina



Pequeño reservorio comunal: Provincia Concepción – Región Junín



Mini reservorio con geo membrana, provincia de Churcampa – Región Huancavelica



Mini reservorio comunal ubicado en la provincia de Urubamba – Región Cuzco



Mini reservorio comunal ubicado en el distrito de Morochucos – Región Ayacucho



Reservorio familiar con desarenador a la entrada del reservorio ubicado en zona alto andina



Parcela de una familia campesina en producción mediante el aprovechamiento de las aguas de un reservorio familiar

d. Construcción de zanjas o acequias de infiltración

A lo largo de todas las áreas de pastos naturales, áreas de aptitud forestal y áreas de protección ubicadas en las zonas alto andinas, que en conjunto suman más de 30 millones de hectáreas y que se encuentran ubicadas en las partes altas y medias de las cuencas alto andinas, donde la precipitación promedio bordea entre los 400 a 1,400 mm/año; se pueden construir acequias, llamadas también zanjas de infiltración a fin de interceptar y captar el agua de escurrimiento superficial proveniente de las lluvias, para facilitar su infiltración, controlar la erosión de los suelos y humedecerlos más para favorecer la regeneración de la cubierta vegetal. El efecto de esta práctica es sumamente positivo desde el punto de vista económico, social y ambiental tanto para la zona donde se construyan como para la cuenca en su conjunto, pues con esta medida se logrará disponer de más agua en el estiaje, controlar la erosión y huaycos, además de ayudar a la regeneración de la cubierta vegetal, mejorando el paisaje escénico y la biodiversidad, así como también mejorando la producción de alimentos y las condiciones para un pujante ecoturismo.

Las zanjas de infiltración se construyen en sentido transversal a la pendiente máxima del terreno. Su construcción puede hacerse ya sea en forma manual o mecanizada con tractores agrícolas de por lo menos 100 – 110 Hp de potencia y sus respectivos implementos mecánicos. Las características hidráulicas promedio de las zanjas construidas manualmente y determinadas para la sierra peruana son: pendiente longitudinal cero, ancho de la base inferior entre 30 – 50 cm, ancho del borde superior entre 50 – 100 cm, una profundidad efectiva de zanja entre 30 –50 cm, pequeños tabiques de unos 5 a 10 cm de espesor y espaciados cada 10 a 20 m a lo largo de la zanja de infiltración y un espaciamiento superficial entre zanjas entre 10 a 15 m. La información básica utilizada para los cálculos de las características hidráulicas de las zanjas; se han obtenido de diversos trabajos de investigación en el campo realizados tanto por profesionales como por técnicos independientes, por universidades nacionales y por el propio PRONAMACHCS a lo largo de toda la sierra peruana. Un resumen de esta información básica es la siguiente:

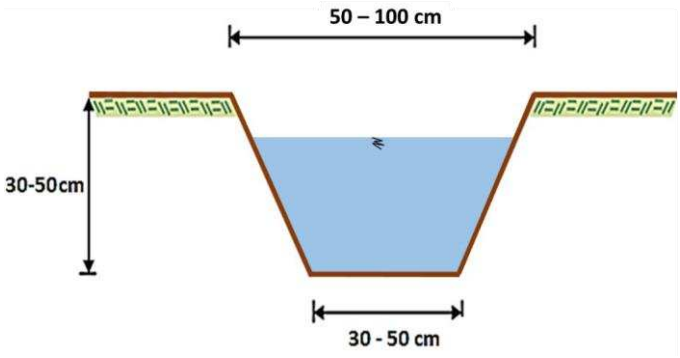
- Velocidad de infiltración básica según tipo de suelo :
  - Suelo arenoso : 0.100 m / hora = 1.67 mm/min - Suelo franco : 0.040 m / hora = 0.67 mm/min - Suelo arcilloso : 0.012 m / hora = 0.20 mm/min

- Intensidad máxima de precipitación (I_{max}) :
  - Período de retorno o frecuencia (F) : 25 años
  - Duración (D) : 60 min
  - Intensidad máxima (I_{max}) : 27.8 mm / hora

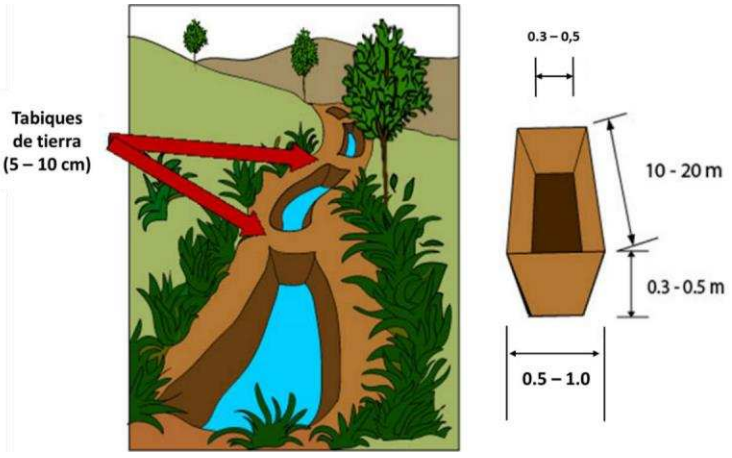
- Coeficiente de escorrentía superficial (Ce) : 0.5 – 0.9
- Pendiente de la ladera (%) : 15 – 70

Para mayor ilustración se puede resumir que, una hectárea en franco proceso de deforestación y sobre pastoreo avanzado, tratada con zanjas de infiltración espaciadas entre 10 a 15 m pueden infiltrar en promedio entre 3,000 – 7,000 m^3/ha-año, en zonas con precipitaciones promedio que van entre los 800 – 1,400 mm/año, dependiendo del tipo de suelo.

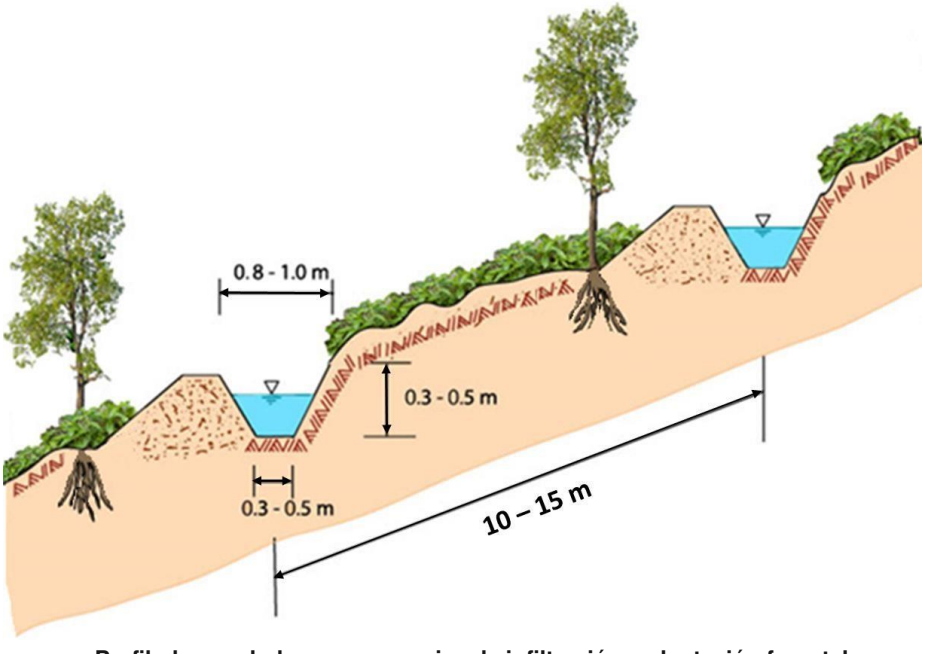
A continuación se muestra un esquema de una zanja de infiltración con sus características hidráulicas promedio y un esquema de un corte de una ladera con plantación forestal y con zanjas de infiltración construidas para la captación del agua de escurrimiento superficial.



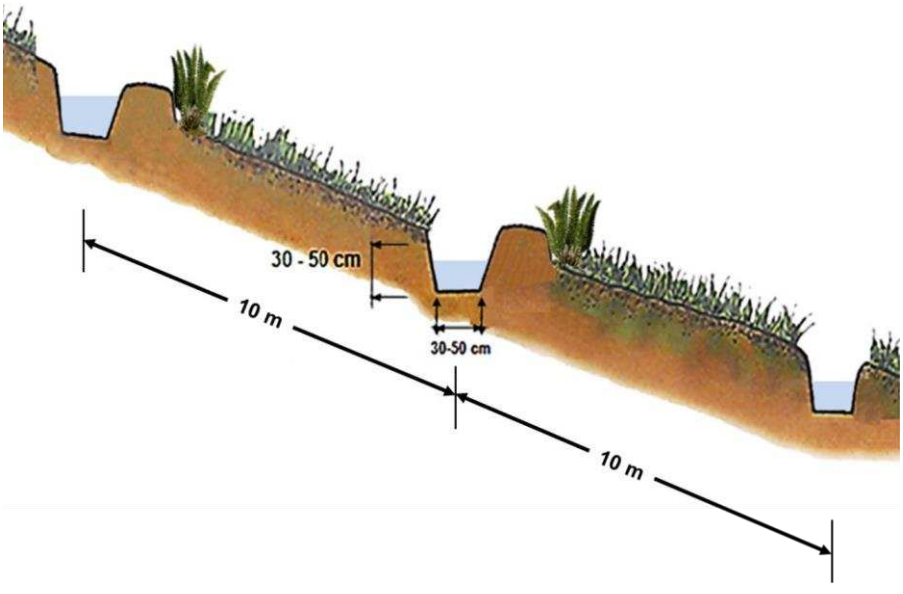
Características hidráulicas promedio de una zanja de infiltración construida manualmente



Vista en planta de una parte de ladera con acequias de infiltración



Perfil de una ladera con acequias de infiltración y plantación forestal



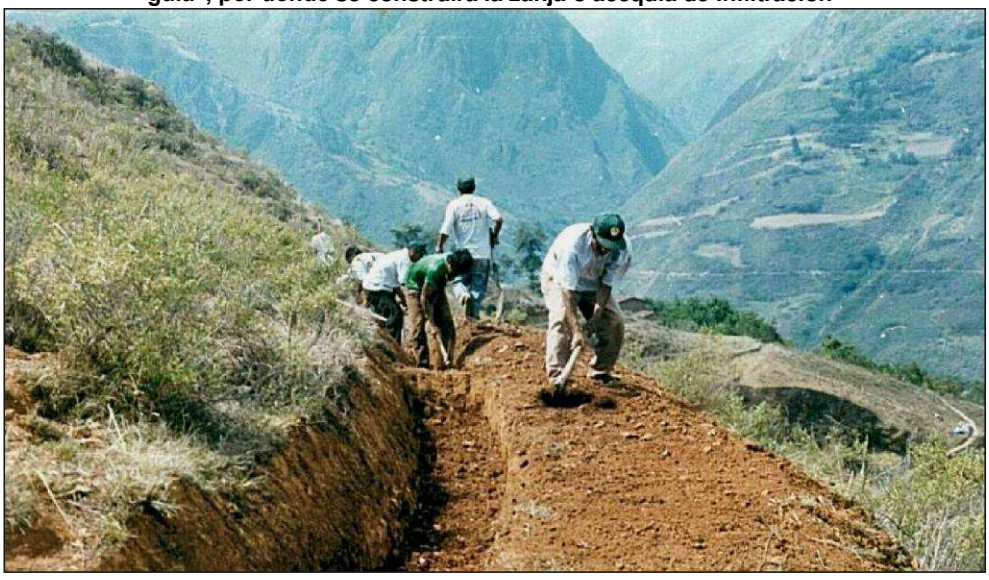
Corte de una ladera con plantación forestal y con acequias o zanjas de infiltración



Zanja de infiltración con tabiques, después de una lluvia



Familia campesina usando el nivel en "A" para trazar una línea base a nivel o "línea guía", por donde se construirá la zanja o acequia de infiltración



Grupo campesino en plena construcción manual de zanjas o acequias de infiltración



Grupo campesino descansando al final de la jornada de trabajo empleada para la construcción de zanjas de infiltración en zona de pastizales



Construcción mecanizada de una zanja de infiltración usando un tractor de 110 Hp



Medición del borde superior de una zanja de infiltración recién en proceso de construcción



Grupo campesino observando el comportamiento de una zanja de infiltración después de una lluvia



Campesinos observando el comportamiento de una zanja, después de una lluvia intensa



Zanja de infiltración en pastizales a 4,000 msnm después de una lluvia intensa



Comportamiento y efecto de las zanjas de infiltración en el crecimiento de pastos y la captación y retención de agua de lluvia

e. Forestación y reforestación

La forestación y la reforestación son actividades sumamente efectivas para el control de la erosión y para aumentar la infiltración del agua de lluvia, pues una plantación de árboles en ladera puede infiltrar hasta un 47% de la lluvia caída. Estas actividades serán mucho más efectivas si van acompañadas de la construcción de zanjas o acequias de infiltración, porque éstas captarán el agua de escurrimiento superficial y facilitarán su infiltración. Asimismo, redundarán en una mayor tasa de crecimiento de las plantas debido a las mejores condiciones de humedad del suelo, a una recarga de las aguas subterráneas, mejora del paisaje, de la biodiversidad, en la activación del propio ciclo hidrológico, a la aparición y recarga de manantiales, puquios u ojos de agua, ubicados normalmente en las partes me-dias y bajas de las cuencas; aparte de otros beneficios como la producción de hongos comestibles y la obtención de los Bonos de CO2, llamados también Bonos de Carbono, u otros servicios ambientales que tienen que implementarse a favor de las partes altas y me-dias de las cuencas, que son las zonas donde se producen las mayores precipitaciones y fuentes de agua. A continuación se muestran diversas vistas ilustrativas sobre la materia tratada.



Tala de árboles, camino a la deforestación en zonas alto andinas



Vivero Cochamarca, destinado a la producción de plantones para las acciones de forestación o reforestación –ADEFOR– Región Cajamarca



Vivero comunal ubicado en la sierra alto andina–Región Cajamarca



Vivero "El Tinte" con protección de plástico contra las heladas y granizadas para ayudar al crecimiento de las plantas– Región Cajamarca



Trazo y marcado de los puntos para hacer los hoyos para la plantación de árboles, provincia de Huamachuco –Región La Libertad



Apertura de hoyos para la siembra de plantones de árboles en una zona alto andina, provincia de Huamachuco – Región La Libertad



Trabajos de apertura de hoyos para una plantación forestal en una zona alto andina, provincia de Huamachuco – Región La Libertad



Traslado de plantones por dos campesinas para una plantación forestal en zona alto andina, provincia de Huamachuco, Región La Libertad



Traslado de plantones a mulo a una zona previamente hoyada para una plantación forestal, provincia de Huamachuco – Región La Libertad



Siembra de plantas de pino en un área de forestación – Provincia Huamachuco –Región La Libertad



Campesina con su bebé a la espalda en plena jornada de plantación de árboles, Provincia Huamachuco – Región La Libertad



Jornada estudiantil de siembra de plantones guiados por su profesora: Provincia de Luya – Región Amazonas



Comuneros en plena plantación forestal; Provincia Chachapoyas – Región Amazonas



Plantación forestal y pastos (complejo silvo pastoril) en zona alto andina – 4 años de edad, Provincia Huamanga – Región Ayacucho



Plantación forestal de pino de 7 años de edad en zona de sierra, región Cajamarca



Complejo silvo pastoril en zona de sierra, con árboles de 13 años de edad – Región Cajamarca



Sistema agro silvo pastoril en la zona de la Encañada – Región Cajamarca



Sistema silvo pastoril en zona de sierra, convertido en una esponja que capta el agua – Región Junín



Plantación de pino: Microcuenca Ventilla, Provincia Chachapoyas –Región Amazonas



Vista de un sistema silvo pastoril – Región Cajamarca



Vista de un sistema agro silvo pastoril – Región Cajamarca

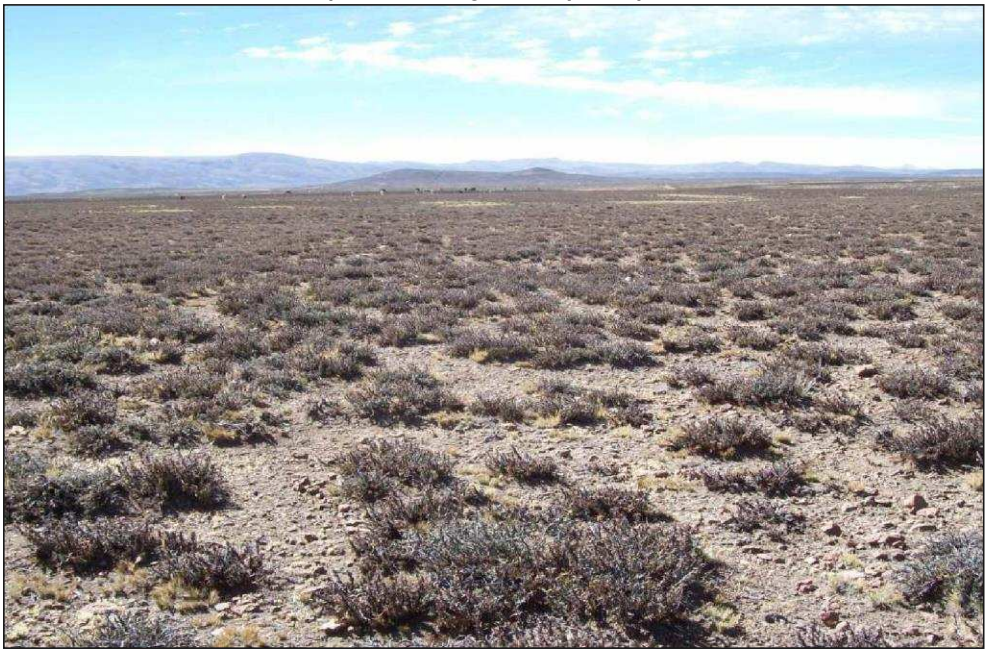
f. Regeneración o instalación de pastizales

La recuperación o instalación de los pastizales en las laderas de la sierra es una tarea fundamental que debe llevarse a cabo prioritariamente para facilitar e incrementar la infiltración del agua de lluvia, para el mejoramiento del suelo, para disminuir la erosión, mejorar e incrementar la cantidad de alimento para el ganado, mejorar el paisaje, la biodiversidad y regeneración del ciclo hidrológico. Esta actividad se verá muy favorecida si va acompañada de la construcción de zanjas de infiltración para captar el agua de escurrimiento superficial y facilitar su infiltración. Todo esto redundará en un mayor control de la erosión, en mejores condiciones de humedad del suelo y consecuentemente en la regeneración y producción de una mayor cantidad de pastos, mayor disponibilidad de agua en los puquios, manantiales u ojos de agua ubicadas en las partes medias y bajas de las laderas.

Es de remarcar que dadas las condiciones socio económicas de pobreza y pobreza extrema de gran parte de la población asentada en las partes medias y altas de las cuencas alto andinas, se debe considerar en muchos de los casos a los llamados sistemas silvo pastoriles, es decir áreas de pastos y forestales en siembra conjunta, por ser más atractivos y de mayor utilidad a muchas de las poblaciones asentadas en estas partes de las cuencas. En otros casos, se pueden utilizar los sistemas agro silvo pastoriles. Estas opciones dependerán de las características propias de las zonas donde se trabaje y de la situación socio económica de la población de la zona.



Área de pastos naturales en zonas alto andinas totalmente sobrepastoreadas y con mínima capacidad de carga animal para el pastoreo



Pasto natural alto andino (Kanllar), condición muy pobre, Kayapuma, Tarata, Tacna



Área de pastos naturales en zonas alto andinas con una mínima capacidad de carga animal



Pasto natural alto andino (Pajonal), condición regular, Ascención, Región Huancavelica



Pastizales con zanjas de infiltración y poblaciones de vicuñas localizado en la microcuenca Chincaycocha, Comunidad campesina San Pedro de Cajas – Región Junín



Regeneración y manejo de los pastos nativos en zona alto andina de Oyón – Región Lima



Vista de un bofedal ubicado en cabecera de cuenca en una zona alto andina



Regeneración y manejo de los pastos nativos de la zona alto andina; Cajatambo – Región Lima



Regeneración y manejo de los pastos nativos de la zona alto andina; Cajatambo – Región Lima



Pastizal en pleno proceso de regeneración y fructificación para luego cosechar semillas



Producción de pastos cultivados en la comunidad de Umpucuv – Provincia de Lampa - Región Puno



Sistema silvo pastoril con un buen manejo y mantenimiento en zona de sierra – Región Cajamarca

g. Construcción de terrazas de absorción y rehabilitación de andenes

Una práctica sumamente efectiva para controlar la erosión de los suelos en laderas y además captar y aprovechar el agua de lluvia que cae en una ladera lo constituyen las "terrazas de absorción" o los andenes, tanto en áreas con cultivos bajo riego o en secano, siendo las características de diseño ligeramente diferentes para uno u otro caso. Cuando se trata de áreas en secano, toda el agua que cae en la lluvia debe ser captada e infiltrada en el propio banco de cada terraza o andén, a fin de aprovecharla totalmente. En otros casos, también pueden ser utilizados para plantaciones de frutales o forestales en terrazas individuales o con una mayor área de captación de agua de lluvia, pues el agua es el elemento clave en las zonas áridas y semiáridas, a fin de asegurar su prendimiento y desarrollo.

Por otro lado también se construyen terrazas de absorción o andenes para recuperar o mejorar suelos en laderas, revalorándose y mejorando su capacidad productiva y consecuentemente su valor económico. A continuación se muestran terrazas en pleno proceso de construcción en laderas totalmente

degradadas así como también vistas sobre diferentes tipos de terrazas y andenes que se encuentran en plena utilización y que fueron construidos en el incanato.



Construcción de andenes en una ladera totalmente degradada en una zona alto andina



Construcción de terrazas de absorción en una ladera totalmente degradada para ser usada en cultivos de secano



Construcción de terrazas de absorción en laderas degradadas para cultivos de secano



Terraza de absorción en pleno proceso de construcción para ser usada en cultivos de secano



Terraza de absorción construida en zona alto andina, lista para la siembra de cultivos en secano



Limpieza y rehabilitación de andenes abandonados en zonas alto andinas; Región Lima



Terrazas de formación lenta en plena construcción, para cultivos de secano en una zona alto andina



Sistema de andenerías incaicos con escalera, en actual uso en la producción de cultivos



Laderas con andenes incas en actual uso en la producción de alimentos ubicadas en zonas alto andinas



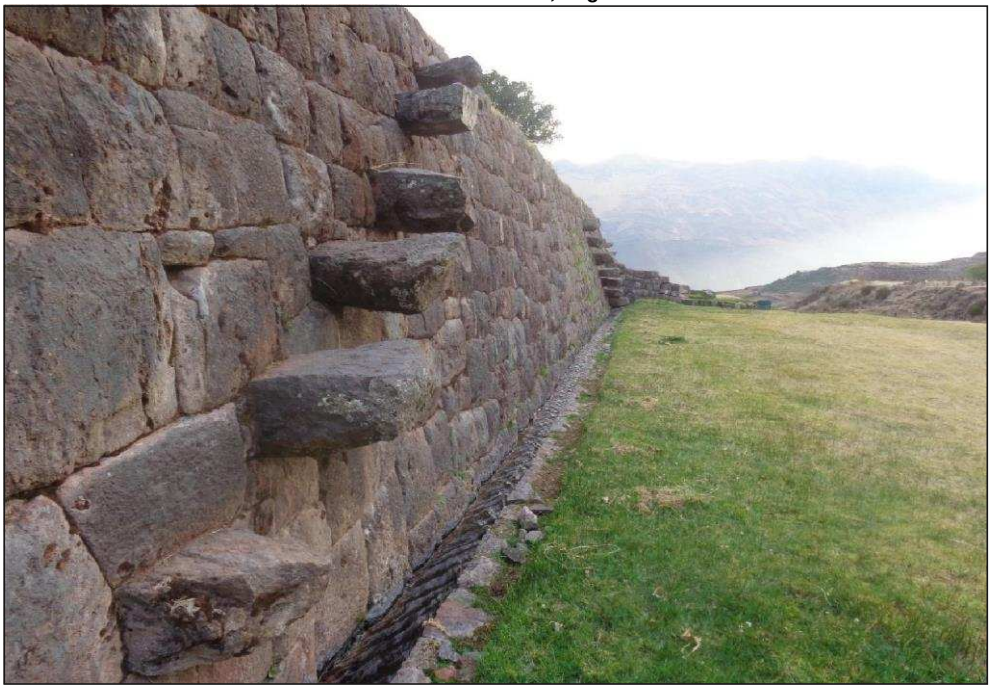
Sistema de andenería incaica en Surite - Cuzco



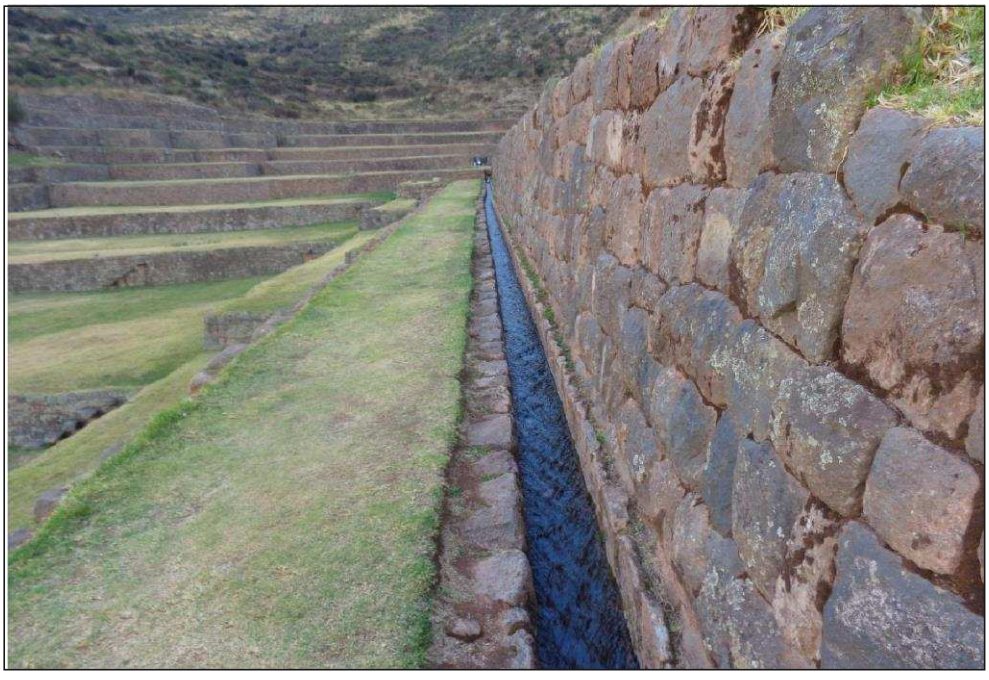
Sistema de andenería incaico, Región Cuzco



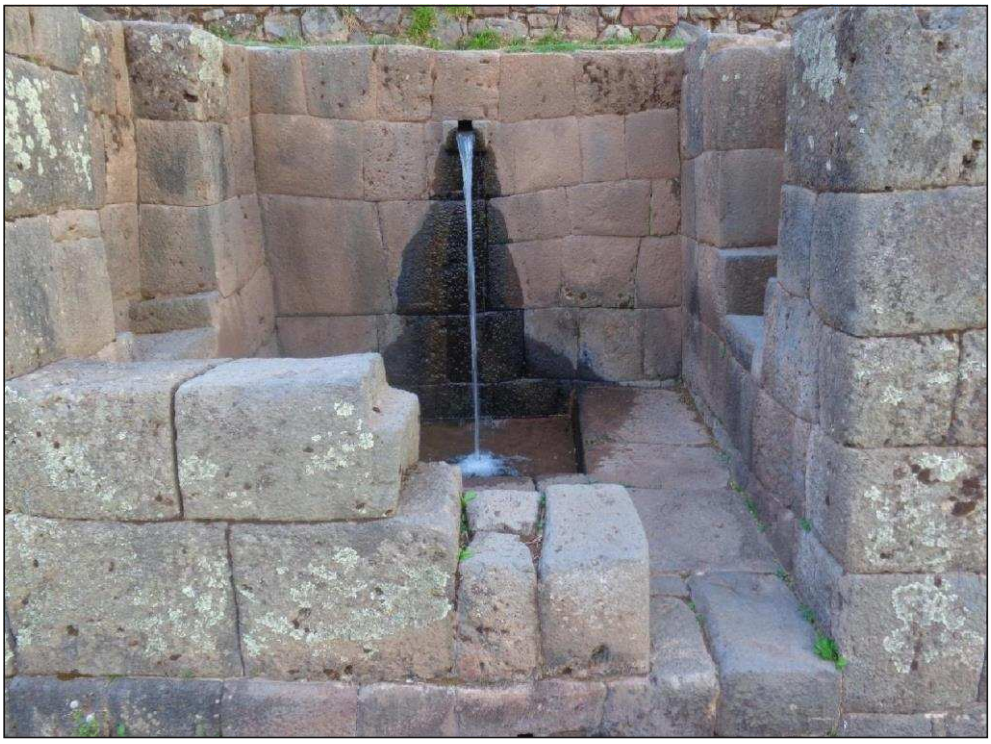
Sistema de andenería incaico, Región Cuzco



Sistema de andenería incaico con escaleras de piedra, Región Cuzco



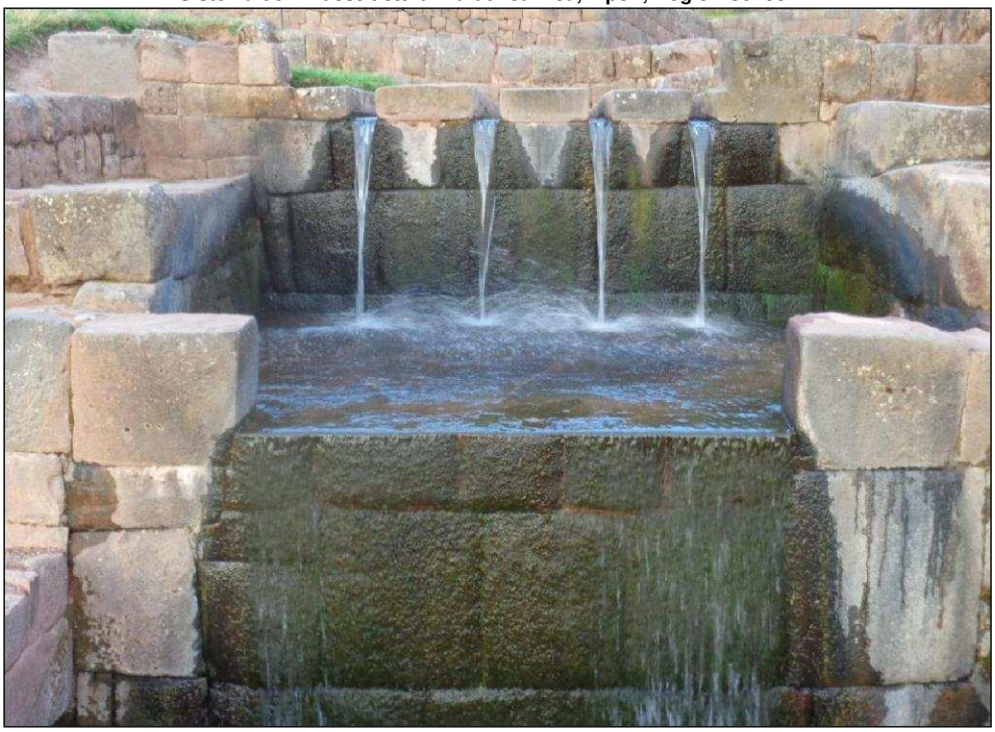
Sistema de andenería incaico con canales de riego, Región Cuzco



Sistema hidráulico inca de Tipón, Región Cuzco



Sistema de infraestructura hidráulica inca, Tipón; Región Cuzco



Sistema hidráulico inca de captación de agua, Tipón; Región Cuzco



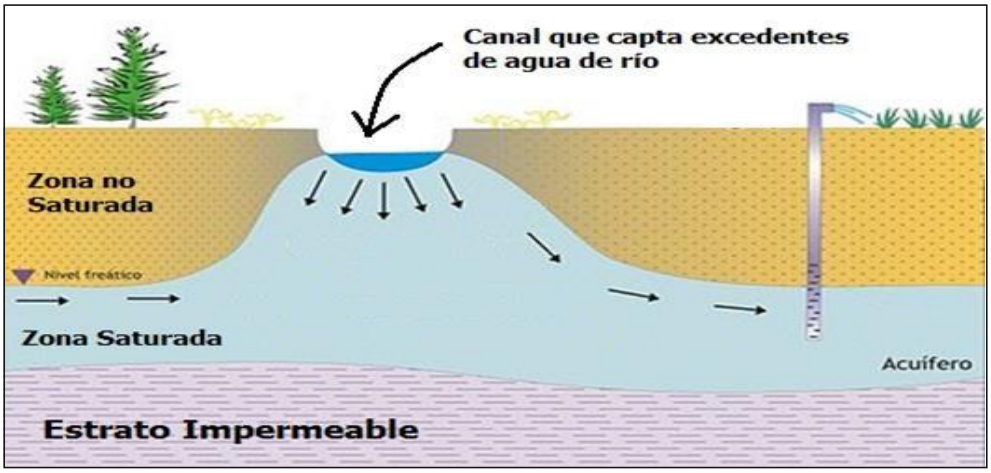
Sistema de andenes construidos en el incanato y en pleno uso en la agricultura – Región Ayacucho

h. Captación de excedentes de agua de río e infiltración en bosques y desiertos de la costa

A lo largo de todas las partes bajas y medias de los valles costeros, existe un gran potencial de aguas subterráneas (alrededor de 3,000 Mm3) que provienen en su mayoría de la recarga de agua que ocurre en las partes altas y medias de las cuencas alto andinas. En algunos va-lles, se vienen explotando dichos acuíferos en forma intensa, tal como ocurre en Ica, Villacurí, Rímac, Lurín, Chillón, Mala, la Yarada, Chicama, Huarmey; entre otros. Esta situación actualmente ya viene generando preocupantes desequilibrios en algunos acuíferos, cuando la extracción de aguas subterráneas es mucho mayor que la recarga que se pueda presentar. Ello ocasiona el descenso considerable del nivel dinámico de los pozos y en algunos casos se llegan a secar, en otros casos desciende tanto el nivel del agua que ya no resulta rentable seguir bombeando y en otros ocurre la intrusión marina, con lo cual se termina salinizándolas y malogrando la calidad de las aguas subterráneas.

Para hacer frente a esta realidad y poder aprovechar los grandes excedentes de agua que los ríos de la costa drenan al mar en época de avenidas, es prioritario realizar trabajos para captar y derivar tales excedentes de agua hacia los bosques o desiertos, para facilitar su infiltración y recargar los acuíferos subterráneos, para más tarde ser aprovechados mediante la construcción de pozos tubulares o pozos a tajo abierto. El acuífero subterráneo es un reservorio de agua donde se deben almacenar los excedentes que actualmente son drenados al mar.

A continuación, se muestra un esquema de un canal de recarga artificial, melgas para recarga del acuífero y siembra de cultivos alimenticios, así como vistas de bosques y sus respectivas áreas de recarga de acuíferos en la árida costa peruana, y que son técnicas que se vienen usando desde la época incaica.



Esquema del perfil de un canal de recarga artificial de excedentes de agua de río en La Costa



Pozas o melgas listas para la siembra de cultivos alimenticios y con riego por inundación usado en La Costa para la colmatación de sedimentos y la recarga del acuífero – Ocucaje – Ica



Bosques secos de La Costa Norte con plantaciones de algarrobo usados como zona de recarga de acuíferos en época de lluvia



Plantaciones de algarrobo ubicados en la costa norte de Perú, en zonas de recarga de acuíferos en época de lluvia



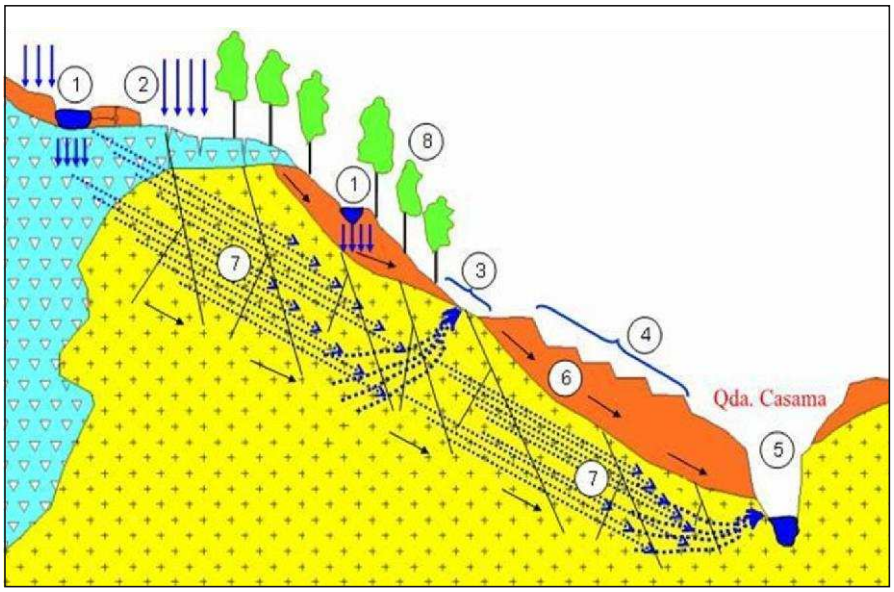
Plantaciones de algarrobo y otras especies propias de la zona en los bosques secos de La Costa Norte, utilizadas como zonas de recarga de acuíferos en épocas de lluvia

i. Aprovechamiento de las fallas geológicas existentes en las partes altas y medias de las cuencas

Esta práctica ancestral utilizada desde la cultura incaica, conocida también como “amunas” (términos quechua), consiste en ubicar zonas con fallas geológicas que son verdaderos “tragaderos de agua” en las partes altas y medias de las cuencas, para luego captar el agua de riachuelos o corrientes efímeras y conducirla mediante canales o acequias, ex profesamente construidas, hasta la propia falla geológica. De esa manera, se alimenta el acuífero y tiempo más tarde se recibirá el agua a través de los puquios, “ojos de agua” o “manantiales” existentes o que pueden aparecer en las partes medias y bajas de las cuencas. Esta práctica es un claro reflejo de que en la cultura incaica se tuvo una verdadera “cultura del agua”, pues tenían la convicción de que el agua era vida, y tenían que cuidarla, aunque ellos mismos directamente no la aprovecharan dentro de su comunidad. Esto indica que nuestros antepasados no solo valoraron el agua, sino que además tenían un amplio sentido de solidaridad.

Además, programaban la limpieza anual de estas acequias mediante trabajos comunales, que hacían con mucha alegría y veneración, en medio de fiestas y rituales de agradecimiento a Dios y a la madre naturaleza. En esta actividad, participaban todos los miembros de la comunidad salvo excepciones (por enfermedades, parto, etc.).

Es de resaltar que esta ancestral costumbre de las faenas comunales también eran utilizadas en la limpieza de sus canales de riego y demás obras hidráulicas, en un ambiente de alegría, fiesta y plena participación de todos los miembros de la comunidad. Cuando uno de los miembros no participaba en tales tareas por darse el "vivo", la comunidad lo castigaba durante todo el año al no permitirle el uso de agua para el riego de su chacra; de esta manera nunca más le quedaba ganas de pasarse de "vivo" o "criollo". Pero cuando un miembro de la comunidad no asistía por enfermedad u otro motivo de fuerza mayor y ajena a su voluntad, el trabajo que le correspondía era realizado por los demás miembros de su comunidad, de-mostrando así su gran sentido de solidaridad y ayuda mutua. A continuación se presenta un esquema del funcionamiento de las amunas y demás procesos de infiltración de las aguas a lo largo de las laderas alto andinas. Asimismo se muestran vistas sobre el mantenimiento o limpieza de los canales que alimentan a las amunas entre otras vistas sobre el tema tratado.



Esquema del flujo de agua en un sistema con fallas geológicas: alimentación y recarga del agua captada de quebradas o riachuelos cercanos



Canales de conducción que alimentan a las "amunas" ubicadas en las zonas alto andinas – Región Lima



Sistema de canales de captación y conducción de agua de un sistema de "amunas" en una zona rocosa – Región Lima



Sistema de captación y conducción de agua en una "amuna"– Región Lima



Faena de limpieza de canales de conducción de un sistema de "amunas"– Región Lima



Ceremonia de pago a la tierra y agradecimiento a la divinidad con motivo de la finalización de los trabajos de limpieza de canales que alimentan a las amunas, Provincia de Huarochiri– Región Lima

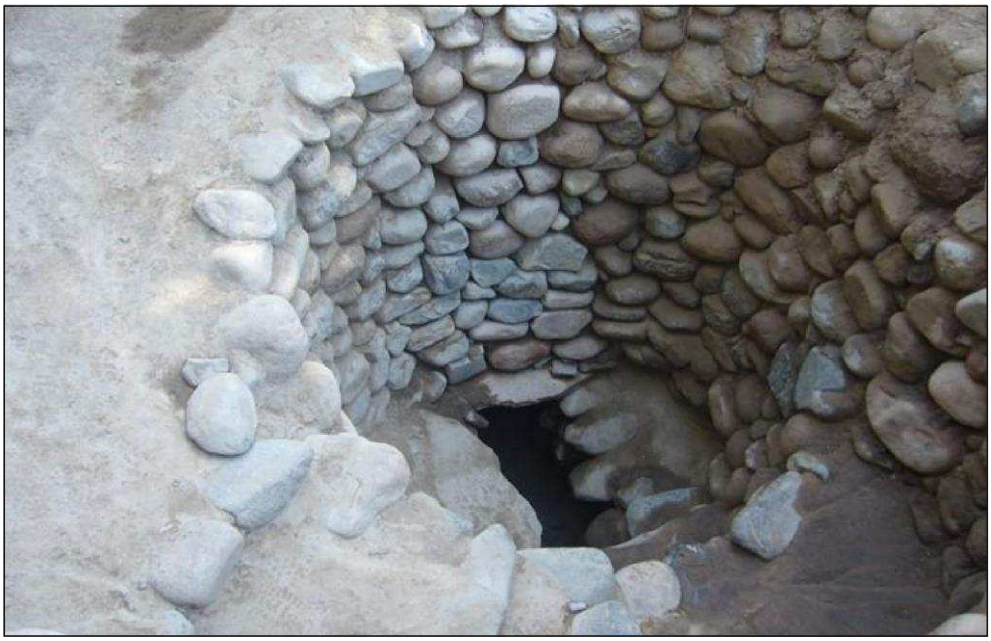
j. Acueductos o galerías filtrantes

Estas obras hidráulicas fueron construidas por los pobladores de la cultura NAZCA, la cual se asentó en lo que actualmente son las provincias de Nazca y Palpa; Región Ica. Dichas zonas ubicadas en la costa, se caracterizan por su extrema aridez y falta de agua en la mayor parte del año, pues existen años excepcionales que en las épocas de lluvia, los ríos de estas zonas tan sólo descargan entre unos 7 a 20 días en el año. Según algunos investigadores, los primeros acueductos fueron construidos en las partes bajas de los valles, luego se extendieron en todo el valle. En efecto, se han encontrado acueductos construidos en zonas ubicadas hasta los 600 – 700 msnm. Estas aguas subterráneas en el desierto provienen en su totalidad de la recarga que se produce a lo largo de las partes altas de las cuencas interandinas.

Los pasos que normalmente siguieron los antiguos pobladores de la cultura Nazca para la construcción de los acueductos o alcantarillas filtrantes son los siguientes:

a. Construcción de los pozos u "ojos de búsqueda de agua", con la finalidad de ubicar y definir el sentido de la corriente o flujo del agua subsuperficial. La profundidad de estos pozos varía en promedio entre 2 a 6 m.

b. Identificada o ubicada la fuente de agua subsuperficial y definido el sentido de la corriente o flujo del agua, se procedió a la construcción o apertura de zanjas profundas hasta alcanzar el nivel del agua. Luego, para unir las fuentes o puntos de agua consecutivos hallados y poder así interceptar el flujo de agua y conducirla hacia un punto determinado, se construyó una acequia o canal al fondo de las zanjas aperturadas. La acequia era construida con una pendiente determinada a fin de que el agua captada fluya por gravedad.
c. Construido el canal o acequia, se procedió a construir muros de contención o estabilización de las paredes laterales de las zanjas profundas ya construidas, con la finalidad de prevenir derrumbes y evitar la obstrucción de los canales.
d. Construido el canal o acequia, se procedió a su revestimiento con piedra laja y canto rodado, con la finalidad de disminuir las pérdidas de agua por infiltración y evitar la erosión del canal.
e. Concluidos los trabajos de revestimiento, se procedió al techado de ciertos tramos de los canales, acequias o acueductos (construidos al fondo de los zanjones o zanjas profundas); utilizando piedra laja y listones de huarango o algarrobo.
f. Terminados los trabajos de techado de los canales, se procedió al relleno de los tramos de canal o acueductos que habían sido techados; utilizando el mismo material excavado de los zanjones.
g. Concluidos los trabajos de relleno, se procedió a la construcción de los sistemas de acceso o escaleras espiraladas hacia la galería o acueducto, a fin de facilitar las labores de mantenimiento adecuado y oportuno tanto del canal como de los tramos techados y rellenados del acueducto o canal.
h. Construcción de un reservorio de agua llamado también **cocha**, ubicado en la parte final donde desemboca el canal, acequia, acueducto o galería filtrante a fin de almacenar el agua captada para luego ser evacuada por los agricultores.
i. Utilización del agua almacenada ya sea en la agricultura, ganadería y uso doméstico de los pobladores de la zona. A continuación se presentan vistas ilustrativas sobre la materia tratada.



Buzón de entrada a un acueducto ubicado en Palpa – Región Ica



Vista de un sistema de acueductos ubicados en la provincia Nazca – Región Ica



Vista de un canal enterrado o acueducto ubicado en Nazca – Región Ica



Acequia conductora de agua de un acueducto hacia un reservorio, ubicado en Nazca – Región Ica

k. Las chacras elevadas o Waru Waru

Las chacras elevadas, llamadas también Waru Waru se desarrollaron en las planicies del Altiplano (Puno), consistían en la realización de grandes y profundas zanjas (1.00 – 1.20 m de ancho por 1.20 – 1.50 m de profundidad) y espaciadas entre 4 a 6 m, cuya tierra extraída se colocaba en la superficie de la plataforma, con ello se elevaba en promedio una altura de unos 20 hasta 40 cm y de esta manera el agua encharcada en la superficie era drenada hacia la zanja, de este modo, estas áreas ya tratadas podrían ser cultivadas; además, con el agua en las zanjas se termo regulaba el ambiente, pues durante el día las aguas acumulaban el calor, y durante la noche lo disipaban, beneficiando al cultivo, del fenómeno de las heladas que son frecuentes en esas zonas. Además en las zanjas crecía gran cantidad de algas, que cada cierto tiempo eran extraídas como parte de la limpieza de las mismas, constituyendo un abono de muy buena calidad para los cultivos, como la papa, cañihua, ocas, ollucos, etc. A continuación se muestra una vista de una plantación de papa en un sistema de Waru Warus, en la planicie de la Región Puno.



Vista de un campo con waru warus con cultivo de papa – Región Puno

I. Cosecha de agua de nieblas

En algunas zonas áridas del mundo, se ubican áreas donde se concentran nieblas durante los meses de invierno y parte de la primavera (Junio a Noviembre), constituyéndose en la única fuente de agua para el desarrollo de vida en dichas regiones. Las nieblas son masas de aire que contienen vapor de agua con un 100% de humedad relativa, es decir totalmente saturada de agua, en forma de gotas microscópicas de agua en suspensión, que se forman para el caso de la costa peruana cuando los vientos húmedos y cálidos del Océano Pacífico se desplazan horizontalmente sobre la superficie de aguas frías, ocasionando que este aire se enfríe hasta alcanzar su punto de rocío, dando origen a la niebla y neblina. Estas masas de vapor de agua son arrastradas a ras del suelo por los vientos del Océano Pacífico en dirección hacia el Este, hasta chocar con las ondulaciones del terreno o con los cerros o montañas del pie de los contrafuertes occidentales de la cordillera de los andes; avanzando hasta los 750 a 1,000 msnm y formando una capa de espesor de unos 200 a 400 m.

Cuando las nieblas se ubican o desplazan a ras del suelo, se va produciendo el humedecimiento de la capa superficial del mismo y la consecuente germinación, reactivación y crecimiento de las diferentes especies vegetales existentes de la zona. A medida que las plantas van creciendo, la captación de agua de nieblas se va incrementando en forma natural a través de las plantas, las cuales captan el agua atmosférica y la descargan gota a gota al suelo a través de sus raíces. Cuando la vegetación es abundante (herbácea, arbustiva y arbórea), la captación de agua de las nieblas por las plantas va formando y alimentando a los manantiales u ojos de agua, los mismos que pueden ser utilizados por el hombre y la fauna de la zona. Este fenómeno de captación de agua fue observado y valorado por las múltiples culturas milenarias que se desarrollaron en el Perú y en diferentes lugares del mundo donde existían estas condiciones naturales; por ello sus pobladores cuidaban mucho la vegetación abundante, pues siempre lo asociaban con la disponibilidad de agua para su supervivencia.

En las partes altas de las cuencas alto andinas, especialmente donde se ubican las cabeceras de cuencas que se encuentran situadas normalmente sobre los 4,000 msnm, la plantación masiva de árboles, arbustos y pastos nativos, es fundamental por ser excelentes captadoras de la humedad atmosférica (nieblas y neblinas) debido a su alta higroscopicidad; sobresaliendo entre los árboles nativos, los siguientes:

Quinual, Queñual, Ccolle blanco o Ccolle negro Quishuar, Chachacomo, Aliso, entre otras especies. En estas altitudes, existen zonas con alta densidad de nieblas y neblinas en una parte importante del año, donde

normalmente la precipitación es prácticamente nula; en estas condiciones las especies vegetales nativas, especialmente los árboles llegan a captar entre 1 a 8 litros de agua por árbol y por día, según se especie y su grado de desarrollo vegetativo y cuyas aguas son descargadas en el suelo a través de sus raíces, lo cual sirve para alimentar la descarga de agua de los manantiales o puquiales que se ubican aguas abajo. A continuación se muestran plantas de Quinual, Quishuar, Aliso, etc.



Plantaciones de Polylepis racemosa (Quinual) como cercos en Chetilla - Cajamarca



Plantas de Colle en plena floración (Buddleja coriaceae)



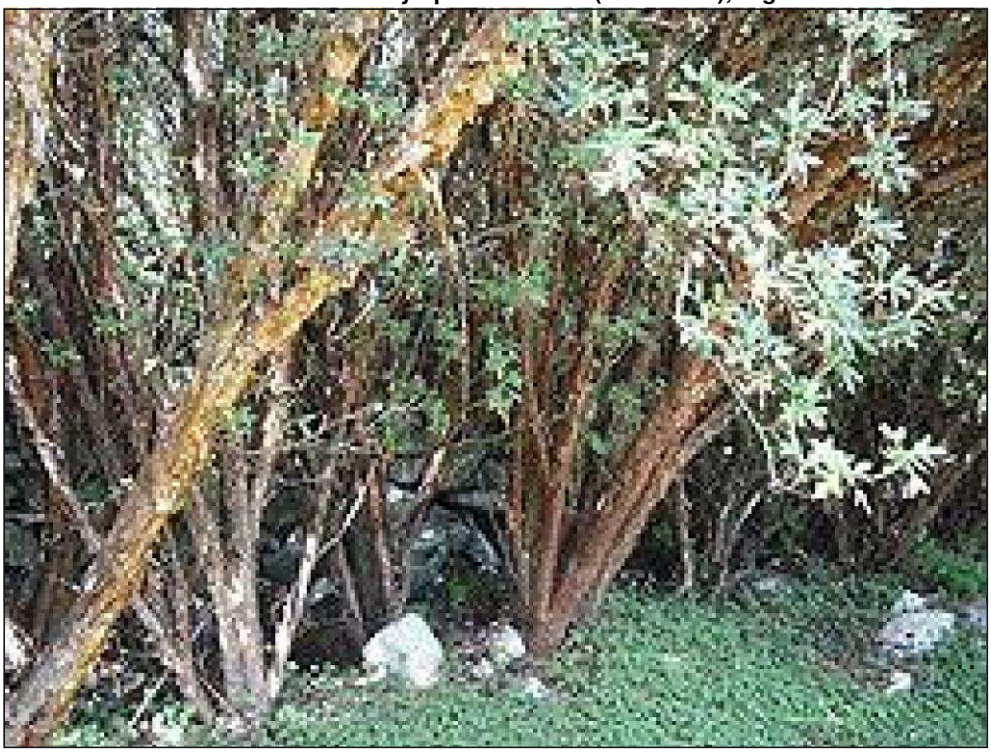
Planta de Polylepis racemosa (Quinual), Región Ancash



Macizo forestal de Polylepis racemosa (Quinuales), región alto andina



Plantaciones nuevas de Polylepis racemosa (Quinuales), región alto andina



Cercos de Polylepis racemosa (Quinual), ubicados en zonas alto andinas

Por otro lado a lo largo de la franja costera del Océano Pacífico, que comprende Ecuador, Perú y Chile, se ubican diferentes zonas con abundante niebla durante una parte del año. Así, por ejemplo, en la costa peruana se tiene a las **Lomas de Lachay**, hoy reserva nacional, que comprende una extensión de 5,070 has y que se encuentran ubicadas en la costa norte de Lima y la segunda son las Lomas de Atiquipa y Taimara, ubicadas en la Región Arequipa. En Chile, se ubica el desierto de Atacama, considerado como la zona más seca del mundo (cae alrededor de 1 mm de lluvia cada 40 años). Similares características presenta el desierto de Neguev en Israel. Podemos encontrar otros importantes desiertos en Nepal, Yemen, Islas Canarias, Ecuador, Guatemala, entre otros lugares del mundo.

A continuación se presentan dos vistas de las Lomas de Atiquipa (localizado en Arequipa) y Lachay (Ubicado al norte de Lima), donde se puede observar la alta densidad de las nieblas y neblinas y la cubierta vegetal propia de la

zona y de gran impacto en la captación de la humedad atmosférica y la descarga de agua en el suelo, a través de su sistema radicular.



Vista de la Loma de Atiquipa, Región Arequipa



Vista de la Loma de Lachay – Región Lima

Otra forma de captar el agua de las nieblas es mediante los sistemas de atrapa nieblas, que hacen que el vapor atmosférico de agua que existe en el aire se condense, y se formen gotitas de agua líquida que comúnmente se las llama rocío. Estas gotas de agua son captadas y conducidas a través de unas canaletas de plásticos o PVC hasta un depósito para almacenarlas y para su posterior uso por el hombre.

Un sistema de atrapa nieblas, que ha demostrado ser eficiente, se construye utilizando dos postes de palo o madera de unos 6 m de largo y unas 8 pulgadas de espesor, en los cuales se instala una malla doble de Raschel de un área variable entre 6 a 20 m de largo por 4 m de ancho. Los palos se fijan en el suelo, preferentemente con la ayuda de una mezcla de piedra con cemento o envueltos cuidadosamente con plásticos gruesos para protegerlos de la humedad del suelo y evitar así su rápida pudrición. La malla es colocada con la ayuda de unos templadores de alambre galvanizado; además, todo el material utilizado en su instalación debe ser galvanizado o de PVC. En la parte inferior de la malla, se coloca una canaleta de PVC, hecha de una tubería de 4 pulgadas de diámetro. Estas canaletas conducen el agua hasta

el depósito matriz que recoge el agua de los diferentes captadores. En la vista siguiente, se observa un atrapa nieblas, listo para su funcionamiento.



Un sistema de atrapa nieblas construido con malla doble de Raschell, zona de ladera de Villa María del Triunfo-Lima Perú

Los atrapa nieblas deben instalarse en las zonas de viento y en forma perpendicular a la mayor intensidad del viento, preferentemente en las zonas con la mayor densidad de niebla y de mayor eficiencia de captación. Con estos sistemas de atrapa nieblas, se puede captar en promedio desde 2 hasta 10 litros/m^2/día, dependiendo de la densidad de la niebla.

m. Ahorro de agua en su manejo y gestión

Dada la escasez del recurso agua en las zonas áridas y semiáridas, como es en el caso de la costa y las laderas de la sierra, durante la época de estiaje (mayo – octubre), el ahorro, el buen manejo y la gestión adecuada del agua son fundamentales para ayudar a enfrentar esta situación extrema de falta de agua. Por esta razón, los esfuerzos se deben orientar al uso de diferentes técnicas para mejorar la eficiencia en su manejo y el mejor aprovechamiento posible y poder lograr así este objetivo. Entre ellas, se consideran el revestimiento de la infraestructura de riego (usando cemento, tuberías de PVC, geo membranas, entre otras), implementando sistemas de riego que permitan el mayor ahorro de agua posible (riego por aspersión, micro aspersión y goteo), así como el

mejoramiento de la organización de los usuarios y el fortalecimiento institucional a fin de garantizar una adecuada operación y mantenimiento de la infraestructura de riego. Sólo con líderes que tengan principio de autoridad, con una organización sólida y con una participación activa de todos los usuarios, se avanzará hacia el objetivo de lograr un ahorro de agua y un manejo eficiente de los sistemas de riego.

La gestión y el manejo eficiente del agua “cosechada” o almacenada es clave para poder observar a plenitud sus grandes ventajas o beneficios. En la gestión del agua es fundamental el liderazgo de sus dirigentes, una sólida organización, una distribución equitativa de las aguas y una participación plena de todos los usuarios de agua en todas las tareas que se acuerdan. La indisciplina, la falta de participación o la inequidad se deben castigar ejemplarmente con la pérdida automática del derecho de agua durante por lo menos 1 año, tal como ya se aplicó con excelentes resultados en el incanato y que en algunas comunidades campesinas alto andinas donde el Estado no ha llegado mayormente, se sigue aplicando hasta nuestros días.



Canal de riego revestido con concreto ubicado en Tuna Puco – Región Huánuco



Mejoramiento de canal ubicado en la provincia de Oyón – Región Lima



Pequeño reservorio con sistema de riego por aspersión en zonas alto andinas



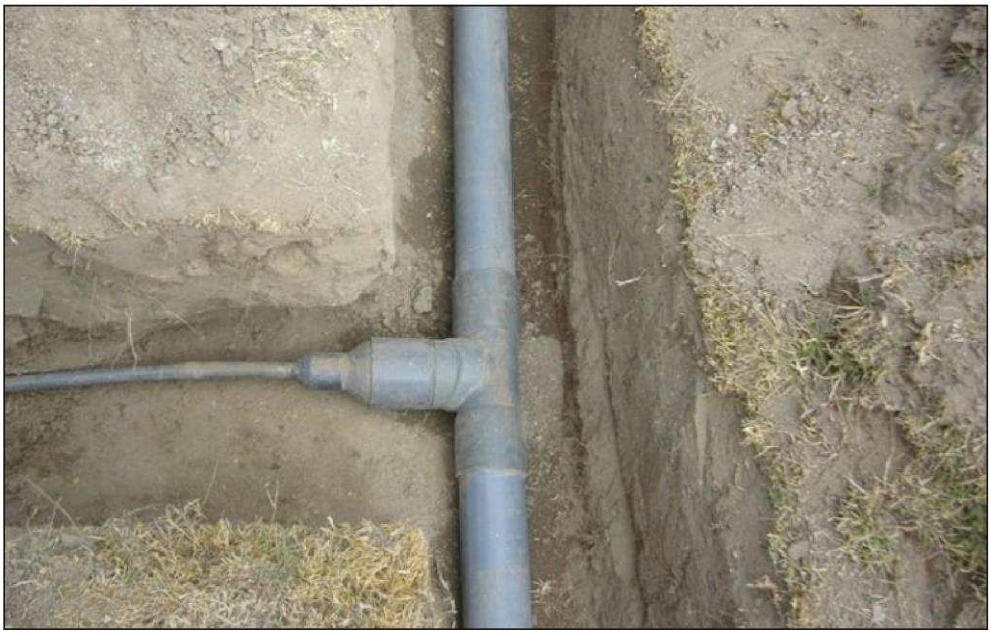
Apertura de zanja y tendido de tubería para riego por aspersión en zona alto andina



Instalación de aspersores en tubería de PVC para riego de pasturas en zona alto andina



Tendido y pegado de tubería para un sistema de riego por aspersión en zona alto andina



Instalación de tuberías en un sistema de riego por aspersión en zonas alto andinas



Explicación sobre la instalación de aspersores y mangueras en un sistema de riego por aspersión para zonas alto andinas



Instalación y tendido de mangueras para el riego por aspersión en pastizales ubicados en zonas alto andinas



Aspersor instalado artesanalmente sobre un parante de palo, alimentado con una manguera de jardín



Riego por aspersión en funcionamiento en áreas de cultivo ubicada en una zona alto andina



Riego por "aspersión" usando botellas de plástico descartables en área de cultivos alimenticios ubicada en una zona alto andina



Riego por aspersión en áreas de cultivos alimenticios en zona de sierra alto andina – Región Cajamarca



Riego por goteo en una plantación de maíz en un valle de sierra alto andina

8.2. Beneficios a lograrse con la implementación de dichas acciones

Con la implementación de dichas acciones se logra la protección y mejoramiento de la disponibilidad de los recursos agua y suelo. Entre los beneficios a lograrse con la implementación de las acciones propuestas, se pueden mencionar:

a. Protección y mejoramiento de la disponibilidad de los recursos agua y suelo

- **Incremento y regulación de la disponibilidad de agua**

  Al desarrollarse trabajos de captación, almacenamiento y retención del agua de lluvia, así como el debido repoblamiento y mejoramiento de pastos y siembra de árboles en las partes altas y medias de las cuencas, se incrementará significativamente la disponibilidad y calidad del agua superficial debido a la retención y a la menor erosión de los suelos y al menor transporte de sedimentos. Además, se incrementarán las aguas subterráneas mejorando el hidrograma unitario de la cuenca, y mejorará significativamente la disponibilidad de agua de buena calidad durante los meses de estiaje. Esto favorecerá a las poblaciones que se ubican en dichas áreas, y regulará el flujo superficial y subterráneo del agua; además mejorará o dará origen a los puquios, manantiales u ojos de agua, ubicados en las partes bajas y que son de gran utilidad en el estiaje.



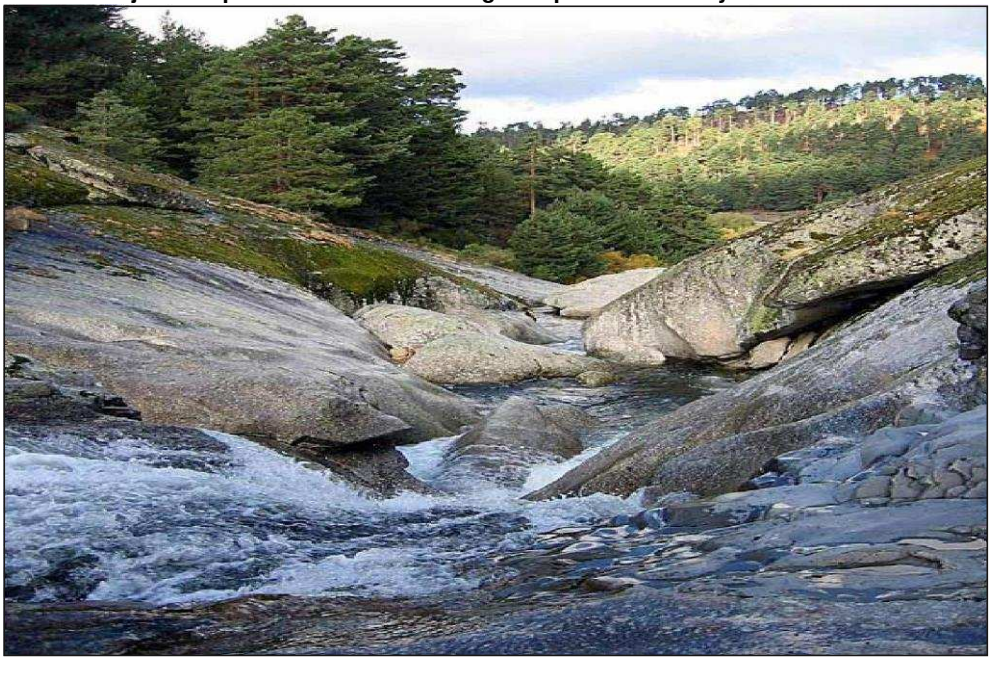
Esquema de la regulación del agua de lluvia captada por efecto de la cubierta vegetal en zonas de ladera



Pasantía de visitantes a zonas tratadas donde se observa mayor disponibilidad de agua en época de estiaje



Zanja o acequia de infiltración con agua captada de lluvia y filtraciones



Quebrada con afloramientos de agua infiltrada en las partes altas



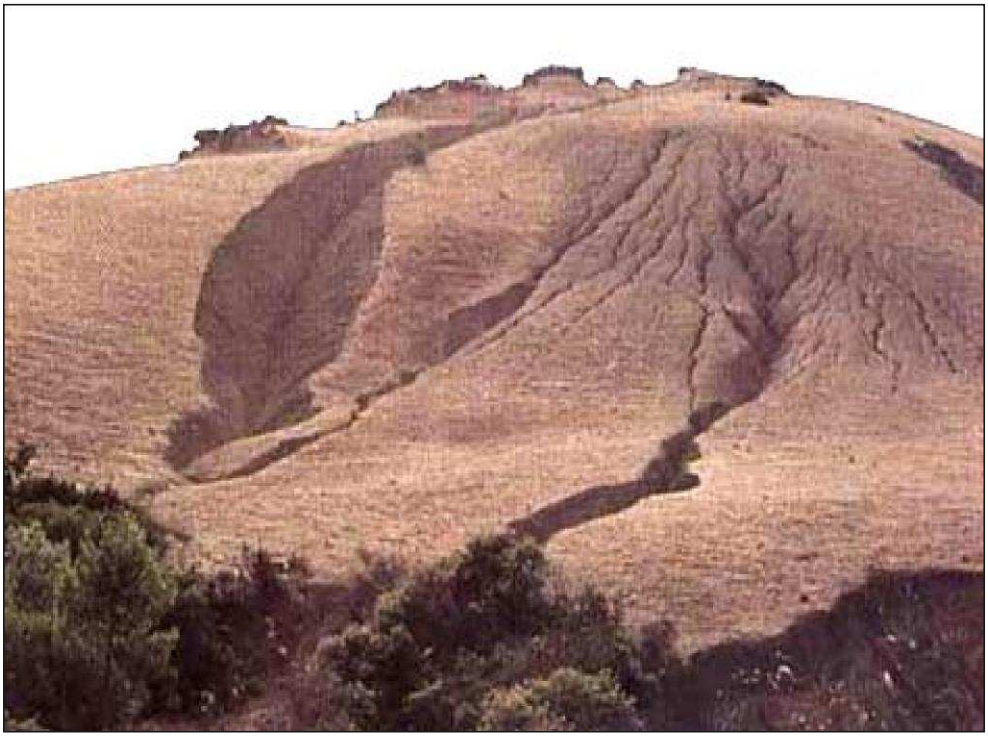
Mayor disponibilidad de agua en puquiales y quebradas, producto de los trabajos de captación e infiltración de agua en las partes altas



Efecto de incrementar la cubierta vegetal en las partes altas: mayor disponibilidad de agua en épocas de estiaje

- **Control de la erosión hídrica de los suelos**

  La implementación del plan propuesto permite una mejor conservación de los suelos y una reducción importante de la erosión hídrica. Trabajos de investigación sobre la cuantificación de la pérdida de suelos, han determinado que por efecto de las zanjas de infiltración se logra reducir entre 80% a 90 % la erosión con respecto a las áreas sin ser tratadas con esta práctica de conservación de suelos y captación de agua. De no atacarse este problema con la seriedad y decisión política necesaria, en los próximos 50 a 100 años, cientos de miles de hectáreas que actualmente producen alimentos, perderán totalmente su suelo, y se convertirán en zonas “peladas”, asimismo la desertificación avanzará inexorablemente, generando pobreza, menor producción de alimentos, migración de vastos sectores de la población, una menor disponibilidad de agua y un aporte mayor al proceso de calentamiento global que viene afectando a nuestro planeta.



Ladera de la sierra en pleno proceso de erosión hídrica por cárcavas y surcos



Ladera de la sierra en pleno proceso de erosión y deslizamientos



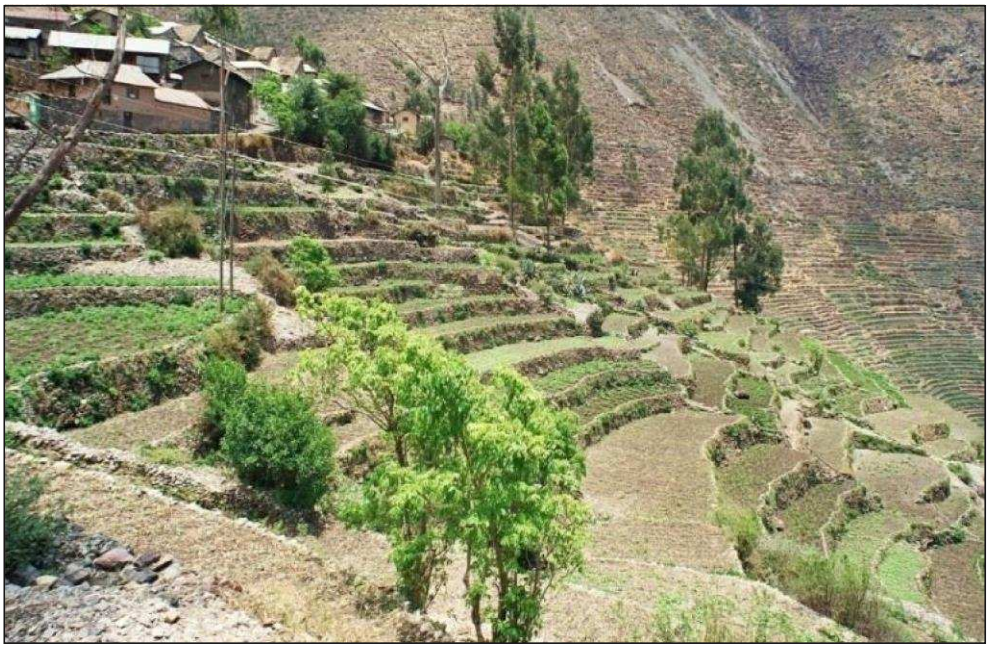
Cárcava en plena formación, por concentración de agua de escorrentía y falta de cubierta Vegetal



Ladera típica de la sierra alto andina con erosión por surcos



Control de cárcava con diques de piedra en zona de sierra alto andina



Ladera con andenes construidos para el control de la erosión y producción agrícola



Sistema de andenería incaico en pleno uso para la producción de alimentos

- **Regeneración del ciclo hidrológico**

  Con la implementación del plan propuesto, desarrollando los trabajos desde las partes altas de las cuencas hacia abajo, se logrará la regeneración de la cubierta vegetal, el mejoramiento de la regulación hídrica de las partes altas, medias y bajas de las cuencas; consecuentemente se producirá la regeneración del ciclo hidrológico, mejorando así la disponibilidad de agua en la zona y reducir el efecto devastador de los eventos hidrológicos extremos: sequías e inundaciones.



Efecto de la regeneración de la cubierta vegetal: mayor oferta de agua en el estiaje



Efecto de las zanjas de infiltración en la captación del agua de lluvia y la regeneración de la cubierta vegetal



Efecto de las zanjas de infiltración en la captación e infiltración del agua de lluvia y en la regeneración de la cubierta vegetal

- **Mitigación de eventos hidrológicos extremos: Sequías e Inundaciones** La mitigación de la magnitud y efectos de la ocurrencia de huaycos, deslizamientos, inundaciones y sequías es producto de la implementación del plan propuesto. Al disminuir la escorrentía superficial y el potencial erosivo de las aguas, la magnitud de las inundaciones se verán atenuadas considerablemente. Asimismo, al incrementarse la cubierta vegetal con pastos y especies forestales, la presencia y magnitud de los huaycos y deslizamientos; así como la magnitud de las sequías, debido a la mayor disponibilidad de agua y a la regeneración del ciclo hidrológico de la cuenca, disminuirán considerablemente sus efectos devastadores. Manejando racionalmente los suelos, la cubierta vegetal y el agua desde las cabeceras de cuenca o partes altas hacia abajo, se cumplirá a cabalidad la sabia expresión: **"Controlando y manejando adecuadamente las montañas (partes altas de las cuencas o laderas) se controlarán los ríos, atenuando sus efectos devastadores, y disponiéndose de una mayor cantidad de agua en la época de estiaje"**, haciendo lo contrario, es sólo malgastar recursos y esfuerzos.



Efectos devastadores de un evento hidrológico de exceso de agua (demasía)



Efecto devastador de una sequía, generando falta de agua (sed, hambre y muerte)



Inundación y erosión hídrica acelerada, ocasionando destrucción y muerte



Efectos típicos de una descarga excepcional de agua y barro generando destrucción y muerte



Efecto típico de una descarga excepcional: Puente colapsado

- **Envasado de agua de manantiales o puquiales provenientes de bosques plantados**

Se tiene conocimiento de los diferentes trabajos de investigación realizados mediante las ciencias forestales; que de toda la cantidad de agua de lluvia que pueda caer en un bosque o en una plantación forestal, alrededor del 40 al 50% de esta agua es captada e infiltrada en el suelo. La misma que finalmente, es descargada en las quebradas, puquiales o manantiales ubicados en las partes bajas de dichas plantaciones forestales. Estas aguas normalmente son de buena calidad para el uso humano directo por esta razón después de un análisis físico químico de dichas aguas y el correspondiente permiso de la Dirección General de Salud (DIGESA) pueden ser envasadas para su comercialización, como ocurre actualmente en la Cooperativa "Granja Porcón" ubicada en la Provincia de Cajamarca. A continuación, se presentan vistas de la captación y almacenamiento del agua de los manantiales, del laboratorio de envasado de agua, envasado en bidones y en botellas de 625 ml de capacidad.



Tanque de concreto que almacena el agua que se capta en manantiales ubicados en las partes bajas de los bosques – Granja Porcón



Laboratorio debidamente equipado para envasar agua, para consumo humano directo – Granja Porcón



Agua almacenada en bidones listos para su comercialización – Granja Porcón



Agua envasada en botellas de 625 ml de capacidad – Granja Porcón

b. Mejoramiento del medio ambiente y paisaje natural

- **Regeneración y mejoramiento de la cubierta vegetal**

  Con los trabajos de cosecha de agua que se lleven a cabo en las partes altas y medias de las cuencas, así como con la regeneración e instalación de pastizales y plantaciones forestales, se logrará una regeneración y mejoramiento de la cubierta vegetal, factor clave para mejorar el ciclo hidrológico y la regulación hídrica de la cuenca. Todo esto constituye las acciones básicas para la lucha contra la erosión de los suelos, el proceso de desertificación, el calentamiento global y la conservación de la Biodiversidad.



Regeneración de la cubierta vegetal con pastos naturales en laderas de la sierra



Pasto natural alto andino (pajonal), condición excelente, Callalli, Caylloma, Arequipa



Plantación forestal y regeneración de pastizales en laderas de la sierra



Planicies alto andinas con ganado pasteando en bofedales y pastizales –Región Moquegua



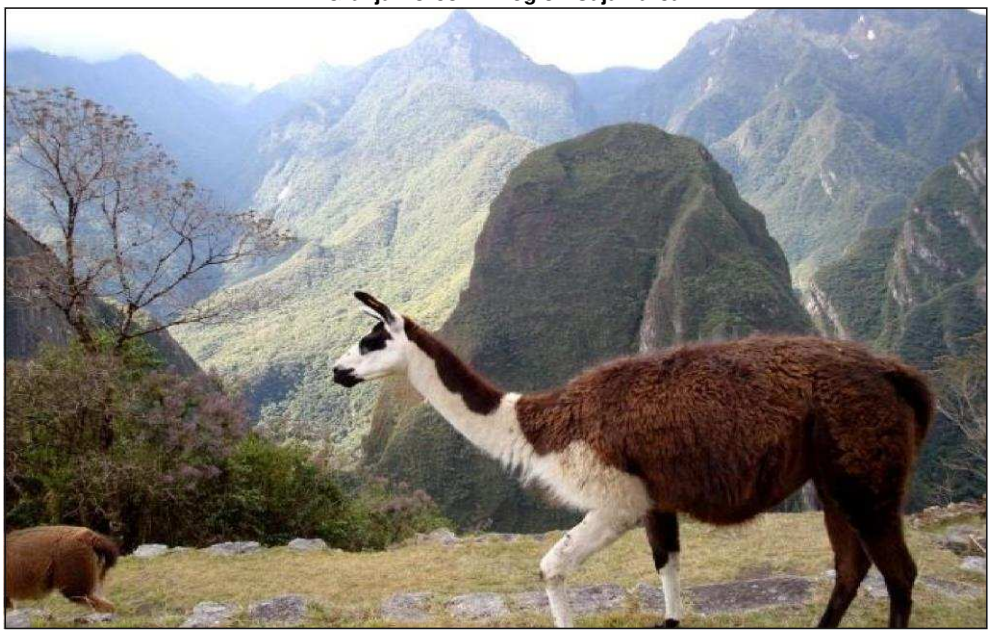
Plantación forestal y regeneración de pastizales en laderas de la sierra

- **Regeneración y conservación de la biodiversidad**

  Con una mayor disponibilidad de agua proveniente de la captación e infiltración de las aguas de lluvia y una disminución importante de la erosión hídrica, se logrará la regeneración o recuperación y conservación de la biodiversidad de las áreas tratadas y zonas aledañas. Ello mejorará el valor económico y escénico de dichas áreas, base para la promoción del turismo.



Área de regeneración y conservación de la biodiversidad silvestre y el medio ambiente, Granja Porcón – Región Cajamarca



Camélido sudamericano en una zona alto andina en proceso de regeneración de su biodiversidad –Región Arequipa



Área en pleno proceso de regeneración de su cubierta vegetal y un aumento de la disponibilidad de agua en la época de estiaje



Búho, especie animal típica de la biodiversidad andina



Cóndor, ave típica de la biodiversidad de algunos valles alto andinos – Colca– Arequipa

- **Mejoramiento del paisaje y las condiciones ambientales para un ecoturismo creciente**

  Con la regeneración de la cubierta vegetal en las partes altas y medias de las cuencas alto andinas y el incremento significativo de la disponibilidad de agua en los meses de estiaje, se logrará mejorar el paisaje, la biodiversidad y las condiciones ambientales. Si a todo esto se añade una adecuada infraestructura básica y en buen estado, un poco de imaginación y creatividad, entonces con un trabajo serio de promoción se puede obtener las condiciones adecuadas para hacer ecoturismo, turismo vivencial y turismo de aventura.



Paisaje de una zona típica de la sierra, totalmente andenada y de gran impacto visual – Región Ayacucho



Paisaje de una zona de sierra con gran potencial para el ecoturismo y turismo vivencial, con una importante población de vicuñas– Granja Porcón –Región Cajamarca



Paisaje típico de una zona alto andina con potencial para el ecoturismo y turismo vivencial



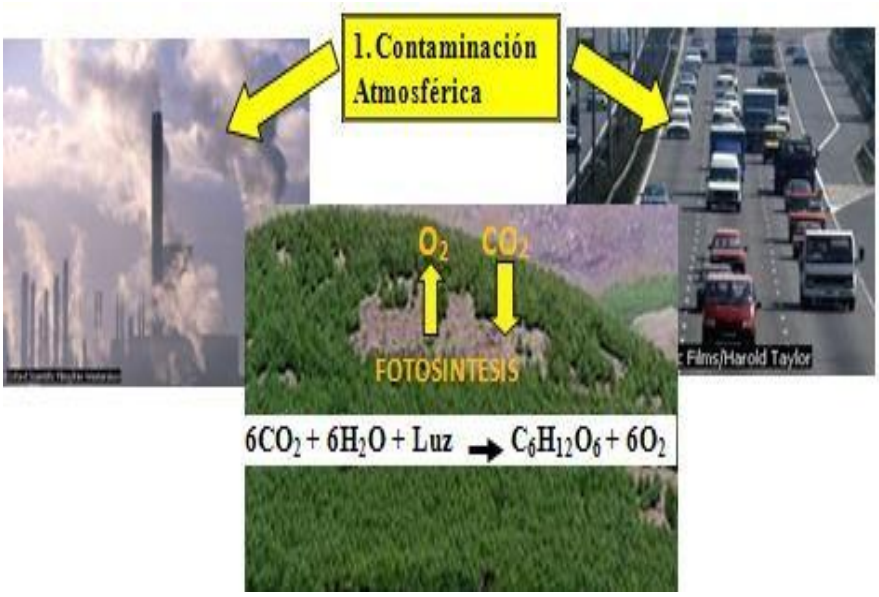
Caída de agua en una zona alto andina y de gran potencial turístico e hidroenergético



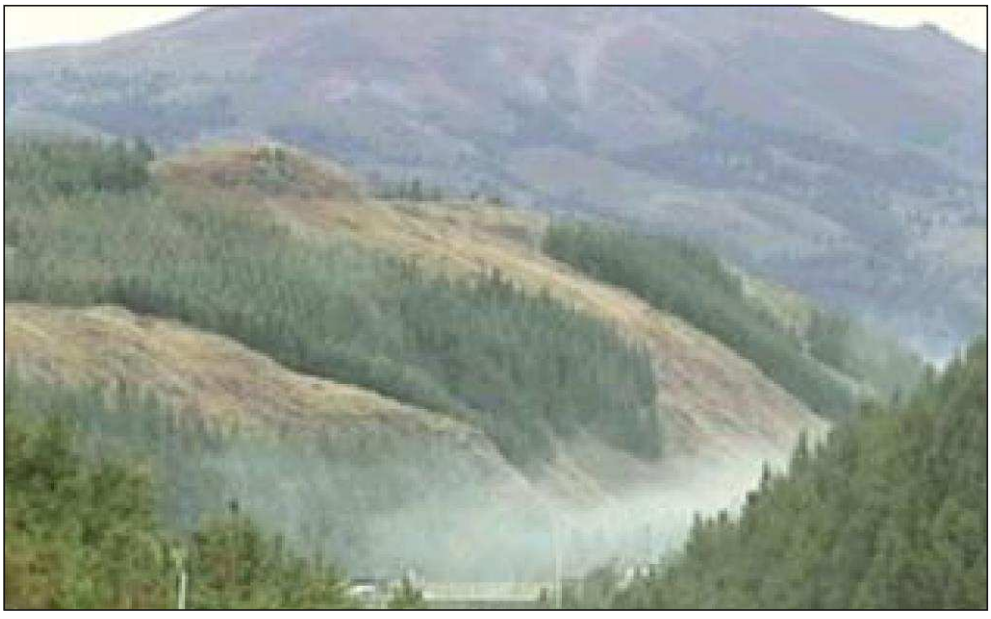
Plantación forestal en zona alto andina y con potencial para el ecoturismo

- **Descontaminación y mejoramiento del medio ambiente**

  Con la implementación del plan propuesto de reforestación, forestación y siembra y re-generación de pastos naturales o exóticos y al lograrse la consolidación de dichas acciones, se contribuirá en forma importante a la descontaminación ambiental al controlar la erosión y sobre todo, al absorber el CO2 de la atmósfera y liberar O2 como parte del metabolismo vegetal. Además, los propietarios de dichas áreas podrán acogerse a los beneficios de los pagos por servicios ambientales, tales como los llamados "Bonos de Carbono" o "Bonos de CO_2", que actualmente se encuentran disponibles en el mundo, y se puede obtener en promedio entre unos $ US 20 hasta 300/ha-año, según el nivel de crecimiento y grado de eficiencia de la fotosíntesis de la plantación; además de poder generar riqueza con los árboles y pastos y así poder mejorar el nivel de vida de estas poblaciones.



Esquema básico del proceso de contaminación y descontaminación ambiental al captar CO_2 de la atmósfera y acumular carbono en los tallos y raíces de las plantas en el suelo "Además, sumideros de CO_2 en la tierra"



Laderas con plantaciones forestales y su rol en la activación del ciclo hidrológico y la descontaminación ambiental – Región Apurimac



Zona de laderas con plantaciones forestales en crecimiento – Región Cajamarca



Zona reforestada y en pleno proceso de regeneración de la cubierta vegetal – La Encañada, Cajamarca

c. Mejoramiento de las condiciones socio – económicas

Incremento de la producción agrícola

El control de la erosión de los suelos y la mayor disponibilidad de agua para los cultivos redundará en una mayor producción y productividad, generando grandes beneficios so-ciales, ambientales y económicos a la población de la zona, pues se debe remarcar que uno de los factores que determinan los bajos índices de productividad de la actividad agrícola de la sierra alto andina, es la falta de agua para cubrir las necesidades fisiológi-cas de los cultivos, especialmente para las áreas de secano, más aún si se tiene en cuenta que el problema principal de las partes medias y bajas de las cuencas alto andinas es la falta de agua durante gran parte del año.



Cultivo de papa en óptimas condiciones de manejo agronómico – Región Huancavelica



Producción de flores de alta rentabilidad en Tarma – Región Junín



Plantación de quinua en zona alto andina en óptimas condiciones agronómicas – Región Cuzco



Acopio y selección del producto cosechado para su posterior comercialización – Región Puno

Incremento de la producción pecuaria

La mayor disponibilidad de agua en las áreas de pastizales producto de la captación de agua por las zanjas de infiltración, así como del almacenamiento en reservorios o lagu-nas, redundará en una mayor producción de pastos y consecuentemente en una mayor producción de carne, leche, lana y fibra; además de mejorar la infiltración del agua en el suelo y controlar mejor la erosión. Con una mayor disponibilidad de agua en el estiaje, se puede aplicar el riego por aspersión, mejorando la producción y productividad de pastos.



Rebaño de ovejas pastando en una zona alto andina –Región Junín



Pastizales en zona alto andina en pleno pastoreo



Zona en plena regeneración de la cubierta vegetal y con una mayor producción de alimentos – Región Lima



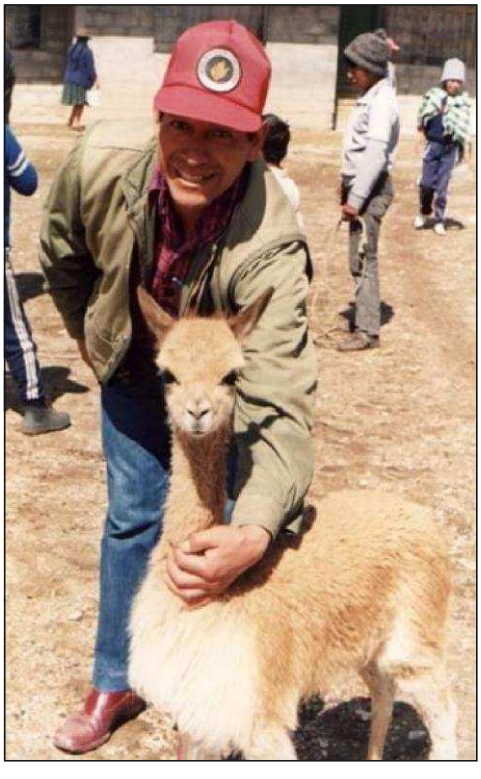
Zona de pastizales y con ganado en pleno pastoreo – Región Amazonas



Zona alto andina con pastizales en proceso de regeneración y producción de camélidos– Región Puno



Zona de pastos en sierra alto andina con ganado vacuno – Región Puno



Vicuña tierna en una feria agropecuaria en zona alto andina –Región Puno

Incremento de la producción forestal

Las plantaciones forestales establecidas en las áreas tratadas con zanjas de infiltración tienen una mayor tasa de crecimiento debido a la mayor disponibilidad de agua producto de la captación de las aguas de escorrentía. Por otro lado, dichas plantaciones mejoran la infiltración del agua y el control de la erosión; además disminuyen la escorrentía superficial. Si en las acciones de reforestación se utiliza a la "tara", el impacto económico será mayor, y sobre todo después de los 3 a 4 años de instalada la plantación habrá ingresos económicos crecientes para sus propietarios, dado el potencial de exportación creciente y atractivos precios en el mercado mundial.

Normalmente, dadas las condiciones socio económicas de pobreza de la población asen-tada en las partes medias y altas de las cuencas alto andinas, lo más frecuente y recomendable es el uso de sistemas silvo pastoriles. Es decir, el uso combinado de pastos con especies forestales de forma tal que cuando la plantación forestal se haya consolidado plenamente, se irá reduciendo gradualmente las áreas de pastos. Esto favorece la economía campesina, haciendo más atractiva la adopción de estas prácticas conservacionistas y productivas.

Cuando las plantaciones forestales crezcan y maduren; producirán leña, hongos comestibles, madera y un mejoramiento de la biodiversidad y del paisaje lo cual repercutirá en un mejoramiento real de los ingresos de las familias campesinas. Un ejemplo real se tiene en la actualidad en la provincia de Cajamarca, con la Cooperativa de trabajadores "Granja Porcón", que tiene más de 10 mil hectáreas de bosques, unas 1,200 has de pastos cultivados y cerca de 800 has de cultivos alimenticios. Además, producen truchas, y últimamente han iniciado a envasar agua de los manantiales para su comercialización. Con los bosques actuales, cosechan diariamente y envían hacia Trujillo para la producción de pulpa de madera, entre 10 a 15 tráileres de troncos de árboles; que si en su misma zona los propios cooperativistas instalaran una planta de papel para procesar dichos troncos, le estarían otorgando un valor agregado y por lo tanto incrementarían sus ingresos, capitalizarían a favor de ellos mismos y generarían empleo en la propia empresa.



Plantación forestal en pleno proceso de crecimiento –Región Cajamarca



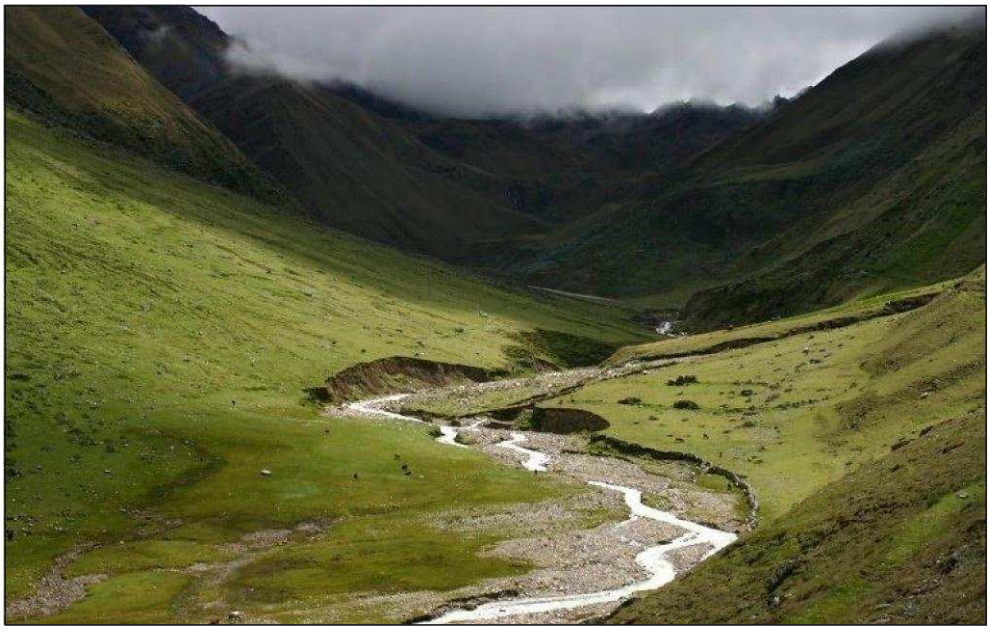
Plantación forestal con un adecuado mantenimiento –Región Cajamarca



Tala de un árbol maduro de pino para la obtención de madera y su comercialización – Región Cajamarca – Región Cajamarca

- **Ingresos por servicios ambientales**

  Al desarrollarse plantaciones forestales, regeneración de pastizales y la protección de bofedales ubicados en las zonas alto andinas como parte de todo un plan de manejo de cuencas, los propietarios de las áreas se pueden acoger a los beneficios de los "Bonos de Carbono" o "Bonos de CO2" llamados también pago por servicios ambientales. Inicialmente, puede representar unos $ 20 – 30/ha - año y con una plantación bien conducida durante unos 10 – 15 años, dichos beneficios pueden llegar hasta los $ 300/ha-año; lo cual será de gran ayuda para el mantenimiento, la sostenibilidad de la plantación y el in-cremento de los ingresos de la familia campesina. Asimismo, se pueden generar otros servicios ambientales como la mayor disponibilidad de agua, la disminución de huaycos en zonas de carreteras, menor cantidad de sedimentos en el agua, lo cual conlleva a lograr una mayor vida útil de reservorios, especialmente los construidos en las partes bajas o en la costa, menor tratamiento de las aguas para uso poblacional e hidroenergía, entre otros beneficios.



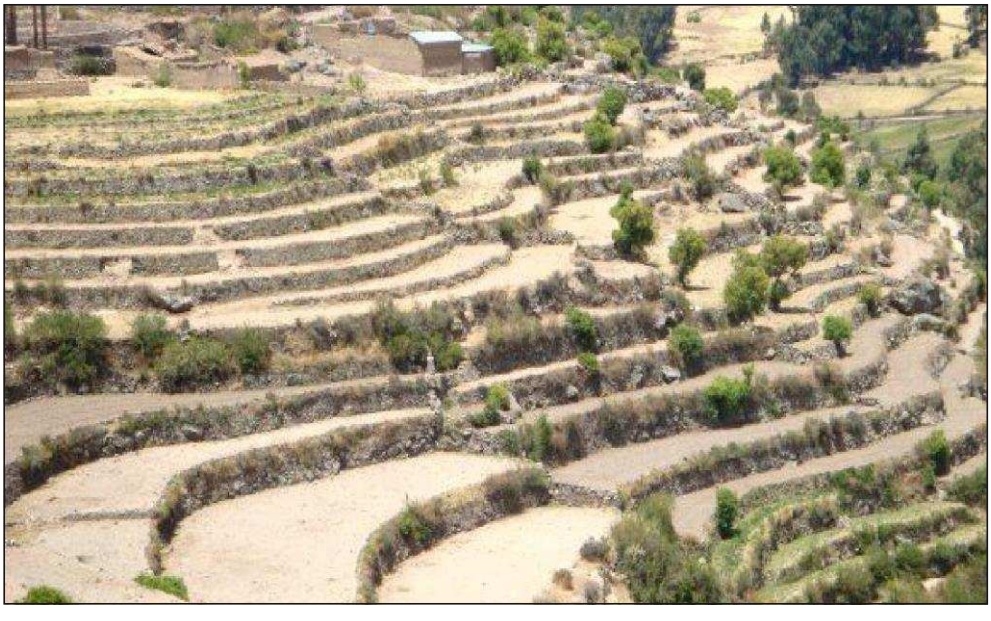
Laderas tratadas con plantaciones forestales y pastizales –Región Cajamarca



Ladera con plantación de pino y su impacto en la descontaminación y captación de agua



Sistema silvo pastoril en óptimas condiciones y su impacto positivo en el medio ambiente



Ladera tratada con andenes de secano y dedicadas a la producción agrícola y su impacto en el medio ambiente – Región Ayacucho

A continuación, a manera de ilustración, se presenta una información representativa promedio de una parte de los beneficios ambientales que genera la cosecha del agua de lluvia mediante la construcción de zanjas de infiltración; ya sea en plantaciones forestales, pastizales o en áreas de protección tomando en cuenta una precipitación promedio anual que varía entre 400 a 1,400 mm/año.

RESUMEN

Para el caso de la sierra alto andina, en 1 hectárea se podría captar entre **3,000 a 9,000 m^3/ha/año de agua de lluvia; es decir,**

En 1 millón de has se podría captar entre: **3 a 9 mil millones m^3/año.** A manera de comparación se presenta que:

- El reservorio de **Poechos** almacena: **500 – 600 millones m^3 de agua.**
- El reservorio de Tinajones almacena: 300 millones m^3 de agua.
- El reservorio de Gallito Ciego almacena: 350 millones m^3 de agua.

Podemos pensar un momento en la cantidad de agua de lluvia que se pueda captar y disponer haciendo tan sólo estos trabajos, pues en la actualidad esas aguas se pierden mayormente hacia el mar.

- El rol de la cubierta vegetal en la lucha contra el calentamiento global:
- 1 hectárea de bosque capta en promedio entre 2 a 20 TM CO2 / año.
- 1 hectárea de pastos capta en promedio CO_2: 1 a 5 TM CO2 / año.
- Retribución económica: \$10 – \$15 /TM CO_2
- 1 hectárea de bosque podrá generar: \$20 a 300/año
- 1 ha de pastizales podrá generar: \$10 a 90/año

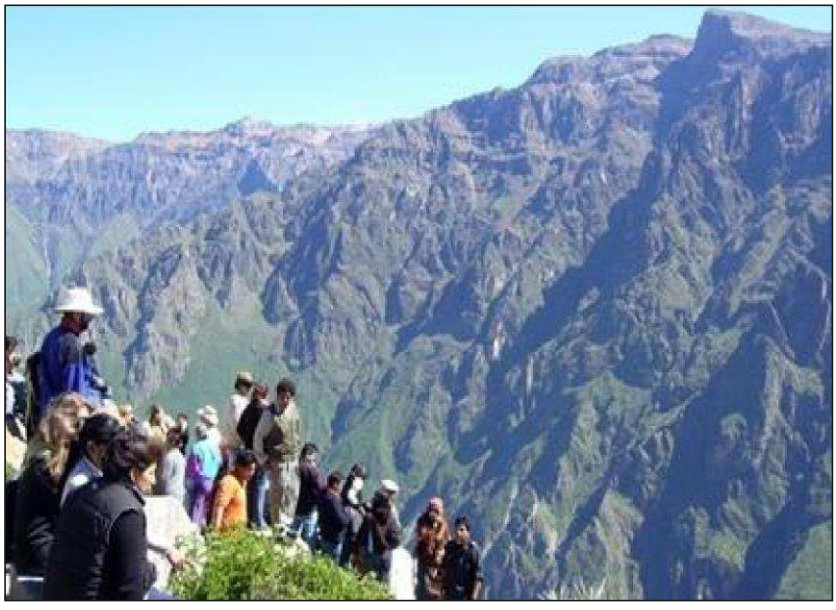
Además, en el muy corto plazo se tendrá que implementar algunos otros pagos por servicios ambientales como, el disponer de una mayor cantidad de agua para uso poblacional, producción de energía, protección de carreteras y de otras obras de infraestructura, etc.; Así como también por regeneración o mejoramiento de la biodiversidad, paisaje y de las condiciones para el ecoturismo; entre otros.

- **Incremento del ecoturismo y turismo vivencial**

  Al mejorarse las condiciones de la cubierta vegetal, la biodiversidad, la disponibilidad de agua, el clima, entre otros; el potencial del ecoturismo aparece como una alternativa viable para la zona. Todo ello redundará en grandes beneficios para la población de la cuenca; más aun teniendo en cuenta que dadas las características de la costa, la sierra constituye una buena

alternativa para convertirse en una zona de gran potencial turístico para nacionales y

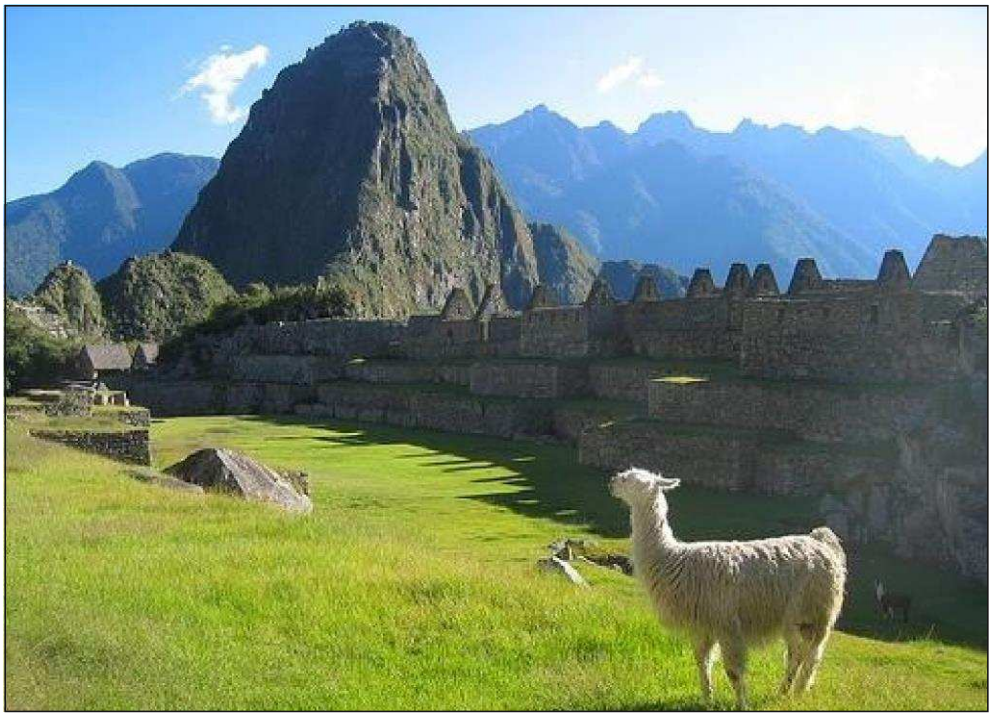
extranjeros, por sus encantos naturales y paisajísticos propios de la región andina y por sus tradiciones esotéricas. Este potencial, podrá ser viable su aprovechamiento, si el Estado emprende un trabajo sostenido de proveer infraestructura de comunicaciones, agua potable, saneamiento, luz y seguridad, entre otros servicios.



Paisaje típico de la sierra alto andina con gran afluencia de visitantes



Pozas con aguas termales ubicadas en zonas alto andinas y con alto potencial turístico



Paisaje típico de la sierra alto andina, con gran potencial turístico



Paisaje natural típico de la sierra alto andina con gran potencial turístico



Laguna Chinancocha, ubicada en zona alto andina y con gran potencial turístico, Llanganuco – Región Áncash

- **Mejoramiento de los ingresos económicos y del nivel de vida de las familias rurales**

  La implementación del plan propuesto generará indudablemente grandes beneficios económicos por el incremento de la producción y productividad agrícola, pecuaria, forestal, turismo, comercio, entre otros. Todo ello servirá de base para el mejoramiento de los ingresos económicos y del nivel de vida de las familias asentadas en las partes altas y medias de las cuencas hidrográficas.



Mujeres campesinas en plena faena agrícola de su parcela



Alegría desbordante de un grupo de niños de campo en un momento de esparcimiento



Feria agropecuaria típica en zona de sierra alto andina con gran participación de productores y compradores



Grupo de campesinos satisfechos al concluir sus actividades agrícolas diarias



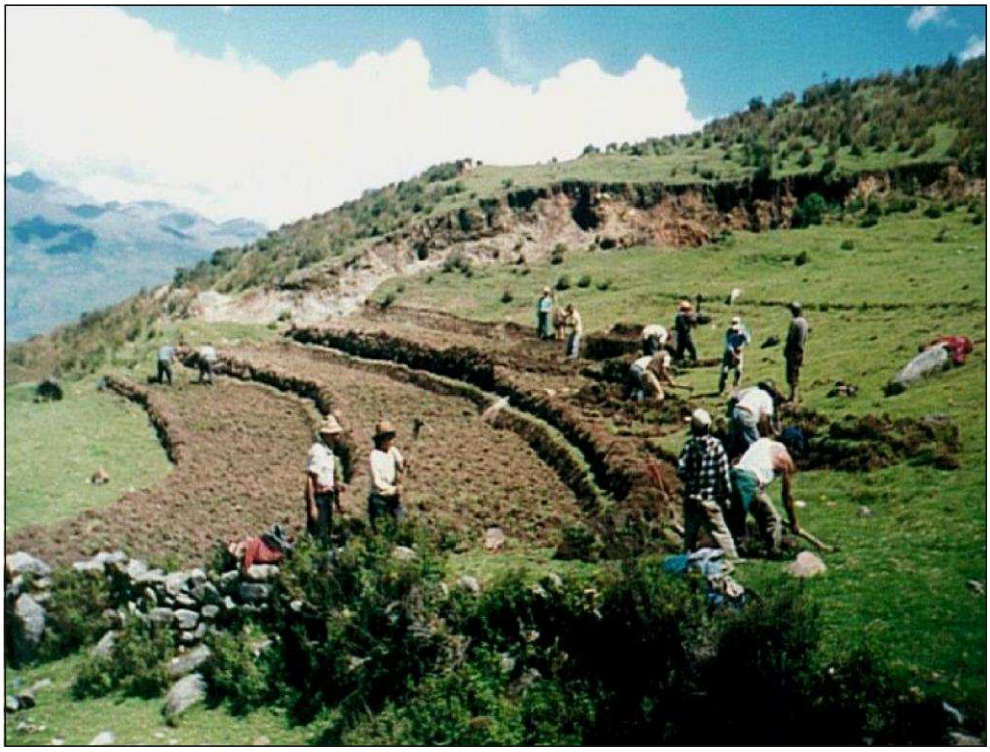
Aula de una escuela rural con los niños realizando sus actividades escolares



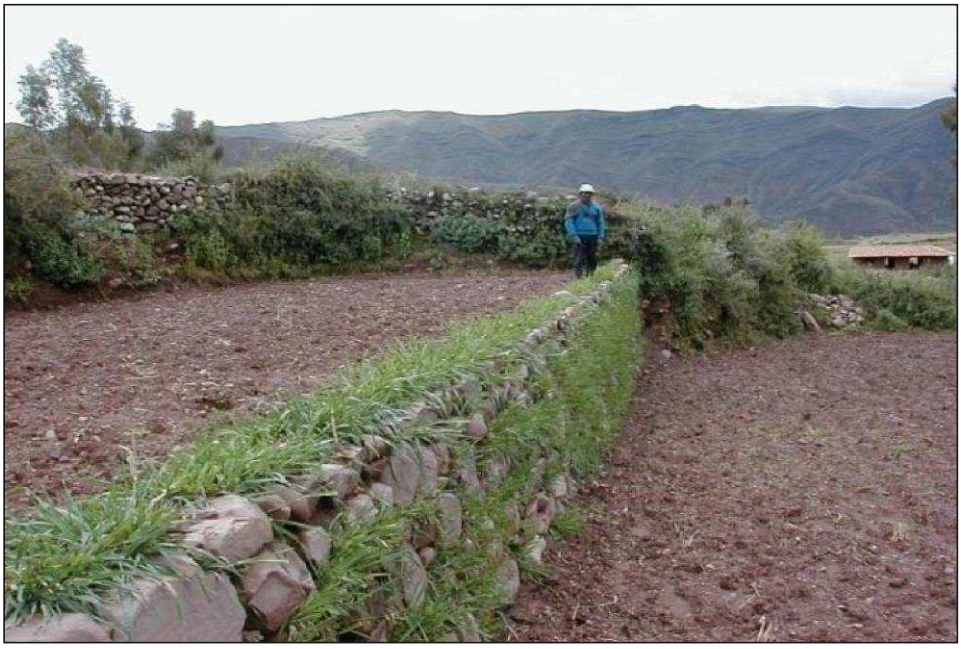
Fiesta típica de una población alto andina con desbordante alegría

Revalorización de las tierras y de los otros recursos naturales

Una de las consecuencias naturales que generará la puesta en marcha del plan propuesto será un incremento considerable de los precios o revalorización importante de las tierras, del incremento del potencial turístico y de los otros recursos naturales existentes en la zona de trabajo. Por ello, se puede afirmar sin lugar a dudas: **¡LA SIERRA ALTO ANDINA SÍ TIENE FUTURO, PERO HAY QUE TRABAJARLA Y EL ESTADO TIENE EL DEBER DE ASIGNAR LOS RECURSOS ECONÓMICOS NECESARIOS PARA ELLO, PUES YA ESTÁ ABANDONADA MÁS DE 500 AÑOS!**



Una ladera en pleno proceso de terraceado y que al final incrementará su valor comercial



Una ladera con andenes en pleno uso y con un mayor valor productivo y económico



Pastizales en zona alto andina con zanjas de infiltración y en consecuencia con un mayor valor productivo y económico de la parcela

Generación de empleo productivo

Una de las consecuencias adicionales de la implementación del plan propuesto es la generación de empleo productivo masivo en actividades como la construcción y mantenimiento de las zanjas de infiltración, en la siembra, la producción, el repique y mantenimiento de las plantaciones ya sea de pastos, forestales, frutales, cultivos andinos, entre otros cultivos que se establezcan en la zona.

A continuación, se presenta como ejemplo un resumen de costos y jornales utilizados por hectárea que genera la construcción de zanjas de infiltración para captar y retener agua de escorrentía superficial y la reforestación o siembra de pastos en las laderas de la sierra.

RESUMEN DE COSTOS Y GENERACIÓN DE EMPLEO EN REFORESTACIÓN Y SIEMBRA DE PASTIZALES Y CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Mano de obra requerida en la construcción mecanizada de zanjas de infiltración y siembra de árboles Mano de obra necesaria por Ha:

- Acabado de las zanjas **: 40 jornales /ha**.
- Marcado, hoyación y siembra de plantones **: 50 jornales/ha.**
- Cuidado y mantenimiento **: 10 jornales/ha.**
- Dirección técnica. **: 0.5 – 2.0% del sueldo de un técnico o profesional.**

Costo total promedio por Ha. (incluye el costo de excavación mecánica de las zanjas y el costo de los plantones):

S/. 3,600 – 4,800 ($. U.S. 1,300 – 1,750)/Ha

Mano de obra requerida en la construcción manual de zanjas de infiltración y siembra de árboles

Mano de obra necesaria por Ha.:

- Marcado y trabajos preliminares **: 5 jornales/ha.**
- Excavación manual de las zanjas **: 80 – 140 jornales/ha.**
- Marcado, hoyación y siembra de plantones **: 50 jornales/ha.**
- Cuidado y mantenimiento de la plantación **: 10 jornales/ha.**
- Dirección técnica **:1.0 – 3.0% del sueldo de un técnico o profesional.**

COSTO TOTAL PROMEDIO POR Ha.

S/. 4,200 – 5,300 ($. U.S. 1,500 – 1,850)/Ha

Los costos mencionados incluyen el costo de los plantones sembrados.

A continuación, se presentan dos casos reales, uno de un modelo de desarrollo rural integrado para la sierra alto andina y el otro del tratamiento de unas laderas de una microcuenca con regeneración o siembra de pastos, de forestación o reforestación y cosecha de agua de lluvia en laderas de la sierra, que pueden ser visitadas y para así comprobar en el mismo terreno las bondades del plan propuesto.

8.3. Modelo de desarrollo rural integrado

Caso 1: Granja Porcón

Periodo de trabajo: 1976 – 2016

Ubicación: Provincias de Cajamarca y San Pablo

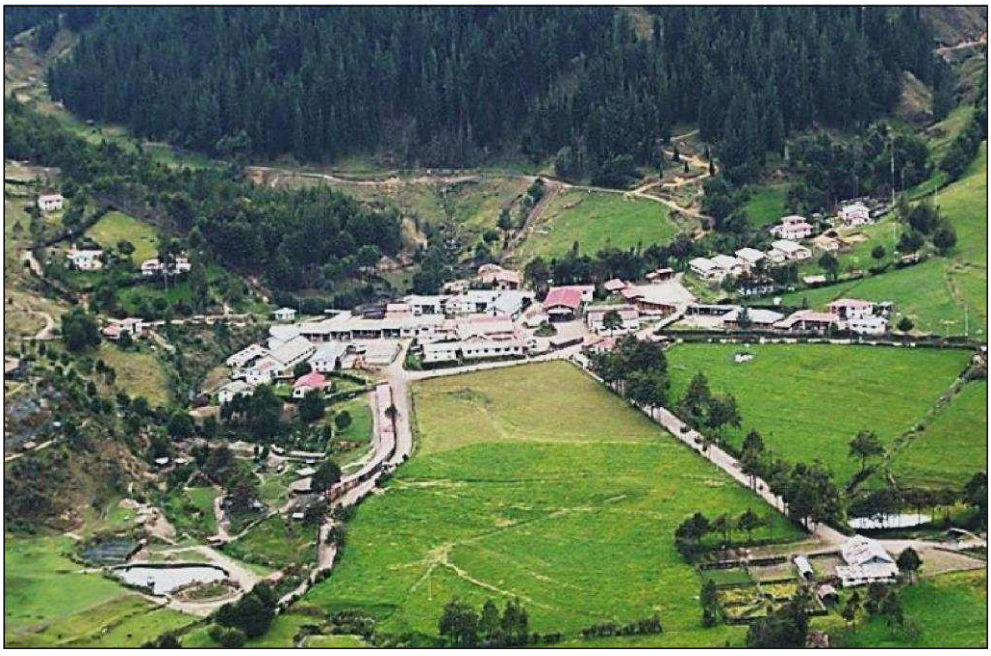
Región: Cajamarca

Altitud: 3,000 – 4,000 msnm

Área total de la empresa: 12,000 has.

- **Área con plantaciones forestales: 10,000 has.**
- **Área con pastos cultivados: 1,200 has.**
- **Área con cultivos alimenticios: 800 has.**

Número promedio de turistas que visitan Granja Porcon : 300,000 / año *)



Vista panorámica de la Cooperativa Agraria de Trabajadores "Granja Porcón" – Región Cajamarca

*) En los años 2012 y 2013 el número de visitas cayó dramáticamente hasta el 10 al 15% de lo normal.



Vista panorámica de plantaciones forestales de "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Plantación de pino y aliso en pleno desarrollo – Región Cajamarca



Plantación forestal de diferentes edades y especies "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Plantación de pinus radiata y pátula en pleno crecimiento "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Plantación de pino de 12 años de edad, podados y raleados "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Plantación de pino pátula de 8 años de edad en pleno mantenimiento "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Plantación de pino rodeada de un cultivo de avena forrajera "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Cultivo de papa en terrazas de formación lenta, rodeada con plantaciones forestales "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Sistema silvo pastoril: pino y pasto cultivado "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Plantación de pino manejado técnicamente y pastos cultivados con vicuñas "Granja Porcón" - Región Cajamarca



Rebaño de vicuñas cercanas al hotel y al pueblo de la "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Pasto cultivado (pasto elefante) en pleno corte para sus animales domésticos "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Trabajo mecanizado en bosque de pino de 13 años de edad "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Acopio de madera producto del raleo de una plantación de pino "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Acopio de madera producto del raleo de una plantación de pino, "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Carguío de madera con grúa, producto de la tala de una plantación de pino "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Tráiler cargado de madera de pino listo para partir hacia Trupal en La Libertad



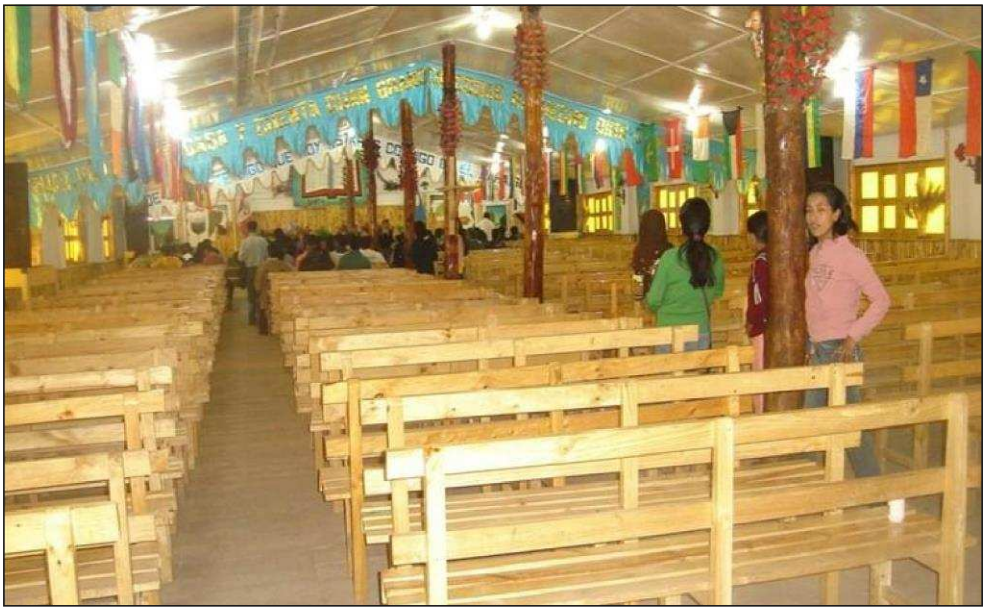
Aserradero para el procesamiento de la madera acopiada con fines industriales "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Tablones de madera aserrada, listos para su comercialización "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Muebles de madera de pino pátula, listos para su comercialización "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Interior de la Iglesia con muebles de madera de pino de la propia "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Telares producidos con madera de pino, listos para su comercialización "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Pozas para la crianza de truchas y posterior venta a los turistas visitantes que visitan "Granja Porcón" – Región Cajamarca



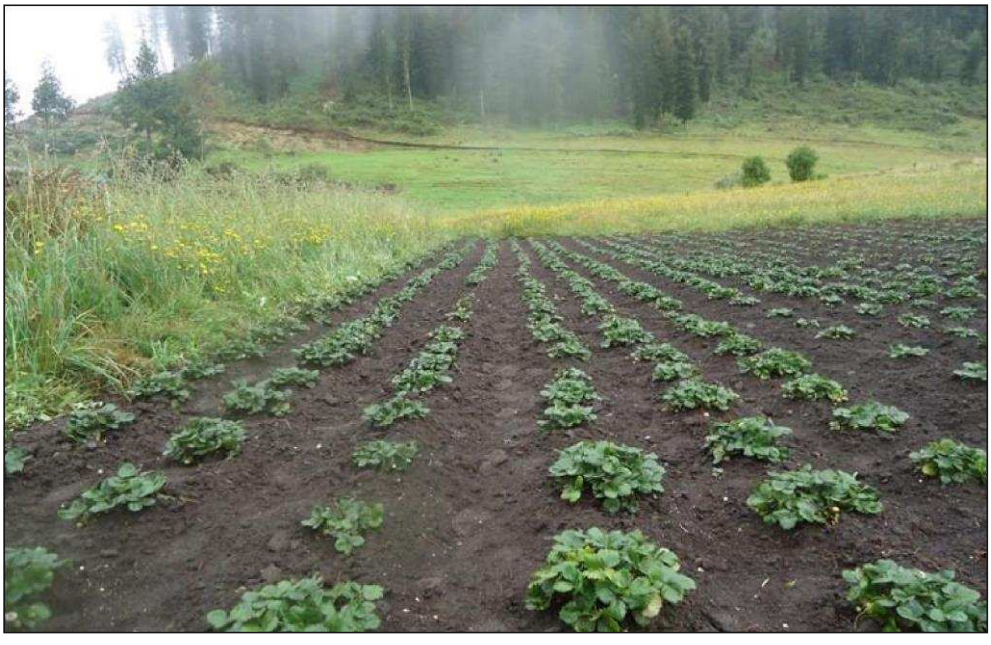
Poza con truchas en edad de ser comercializadas, "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Mujeres en plenas labores culturales del cultivo de papa "Granja Porcón"–Región Cajamarca



Campo con cultivo de papa y plantación de pino a su alrededor "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Plantación de fresas rodeada de una plantación de pastos Reygras y una plantación de pino "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Establo de ganado vacuno lechero "El Tinte", "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Proceso de ordeño de vacunos en el establo "El Tinte", "Granja Porcón" –

Región Cajamarca



El río "El Rejo" con agua en estiaje proveniente de las plantaciones forestales, "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Mini central hidroeléctrica Pululo en "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Crianza en galpones de cuyes de diferentes edades, para atender la demanda de los turistas visitantes, "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Cosecha y selección de hongos comestibles obtenidos de una plantación de pino

“Granja Porcón” –Región Cajamarca



Albergue y Bungalows para turistas, ubicados dentro de las plantaciones de pino “Granja Porcón” –Región Cajamarca



Centro de venta de diversos productos lácteos, elaborados en la propia "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Laboratorio debidamente equipado para envasar agua, para consumo humano directo "Granja Porcón" –Región Cajamarca



Agua almacenada en bidones listos para su comercialización "Granja Porcón" – Región Cajamarca



Agua envasada en botellas de 625 ml de capacidad "Granja Porcón" –Región Cajamarca

Caso 2: Lomo Largo

PERIODO DE TRABAJO: 1999 – 2011

UBICACIÓN: Provincias: Jauja–Tarma, (Distritos: Accolla y Tarma Tambo)

REGIÓN: Junín

ÁREA TOTAL DEL PROYECTO: 1,136 has. (Construcción de zanjas de Infiltración y siembra de árboles y pastos)



Vista panorámica del área de "Lomo Largo" en pleno proceso de desertificación, antes de empezar el proyecto en el año 1,999 – Región Junín



Área de "Lomo Largo" con zanjas de infiltración y con agua captada dela lluvia –

Marzo del año 2000 – Región Junín



Área de "Lomo Largo" después de un año de iniciado el proyecto – Junio del año 2000 – Región Junín



Vista panorámica de "Lomo Largo" convertida en bosque de pinos y pastos con zanjas de infiltración – 2011 – Región Junín



Vista panorámica de "Lomo Largo" con zanjas de infiltración, plantaciones forestales y pastos nativos – 2011 – Región Junín



Vista de la disponibilidad de agua en "Lomo Largo" con piscigranjas comunales para la crianza de truchas ubicadas en la zona (Comunidad Campesina Tingo

Paccha–Jauja) – 2011



Producción de hongos comestibles en las plantaciones forestales en "Lomo Largo" con Rendimientos hasta de 15 a 20 toneladas / campaña – 2011

CAPÍTULO 9

CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

El proceso de contaminación ambiental que viene afectando a nuestro planeta, especialmente con los gases de efecto invernadero (GEI), se viene acentuando e incrementando día a día, generando múltiples impactos, sobresaliendo entre ellos el calentamiento global y el consecuente cambio climático que viene afectando a nuestro planeta. La concentración del principal gas de efecto invernadero en la atmósfera – el dióxido de carbono,CO_2 - ha variado desde alrededor de las 278 ppm que se tenía en el año 1,750, en que se inicia la era pre industrial, hasta haber superado la cifra de 401.95 ppm que fue alcanzada el 29 de junio del 2,015. Esta situación se da fundamentalmente por las crecientes emisiones antropogénicas de GEI provenientes de la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas), producción de cemento, deforestación, sobrepastoreo y el desarrollo industrial y automotriz en general.

Por otro lado, en la actualidad las emisiones de CO_2 aumentan a una tasa promedio de alrededor de 2.05 ppm/año; teniéndose que las emisiones totales son del orden de los 35 – 40 gigas toneladas de CO_2 al año, cifra que va en aumento constante, lo cual agrava las condiciones del calentamiento global y cambio climático en nuestro planeta, que de no hacerse nada para revertir esta situación, se provee que para el año 2,100, la temperatura global en el planeta se incrementará en alrededor de los 4 a 6 °C respecto a la era pre industrial y además, las exorbitantes cantidades de CO_2 que se vienen almacenando en los océanos, generan un proceso de calentamiento y acidificación de sus aguas y un aumento del nivel de mar.

Toda esta situación viene generando una paulatina y creciente gran crisis ambiental en nuestro planeta, la misma que se irá acentuando y generando graves consecuencias para la humanidad y la biodiversidad del planeta, pues la disponibilidad de agua de buena calidad se hará crítica para muchas regiones del mundo, afectando la producción de alimentos debido a los fenómenos de sequias, inundaciones, heladas y tormentas de calor, que se harán más recurrentes e intensas. Por ello es urgente delinear acciones concretas para lograr mitigar estos devastadores efectos que ya se están manifestando y que irremediablemente irán en aumento. A continuación vamos a describir algunos conceptos básicos sobre la materia y el análisis de las causas y efectos de estos fenómenos: Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), calentamiento global y cambio climático y sus efectos.

9.1. Gases de efecto invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero (GEI) siempre han existido en la atmósfera desde la creación misma del planeta y su origen es natural y antropogénico, cuya función es absorber, retener y reemitir radiaciones a la superficie terrestre, a las nubes, a los océanos y al espacio mismo.

Dado que la atmósfera es transparente para la luz visible (onda corta), pero mucho menos para la radiación de onda larga o infrarroja, produce para la superficie terrestre el mismo efecto que produce un techo de cristal en un invernadero. Los GEI que se acumulan en la atmósfera de la tierra absorben la radiación infrarroja (ondas caloríficas) que salen de la superficie terrestre al ser calentada por los rayos solares. Este fenómeno hace que la cantidad de energía solar que ingresa al planeta sea mayor que la cantidad de energía que sale del planeta, produciéndose así una diferencial de energía que va quedándose en el planeta, la cual es la causa del calentamiento que se viene presentando. En consecuencia, el incremento de las emisiones de los GEI, según reportes de trabajos de investigación llevados a cabo en diferentes países del mundo, concluyen que con un 90% de certeza se puede afirmar que los GEI son los causantes del incremento de la temperatura que viene ocurriendo en nuestro planeta.

El incremento de las emisiones de los GEI es producto del crecimiento industrial, económico y social que se viene experimentando en nuestro planeta, ya que para ello se recurre al consumo de exorbitantes y crecientes cantidades de energía, la cual se obtiene fundamentalmente del consumo de combustibles fósiles para la actividad industrial, automotriz, producción de cemento; además de la deforestación acelerada y el sobre pastoreo que afecta a grandes extensiones del planeta, la erosión de los suelos, la quema de biomasa y otras actividades humanas que causan contaminación y depredación de la naturaleza.

Las moléculas de los GEI tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones de onda larga (radiación infrarroja), la cual es eminentemente térmica que proviene del sol y la que refleja de la tierra hacia el espacio, controlando el flujo de la emisión natural a través del sistema climático. Entre los principales GEI se tienen:

- Dióxido de Carbono: CO_2
- Vapor de Agua: H_2O
- Metano: CH_4
- Ozono: O_3
- Óxido Nitroso: N_2O

Además se encuentran en la atmósfera otros gases de efecto invernadero, que son producidos por el hombre:

- Halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro. - Hexafluoruro de azufre (SF6)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Clorofluorocarbonos (CFC_S)

La cantidad de emisiones de los GEI, se pueden expresar en las siguientes unidades, cuyas equivalencias son las siguientes:
Mega = 10^6; Giga = 10^9; Tera = 10^{12}; Peta = 10^{15}; Exa = 10^{18}

Normalmente para expresar la cantidad global de emisiones del planeta se utiliza el término Gigatón de CO_2 o de carbono expresándose de la siguiente forma: Gt CO_2 para el anhídrido carbónico (CO_2) o Gt C para el Carbono (C).
En consecuencia un Gigatón de CO_2 equivale a mil millones de toneladas de CO_2 y se representa: Gt CO_2 = 10^9 ton CO_2.

Un Gigámetro cúbico de agua es equivalente a 1 km^3 de agua y que es igual a 10^9 m^3 de agua, y se representa: Gt M^3 H_2O = 10^9 M^3 H_2O.
Un Gigatón de CO_2 se representa como **1 Gt CO_2** y un Gigatón de carbono se representa como **1 Gt C**. La equivalencia entre ambas (CO_2 – C) es la siguiente:

1 Gt C = 3.67 Gt CO_2.

a) Vapor de Agua

Actúa como un elemento retro alimentador del clima y del efecto invernadero. El volumen de agua aumenta cuando la tierra se calienta.

b) Dióxido de Carbono (CO_2)

Es uno de los elementos más importantes del efecto invernadero y de larga duración. El CO_2 es liberado a través de la respiración de los seres vivos, erupciones volcánicas, cambio de uso de la tierra, deforestación, quema de vegetación, la quema de combustibles fósiles, etc.

c) Metano (CH_4)

Es un elemento mucho más activo que el CO_2 y que es producido por la descomposición de residuos en botaderos o rellenos sanitarios, la agricultura, la digestión de los rumiantes, estiércol de animales, etc.

d) Óxido Nitroso (N_2O)

Es el elemento más poderoso de todos los gases de efecto invernadero y que es producido por el uso de fertilizantes comerciales, la quema de biomasa, etc.

e) Clorofluorcarburos (CFC_S)

Son elementos llamados también cloroflurocarbonos, son elementos sintéticos de origen industrial, cuya producción está regulada por acuerdo internacional, por ser altamente destructivos de la capa de ozono.

En la tierra, las actividades humanas están cambiando la capa del invernadero natural. Al quemar carbón, petróleo, gas natural para la producción de energía; el carbono (C) se combina con el oxígeno (O) del aire para formar el CO_2; de igual manera aunque en menor medida el desbroce de superficies de tierra para la agricultura, la deforestación y quema, el sobrepastoreo, la industria y otras actividades humanas.

Además, es conveniente tener presente que:

- Los GEI representan alrededor del 1% de todos los gases presentes en la atmósfera.
- El dióxido de carbono (CO_2) tiene una larga duración y puede permanecer en la atmósfera hasta por unos 100 años aproximadamente.
- El vapor de agua es uno de los GEI más abundantes en la atmósfera y no repercute en una mayor retención de calor.
- Los científicos han encontrado una relación directa entre la concentración de GEI o el dióxido de carbono y el incremento de la temperatura en la superficie de la tierra.

En el cuadro siguiente se presentan cifras sobre el potencial de calentamiento global o la cantidad de calor que es absorbida por una molécula de cada uno de los principales GEI, comparada con una molécula de CO_2.

Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Potencial de calentamiento Global *)	Fórmula química	Concentración (ppm)		Duración (años)
			1,750	1,995	
Dióxido de Carbono	1	CO_2	278	358	±100
Metano	21	CH_4	0.700	1.721	±12

Óxido Nitroso	310	N_2O	0.275	0.311	120

*) Cantidad de calor que es absorbido por una molécula de gas comparada con el CO_2.

9.2. Concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera

La concentración de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera se ha ido incrementando desde inicios de la era pre industrial hasta la actualidad, pues según los reportes científicos, indican que desde hace unos 400,000 años, las concentraciones de CO_2, fueron variando cíclicamente entre

unos 180 y 280 ppm, cada 100,000 a 120,000 años; hasta que a partir de la era pre-industrial en 1,750 en que se tenía una concentración de unos 280 ppm ha venido aumentando constantemente hasta que en el año 2,005 ya se tenía una concentración de 379 ppm, luego el 14 de mayo del 2,013 se observó 391 ppm y finalmente se alcanzó la cifra record de 401.50 ppm el 29 de Junio del 2,015; lo cual significa que últimamente el incremento promedio de la concentración de CO_2 ha sido del orden de los **2.05 ppm/año**, lo cual debe constituir una preocupación muy seria para nuestra propia supervivencia en el planeta. Este incremento de la concentración de CO_2 se viene dando fundamentalmente debido a la quema de combustibles fósiles y en menor proporción a la deforestación, sobrepastoreo y cambio de uso de los suelos y las otras actividades humanas contaminantes; estimándose que para el año 2,100 la concentración de CO_2 estará bordeando entre 700 a 800 ppm, lo cual generará gravísimas consecuencias en el planeta.

9.2.1. Fuentes de emisión de GEI

Del total de las emisiones de GEI, el 71% aproximadamente corresponden al CO_2; el 19% aproximadamente corresponden al metano (CH_4), aproximadamente un 9% corresponde a las emisiones de óxido nitroso N_2O y aproximadamente el 1% restante corresponde a los clorofluorocarbonos (CFCs), considerados como los más poderosos gases de efecto invernadero (GEI). Las fuentes de emisiones de estos GEI son:

- Aproximadamente el 50% de las emisiones de CO_2 lo produce la industria y la generación de energía térmica.
- Alrededor del 50% de las emisiones de metano (CH_4) proviene de la actividad agraria.
- Aproximadamente entre el 80 al 90% de las emisiones de óxido nitroso (N_2O) proviene de la actividad agraria.

Por otro lado, las fuentes sectoriales de emisión promedio de los GEI, son:

 Industria: 19%

- Producción y suministro de energía térmica: 26%
- Transporte: 13%
- Actividad agraria: 16%
- Edificios, residencia y centros comerciales: 12%
- Desechos y desagües: 4%
- Quema de biomasa y uso de tierras: 10%.

En el siguiente cuadro se puede observar la relación entre el nivel de concentración del CO_2 y la variación de la temperatura en el planeta, reportados por diferentes investigadores e instituciones especializadas.

	Concentración CO_2 (ppm)	**Variación de Tº (ºC)***
Desde hace 800,000 años hasta 1,750	260 – 280	0
2,005	379	0.6
2,006	381	--
2,013	391	--
29 junio 2,015	401.95	0.8 – 0.9
2,050	450 – 470	2.0
2,070	550 – 600	3.0
2,100	800 – 900	4.0

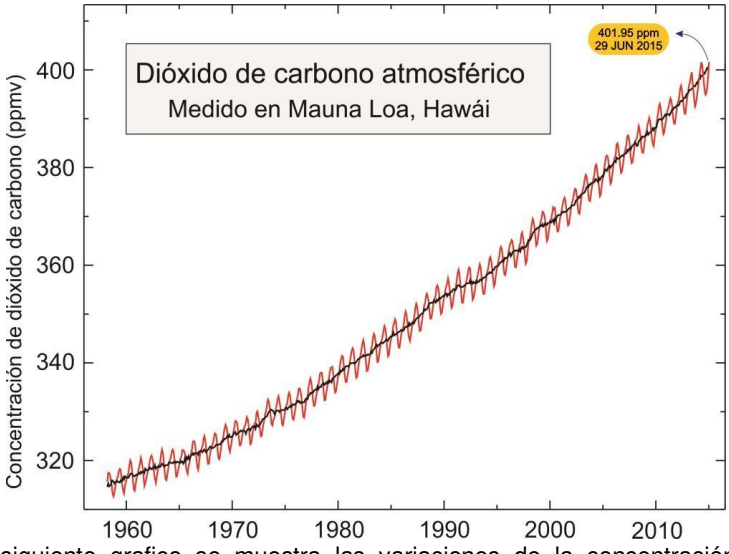
* Incremento conservador de la temperatura respecto al inicio de la era industrial en 1,750.

En el siguiente cuadro se puede apreciar la evolución del proceso de acidificación de las aguas de mar, producto del incremento de los niveles de concentración de CO_2 en los mares y océanos, generándose la formación de ácido carbónico en el mar.

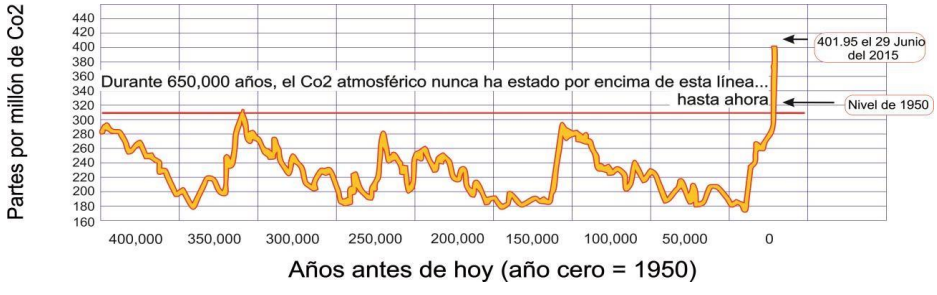
$H_2O + CO_2 = H_2CO_3$ (ácido carbónico)

Año	**Nivel del pH**
1,850	8.90
2,015	7.90
2,050	7.85
2,100	7.75 – 7.80
2,150	7.60

A continuación se muestra la curva de Keeling, donde se puede observar la tendencia creciente de la concentración del CO_2 para el periodo 1,958 – 2,015; obtenida en base a las mediciones realizadas en la estación de Manua Loa de Hawái.



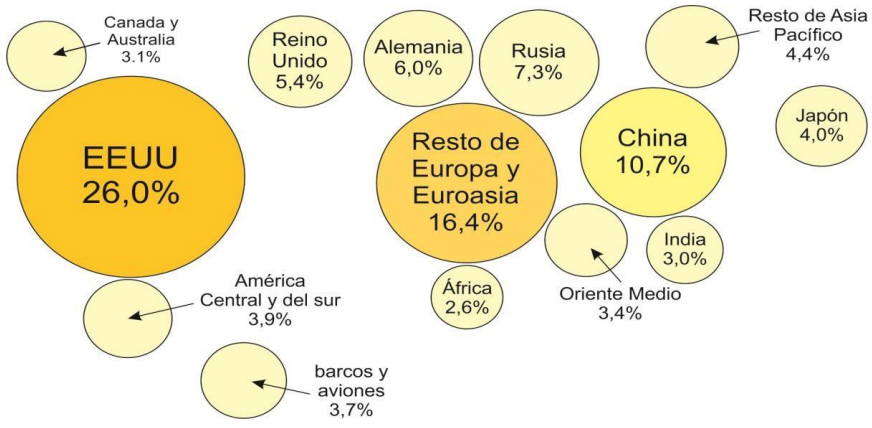
En el siguiente grafico se muestra las variaciones de la concentración del CO_2 atmosférico desde hace unos 650,000 años hasta la actualidad.(*)



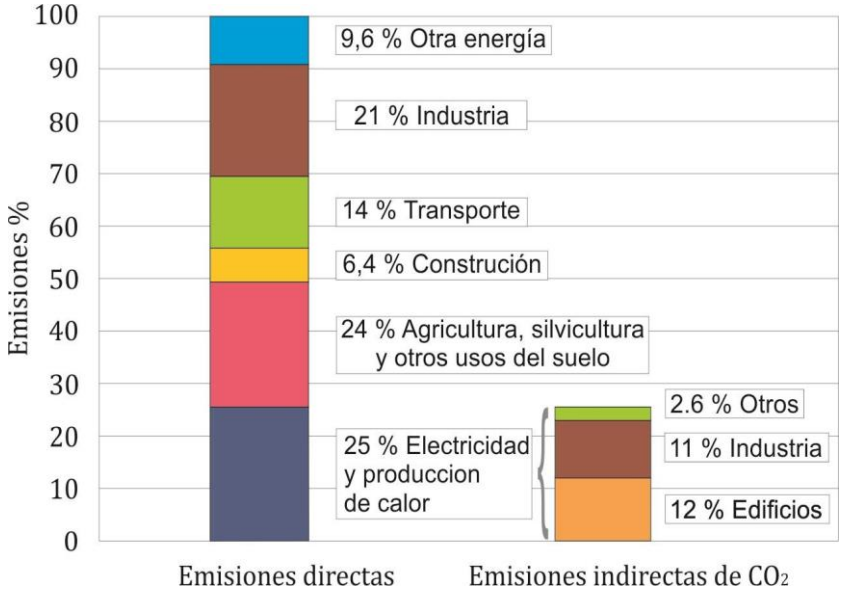
(*) La información la obtuvieron investigadores de diferentes partes del mundo mediante el análisis de núcleos de hielo y mediciones directas.

A continuación se muestran esquemas de las emisiones acumuladas de CO_2 para el periodo 1,751 al 2,012 para algunos países del mundo y para algunas actividades.

Emisiones de CO_2 acumuladas entre 1,751 – 2,012



Participación porcentual de las emisiones acumuladas de CO_2 relacionadas a la energía entre 1,751 y 2,012 a lo largo de diferentes regiones y países del mundo



Las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) se estiman que para el año 2,020 serán del orden de las 45 Gt CO_2/año y para el año 2,050 serán superiores a los 59 Gt CO_2

9.3. Elementos básicos relacionados con el calentamiento global

9.3.1. El ciclo del carbono

El carbono (C) es la base para la vida en la tierra. Este elemento se encuentra "almacenado" en depósitos o yacimientos de carbono a lo largo de todo el sistema terrestre y normalmente se expresan estas cantidades "almacenadas" en gigas (miles de millones) toneladas de carbono (Gt C) o de anhídrido carbónico (CO_2). Entre los principales depósitos de carbono existentes a lo largo del planeta, se pueden mencionar a los siguientes:

- Yacimientos de combustibles fósiles que se ubican en el suelo y océanos.
- En los perfiles de los suelos de la superficie terrestre y algunos sedimentos que se hallan en los océanos.
- En algunas zonas volcánicas, cuyos depósitos forman parte de fuentes activas de emisión.
- Los contenidos en la vegetación, animales y microorganismos.
- Los contenidos en la atmósfera.

Las cantidades almacenadas de carbono en el planeta son estimados en:

- Mares y océanos: 39,000 – 40,000 Gt C
- Depósitos fósiles: 16,000 Gt C
- Suelo: 2,500 Gt C
- Plantas: 650 Gt C
- Atmósfera: 750 Gt C
- Rocas sedimentarias y sedimentos submarinos: 80, 000,000 Gt C.

Por otro lado, existe un intercambio natural permanente de carbono entre la atmósfera, los océanos y el suelo; debido fundamentalmente al proceso de fotosíntesis de las plantas y/o fitoplancton, a su descomposición y a las actividades anaeróbicas de las bacterias, que se encuentran en las plantaciones de arrozales y en los intestinos de diversas especies de animales y que producen metano, entre otras fuentes.

Asimismo, mediante la quema de combustibles fósiles, se libera carbono a la atmósfera, constituyéndose actualmente en la principal fuente de emisión de los GEI.

La deforestación, los cambios de uso de los suelos y el uso de ciertas prácticas agrícolas generan emisiones de carbono hacia la atmósfera del orden de 1.7 Gt C al año.

En la actualidad los océanos absorben en promedio alrededor de 4 kg de CO_2 por día por persona y la cantidad total de las emisiones del planeta son del orden de los 35 – 40 Gt CO_2/año; convirtiéndose así los océanos en los principales sumideros de carbono en el planeta.

9.3.2. El ciclo del nitrógeno (N)

El flujo de nitrógeno está estrechamente vinculado al ciclo del carbono y al ciclo del agua. Las partes importantes del ciclo del nitrógeno son:

- Los usos de fertilizantes: Amonios, materia orgánica, etc.
- La quema de combustibles fósiles, que libera óxido de nitrógeno (N_2O)

9.3.3. Atmósfera en la tierra:

La energía retenida por la atmósfera es afectada por la concentración de GEI y por el vapor de agua que exista en la atmósfera.

9.3.4. Cobertura del suelo:

Alrededor del 50% de la radiación solar que ingresa al planeta es absorbida por la superficie terrestre y los océanos, dependiendo de cómo está cubierto el suelo; pues si está cubierto con vegetación, las plantas absorben y disipan energía; mientras que cuando está descubierto el suelo o está cubierto con pavimento, absorben la energía y la reflejan a la atmósfera en forma de calor, a la cual también se le llama como radiación infrarroja.

9.3.5. Energía del Sol:

El clima de la tierra está determinado por el sol, al proporcionar energía al sistema climático. Los factores que afectan el clima ya sea a corto o largo plazo son:

- Las variaciones cíclicas en la tierra y que se deben a su rotación alrededor del sol y su relación con el resto de componentes del sistema planetario.
- Los niveles de concentración de los GEI y demás contaminantes presentes en la atmósfera.

9.3.6. Los océanos:

Los océanos abarcan alrededor del 70% de la superficie de la tierra y absorben una parte muy significativa de la radiación solar que llega a la tierra, así como también las emisiones de CO_2. Los océanos cumplen una función de regulación, evitando los cambios dramáticos en la temperatura al absorber y retener el calor y grandes cantidades de CO_2. Las corrientes marinas también ayudan a transferir el calor de las latitudes ecuatoriales hacia las latitudes más altas. Sin la presencia del mar, otra sería la situación en nuestro planeta.

9.4. Efecto invernadero (EI)

El efecto invernadero es un fenómeno natural que estuvo siempre presente en la tierra debido a la existencia en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI) y gracias a ello se desarrolló la vida en nuestro planeta, pues de lo contrario la tierra hubiese tenido una temperatura muy baja que habría imposibilitado el desarrollo de la vida humana y de otras formas de vida que se conocen actualmente. Un análisis resumido del efecto invernadero en nuestro planeta, es el siguiente:

Alrededor del 23% de esta energía (79 watt/m^2) es reflejada hacia el espacio por las nubes, aerosoles, ozono y de más elementos existentes en la atmósfera. El resto de radiación avanza hacia la superficie terrestre, pero una parte de ella (alrededor del 78 watt/m^2) es absorbida por la atmósfera, otra parte (alrededor de 23 watt/m^2) es reflejada por la superficie terrestre y que va hacia el espacio

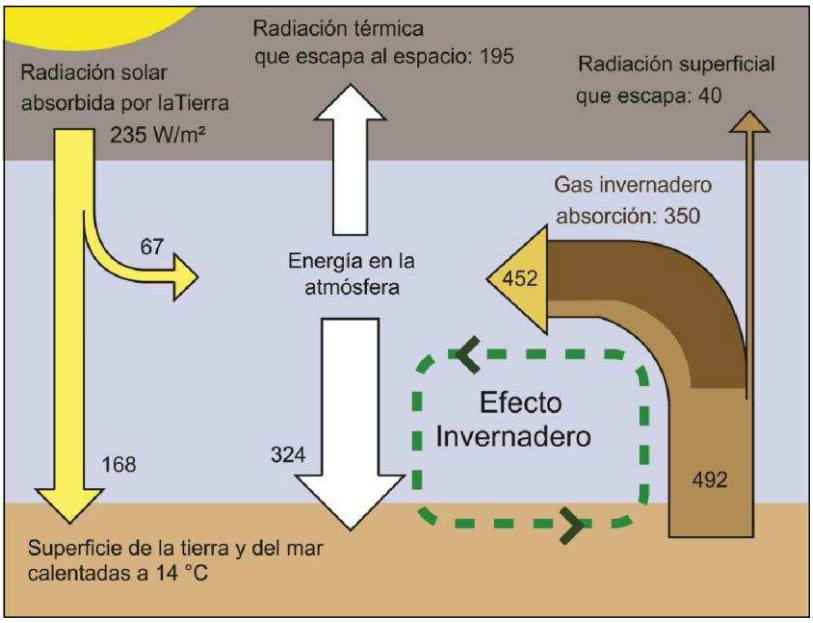
y el resto de radiación (alrededor de 161 watt/m^2) es absorbida por la superficie terrestre y océanos.

De toda esta energía que llega y permanece en la tierra, alrededor de 17 watt/m^2 sale de la superficie terrestre hacia la atmósfera por el fenómeno de convección, unos 80 watt/m^2 salen por la evapotranspiración que se produce en la tierra y océanos y unos 396 watt/m^2 por radiación de la superficie terrestre. Del total de esta energía que sale de la superficie terrestre, alrededor de 333 watt/m^2 regresa a la superficie de la tierra debido a la acción de los GEI, la cual es absorbida por la superficie terrestre y océanos y es la principal causa del calentamiento del planeta; y el resto de energía existente en la atmósfera es reemitida hasta el espacio en forma de radiación de baja frecuencia u ondas largas y cuya magnitud es de alrededor de 238.5 watt/m^2.

Este proceso natural siempre ocurrió en la tierra y al cual se le conoce como **efecto invernadero (EI)** y gracias a este proceso, la tierra mantuvo una temperatura media global que posibilitó el desarrollo de las diversas formas de vida. Sin embargo, con el inicio de la era preindustrial en el año 1,750, la cantidad de GEI en la atmósfera comenzó a incrementarse, inicialmente en

forma insignificante y luego fue creciendo lentamente hasta alcanzar los niveles actuales de emisiones de GEI. Debido al incremento de dichas emisiones de GEI y especialmente del anhídrido carbónico (CO_2), producto de la quema de combustibles fósiles que es usado en el desarrollo de la industria automotriz, producción de cemento y las otras actividades industriales; es decir, con estos hechos el efecto del invernadero natural también comenzó a ser alterado por el hombre, lo cual finalmente viene ocasionando el incremento de la temperatura en el planeta; pero es a partir de las 3 últimas décadas, que diferentes científicos alrededor del mundo han comenzado a dar la voz de alerta de que la temperatura en el planeta se estaba incrementando a una tasa sin precedentes, debido al constante incremento de las emisiones antropogénicos de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera.

Al analizar con profundidad este incremento acelerado de la temperatura en el planeta, se puede encontrar que existe una relación directa entre este fenómeno y el aumento de las concentraciones de los GEI existentes en la atmósfera. A continuación se presenta un esquema sobre el efecto invernadero y los flujos de energía entre la atmósfera, la tierra (incluyendo el mar) y el espacio que existía, hasta inicios de la era pre industrial en el año 1,750.



Esquema del efecto invernadero, con flujos de energía entre el espacio, la atmósfera y superficie de la tierra

En esta gráfica la radiación absorbida es igual a la emitida, por lo que la tierra no se calienta ni se enfría: 235 watt/m^2=195 watt/m^2 + 40 watt/m^2. Esto ocurrió hasta antes de la era pre industrial en 1,750. Esta situación cambió por el creciente aumento del uso de combustibles fósiles y otros efectos contaminantes con GEI.

9.4.1. ¿Cómo funciona el efecto invernadero?

- La energía del sol que recibe la tierra es en forma de radiación de onda corta (30%), luz visible y radiación de onda larga, el resto (70%).

- Parte de la radiación solar de onda corta (22%)que recibe la tierra, es reflejada de vuelta hacia el espacio por efecto de los gases principalmente como el ozono que se encuentra presente en la estratósfera (atmósfera superior).

- La superficie de la tierra y los océanos absorben el resto de la radiación que ingresa a la tierra. La tierra y la vegetación, especialmente la más oscura absorben más y los océanos menos energía. Las capas de hielo y las superficies más livianas reflejan más que lo que absorben.

- Los gases de efecto invernadero (GEI) que se encuentran en la atmósfera absorben y atrapan parte de esta radiación.

- Parte de la energía absorbida en forma de radiación de onda larga o calor, es retransmitida y por lo tanto perdida en el espacio.

- La superficie de la tierra absorbe el calor adicional que es reflejado por los GEI de la atmósfera y que han servido para retener el calor, antes que sea liberado de la atmósfera terrestre.

- En promedio, alrededor del 31% de la radiación que recibimos en el planeta, es reflejada desde las capas más altas de la atmósfera y por lo tanto la superficie terrestre que incluye los océanos llega a absorber sólo alrededor del 69% de la radiación total que ingresa al planeta.

- Los GEI, constituyen cerca del 1% de los gases de la atmósfera.

- El dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO_2), tienen una durabilidad de hasta unos 100 años.

- El vapor de agua es uno de los gases de efecto invernadero más variables y abundante. Sin embargo, en líneas generales, el vapor de agua existe en cantidades suficientes en la atmósfera.

- La correlación histórica entre la concentración de GEI en diferentes etapas de la evolución del planeta y el promedio de las temperaturas globales permiten inferir que el incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) llevará a un incremento continuo de la temperatura promedio del planeta.

9.5. Calentamiento global (CG)

El calentamiento global es el proceso mediante el cual la temperatura de nuestro planeta se viene incrementando sostenidamente y en especial durante las 3 últimas décadas, hecho que viene siendo alertado por diversos científicos a lo largo del mundo.

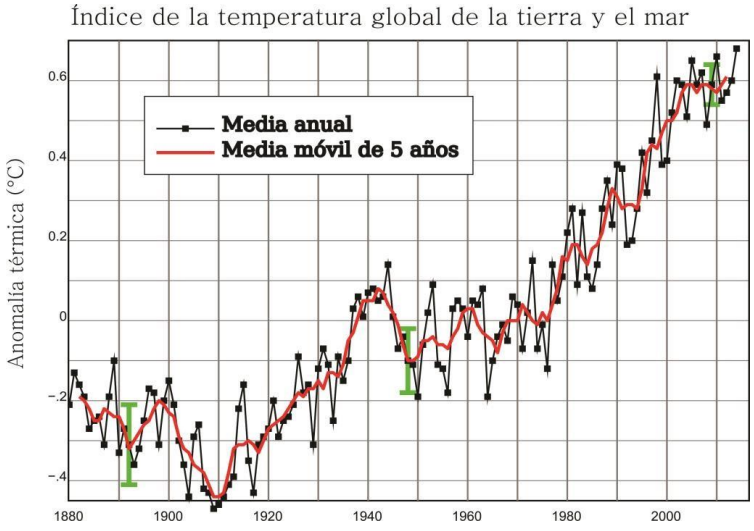
En cuanto al fenómeno de calentamiento global, según diferentes reportes científicos, se puede afirmar con más del 90% de probabilidades, que el incremento de las emisiones de GEI producidos por la actividad humana es la causa principal del incremento de la temperatura en el planeta que se viene observando, debido a que esta capa de GEI retiene una mayor cantidad de energía y que la retorna hacia la superficie terrestre y océanos, generando un calentamiento. Desde el inicio de la era pre industrial en 1,750 hasta la actualidad, la temperatura en la tierra se ha incrementado entre alrededor de

0.80 a 0.90 ºC; pero de continuar con estos niveles crecientes de emisiones de GEI y no hacer nada para detener esta tendencia, para el año 2,050 se podría tener un incremento de temperatura que supere a 1.2ºC, en relación a la situación actual y para el año 2,100 dicho incremento superaría los 3ºC; con lo cual se agravaría considerablemente la crisis ambiental que ya se viene presentando.

Además, es bueno precisar que el incremento de la temperatura en la tierra es del orden de los 0.25 a 0.30 ºC en una década; mientras en los Océanos es actualmente de 0.13 a 0.15 ºC en una década; lo cual se debe a la mayor capacidad calórica efectiva de los océanos y porque pierden más calor por la evaporación que se produce. Además, las aguas de los mares absorben alrededor del 90% de la radiación que le llega, lo cual viene generando el calentamiento de los océanos y mares del mundo.

A continuación se presenta un gráfico de la variación media global de las anomalías térmicas de la tierra y el mar desde el año 1,880 hasta el año 2,014 y además, un resumen de un balance de energía de la tierra elaborado en el

año 2,008 y tomando como base los datos de marzo 2,000 a mayo 2,004 y que fue desarrollado por investigadores de la NCAR en el año 2,008.



Variación media global de las anomalías térmicas en la tierra y el mar para el periodo 1,880 – 2,014. La línea negra es la media anual y la roja la media móvil de cinco años. Las barras verdes indican estimaciones de incertidumbre.

Fuente: NASA GISS.

Resumen de un balance anual de energía de la tierra: Marzo 2,000 – Mayo 2,004

1.- Radiación solar que entra al planeta (onda corta) = 341.3 watt/m^2
2.- Radiación de baja frecuencia u onda larga que sale del planeta y regresa al espacio = 238.5 watt/m^2
3.- Radiación solar reflejada por la tierra y que regresa al espacio = 101.9 watt/m^2
4.- Radiación solar absorbida por la superficie terrestre = 161.0 watt/m^2
5.- Radiación de la superficie terrestre y que va a la atmósfera = 396.0 watt/m^2
6.- Radiación retornada hacia la superficie terrestre por efecto de los GEI de la atmósfera y finalmente absorbida por la superficie terrestre = 333 watt/m^2
7.- Radiación que sale de la superficie terrestre por evapotranspiración y va a la atmósfera = 80 watt/m^2
8.- Radiación que sale de la superficie terrestre por convección y que va a la atmósfera = 17.0 watt/m^2

Resumen general

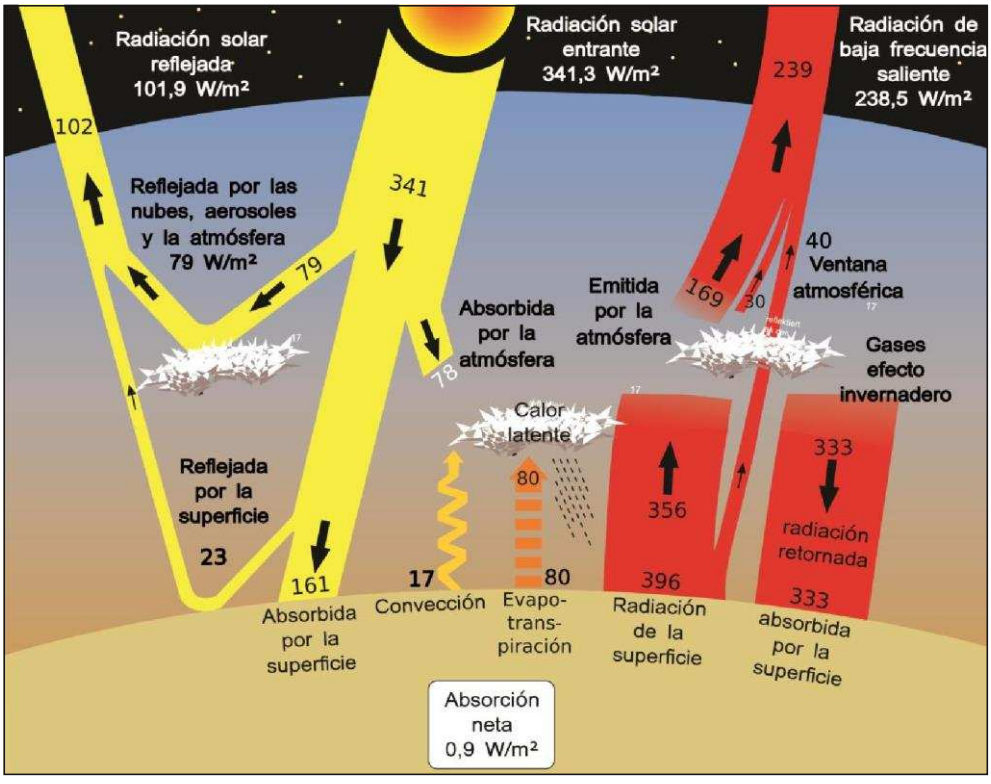
- Energía entrante al planeta = 341.3 watt/m^2
- Energía que sale del planeta = (101.9 + 238.5) ≅ 340.4 watt/m^2

Luego: La cantidad de energía que retiene el planeta (ΔE), será:
ΔE ≅ 341.3 watt/m^2 – 340.4 watt/m^2 ≅ 0.90 watt/m^2

ΔE ≅ 0.90 watt/m^2–año

Esta energía atrapada (ΔE ≅ 0.90 watt/m^2–año) es la causante del **calentamiento global** que viene afectando a la tierra.

Asimismo, científicos de la NASA, del Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia (New York) y del Laboratorio de Lawrence Berkeley (California), han confirmado el desequilibrio de energía en nuestro planeta, midiendo con precisión la variación del contenido de energía térmica del océano que se ha producido en la última década; reportando que el actual desequilibrio de energía promedio anual para el período analizado en nuestro planeta es de alrededor de 0.85 watt/m^2–año o vatios/m^2, que es la energía retenida en la tierra. A continuación se presenta una gráfica sobre los diferentes flujos de energía promedio anual que ocurre en nuestro planeta.



Fuente: NACAR (2008)

9.6. Cambio climático

El cambio climático es el conjunto de las grandes y rápidas perturbaciones o modificaciones que vienen ocurriendo en el sistema climático de nuestro planeta (temperatura, presión atmosférica, precipitación, nubosidad, vientos, nevadas, friajes, tsunamis, etc.), provocado fundamentalmente por el proceso de calentamiento global que se viene acentuando especialmente en las 3 últimas décadas. Es de precisar que parte del efecto del cambio climático también es atribuido a causas naturales propias del sistema solar y que su ocurrencia son cíclicas en el tiempo.

El cambio climático, cuyos efectos ya se están sintiendo en el planeta, viene a constituirse en la mayor amenaza para el hombre y la biodiversidad del planeta y afectará con mayor intensidad en las próximas décadas; es decir el propio accionar irresponsable del hombre está amenazando al planeta. A continuación se mencionan algunos aspectos saltantes sobre el cambio climático y que en todo momento debe ser tomado en cuenta.

Por ello, es de imperiosa necesidad que la humanidad entera tome conciencia de las consecuencias que se tendrán que enfrentar sino se toman las acciones necesarias para detener esta catástrofe climática y humana, que se nos avecina.

9.7. Impactos y cambios observados en el sistema climático

Los impactos evidentes del cambio o alteración en el sistema climático debido a las crecientes emisiones de GEI se vienen intensificando, destacándose entre ellos:

- El hombre se ha convertido en una real amenaza para el planeta al ser el protagonista y autor principal de la contaminación ambiental y del calentamiento global.

- Deflación de la capa de ozono.

- Alteración del ciclo hidrológico.

- Menor disponibilidad de agua de buena calidad en diversas regiones del planeta, acentuándose los déficits de agua que ya se pueden ver en algunas regiones.

- Un incremento del nivel de los ríos, lagos y mares.

- Alteración de los ecosistemas y nichos ecológicos en el planeta, ocasionando la acelerada extinción de algunas especies bióticas; estimándose que para el año 2,050 se podría haberse extinguido hasta alrededor de 1 millón de especies, si los niveles de emisiones de GEI y de la contaminación continúa como hasta ahora.

- Aumento de la contaminación y la acidez de las aguas de mar, debido a la mayor cantidad de CO_2 que se viene acumulando en dichas aguas, generando profundas repercusiones en la actividad biótica de los mares.

- Calentamiento de las aguas marinas y subida de su nivel, afectando severamente a las costas.

- Avance de la desertificación de vastas extensiones de tierras a lo largo del planeta.

- El mar viene absorbiendo unos 4 kg de CO_2/día/persona.

- La concentración del principal gas de efecto invernadero, el CO_2 ha ido incrementándose desde alrededor de 278 ppm (valor entre 270 – 280 ppm) que existía en la atmósfera en la era preindustrial, a más de 391 ppm en mayo de 2,013 y 401.95 el 29 de junio del 2,015. En la actualidad la concentración de CO_2 aumenta a una tasa promedio de alrededor de 2.05 ppm al año, cifra que irá en incremento constante.

- La cantidad total de emisiones de CO_2 en el planeta actualmente es del orden de los 35,000 a 40,000 millones de toneladas métricas anuales (35 Gt CO_2 al año). Si no se adoptan medidas adicionales para reducir dichas emisiones, se prevé que para el año 2,020 podrían llegar hasta unos 45,000 millones de toneladas al año (45 Gt CO_2) y así sucesivamente la tendencia del aumento avanzará indefectiblemente.

- La temperatura media mundial ha venido creciendo hasta alcanzar en la actualidad un incremento de alrededor de 0.8 a 0.9 ºC respecto a la era preindustrial. Este incremento aparentemente no es tan significativo, sin embargo ya se están observando diversos efectos causados por este calentamiento. Para ilustrar mejor valdría preguntar ¿Qué reacciones siente una persona cuando su temperatura corporal sube 1ºC o algo más?. Esa debe ser la guía de preocupación respecto al calentamiento global.

- Los mares de mundo han venido calentándose desde mediados del siglo XX aproximadamente, pues cerca del 90% del exceso de energía térmica atrapada por los crecientes niveles de GEI, vienen siendo almacenados en los océanos como calor; por ello el nivel de los mares se ha incrementado a la fecha en alrededor de 20 cm durante el siglo XX; pero a partir del año 2,011 hasta la actualidad, se viene observando un incremento promedio del nivel del mar del orden de más de 3 mm/año, que de mantenerse la tendencia de dicho crecimiento, a finales del siglo XXI, el incremento adicional total será superior a los 50 cm por lo menos.

- Acelerado proceso de derretimiento de los glaciares, nevados y mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida, debido al calentamiento de la atmósfera y de los mares. Estos derretimientos intensificarán el incremento del nivel de los mares en el futuro; en por lo menos 1.3 a 1.7 mm/año.

- Incremento de la intensidad, la duración y la frecuencia de eventos hidrológicos extremos (sequías e inundaciones) y eventos climáticos, como olas de calor, friajes, huracanes, tifones, tsunamis, etc.; produciendo impactos negativos severos en los aspectos: económico, social y ambiental de nuestra sociedad.

- El incremento de la temperatura en la atmósfera también genera efectos negativos en la producción de algunos cultivos tales como el trigo, el maíz, etc. Asimismo ocasiona severos efectos e impactos negativos en el nivel del crecimiento socio-económico, especialmente de los países pobres, tal como viene ocurriendo durante las últimas décadas.

- Los crecientes niveles de contaminación y acumulación de GEI en la atmósfera está generando mayores problemas en la salud humana: Problemas bronquiales, visuales, dérmicos (piel), cardiovasculares, hepáticos, renales, deshidratación, stress, etc.

- Incremento de la intensidad y aparición de nuevas plagas y enfermedades en la agricultura y ganadería.

- Los crecientes niveles de contaminación y acumulación de GEI en la atmósfera, vienen produciendo alteraciones en los ciclos productivos de cultivos y animales.

- La crisis ambiental afectará a ricos y pobres, pero los pobres sufrirán con mayor intensidad las consecuencias.

- Resultados científicos de pruebas paleo-climáticas y geológicas llevadas a cabo, indican que la concentración de CO_2 siempre fue menor que la actual a lo largo de los últimos 15 millones de años.

9.8. Predecibles impactos en un planeta con una temperatura 3 ºC mayor

Definitivamente, los efectos de un incremento promedio de la temperatura 3ºC mayo, respecto a la temperatura actual del planeta; no se distribuirán en forma uniforme en el planeta, pues existirán zonas con temperaturas entre 4ºC y 7ºC y en la estación de verano será frecuente encontrar zonas con incremento de temperaturas del orden de los 4 – 5 ºC. Entre los aspectos más saltantes de este cambio climático se consideran:

9.8.1. Aumento de las concentraciones del CO_2 y la acidificación de los océanos

Además del constante calentamiento del sistema climático que pueda generar el excesivo crecimiento de la concentración del CO_2 en la atmósfera, la creciente acumulación de CO_2 en los mares y océanos, viene ocasionando que las aguas que contienen elementos carbonatados al reaccionar con el CO_2 generen compuestos ácidos que van modificando el pH de las aguas de mar. Por esta razón, diferentes trabajos de investigación reportan que para un calentamiento de unos 4ºC o más para el año 2,100 respecto a la temperatura de la era pre industrial, correspondería a una concentración del orden de los 800 ppm de CO_2, y un aumento de la acidez de las aguas marinas del orden de los 150%, respecto a la actual. Una situación de esta naturaleza tendría consecuencias negativas severas para los organismos y ecosistemas marinos. Así por ejemplo los arrecifes de coral que son muy sensibles al cambio de la temperatura y del pH de las aguas de mar y a la intensidad, frecuencia y

duración de los ciclones tropicales; es decir estos hábitats sufrirán profundos cambios que afectan incluso su supervivencia. Además si se tiene en cuenta que los arrecifes brindan protección contra las inundaciones costeras, marejadas ciclónicas y daños que podrían causar las olas; además que sirven de hábitat y lugar de cría de muchas especies de peces. Asimismo, sirven también para la alimentación y la generación de ingresos para millones de personas, para la actividad turística y la protección del litoral. Su destrucción o deterioro generará grandes daños a poblaciones y regiones del mundo.

9.8.2. Aumento del nivel de las aguas del mar.

Con un calentamiento de por lo menos unos 3ºC mayor que la temperatura actual en la atmósfera y el aumento de la concentración de CO_2 en las aguas de mar, generarán un calentamiento de las aguas y consecuentemente una expansión volumétrica de las mismas; ocasionando que el nivel del mar suba por lo menos unos 50 cm hasta el año 2,100. Asimismo, los impactos de la subida del nivel del mar serán asimétricos dentro de las regiones y los países mismos, siendo el impacto mucho mayor en los países pobres o subdesarrollados; pues algunas de las áreas costeras se perderán, aumentarán las inundaciones y las intrusiones marinas contaminarán las aguas subterráneas, generando graves problemas económicos, sociales, ambientales y políticos para dichas zonas, donde actualmente viven y desarrollan sus actividades económicas cientos de millones de personas humanas a lo largo del mundo.

9.8.3. Alteración profunda del sistema climático mundial

El sistema climático sufrirá grandes y profundos cambios, destacándose entre ellos:

- Las sequías e inundaciones serán más intensas y se presentarán en forma más frecuentes.

- Las olas de calor, friajes, huracanes, tsunamis serán más frecuentes y de mayor intensidad.

- Los incendios forestales y de pastizales serán devastadores para muchas regiones del mundo.

9.8.4. Alteraciones de los ciclos productivos en la agricultura, ganadería y acuicultura

Las consecuencias que generará la alteración de los ciclos productivos, serán de magnitudes impredecibles; pues al incrementarse la temperatura ambiental y las otras variables climáticas, generará un acortamiento o alargamiento de los períodos vegetativos o de reproducción; una mayor o menor productividad, la calidad de los productos, entre otras consecuencias. La mayor concentración

de CO_2 podría considerarse en algún momento como un aspecto positivo en el ciclo productivo de algunos cultivos, dado que es "insumo" básico de la fotosíntesis de las plantas y que puede considerarse hasta cierto nivel como un fertilizante: **fertilización con CO_2**, pero que al mismo reunirá una mayor cantidad de fertilizantes NPK que se apliquen.

Muchas regiones del mundo sufrirán grandes desastres alimentarios (hambrunas) con consecuencias sociales y políticas catastróficas.

9.8.5. Alteración profunda del ciclo hidrológico

La alteración profunda del ciclo hidrológico agravará la falta de agua de buena calidad en muchas regiones del mundo y que ya en la actualidad vienen sufriendo y para otras regiones aparecerá este problema como algo nuevo, pero en ambos casos las consecuencias serán: **falta de agua para la actividad agropecuaria, para consumo humano y para el desarrollo industrial**. Esta situación generará graves tensiones y conflictos entre regiones, naciones y grupos humanos en disputa por el agua.

Otra consecuencia de la alteración del ciclo hidrológico serán los excesos de lluvia (inundaciones), que se conoce también en muchas regiones del planeta como el **fenómeno de "el niño**".

9.8.6. Aparición de nuevas plagas y enfermedades en la producción agropecuaria y acuícola

La intensidad de muchas de las plagas y enfermedades actuales que atacan a la actividad productiva serán más intensas; pero al mismo tiempo irán

apareciendo nuevas plagas y enfermedades, dadas las nuevas condiciones ambientales que se van dando en nuestro planeta.

9.8.7. Incremento de problemas en la salud humana

Los niveles crecientes de contaminación ambiental y las variaciones del sistema climático en nuestro planeta generará la aparición e intensificación de nuevas enfermedades y epidemias en la salud humana: cáncer a la piel, alergias, problemas hepáticos, renales, cardiovasculares, deshidratación, bronquiales, estomacales, strés, entre otras. Estos problemas se agravarán en zonas con escasez de agua para consumo humano, produciéndose epidemias severas y con grandes pérdidas de vida humana.

9.8.8. Incremento de la deforestación, el sobre pastoreo y las áreas áridas en el mundo

La alteración profunda del ciclo hidrológico y del sistema climático en general, aunado a un desarrollo económico y social asimétrico e injusto en nuestra

sociedad, donde la pobreza y pobreza extrema agobian a más de 1,200 millones de personas en el planeta; empujará peligrosamente a vastos sectores de la población a la deforestación, el sobrepastoreo y a la producción en áreas no aptas para los cultivos; generando todo esto un mayor proceso de erosión de los suelos, el aumento de las áreas áridas en el planeta y una mayor tasa de calentamiento global y cuyas consecuencias económicas, sociales y ambientales serán catastróficas.

9.8.9. Masivos flujos migratorios humanos en el mundo

La violencia, el terrorismo, las sequías, la hambruna y otros hechos catastróficos en algunas regiones del mundo profundizará grandes flujos migratorios de personas en busca de alimentos, salvar sus vidas o de lograr avizorar un futuro para ellos y sus hijos. Estas situaciones generarán tensiones entre pueblos y con consecuencias impredecibles. Personas en esta situación de desesperación entre la vida y la muerte, prefieren morir arriesgando que no haciendo nada para salvarse; esta concepción debe tenerse muy presente, sobre todo por los líderes y autoridades que tienen el poder de decisión de actuar para revertir esta situación.

9.8.10. Inestabilidad y conflictos socio políticos en diversas regiones del mundo

Los conflictos sociopolíticos causados por el hambre, la pobreza, los desastres naturales, las migraciones masivas de personas o refugiados, las sequías y la violencia, generarán grandes inestabilidades políticas en diferentes regiones

del mundo, que incluso serán puntos de inicio de prolongadas guerras y luchas fratricidas.

9.8.11. Contaminación de acuíferos costeros debido a intrusiones marinas

La elevación del nivel de las aguas de mar generará intrusiones marinas, causando la salinización de las aguas de los acuíferos subterráneos de las costas de muchas regiones del planeta. Esta situación afectará a muchas regiones del planeta con las consecuencias de hambre, migraciones masivas e inestabilidad social y política. Además dejará prácticamente a cientos de millones de personas en las regiones afectadas del mundo.

9.8.12. Aumento de la contaminación de los mares

El incremento de los niveles de contaminación de los mares y océanos, debido a la irresponsabilidad total de nosotros, los seres humanos, ricos y pobres, acentuará los problemas económicos, sociales, salud, políticos y ambientales de nuestro planeta. No debemos permitir que los mares sean convertidos en basureros de la sociedad; por el contrario debemos cuidarlo y protegerlo, pues es fuente de salud y vida para la humanidad entera.

9.8.13. Desaparición de muchos nevados y glaciares

El incremento de la temperatura en el planeta acelerará el derretimiento y la consecuente desaparición de nevados, glaciares y mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida y otros nevados a lo largo del planeta. Esta situación retroalimentará el calentamiento global en el planeta y aumentará la elevación del nivel de las aguas de mar y al mismo tiempo disminuirá la cantidad de agua dulce proveniente de dichos deshielos que actualmente son utilizados.

9.9. Tareas prioritarias a desarrollar para hacer frente con éxito a los impactos del cambio climático:

9.9.1. Reducción de las emisiones de GEI y eliminación de subsidios a los combustibles fósiles

Es tarea fundamental de los líderes mundiales, especialmente de los países desarrollados impulsar políticas y acciones concretas para reducir las emisiones de GEI provenientes de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), de las industrias, de la deforestación, sobrepastoreo, producción de cemento, tratamiento de residuos sólidos, etc. Ello será posible si se eliminan todo tipo de subsidios a los combustibles fósiles y se desarrollan aceleradamente las tecnologías necesarias para aumentar las eficiencias en el uso de energía, en todas las actividades humanas, cambiar patrones

energéticos del uso de energía no renovables por el de energía renovables: hidráulica, eólica, solar, marítima, geotérmica, etc. Asimismo es fundamental que los países desarrollados eliminen todo tipo de subsidios a los combustibles fósiles.

9.9.2. Decisión política de las autoridades : Buena gobernabilidad

Sin autoridades desde el más alto nivel de gobierno comprometidos con los problemas de la contaminación, el calentamiento global y el cambio climático, no será posible lograr avances importantes en ese sentido; pues las leyes que podrían darse y ponerse en aplicación, por más buenas que sean, sino hay la decisión política de aplicarlas a plenitud, entonces simple y llanamente no se avanzará; porque muchas veces la corrupción hace que muchas autoridades se hagan de la vista gorda para aplicar a cabalidad las leyes vigentes, tan sólo por unas cuantas dádivas. Además, es de resaltar que la corrupción no sólo viene del lado del estado, sino también de lado del sector privado que al final es el ente corruptor.

9.9.3. Avances tecnológicos para la "guerra biológica" en la producción de alimentos

Ante todo este escenario de problemas que se derivan del calentamiento global y cambio climático, es de suma importancia dedicar grandes esfuerzos para

desarrollar tecnologías y nuevas especies bióticas para el control de plagas y enfermedades en la producción de alimentos, a fin de avanzar hacia una producción ecológica de nuestros alimentos. La guerra biológica para el control de plagas y enfermedades es fundamental para disminuir costos y mejoren la calidad de los productos a cosechar.

9.9.4. Avances tecnológicos para lograr especies bióticas nitrificantes para la producción de alimentos

Algo de prioridad para las próximas décadas es lo referente a poder identificar y desarrollar especies bióticas (bacterias u otras especies) que permitan captar con alta eficiencia el nitrógeno atmosférico y otros elementos nutritivos, para que sirvan como fertilizantes para la producción de alimentos.

9.9.5. Desarrollo de la biotecnología e ingeniería genética

A fin de lograr reducir los consumos de agua por los diferentes cultivos, mediante una mayor eficiencia fotosintética y resistente a mayores temperaturas del ambiente. Asimismo lograr nuevas variedades de cultivos que puedan producir usando agua salada (de mar).

9.9.6. Mejoramiento de especies vegetales

Para aquellas que requieran una menor cantidad de agua para su producción y que sean más resistentes a los déficit de agua y sequías.

9.9.7. Mejoramiento de las eficiencias en el uso y aprovechamiento del agua dulce

Tanto del uso para consumo humano directo así como de la agricultura, industria y demás usos de dicho recurso. Las tecnologías de precisión son fundamentales para el logro de estos objetivos.

9.9.8. Nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas servidas

Es urgente priorizar esfuerzos y recursos económicos para lograr nuevas tecnologías que permitan a costos razonables el tratamiento y la reutilización de las aguas servidas. Las aguas servidas deben ser consideradas como un recurso y no como un problema.

9.9.9. Nuevas tecnologías para la desalinización de las aguas marinas

El avance tecnológico es fundamental a fin de poder lograr los paquetes tecnológicos de mayor eficiencia y de menor costo posible para desalinizar las aguas saladas y poder así abastecer los déficits de las demandas de agua dulce que se puedan presentar debido al crecimiento poblacional o a fenómenos de sequías.

9.9.10. Impulsar la toma de conciencia y promoción de una cultura de protección y cuidado del medio ambiente: Desarrollar una cultura ambiental. ambiental.

En las tareas de capacitación, protección y cuidado del medio ambiente, la participación de la sociedad en su conjunto es fundamental; pues sin ello será prácticamente imposible alcanzar las metas que nos tracemos en cuanto a la lucha contra la contaminación, el calentamiento global y el cambio climático. Toda persona debe tomar conciencia de su obligación que le corresponde desarrollar para cuidar el planeta; el cual es el hábitat de todos los seres humanos y por ello debemos cuidarlo.

9.9.11. Velar por una seguridad alimentaria para los países más pobres

El cambio climático y sus diferentes consecuencias como la alteración del ciclo hidrológico y del sistema climático mundial, alteración de los ciclos de producción de alimentos, aumento de la incidencia y aparición de nuevas plagas y enfermedades, entre otros factores; generará que muchas regiones dependan cada vez en mayor cantidad de los alimentos importados. Esta situación será de gravedad extrema sobre todo para regiones y países pobres y sometidos a sequías u otros desastres naturales. Esta inseguridad alimentaria propia de los países más pobres servirá de base para profundos y graves conflictos sociales y políticos que no sólo quedarán en dichos países, sino que incluso repercutirán en los países ricos. Las catástrofes humanas

generadas por el hombre y la falta de alimentos que afectará a muchos países a lo largo del planeta, debe estar siempre en la agenda de las prioridades.

9.9.12. Construir una sociedad más justa

Para cuidar nuestro planeta no se requiere un crecimiento económico desmedido como el que se viene observando en la actualidad en China u otros países pujantes; es fundamental que ese crecimiento económico sirva también para mejorar el nivel de vida de los más pobres y hambrientos y paralelamente cuidando en forma responsable la contaminación ambiental que pudiera generar dicho crecimiento. El egoísmo de vastos sectores de la humanidad tienen que cambiar hacia una actitud de mayor equidad y solidaridad. Pues debemos tener presente que a una mayor pobreza, habrá una mayor depredación de los recursos naturales y una mayor contaminación individual; pues una persona en extrema pobreza estará tan sólo pensando y actuando sólo guiado por su instinto de supervivencia, es decir se mueve entre la vida y la muerte y por lo tanto muchas veces no tiene ni siquiera tiempo como para reparar en el medio ambiente.

9.9.13. Modificación del patrón energético mundial

El patrón energético mundial basado en la quema de combustibles fósiles tienen que ir siendo sustituido por uno basado en la generación de energías limpias: Energía hidroeléctrica, geotérmica, eólica, solar, etc.

9.9.14. Avances tecnológicos para el ahorro de energía

Los avances tecnológicos, las mayores eficiencias en el uso de energía, diseños inteligentes para la construcción de nuevas infraestructuras y que permitan ahorro de energía, son aspectos fundamentales para hacer frente al gran reto que nos espera enfrentar: **Crecer sin contaminación.**

9.9.15. Masiva reforestación y regeneración de pastizales

La reforestación de las áreas deforestadas y la regeneración de pastizales a nivel mundial es una tarea fundamental que tiene que llevarse a cabo en forma decidida e impostergable. Con ello se logrará descontaminar el medio ambiente, una mayor producción de alimentos, una mayor disponibilidad de agua de buena calidad, producción de madera y generación de riqueza en general.

9.9.16. Cosecha de agua de lluvia en zonas áridas y semiáridas

A fin de tratar de mitigar los impactos de los eventos hidrológicos extremos: sequías, inundaciones, huaycos, etc; es de prioridad desarrollar trabajos de cosecha de agua de lluvia, especialmente en las zonas áridas y semiáridas y con altas tasas de erosión de los suelos. Esta tarea debe entenderse que será de vida o muerte para cientos de millones de personas ubicadas en dichas

zonas. Con esta agua captada se podrá producir alimentos, regenerar la cubierta vegetal y conservar los suelos.

CAPÍTULO 10

APLICACIÓN DE LA GEOMÁTICA EN ESTUDIOS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

10.1. Aplicación de la Geomática en estudios ambientales

La Geomática es un término científico moderno y que está compuesto por dos ramas "Geo" (Tierra), y "Matica" (Informática). Es decir, es el estudio de la superficie terrestre a través de la informática o el tratamiento automático de la información. La Geomatica como una nueva disciplina del conocimiento surgió a principios del 1990 para caracterizar la emergencia resultante de la convergencia de las tecnologías de información de las ciencias de la tierra y del ambiente.

Geomática se refiere a la integración de la medición, análisis, gestión, almacenamiento y visualización de las descripciones y localización de datos terrestres, también denominados datos espaciales. En otras palabras, es un conjunto multidisciplinar de ciencias y tecnologías que trata sobre la adquisición, gestión y explotación de la información espacial georreferenciada.

La Geomática, según Xavier da Silva (2007), conocida también como Geoinformática, es la ciencia de la información espacial, Geocomputación o Ingeniería de Geoinformación, es una nueva rama científica, sin embargo, es relativamente problemático considerar cómo una ciencia, por contener principalmente, tareas altamente técnicas, como programación, creación de estructuras de almacenamiento, recuperación y visualización de datos reestructurados en información.

En el ámbito de la Geomática se integran disciplinas innovadoras como la teledetección, las tecnologías de la información, los sistemas de posicionamiento y las comunicaciones. Varias disciplinas involucradas en la obtención de datos georreferenciados convergen, en este amplio concepto que es la Geomática. Entre ellas se encuentran:

- Fotogrametría
- Teledetección
- Cartografía
- Sistemas de Información Geográfica (SIG)
- Geodesia

- Topografía
- Posicionamiento por satélite

La Geomática, es una propuesta científica, tecnológica e industrial, encaminada a integrar todas aquellas tecnologías de avanzada, relacionadas con la geografía, cartografía general de la tierra e información espacial (Topografía, Geodesia, Catastro, Medio Ambiente, SIG, Fotogrametría Digital, Sensores Remotos, entre otras), caracterizadas en común, por los procesos de sistematización, automatización y electrónica, que llevan el error humano a su mínima expresión, en la obtención de información y generación de productos con la mejor precisión.

La Geomática hoy en día comprende una amplia gama de actividades en áreas de las ciencias de la medición y en los sistemas espaciales de información. Los datos espaciales provienen de múltiples fuentes, entre ellas tenemos:

- De los sensores remotos, fotografías aéreas o espaciales, de vuelos aéreos tripulados y no tripulados (drones), incluyendo imágenes de satélites.
- De Sistemas de Navegación por Satélite de Posicionamiento Global (GNSS).
- Estos datos espaciales, en la forma de mapas, imágenes satelitales o bases de datos electrónicas.

Los datos espaciales son de vital importancia en las operaciones científicas, administrativas y legales involucradas con el proceso de producción y manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), hoy en día vitales para la planificación y toma de decisiones acerca de la Tierra, su medio ambiente y sus recursos.

En síntesis, la Geomática es la ciencia de la medición del ámbito físico que utiliza tecnología digital para la obtención de información geoespacial, útil para la administración y manejo de los recursos territoriales.

10.1.1. La Geomática y los modelos espaciales

Se puede decir que todas las decisiones relativas a la Tierra, su entorno y sus recursos, requieren estudios y análisis de modelos de la Tierra en forma de mapas, planos, imágenes terrestres e información digital. En este sentido, la Geomática es, por tanto, una actividad basada en las tecnologías de la información, relacionada con la colecta de información espacial por la medida, análisis, gestión y tratamiento de datos. Estos datos provienen d diversas fuentes, incluidos los satélites en órbita terrestres, sensores aéreos y marítimos y, también, instrumentos terrestres. Los datos se procesan y tratan

con tecnología de información avanzada, usando elementos informáticos de hardware y software.

Longley et al (2001), se suman a este concepto diciendo que la Geomática como ciencia o Ingeniería de la información espacial, está dedicada al tratamiento de cuestiones fundamentales derivadas de la creación, almacenamiento, manipulación, visualización y recuperación de información geográfica en entorno de sistemas de información geográfica (SIG).

En general, la Geomática está destinada a abordar datos espacio-temporales, relativos a los fenómenos geográficos. Las técnicas empleadas están basadas en la aplicación de modelos matemáticos computacionales para la manipulación de informaciones espaciales. De modo general estos modelos espaciales pueden ser conceptualizados como marcos teóricos que consideran el espacio como una superficie en evolución y en ellos la hipótesis básica es que la caracterización de los fenómenos espacio-temporales se realizan por medio de variables cuya evolución dinámica puede ser descrita de forma continua (Meirelles; Cámara y De Almeida, 2007).

10.1.2. Geomática y Geoprocesamiento

El Geoprocesamiento es la ejecución metódica de una secuencia de operaciones en los datos geográficos para crear nueva información. Los dos propósitos fundamentales que persigue son, ayudar a realizar el modelado y el análisis, y automatizar las tareas de los sistemas de información geográfica (SIG).

El análisis espacial es el proceso de modelar, obtener resultados mediante el procesamiento informático y luego examinar e interpretar los resultados del modelo. El análisis espacial resulta útil para evaluar la idoneidad y la capacidad, para calcular y predecir, para interpretar y comprender. Por ejemplo, se puede utilizar para estudiar las relaciones entre la calidad del aire en un entorno urbano y el asma infantil.

Según Xavier da Silva (2007), la tecnología de Geoprocesamento es considerada como una rama de la tecnología de la computación electrónica de datos, en la medida que se apoya directamente en el procesamiento de datos georreferenciados. De acuerdo con los campos científicos citados, tiene como finalidad principal transformar los registros de ocurrencias (datos), ganancias de conocimientos (información), pero, al igual que toda la tecnologías, es un conjunto de conceptos y procedimientos (programación, por ejemplo), en cuya aplicación surgen nuevos métodos, nuevas técnicas e incluso nuevos conceptos, naturalmente asociados con el aumento de su utilización. Esta concepción de Geoprocesamiento no es contradictorio, en

principio, con los conceptos de su aplicación, como es el concepto de Geomática.

10.1.3. Geoprocesamiento según ESRI (Environmental Systems Research Institute)

Para todos los usuarios de SIG que utilizan ArcGIS, el geoprocesamiento se convertirá en una parte esencial de su trabajo diario con ArcGIS.

Los propósitos fundamentales de Geoprocesamiento son permitirle automatizar las tareas SIG, realizar análisis y modelado espacial. Casi todos los usos de SIG incluyen la repetición del trabajo y esto crea la necesidad de contar con métodos para automatizar, documentar y compartir procedimientos de varios pasos conocidos como flujos de trabajo.

El Geoprocesamiento permite conectar secuencias de herramientas, utilizando la salida de una herramienta para alimentar a otra. Puede utilizar esta capacidad para componer una cantidad infinita de modelos de Geoprocesamiento (secuencias de herramientas) que le ayudan a automatizar su trabajo y a solucionar problemas complejos.

Las 10 herramientas fundamentales de Geoprocesamiento en SIG son las siguientes:

- Buffer (Zona de influencia)
- Clip (Cortar)
- Dissolve (Disolver)
- Merge (fusión)
- Intersect (Intersección)
- Union (Unión)
- Erase (Borrar)
- Symmetrical Difference (Diferencia simétrica)
- Spatial Join (Unión espacial)
- Model Builder/ Constructor de modelos/ Modelizador

Tanto ArcGIS, como QGIS y gvSIG, nos ofrecen estas herramientas que facilitan la automatización de las labores de Geoprocesamiento como conjunto, en lugar de su ejecución individual, ahorrando tiempo, evitando errores y facilitando la gestión de los mismos. Además, los modelos generados pueden ser reutilizados posteriormente simplemente modificando sus parámetros.

Las operaciones más comunes son: cruce de capas, selección y análisis de entidades, procesado de topología y conversión de datos. Permiten definir, manejar y analizar la información geográfica para facilitar la toma de decisiones. Algunas de las más comunes y que usaremos, son:

Herramientas más comunes de Geoprocesamiento en Arc GIS (ArcToolBOX)

- CLIP (Disponible en Analysis Tools - Extract)
- MERGE (Disponible en Data Management Tools - General)
- INTERSECT (Disponible en Analyst Tools - Overlay)
- UNION (Disponible en Analysis Tools - Overlay)
- SPATIAL JOIN (Disponible en Analysis Tools - Overlay)
- BUFFER (Disponible en Analysis Tools - Proximity)
- DISSOLVE (Disponible en Data Management Tools - Generalization)

10.1.4. Sistema de Información Geográfica (GISs)

Un sistema de información geográfica (SIG), es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos), que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

También un SIG es un Sistema Integrado de Gestión, frecuentemente referido a Sistemas de Gestión en los que se integran calidad, medio ambiente y prevención de riesgos. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada.

En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de SIG puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística entre otras áreas.

Por ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona de mercado con escasa competencia.

10.1.5. Funcionamiento de un SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El uso de un SIG facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa con el fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, desde mapas de carreteras hasta sistemas de identificación de parcelas agrícolas o de densidad de población. Además, permiten realizar las consultas y representar los resultados en entornos web y dispositivos móviles de un modo ágil e intuitivo, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, conformándose como un valioso apoyo en la toma de decisiones.

Los sistemas de información geográfica (SIG), se constituyen en sistemas y procesos de análisis que automatizan tareas que usualmente se realizan de forma manual y facilitan la realización de análisis complejos a través de la integración de datos geocodificados, relacionando fenómenos de la realidad con su localización espacial (Felgueiras, 1987; Teixeira et al, 1992).

Los SIG tienen como características principales la capacidad de recolectar, almacenar y recuperar, analizar y efectuar tratamientos de datos espaciales, posibilitando la toma de decisiones, favoreciendo las actividades de gestión, mantenimiento, operación y planificación, además de proporcionar la edición de mapas, textos y gráficos (Marcle & Peuquet, 1983; Teixeira et al, 1992).

El uso de los SIG se ha convertido en una importante herramienta de investigación con un sin número de aplicaciones en las diversas áreas del conocimiento, siendo un instrumento de gran potencial para el establecimiento de planes integrados de conservación del suelo y el agua. Capaz de resolver los problemas encontrados en la gestión de un sistema de información, su metodología de utilización se puede dividir en cinco partes básicas, que son: Recopilación de información, digitalización, edición, generación de imágenes o mapas y análisis espaciales.

Según Santos (2000), SIG es una herramienta capaz de resolver los problemas encontrados en la gestión de un sistema de información vinculado a nuevas formas de gestión del medio ambiente.

El uso de técnicas de Geoprocesamiento o Geomática en la que se incluyen la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se constituye en una herramienta de alto potencial, herramienta para el análisis y la integración de los diferentes componentes de un sistema ambiental, permitiendo el desarrollo de la zonificación y propuestas específicas de gestión con base al cruzamiento de diferentes planos de información espacial (Tavares et al., 2003).

10.2. Aplicación de técnicas de geoprocesamiento en estudios ambientales

10.2.1. Geoprocesamiento en los proyectos ambientales

El procesamiento de datos ambientales constituye, en términos generales, un medio para hacer ciencia y específicamente, para investigar realidades ambientales complejas de manera integral y en consonancia con el ahorro de tiempo y esfuerzo (Silva et al 1987).

Se trata de una tecnología a la que están asociadas orgánicamente ciertas técnicas y procedimientos de investigación; en resumen, es un soporte físico, lo cual resulta una forma de enfoque específico. Desde el punto de vista metodológico, tiene un enfoque único, así mismo su relación con el medio físico, debe ser retomada y discutida a modo de conclusión. Los mismos autores afirman que la firma ambiental es una asociación de características naturales y sociales que se encuentran en su lugar de ocurrencia. La posibilidad de extraer tales características en términos de calidad y cantidad es una función de la disponibilidad de un mecanismo de acceso a una base de datos geocodificados que contenga datos relevantes para la firma deseada.

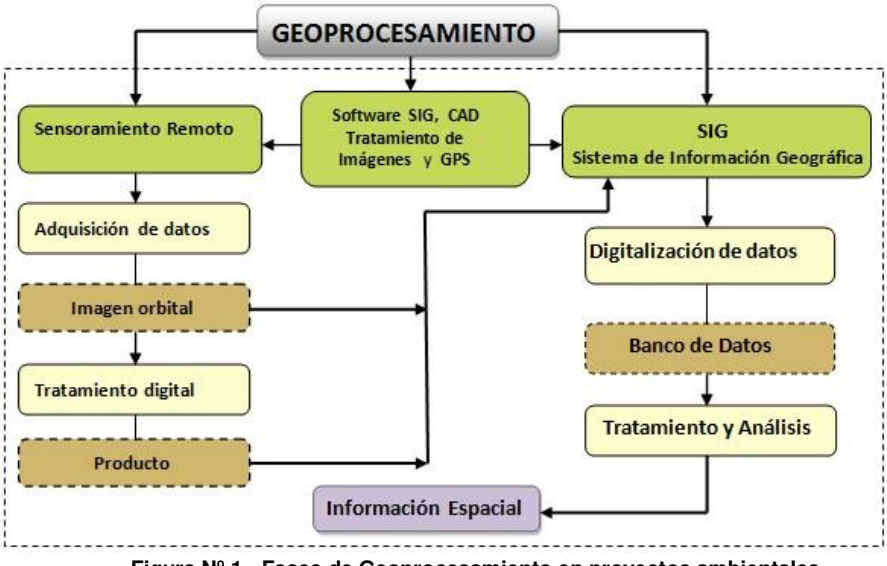


Figura Nº 1.- Fases de Geoprocesamiento en proyectos ambientales
Fuente: Adaptado de Lima y Souza (2008)

10.2.2. Técnicas de groprocesamiento y los sistemas de información geográfica en proyectos ambientales

El uso de técnicas de Geoprocesamiento, en el que se incluyen los sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG), constituye una herramienta con alto potencial para la integración y análisis de los diferentes componentes de un sistema ambiental, permitiendo la elaboración de zonificación y propuestas de manejo especifico, con base al cruzamiento de diferentes planos de información espacial

La aplicación de las técnicas de Geoprocesamiento en estudios de proyectos ambientales conlleva al desarrollo sistemático de una serie de actividades de sensores remotos y de sistemas de información geográfica y entre otras actividades de Geoprocesamiento como podemos percibir en el cadenamiento de actividades que se muestra en la Figura 1, donde se puede apreciar que a través de técnicas de teledetección se obtiene una imagen que pasó por un tratamiento digital y el producto final es transferido a un sistema de información geográfica (SIG), después de establecer una metodología apropiada se crea un banco de datos georreferenciados, luego estos datos son sometidos a procesamiento y análisis para generar informaciones espaciales (modelos digitales de elevación, mapas, etc.). El uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), también se hacen necesarios tanto en la captura de datos, como en la inspección, verificación y validación de datos de campo.

10.2.3. Sensores remotos y teledetección

Los sensores remotos son sistemas o instrumentos para captar información de un objeto o fenómeno a distancia (remote sensor). La teledetección o percepción remota (Remote Sensing, se refiere a la adquisición de datos de la superficie terrestre con un sensor remoto, y al procesamiento e interpretación de esos datos.

Los elementos que participan en la teledetección como se aprecia en la Figura 2 son: el sensor remoto, la fuente de energía, el objeto observado, la atmosfera como medio de propagación, el sistema de recepción (estación terrena), generación de información, el procesamiento y el usuario.

Hasta la década del sesenta, la superficie terrestre era estudiada regionalmente mediante las fotografías aéreas registradas por medio de cámaras fotográficas aerotransportadas, con información del espectro visible.

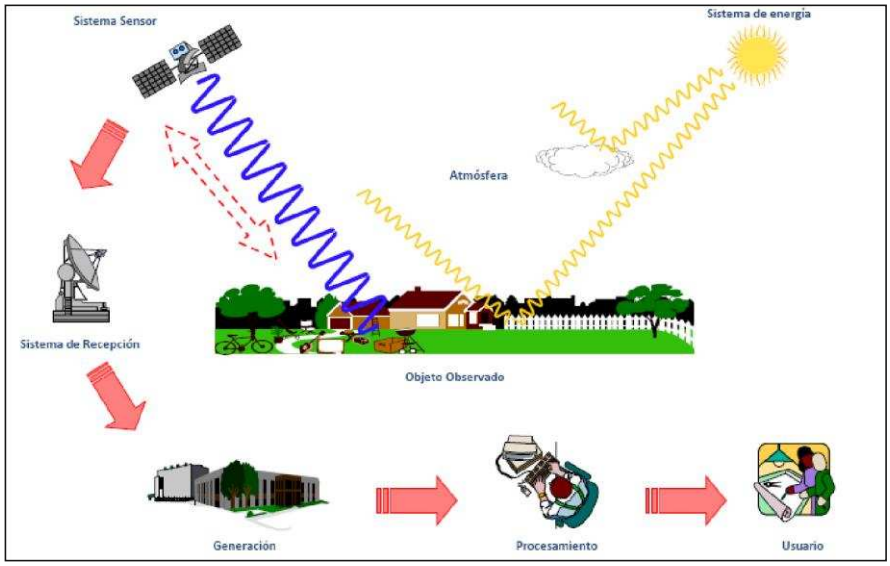


Figura Nº 2.- Elementos que participan en la Teledetección Fuente: Manual usuarios INRI

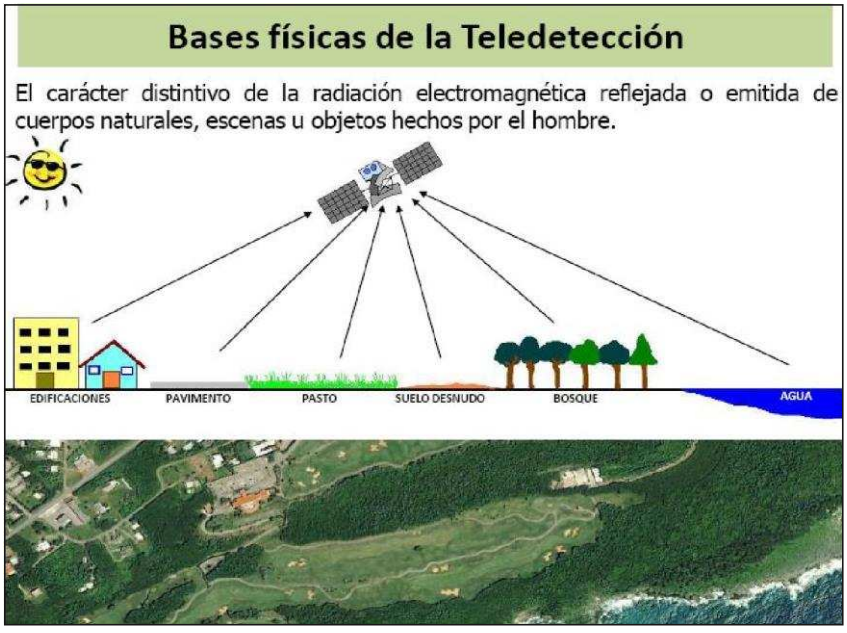


Figura Nº 3.- Base física de la teledetección y los recursos de uso y cobertura de la superficie terrestre. Fuente: S. Quiñones, Sensor AISA Fuente: S. Quiñones, pdf. Sensor AISA

10.2.4. Levantamiento de imágenes multiespectrales

Durante las últimas décadas se produce un importante avance de la teledetección con el desarrollo de sensores como los sistemas de barrido multiespectral y los sistemas activos de microondas, que permiten registrar información en otras regiones del espectro electromagnético, y en formato digital. El lanzamiento del primer satélite de recursos naturales en 1972 permitió iniciar el estudio de la superficie de la Tierra desde una perspectiva multiespectral.

Las imágenes registradas desde satélite proporcionan una información muy útil en los trabajos de cartografía geológica debido a la visión sinóptica de grandes áreas en idénticas condiciones de iluminación, especialmente en la detección de estructuras y accidentes de dimensiones regionales.

Los avances tecnológicos mejoraron la resolución espacial y la visión estereoscópica de los sensores satelitales, permitiendo realizar una interpretación más precisa en cartografías a mayores escalas.

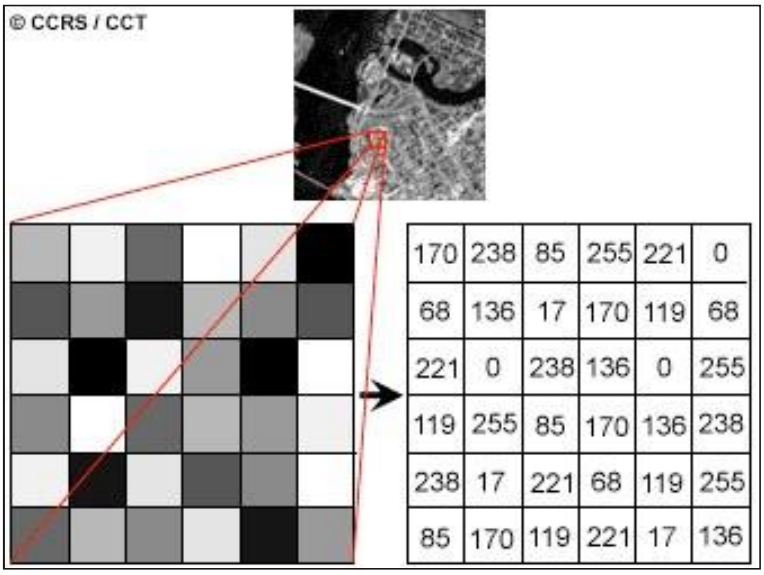


Figura Nº 4-a .- Significado de los pixeles - niveles digitales.
Fuente: E. Chuvieco. Teledetección Espacial

El carácter multiespectral y digital de la información registrada por los sensores remotos dio lugar a los estudios espectrales que permiten discriminar determinadas litologías. Los datos multiespectrales proporcionan

una información muy útil para establecer diferencias en suelos y rocas en base a su composición mineralógica. Por ejemplo: detección de arcillas, de materiales limoníticos y de carbonatos. Las pendientes de las curvas de reflectividad y la posición de los rasgos de absorción en los rangos visible e infrarrojo del espectro electromagnético de estos minerales, permiten caracterizar la respuesta espectral de las rocas que los contienen, cuya detección es crítica en exploración geológica minera.

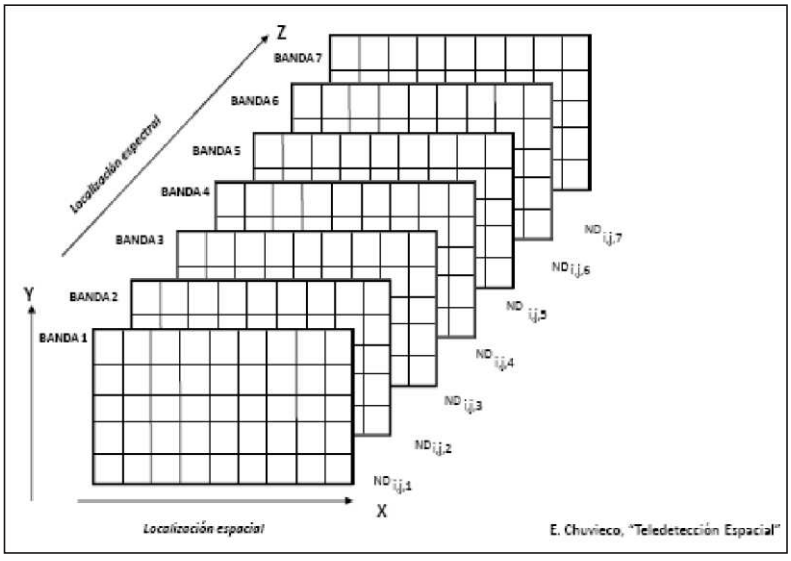


Figura Nº 4-b Estructura de una imagen en bandas espectrales.

La periodicidad de registro de información multiespectral satelital es otro factor importante en estudio de fenómenos dinámicos, tales como procesos de sedimentación costera, erupciones volcánicas, procesos de erosión, desertización y seguimiento de cambios geoambientales.

Los datos satelitales permiten una rápida interpretación visual, ya que abarcan amplias áreas de territorio en forma continua. Los sensores multiespectrales tienen la capacidad de captar la superficie terrestre en diferentes rangos de frecuencia o longitud de onda (bandas) del espectro electromagnético; esto permite la discriminación de los diferentes materiales y visualizar su distribución regional.

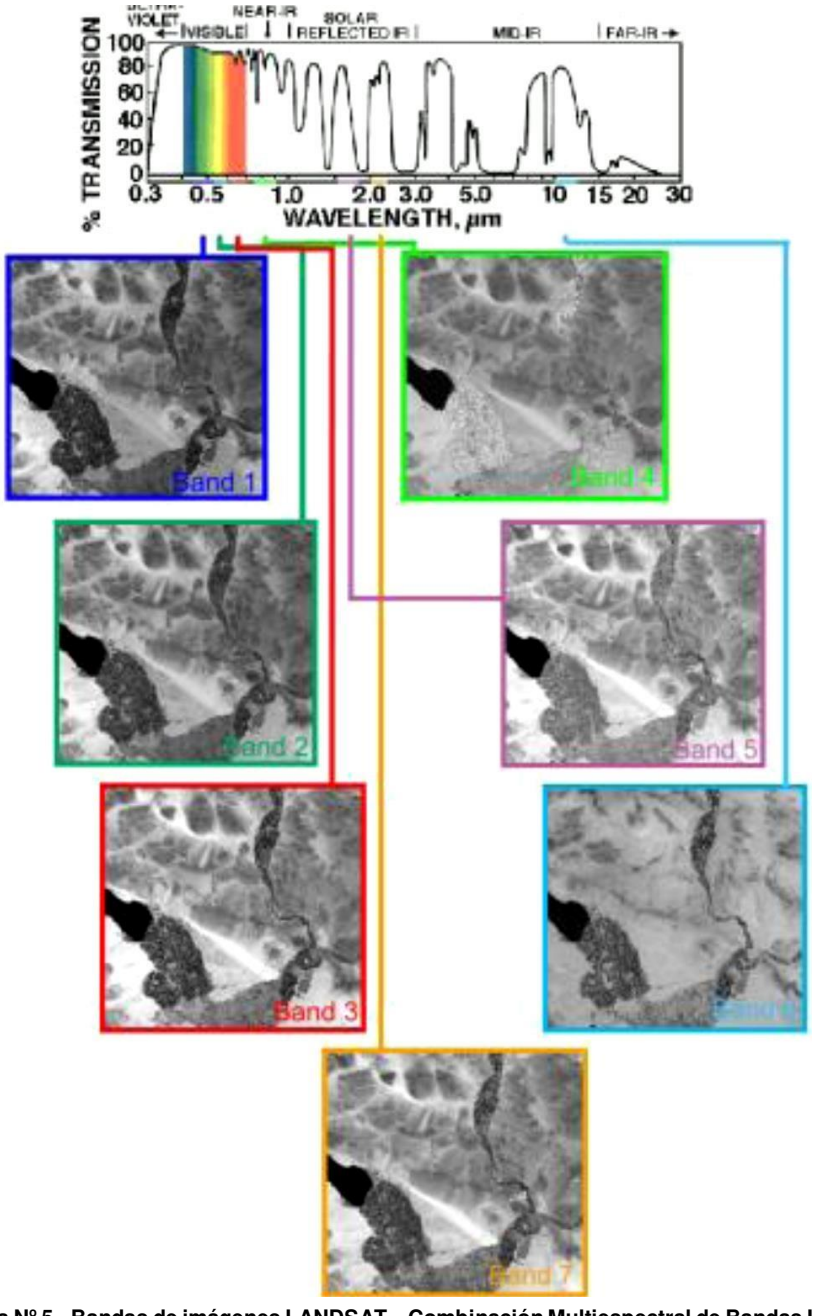


Figura Nº 5.- Bandas de imágenes LANDSAT – Combinación Multiespectral de Bandas Landsat 7 (30 m).

Fuente: Presentación en reunión ESRI – por S. Quinones.pdf Sensor AISA

Las distintas bandas de un sistema multiespectral tienen la posibilidad de ser transformados a diferentes sistemas de proyección cartográfica, de acuerdo a las necesidades del usuario y también pueden ser incorporadas a un sistema de información geográfica (SIG).

10.2.5. Levantamiento de imágenes hiperespectrales

Los instrumentos multiespectrales de teledetección en los satélites dividen el espectro electromagnético en áreas de interés, y miden la cantidad de energía reflejada y emitida en cada uno de estos intervalos (bandas). La resolución espectral es medida por el número de bandas, el ancho de cada una, y su rango dentro del espectro electromagnético.

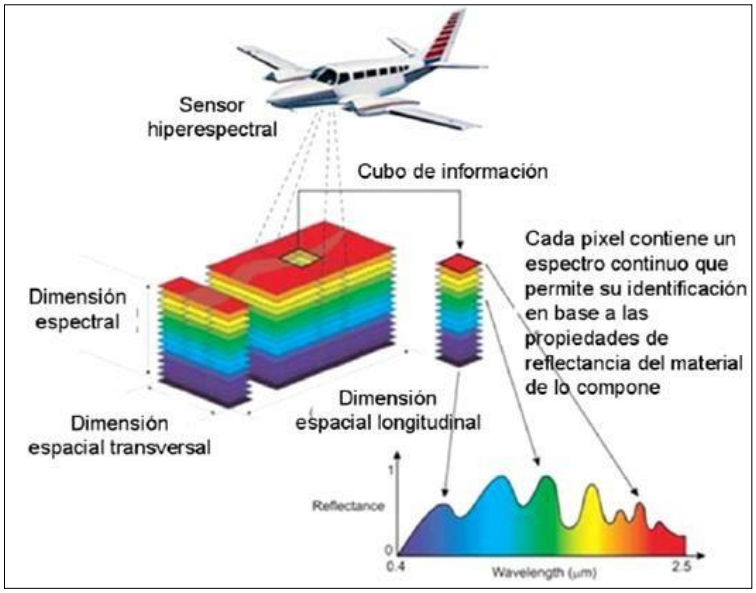


Figura Nº 6.- Sensor hiperespectral AISA Eagle, Análisis y aplicaciones. Fuente usuarios ENSRI-2013/pdf/Sebastian_Quinones.pdf

El espectro o firma espectral es la medición por un sensor de la luz reflejada por los objetos para cada longitud de onda en un amplio ancho de banda. Cada elemento espacial tiene un espectro continuo que es utilizado para analizar las diversas superficies.

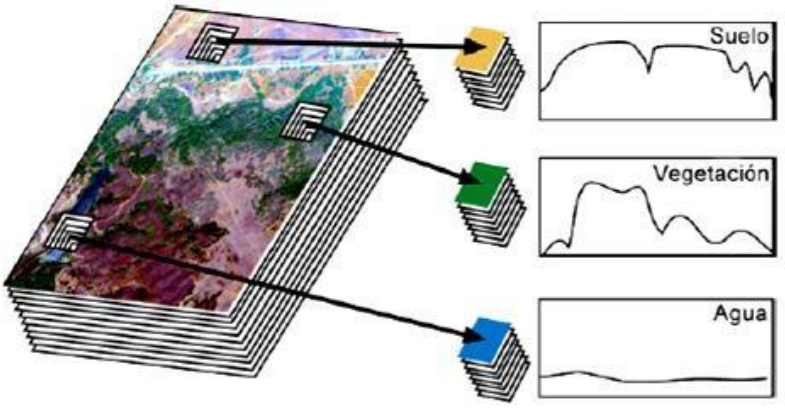


Figura Nº 7.- Firmas espectrales de elementos de cobertura del medio físico

Diferencias entre imágenes multiespectrales e hiperespectrales.
Si bien la mayoría de los sensores hiperespectrales poseen cientos de bandas, no es el número de longitudes de onda observadas que define un sensor como hiperespectral, sino que es la continuidad y fineza de sus mediciones. Esto es, la amplitud de la longitud de onda entre cada banda.

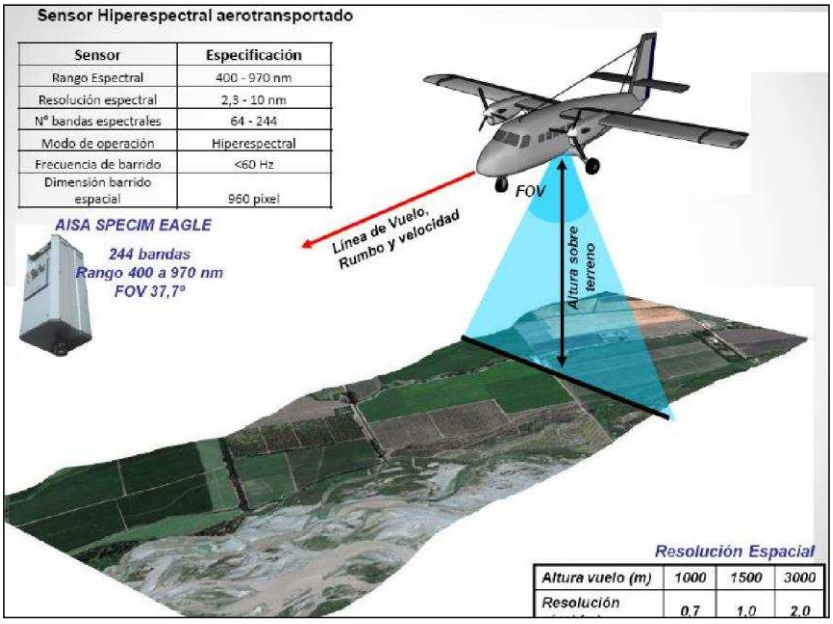


Figura Nº 8-a.- Barrido de imagen hiperespectral.
Fuente: Sebastian Quinoñes - Sensor AISA

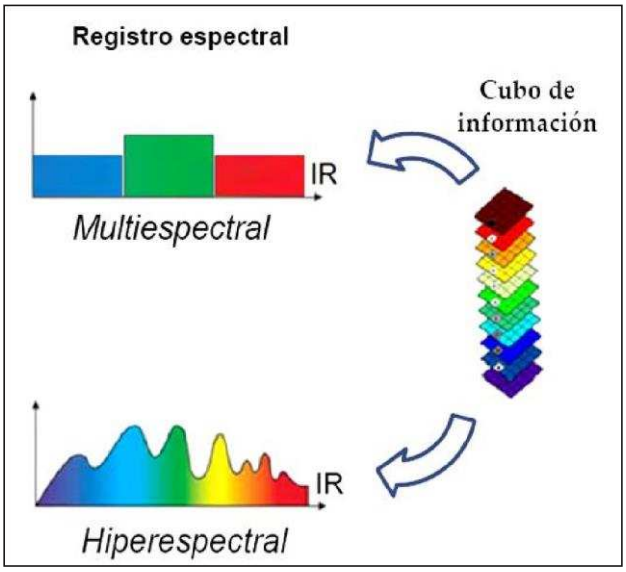


Figura Nº 8- b .- Diferencia espectral de imágenes multiespectrales e Imágenes Hiperespectrales del Sensor AISA
Fuente: Encuentro de usuarios ESRI 2013. Sebastian Quinones.pdf

10.2.6. Procesamiento digital de imágenes satelitales

El procesamiento digital de imágenes es el conjunto de técnicas que se aplican con el objetivo de mejorar la calidad de las mismas o facilitar la búsqueda de información utilizando datos satelitales.

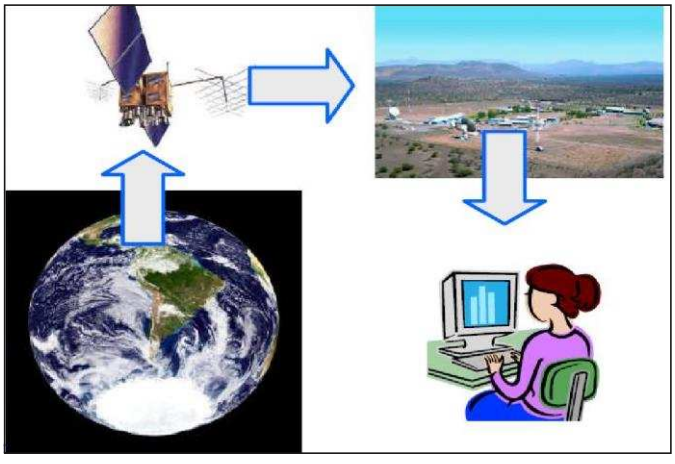


Figura Nº 9.- Sistema de captura, procesamiento y visualización de imágenes de sensores remotos.

Los procesamientos más simples son los siguientes:

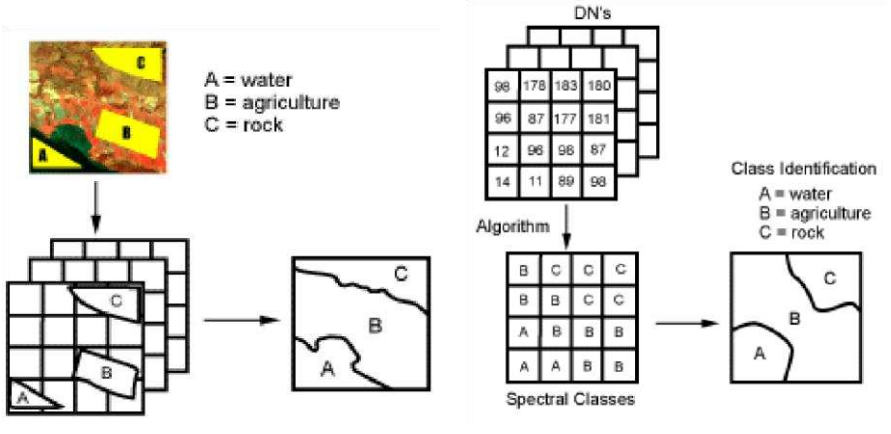
1. Generación de modelos digitales de elevaciones (MDE)
2. Ortorrectificación de imágenes
3. Combinaciones de bandas
4. Mosaicos
5. Aplicación de filtros
6. Aplicación de cocientes de bandas e índices
7. Clasificaciones espectrales

10.2.7. Clasificación digital de imágenes

Es el proceso que implica categorizar una imagen multibanda para obtener cartografía y un inventario de las categorías objeto de estudio. La clasificación digital de imágenes pueden ser: Clasificación Supervisada: Clasificación No Supervisada:

Clasificación Supervisada: Método en el que el intérprete posee cierto conocimiento de la zona de estudio y de limita sobre la imagen áreas representativas de cada una de las categorías que componen la leyenda. Ver figura 10 de clasificación digital de imágenes.

Clasificación No Supervisada: Este método no implica conocimiento del área de estudio. Define las clases espectrales presentes en la imagen basado únicamente en los ND de los píxeles en la imagen. Ver figura 10 de clasificación digital de imágenes.



a) Clasificación Supervisada **b) Clasificación No Supervisada**

Figura Nº 10.- Clasificación digital de imágenes, Supervisada y No Supervisada
Fuente: Manual de usuarios sensores remotos ESRI

10.2.8. Imágenes de sensores remotos de visión tridimensional

Imágenes G-DEM2 ASTER.- El sensor ASTER está instalado a bordo del satélite Tierra, ver Figura 11, genera imágenes de alta resolución espacial, con aplicaciones diversas y obtenidas a través de tres subsistemas de telescopios distintos: VNIR, SWIR y TIR.

El módulo VNIR genera imágenes con resolución espacial de 15 m, dispuestos en cuatro bandas, dos en la región visible y dos en la región del infrarrojo (casi la misma longitud de onda, una imagen en "Nadir" (3N) y la otra en visión lateral (3B), para generar la visión estereoscópica, como puede verse en la Figura 12.

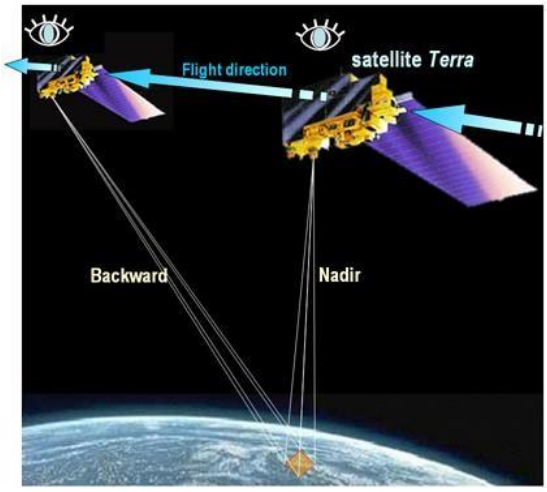


Figura 11.- Sensor ASTER - Satélite Tierra Fuente
http://www.sat.cnpm.embrapa.br

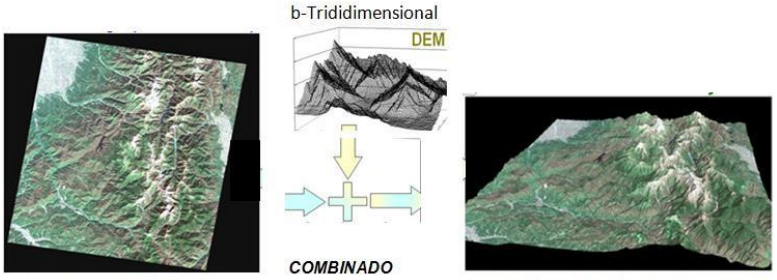


Figura 12.- Imágenes de satélite bidimensionales y con visualización estereoscópica Simulaciones de vuelo pueden ser generados por el uso combinado de datos DEM y datos de satélite o de un mapa.

El módulo SWIR genera imágenes en la longitud de onda de infrarrojos, con la resolución 30m, dispuestas en 6 bandas, y el módulo de TIR, que opera en el infrarrojo lejano con una resolución de 90 metros y produce imágenes en 5 bandas.

Los datos de las imágenes ASTGTM2 están disponibles en un paquete que incluye un DEM (.dem) una evaluación de la calidad (QA,.Num), y el archivo léame (.pdf), comprimidos en un solo "zip". Ambos archivos de datos (Dem. y .Num) tienen tamaños de muestra de 3.601 por 3.601 líneas, correspondientes baldosas 1 x 1, o escenas de 60 x 60 km (cuadriculas de 3.600 km^2). La precisión de la imagen de ASTGTM2 es de 1 segundo de arco = tamaño de píxeles (resolución espacial de 30 m en el ecuador).

Los datos de las imágenes ASTGTM2 están disponibles en un paquete que incluye un DEM (.dem) una evaluación de la calidad (QA,.Num), y el archivo léame (.pdf), comprimidos en un solo "zip". Ambos archivos de datos (Dem. y .Num) tienen tamaños de muestra de 3.601 por 3.601 líneas, correspondientes baldosas 1 x 1, o escenas de 60 x 60 km (cuadriculas de 3.600 km2). La precisión de la imagen de ASTGTM2 es de 1 segundo de arco = tamaño de píxeles (resolución espacial de 30 m en el ecuador).

Imágenes de satélite CBERS-2.- La imagen orbital registrada como CBERS-2 del Sensor CCD, instalado a bordo del satélite CBERS 2. Es una imagen de alta resolución espacial en 5 bandas, colectadas por el INPE (Instituto de Pesquisas Espaciales). Ver características del sensor y de imágenes en la Figura 13. La figura, nos muestra el barrido del sensor CCD del satélite CBERS y la obtención de imágenes con visión estereoscópica.

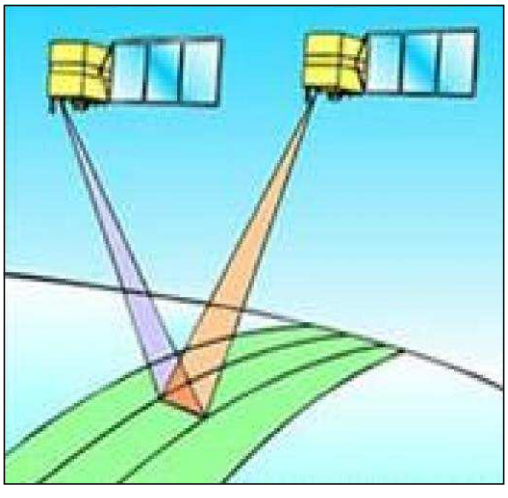


Figura 13.- Sensor CCD- Satélite CBERS2 generando una imagen con estéreopar con visión estereoscópica. Fuente: http://www.inpe.org.br

Para el ejemplo la imagen orbital CBERS-2-CCD1XS-20060721-190-109-L2, fue adquirida en 5 bandas, por el sensor CCD de alta resolución espacial, instalado a bordo del satélite CBERS-2, de fecha 21 de julio de 2006, colectada por el INPE - Brasil (Instituto de Pesquisas Espaciales) con escala hasta 1: 25,000, la resolución geométrica es del orden de 20 m, resolución temporal de 26 días (visada vertical) y 3 días (visada lateral y área imaginada de 113 x 113 km., cada pixel representa una superficie de 400 m^2 composición de color, con cinco canales espectrales:

- Banda 1: 0,45 a 0,52 mm, región del azul,
- Banda 2: 0,52 a 0,59 mm, región del verde,
- Banda 3: 0,63 a 0,69 mm, región del rojo,
- Banda 4: 0,77 a 0,89 mm, región del infrarrojo próximo, □ Banda 5: 0,51 a 0,73 m m, región pancromática.

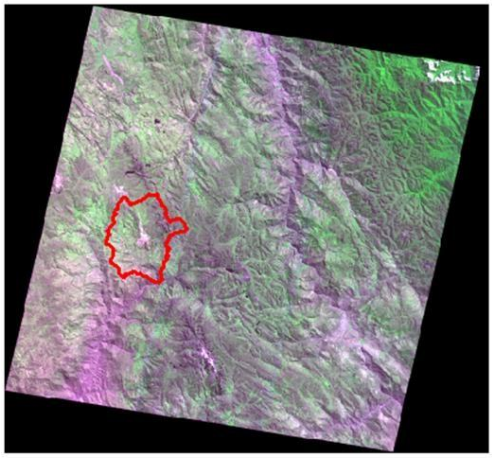


Figura 14.- Imagen CBERS2, área estudio sub-cuenca Angasmarca. Imagen de composición colorida de las bandas 4.3.2. Fuente: http://www.inpe.org.br

10.3. Aplicación de técnicas de geoprocesamiento en cuencas hidrográficas

10.3.1. Conceptos de cuenca hidrográfica

Existen varias definiciones de cuencas hidrográficas que fueron formuladas a lo largo del tiempo. Así Barrella (2001), define cuenca hidrográfica como

un conjunto de tierras drenadas por un río y sus afluentes, formada en las regiones más altas del relieve por divisores de aguas, donde las aguas de las
lluvias o drenan superficial formando arroyos o ríos, o filtrarse en el suelo para la formación de los manantiales y las aguas subterráneas.

Según Silveira (2001), la cuenca se define como un área de influencia natural de las precipitaciones de agua que hace que los flujos converjan en un solo punto de salida, la cuenca se compone de un conjunto de superficies vertientes y de una red de drenaje formada por cursos de agua que confluyen hasta resultar un lecho único en el estuario, como se muestra en la figura 15. La cantidad de agua que llega a los cursos de agua depende del tamaño de la misma, de la precipitación total y de su régimen y de las pérdidas debidas a la evaporación, la transpiración y a la infiltración (Christofoletti, 1980).

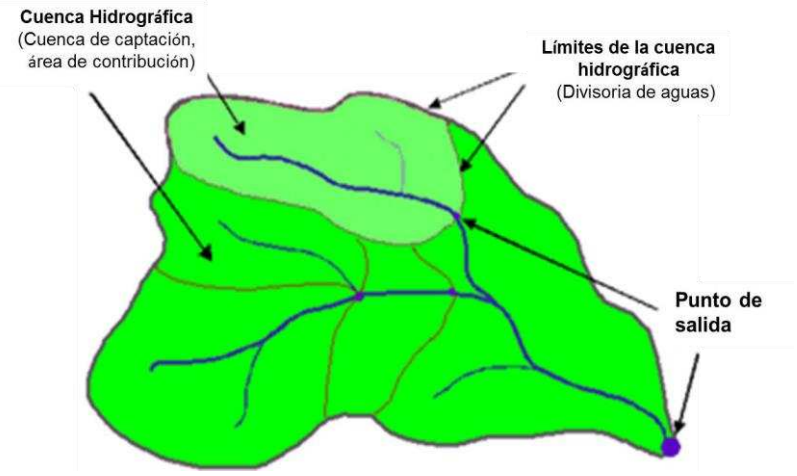


Figura Nº 15.- Representación de cuenca hidrográfica, se indica área de contribución, línea divisoria de aguas y puntos de salida Fuente: ArcGIS Desktop, hidrológico Analyst de ESRI 2008.

Lima y Zakia (2000), se suman al concepto geomorfológico de la cuenca hidrográfica, un enfoque sistémico. Para estos autores las cuencas hidrográficas son sistemas abiertos, que reciben energía a través de los agentes climáticos y pierden energía a través de la escorrentía pudiendo ser descritas en términos de variables interdependientes, que oscilan en torno a un estándar, y de esta forma en tanto sean perturbadas por las acciones antrópicas se encuentran en equilibrio dinámico. Así cualquier modificación en el recibimiento o en la liberación de energía, o modificación en la forma

del sistema, resultará en un cambio compensatorio que tiende a minimizar el efecto de la modificación y restaurar el estado de equilibrio dinámico.

Por lo tanto, el concepto de cuenca hidrográfica está asociada a una subdivisión geográfica delimitada por divisorias de aguas, que conduce la escorrentía resultante a un sistema fluvial. La divisoria de aguas sigue una línea estricta o rígida alrededor de la cuenca, que cruza el curso de agua sólo en el punto de salida, uniendo los puntos de máxima cota entre cuencas (Villela & Mattos, 1975).

Todavía es muy importante contar con algunos conceptos bien definidos que son fundamentales para el análisis y la evaluación ambiental de una cuenca como los siguientes:

Cursos de agua

Según Villela y Mattos (1975), cursos de agua en una cuenca hidrográfica, se pueden clasificar en tres tipos:

- **Perennes:** Cursos que contienen agua durante todo el tiempo, y la napa freática mantiene una alimentación continua y nunca desciende por debajo del lecho del curso de agua;

- **Intermitentes:** Estos cursos de agua en general escurren durante las estaciones de lluvia y secan en la estación seca o de estiaje;

- **Efímeros:** Estos cursos de agua sólo existen o inmediatamente después de períodos de precipitaciones y sólo transportan escurrimiento superficial.

Patrones de drenaje

Son las formas de las redes de drenaje, son productos de la compleja relación entre la causa y el efecto, teniendo en cuenta la causa como la erosión y drenaje el efecto, lo que refleja las influencias de numerosas variables tales como el clima y la constitución física y química del suelo (Christofoletti, 1969).

Las características de un patrón de drenaje tienen repercusiones en el comportamiento hidrológico y litológico de cada unidad de suelo. En los lugares donde la infiltración es más difícil, ocurre una mayor escorrentía, siendo posible enculturación de la red hidrográfica, teniendo como consecuencia una densidad de drenaje superior (Pissarra et al., 2004).

El movimiento del agua en una cuenca hidrográfica depende principalmente de las características geomorfológicas y morfométricas de la misma, por lo

que su conocimiento es fundamental en el establecimiento de estrategias de gestión (Soares, 2000).

10.3.2. Modelamiento hidrológico en cuencas hidrográficas

En los estudios hidrológicos que analizan los flujos superficiales y sub superficiales la topografía es el principal factor determinante en los procesos de transporte de materiales, los modelos que se ocupan de la distribución espacial del agua de la cuenca hidrográfica requieren de datos basados en las características topográficas de estas cuencas, tales como los límites de

cuencas y sub-cuencas, la pendiente, longitud de la pendiente, la forma de la pendiente, la orientación de las vertientes, las características de los cursos de drenaje y las conexiones entre las áreas que definirán cómo el agua se mueve a través del paisaje (Moore et al., 1993). Estos atributos topográficos pueden
ser calculados sobre la base de un Modelo Digital de Elevación (MDE), utilizándose una variedad de técnicas.

Un modelo hidrológico se puede definir como una representación matemática de un flujo o corriente de agua y de sus componentes sobre alguna parte de la superficie y/o sub-superficie terrestre. Existe una estrecha relación entre el modelado hidrológico, el biológico y el ecológico, pues el transporte de materiales por el agua está influenciada por actividades biológicas que pueden aumentar o disminuir la calidad de estos materiales en el agua, y el régimen de flujo del agua puede afectar diversos hábitats (Maidment, 1993).

La cuenca hidrográfica es el objeto de estudio de la mayoría de los modelos hidrológicos, reuniendo las superficies que captan y se vierte agua sobre uno o más canales de drenaje y que desembocan en una sola salida. La cuenca puede constituir la unidad espacial para modelos globales que tengan en cuenta las propiedades medias para toda la cuenca, o puede ser dividida de acuerdo a diferentes enfoques a fin de considerar sus características espacialmente distribuidos (Renno y Soares, 2007).

Modelo numérico de terreno (MNT)

La estructura ideal para un modelo numérico de terreno (MNT), depende del propósito de la utilización de los datos y la forma en que puede relacionarse con la estructura de un modelo (Moore et al., 1991). Según la figura 16 hay tres principales formas de estructurar una MNT: a) las redes regulares; b) las redes triangulares (TIN red triangulada irregular); y c) las líneas de contorno.

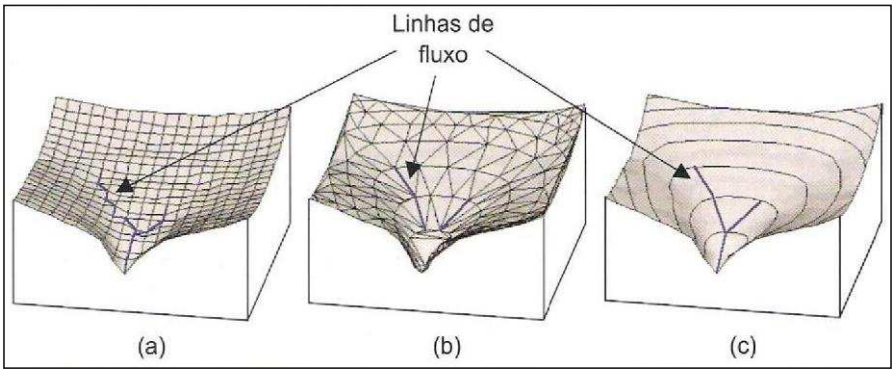


Figura Nº 16.- Representación de un MNT para una cuenca hidrográfica, Rejilla regular; (b) TIN;(c) Curvas de nivel Fuente: Vianei Soarares, (2007)

Una de las estructuras de datos más ampliamente utilizada para representar un MNT consiste en una malla regular rectangular (normalmente un elemento cuadrado), debido a su fácil aplicación y alta eficiencia computacional (Collins y Luna, 1981), sin embargo este tipo de representación tiene grandes desventajas. En general, las redes regulares no pueden representar fácilmente los cambios bruscos en la elevación y el espaciado de la malla cuadrada, afecta directamente a los resultados y causa un gran cambio en la eficiencia computacional. Además, las trayectorias de flujo determinadas con ciertas rejillas regulares utilizadas en los análisis hidrológicos tienden a producir líneas en zig-zag y, por tanto, en cierta forma son poco realistas (Fig. 16a). Una vez que las mallas regulares son ajustarse de acuerdo a la rugosidad del terreno, éstas producen significativa redundancia en las partes más planas del terreno (Moore et al., 1991).

Las mallas triangulares son más eficientes y flexibles, en tales circunstancias y las mallas regulares son más eficientes para representar los atributos del terreno, ya que métodos basados en curvas de nivel, requieren estructuras más complejas para el almacenamiento de los datos y no ofrecen ventaja computacional, pero tienen la ventaja de representar explícitamente áreas de convergencia y divergencia (Moore, et al., 1993).

Las mallas triangulares se han utilizado en el modelados hidrológicos dinámicos (Palacios-Vélez; Cuevas-Renaud, 1986). La principal dificultad en el uso de este tipo de estructura de datos es cuando las facetas de los triángulos no poseen orientación (triángulos horizontales), lo que hace difícil determinar las líneas de flujo (Fig. 16b).

Discretización espacial de una cuenca hidrográfica

El caso más simple de discretización espacial de una cuenca es dividirlo en sub-cuencas o cuencas, cada uno de los cuales es un sistema agregado (concentrado o puntual), conectadas por enlaces que representan a los cursos de agua (Maidment, 1993). Una representación esquemática de este modelo de discretización se puede apreciar en la Figura 17.

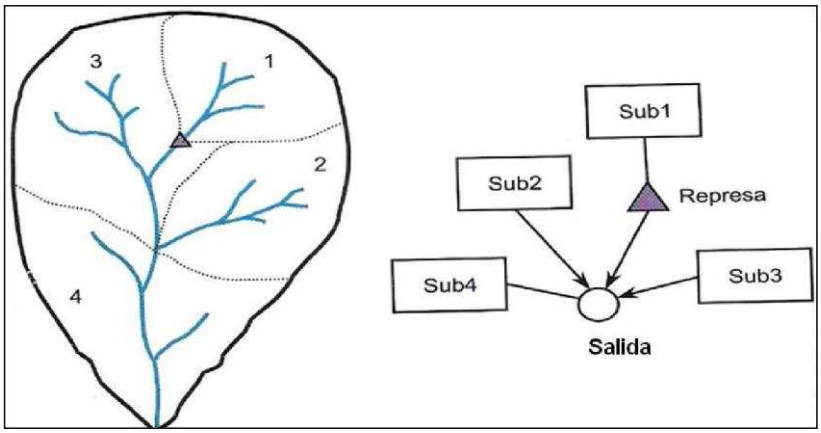


Figura Nº 17.- Representación de una cuenca hidrográfica dividida en subcuencas y el diagrama de rutas de cursos de agua hasta la salida. Fuente: Daleles Rennó; Vianei Soarares, (2007),

Mediante el uso de un modelo raster de elevación (MNT), como entrada, es posible delimitar de forma automática un sistema de drenaje y cuantificar y cualificas las características de un sistema hidrológico. Las herramientas de ArcGIS, a través de la metodología conocida como Método Rápido, Delimitación de Cuencas Hidrográficas, traducido de FWD (Fast Watershed Delineation Method), permiten la identificación de los sumideros, determinar la dirección del flujo, el cálculo de la acumulación de flujo, delinear las cuencas hidrográficas y la red flujo. Esta metodología fue desarrollada inicialmente en 1997 por la Comisión de Conservación de los Recursos Naturales de Texas (Djokic et al., 1997).

El presente estudio tuvo como objetivo realizar la caracterización morfométrica de la sub-cuenca del río Angasmarca utilizando técnicas de geoprocesamiento.

Direcciones de líneas flujo

El método de partición de las cuencas hidrográficas basado en curvas de nivel es modo natural para estructurar modelos hidrológicos y la calidad del agua, ya que esta división se basa en la hidráulica de fluidos, mediante la

determinación de las líneas de flujo (MOORE, et al., 1993). Esta técnica de particionamiento es esencialmente vectorial.

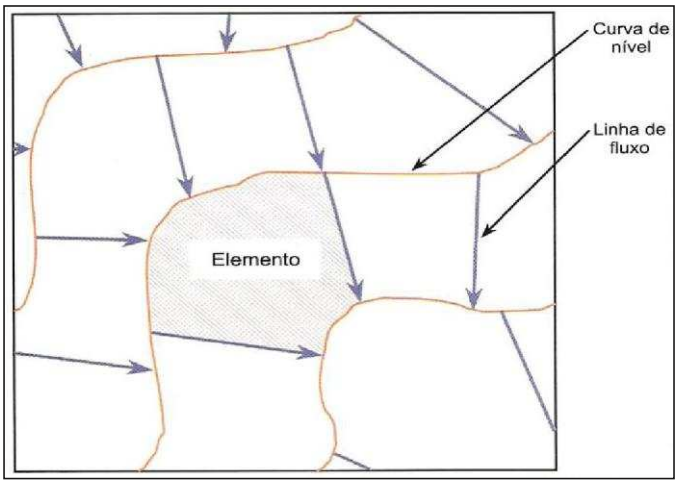


Figura Nº 18.- Definición de un elemento típico construido con líneas de flujo basada en un MNT, representado por curvas de nivel.
Fuente: Daleles Rennó; Vianei Soarares, (2007)

En este concepto, un elemento de área típica está delimitada por un par de segmentos de curvas de nivel y otro de líneas de flujo (Figura 18). En esta representación los flujos ocurren sólo en una dirección dentro de cada elemento, y el movimiento del agua dentro de la cuenca puede ser tratada como unidimensional.

Cada elemento que constituye la unidad hidrológica del modelo (cuadrícula de una celda, triángulo de un TIN o un polígono irregular cualquiera) carga en si tres tipos de información. La primera se refiere a su caracterización, que es dada por el conjunto de sus atributos. La segunda información está relacionada con su localización y representación. Por último, la tercera información está dada por las relaciones topológicas, es decir, las relaciones entre los elementos (Burroughs, 1998).

> Los atributos de un elemento representan su estado. Así, la evaluación del estado de la cuenca hidrográfica en un instante cualquiera del tiempo, pueden ser interpretados como variables de estado. Otros atributos apenas pueden ser informativos o cualitativos o representan los valores de parámetros que son utilizados en los cálculos de los balances
>
> Los atributos pueden ser almacenados básicamente sobre dos formas de acuerdo con la discretización espacial adoptada por sus elementos. Atributos discretizados en una forma de malla o rejilla están representados por matrices (celdas), en que cada celda de la matriz representa el atributo de un elemento, el que asegura una relación biunívoca entre elementos y atributos

(Burroughs; McDonnell, 1998). Por lo tanto, dentro del concepto de un Sistema de Información Geográfica, cada atributo representa una capa o layer en el banco de datos

Los elementos cuya representación espacial se hace por puntos, líneas o polígonos (representación vectorial), en general, tienen sus atributos almacenados en forma de tablas relacionales. Las relaciones topológicas entre elementos pueden estar implícitos en el propio modelo de datos real, como sucede, por ejemplo, con la malla regular en que cada elemento se relaciona con ocho elementos. En otros casos, la topología debe ser construida y almacenada en una estructura propia.

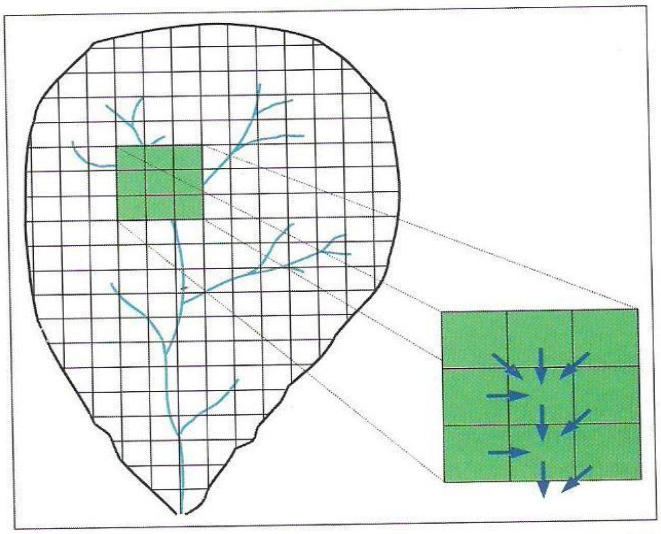


Figura Nº 19.- Direcciones de flujo obtenidas con MNT en grilla regular Fuente: Daleles Rennó; Vianei Soarares, (2007)

Muchas operaciones se pueden ser hechas con el uso de la topología y la definición de direcciones de flujo es una de ellas. En este caso, incluso en

una cuadrícula regular, no todas relaciones de vecindad son relevantes. Dado un punto en el espacio, es necesario averiguar cuál es la dirección más probable que una línea de flujo debe seguir. Naturalmente, el MNT es la estructura de datos más adecuada para el desarrollo de una red que indique las direcciones de flujo. Muchos algoritmos se han desarrollado para la preparación automática de redes de drenaje con MNT sincretizados en mallas regulares.

Es posible observar que las direcciones de flujo no representan perfectamente las verdaderas líneas de drenaje (los cursos de agua). Cuando las direcciones de flujo, como en este caso, son representadas en forma de grillas (cuadriculas), en donde el valor de cada elemento corresponde a una de las

ocho direcciones, el producto resultante se denomina LDD (Local Dirán Direction).

Los modelos hidrológicos distribuidos cuyas discretización de la cuenca se basa en las líneas de dirección de flujo de las curvas de nivel como modelo topográfico, por ejemplo, tienen una topología bastante compleja. Muchas veces estas adoptan restricciones en la dirección del flujo, de manera que sólo los flujos descendientes son considerados (flujos entre los elementos de un mismo nivel son despreciados), simplificando enormemente la representación topológica. Sin embargo, las relaciones entre los elementos a menudo no son 1: 1, ya que un elemento puede recibir el flujo proveniente de más de un elemento, y puede transferir el flujo para más de un elemento (Figura 20). El flujo total de entrada es obtenido sumando las contribuciones de cada elemento de arriba y el flujo de salida es dividido entre los elementos siguientes (de abajo), ponderada por la longitud de la línea (curva de nivel) de contacto entre ellos.

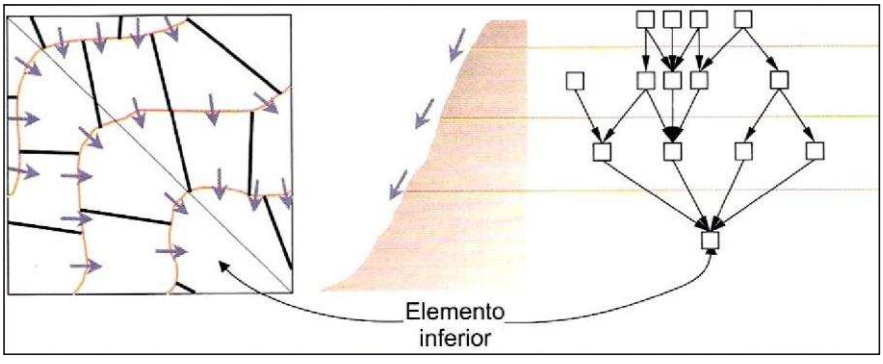


Figura Nº 20.- Relación topológica entre elementos definida por la dirección de los flujos.

Fuente: Daleles Rennó; Vianei Soarares, (2007)

10.3.3. Análisis hidrológico mediante aplicación de las técnicas de geoprocesamiento y el uso de los sistemas de información geográfica SIG ArcGIS

Mediante el uso de un sistema Raster de elevación como entrada (MDE), es posible delinear automáticamente un sistema de drenaje y cuantificar las características de un sistema hidrológico. Las herramientas hidrológicas del software ArcGIS permiten la identificación de sumideros, determinarla dirección del flujo, calcular el flujo acumulado, delinean las cuencas hidrográficas, y crear redes de flujo. El siguiente diagrama de flujo, La figura 21 es un diagrama de flujo que muestra el proceso de extracción de información hidrológica a partir de un modelo digital de elevación (MDE).

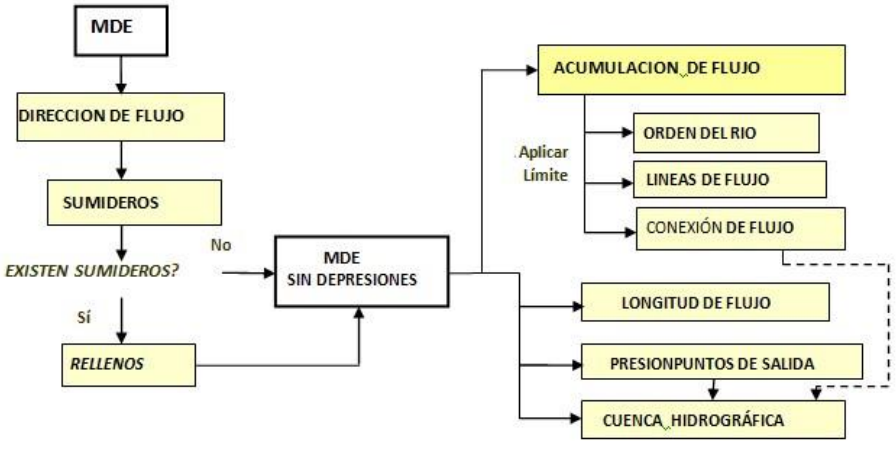


Figura Nº 21.- Flujograma del proceso de obtención de información como delimitación de cuencas hidrográficas y redes de flujo, a partir de un DEM Fuente: ArcGIS Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI).

Para asegurar el mapeamiento de drenaje adecuado, estas depresiones pueden ser rellenadas mediante herramientas de relleno (Fill Tool):

1. Utilizando el MDE como datos de entrada para la herramienta dirección del flujo (*Flow* Direction Tol), es determinada la dirección en la que el agua fluiría fuera de cada célula.

2. Función sumidero (SinkTool), cualquier sumidero se identifica en el MDE original. Los sumideros son generalmente valores incorrectos inferiores a los valores de sus alrededores. Para asegurar el mapeamiento de drenaje adecuado, estas depresiones pueden ser rellenados mediante herramientas de relleno (Fill Tool)

3. El uso de la herramienta de Cuencas Hidrográficas (Watershed Tools), las cuencas son delineadas para las ubicaciones especificadas. Sin embargo, si desea calcular únicamente la red de flujo o de drenaje este puede ser ignorada.

4. Para crear una red de flujo se utiliza la herramienta Acumulación de flujo (Flow Acumulation Tool), para calcular el número de celdas de una elevación local que fluye arriba (upslope). La salida de la herramienta como Dirección del flujo de arriba es usada como la herramienta de entrada

5. Un límite puede ser especificado en el raster derivado de la herramienta Flow Accumulation Tool, la fase inicial es definir el sistema de redflujo. Esta tarea puede realizarse con herramienta ConTool o el uso de Map álgebra. Un ejemplo de Con es newraster = con = (acum > 100, 1). Todas las células con más de 100 células que fluyen hacia ellas serán parte de la red de flujo.

6. Se aplica la herramienta Stream Order tool para representar la orden de cada uno de los segmentos en una red. Los métodos disponibles para la ordenación de flujos son las técnicas Shreve y Strahler.

7. Usando la herramienta Flow Length Tool o longitud de la trayectoria de flujo, o curva ascendente o descendente, cada célula puede determinarse dentro de una cuenca. Esto es útil para el cálculo del tiempo de viaje del agua a través de una cuenca.

La metodología FWD consiste en dos etapas de pre-procesamiento y una técnica para utilizar los datos pre-procesados. Estos serán descritos en los siguientes pasos:

1. Determinación de las propiedades derivadas DEM: En esta etapa las propiedades clave derivadas del terreno (la dirección del flujo y las redes de acumulación de flujo basado en la elevación de rejilla).

2. Delimitación arbitraria inicial: En esta primera etapa, llevada a cabo una delimitación arbitraria de cuencas hidrográficas que sirven como base para la delimitación interactiva.

La delimitación muestra un divisor de aguas grande como su red de flujo. Esta cuenca se divide en varias sub-cuencas (micro cuencas), para aumentar el rendimiento de la delimitación interactiva. La técnica más simple de SIG para la delimitación de una cuenca en sub-cuencas o una su-cuenca en micro cuencas consta de los siguientes pasos:

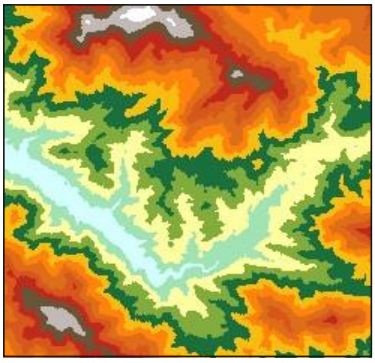
- Determine el grado de dirección del flujo (propiedad derivada de DEM).
- Determine el grado de acumulación de flujo (propiedad derivada de DEM).
- Especifique un umbral de la red acumulación de flujo. Esta operación permitirá identificar todas las células en el flujo grado de acumulación que son mayores del límite esperado. La nueva rejilla está formada por estas células (rejilla de corriente).

Esta red será una indicación de la red de drenaje. Es importante tener en cuenta que el valor del umbral en este proceso no tiene significado geomorfológico en particular, a través del cual estamos tratando de identificar la red de drenaje "real", pero es ampliamente utilizado como un medio para dividir o particionar una cuenca hidrográfica.

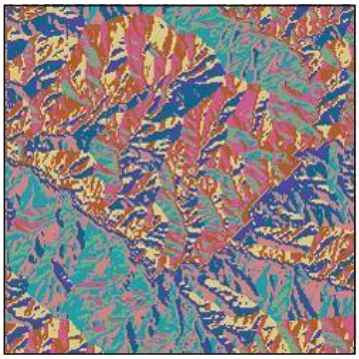
Los umbrales más altos resultarán menos sub-cuencas internas y menos densas, mientras que los umbrales más bajos darán lugar a redes más densas y más sub-cuencas internas. La elección del valor del umbral y su impacto en el rendimiento de la delimitación serán discutidos con un ejemplo, más adelante.

- La red de flujo es convertida en segmentos de corriente, donde cada segmento cabeza y segmento entran juntos tiene un identificador único o exclusivo.
- Las sub cuencas (en formato de cuadrículas), son definidas para cada uno de los enlaces de flujo de la red de cursos de agua.
- Las redes de flujo son vectorizadas para producir y transmitir sub-cuencas polígono y temas polilínea, respectivamente. Los procesamientos vectoriales adicionales puede ser necesarios para la limpieza de datos y asegurar la direccionalidad y la conectividad adecuada.

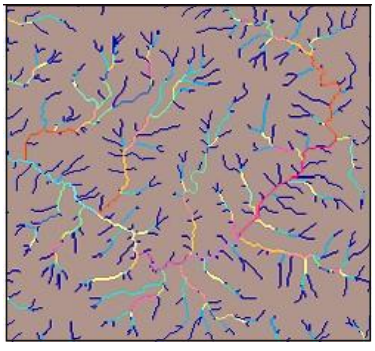
En la Figura 22, los siguientes gráficos ilustran las etapas implicadas en el cálculo de una cuenca en sub-cuencas y redes de flujo a partir de un Modelo Digital de elevación (DEM).



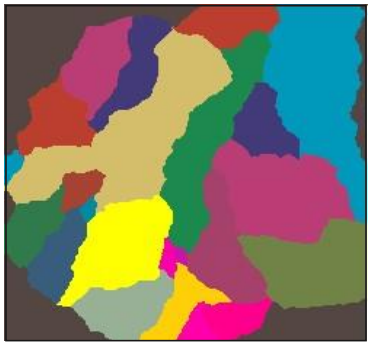
a) Modelo digital de elevación DEM



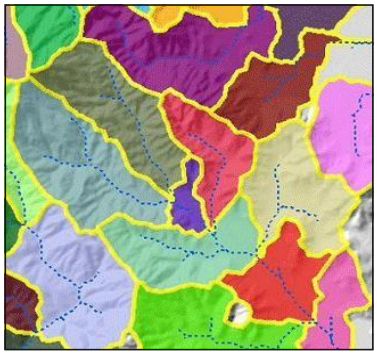
b) Direcciones de flujo



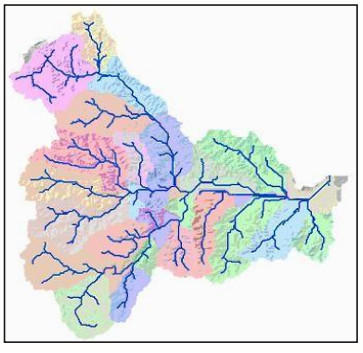
c) Redes de acumulación de flujo



d) Ejemplo *de división en* sub-cuencas



e) Líneas finales de divisorias de aguas,



f) Redes de drenajes generadas

Figura Nº 22.- Ilustraciones de procesos de aplicación de las herramientas del programa FWT: a) DEM como dato de inicio, b) dirección de flujo, c) redes de acumulación de flujo, d) ejemplo de sub-cuencas obtenidas, e) líneas divisorias de aguas finales, f) redes de drenaje generadas.

Fuente: Adaptación de ejemplo en ArcGIS Desktop Help. ArcGIS 9.3 (ESRI).

Estudios de caso

En el presente texto se tratará con detenimiento la aplicación de geoprocesamiento con aplicación de la teledetección y uso de sistemas de información geográfica en estudios con modelamiento hidrológico de la subcuenca del río Angasmarca, en la UFSM, Estado Rio Grande do Sul, Brasil.

En la presente publicación trataremos los temas, caracterización morfométrica y determinación de la erosión hídrica de la sub-cuenca. El tema, diagnóstico ambiental físico conservacionista de la sub-cuenca, será tratado con detenimiento en la siguiente publicación.

10.4. Caracterización morfométricas de cuencas hidrográficas

La caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica es uno de los primeros y uno de los procedimientos más comunes, ejecutados en el análisis hidrológico o ambiental y tiene como objetivo dilucidar las diversas cuestiones relacionadas con el entendimiento de la dinámica ambiental local y regional (IOST V. et al., 2007).

Según Antonelli y Thomaz (2007), la combinación de los diversos datos morfométricos permite la diferenciación de áreas homogéneas. Estos parámetros pueden revelar indicadores físicos específicos de un determinado lugar en particular a fin de calificar los cambios ambientales. También cabe destacar su importancia en los estudios de vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas.

Las características morfométricas de una cuenca hidrográfica como, la red de drenaje, la forma, el área, el relieve y los suelos, junto con el tipo de vegetación, afectan el comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica. Debido a que tienen papel integrador en la búsqueda de la comprensión de los procesos de evolución y el alivio de los impactos causados por la acción antrópica, posibilitan relevantes contribuciones al diagnóstico de la degradación ambiental (Guerra & Cunha, 1996).

En este contexto, las características morfométricas de la red de drenaje y del relieve reflejan algunas de las propiedades del terreno, tales como la infiltración de agua de lluvia y la escorrentía, expresan estrecha correlación con la litología, estructura geológica y la formación superficial de los elementos

que forman la superficie de la tierra (PISSARA et al. 2004). El movimiento del agua en una cuenca hidrográfica depende principalmente de las características morfométricas de la misma, por lo que su conocimiento es esencial para establecer estrategias de manejo (Soares, 2000).

Las características del patrón de drenaje repercuten en la hidrología y la geología de cada unidad de suelo. En las zonas donde la infiltración presentan dificultades, ocurre mayor escorrentía superficial, siendo posible mayor esculturación de la red hidrográfica, teniendo como consecuencia una densidad de drenaje más alta (Pissarra et al. 2004).

El análisis morfométrico es utilizado para caracterizar cuantitativamente una cuenca hidrográfica a través de variables numéricas que se pueden ser obtenidas directamente de un mapa topográfico. En la actualidad, el proceso de extracción de estas variables se realiza automáticamente por medio de modelos numéricos del terreno (MNTs), tomando ventaja de las herramientas disponibles en la mayoría de los Sistemas de Información Geográfica. Los estudios han demostrados que la precisión de los parámetros extraídos de forma automática con los MNTs es muy similar a la obtenida con métodos manuales. Eash (1994), evaluó veinticuatro características morfométricas en diez cuencas hidrográficas, comparando los métodos manual y automático. De las doce mediciones morfométricas básicas, solamente la pendiente fue significativamente diferente entre los dos métodos, y es subestimada en el método automático.

El análisis morfométrico, que incluye el estudio de los índices numéricos que clasifican las redes de drenaje, puede contribuir a estudios de erosión, con vistas a su análisis teniendo en cuenta que el análisis permite evaluar el grado de energía y la susceptibilidad de ocurrencia de los procesos erosivos (Costa, 2005).

Hay numerosos parámetros que caracterizan las cuencas hidrográficas Rock y Kurtz (2001), afirman que los parámetros que más se relacionan con la degradación ambiental son las longitudes de los barrancos, densidad de drenaje, el índice de redondez, el índice de forma, la pendiente media y el coeficiente de rugosidad (Ruggdeness Number- RN).

Los parámetros o variables que caracterizan una cuenca hidrográfica objeto de estudio de las cuencas hidrográficas se pueden agrupar en dos: variables morfométricas correlacionadas con la geometría de la cuenca y las variables relacionadas con la composición de la red de drenaje y relieve.

10.4.1. Determinación de variables morfométricas de una cuenca hidrográfica

La Caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica, sub-cuenca y micro cuenca comprende la determinación y el análisis de las variables morfométricas de dicha unidad hidrográfica, para lo cual se hace necesario el desarrollo previo de las siguientes frases y conceptos, los mismos que se presentan en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 23.

Los parámetros o variables que caracterizan una cuenca hidrográfica se pueden agrupar en dos: Las variables morfométricas correlacionadas con la geometría de la cuenca y las variables relativas a la composición del drenaje y del relieve.

Variables morfométricas de geométricas

- **Área**: Toda área drenada por el sistema fluvial incluso entre sus divisores topográficos, proyectada en el plano horizontal, siendo el área elemento básico para el cálculo de los diversos índices morfométricos (Tonello, 2005), se expresa generalmente en Km^2.

- **Perímetro:** Longitud de la línea imaginaria a lo largo de la divisoria de aguas (Tonello, 2005). Se expresa en Km.

- **Coeficiente de compacidad (Kc)**: Coeficiente de compacidad (Kc) relaciona el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo cuya área es igual a la cuenca de drenaje. El Kc se determina basado en la siguiente ecuación:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

donde Kc = coeficiente de compacidad, P = perímetro (m), A = área y drenaje (m^2).

Según Villela y Mattos (1975), este coeficiente es un número adimensional que varía con la forma de la cuenca, independientemente de su tamaño, cuanto más irregular fuera la cuenca, mayor será el coeficiente de compacidad.

- **Índice de circularidad (IC)**: El índice de circularidad presentado por Miller (1953), citado por Rocha (2001) es una variable morfométrica, donde cuanto mayor es el valor de (IC), más próxima estará a la misma de forma circular, siendo mayor el peligro a inundación (mayor concentración de agua en el tributario principal). Para calcular el (IC), se utiliza la siguiente ecuación:

A

$$\text{IC} = \frac{12.57 \cdot A}{P^2} \quad (2)$$

donde IC es el índice de circularidad, A el área de drenaje (m^2) y P el perímetro (m).

El índice de circularidad tiende a la unidad en medida que la cuenca se aproxima a la forma circular y disminuye en medida que la forma se torna alargada, según la ecuación (Cardoso et al. 2006) y según Alves &Castro (2003), valores de índice de circularidad (CI) superiores a 0.51 indican que la cuenca tiene una tendencia a favor de los procesos de inundación. Valores (IC) inferiores a 0.51, la cuenca es más alargada favoreciendo de esta forma la escorrentía.

- **Factor de forma (Kf):** El factor de forma se refiere la forma de la cuenca con un rectángulo, correspondiente a la relación del ancho medio y la longitud axial de la cuenca. Esta longitud axial se mide desde la boca o punto de salida hasta la espiga o el punto más alejado de la cuenca. Se obtiene el ancho medio dividiendo el área por la longitud del eje. El factor de forma puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$\text{Kf} = \frac{A}{L^2}. \quad (3)$$

siendo, Kf = factor de forma, A = área de drenaje (m^2) y L = longitud de la cuenca (m).

El factor de forma indica más o menos la tendencia a inundaciones, pues en una cuenca con el factor de forma abajo hay una menor probabilidad que una lluvia intensa pueda cubrir toda su extensión del que una cuenca con una misma área y el factor de forma mayor (Vilella & Mattos, 1975).

- **Índice de sinuosidad del curso de agua (es)**: índice de sinuosidad es la relación entre la longitud del cauce principal del río y la longitud de una vaguada, lo que sería su longitud recta medida desde el fondo de su lecho o distancia vectorial entre los extremos del canal (Alves; Castro, 2003). La expresión para calcular el índice de sinuosidad es descrito por los autores como: $\text{Is} = \frac{L}{Dv}$ (4)

siendo: Is = índice Sinuosidad: L = longitud del rio principal y Dv = vector del rio principal.

La sinuosidad del curso de agua (Is), es un factor de control de la velocidad de flujo, ya que cuanto mayor la sinuosidad, mayor es la dificultad encontrada por el río en su camino hacia la salida, por lo tanto menor es la velocidad. Según Vilela & Mattos (1975), el índice de sinuosidad describe el grado de tortuosidad de los cursos de agua, siendo un factor controlador de la velocidad de la escorrentía de las aguas.

- **Mayor longitud (C) y mayor ancho (L**): Mayor longitud (C), es la línea recta que une la salida con el punto extremo de la línea de divisoria de aguas, en la dirección aproximada del valle principal y se expresa en kilómetros (km) (Schum, 1956). Mayor ancho (L), es la mayor dimensión lineal que la cuenca presenta en su eje transversal. Se mide transversalmente de la mayor longitud, se expresa en kilómetros (km) (Strahler, 1958).

Variables morfológicas de red de drenaje y de relieve

- **Orden de los cursos de agua**: El orden de los cursos de agua según Strahler (1958), ver método en la Figura 23, donde los canales sin afluentes son designados de primer orden. Los canales de segundo orden que se originan a partir de la confluencia de dos canales de primer orden, pueden tener tributarios también la primera orden. Los canales de tercer orden se originan a partir de la confluencia de dos canales de segundo orden y pueden recibir afluentes de primer y segundo órdenes y así sucesivamente (Silveira, 2001).

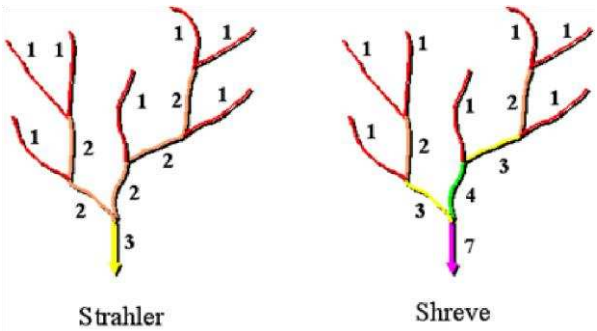


Figura Nº 23.- Representación gráfica de ordenación de cursos de agua. Métodos propuestos por Strahler (1957) y de Shreve (1966).Fuente: ArcGIS Desktops Helps, Hydrologic Analyst ESRI, 2008.

- **Longitud total de la red de drenaje (Ct):** Corresponde a la longitud total del segmento del río que forma la red de drenaje de la cuenca hidrográfica (HORTON, 1945) y expresa en kilómetros (km).

- **Longitud total de canales por orden (Ctw)**: Representa la longitud total de los segmentos de los ríos en cada orden, siendo identificado por Ctw (Ctw1, Ctw2, etc.)

- **Longitud de pendiente de la escorrentía superficial (Cr)**: De acuerdo con Silva & Melo (2007), la importancia de este parámetro en el cálculo del tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica. Se calcula la longitud de pendiente a partir del método del rectángulo equivalente utilizado para estimar el índice de extensión media de la escorrentía en los suelos presentados por la siguiente expresión:

$$Cr = \frac{1}{4} \cdot \frac{A}{Dd} \cdot \frac{}{4} \cdot Ct \qquad (5)$$

Siendo Cr en km y la densidad de drenaje (Dd) en $km.km^{-2}$,Ct = longitud total de todos los canales (km) y A = el área de drenaje (km^2).

Según Villela & Mattos (1975), la longitud de la rampa (Cr) influye directamente en la pérdida de suelo, ya que rampas muy extensas pueden generar escorrentías superficiales con grandes velocidades.

- **Densidad Hidrográfica (Dh):** Esla relación entre el número de ríos o cursos de agua y el área de la cuenca hidrográfica, se expresa por la ecuación:

$$Dh = \frac{N}{A} \qquad (6)$$

siendo: Dh = densidad de hidrológica, N = número de ríos o cursos de agua y A = área de drenaje.

La finalidad de este índice es comparar la frecuencia o cantidad de los cursos de agua existentes en un área de tamaño estándar, por ejemplo, kilómetro cuadrado (Crhistofoletti, 1969).

- **Densidad de drenaje (DD):** Christofoletti (1980), define la densidad de drenaje como la relación entre la longitud total del sistema de drenaje con el área de la cuenca hidrográfica. El índice se expresa por la ecuación:

$$Dd = \frac{Ct}{A} \quad (7)$$

siendo Dd = densidad de drenaje (km.km^{-2}), Ct = longitud total de todos los canales (km) y A = el área de drenaje (km^2).

Para calcular la longitud deben medirse los cursos de agua tanto permanentes como temporales (HORTON 1945). Según Mattos & Vilella (1975) el índice de Dd varía de 0,5 km.km^{-2} para cuencas de drenaje pobre, a 3.5 o más para cuencas excepcionalmente bien drenado.

- **Pendiente media (H)**: La inclinación de los terrenos de una cuenca controla en gran medida la velocidad a la que se produce la escorrentía superficial, afectando por lo tanto el tiempo que tarda el agua de lluvia para concentrarse en los cauces que constituyen red de drenaje de la cuenca (Vilella & Matos, 1975). La pendiente media de la sub cuenca está dada por:

$$H = \frac{\sum LCN.\Delta h}{A} * 100 \quad (8)$$

donde H = pendiente media (%),$\sum$ LCN = sumatoria de las longitudes de todas las curvas de nivel en la sub-cuenca mapeada (m), A = área de la sub-cuenca (m^2) y Δh = equidistancia de las curvas de nivel (m).

La pendiente media de la cuenca hidrográfica, en conjunto con el tipo de suelo y cobertura vegetal, determina la mayor o menor velocidad de escorrentía superficial del agua, estando así, directamente relacionada con la magnitud de los picos de escorrentía y consecuentemente con la mayor o menor erosión del suelo (Rocha, 2008).

- **Coeficiente de rugosidad (RN):** Según Rocha (2001), el coeficiente de rugosidad (RN) es un parámetro que direcciona el uso potencial de las tierras rurales en las micro cuencas hidrográficas, la determinación de áreas de conflicto, en cuanto a sus características, para actividades agrícolas, el pastoreo, la silvicultura, reforestación o para su conservación permanente.

Por lo tanto, cuanto mayor sea el valor del RN entre sub-cuencas, mayor es el peligro de la erosión.

El coeficiente de RN determinado por el producto entre la densidad de drenaje (Dd) y la pendiente media (H), expresado por la ecuación:

$$\square\square\square\square = \square\square\square\square . \square\square \quad (9)$$

Siendo De = densidad de drenaje (km km^{-2}); Pendiente media de la micro cuenca (%).

- **Altitud (h):** Las variaciones causan diferencias significativas en la temperatura media, que a su vez provocan variaciones en la evaporación. Sin embargo, más significativas son las posibles variaciones de la precipitación anual con la altitud. La amplitud altimétrica (Δh) es la variación entre la altitud máxima y altitud mínima.

10.4.2. Estudio de la cuenca hidrográfica del río Angasmarca

La sub-cuenca del río Angasmarca fue adoptado como el área de estudio por ser ésta un importante sistema de drenaje, sus áreas de erosión hídrica constituyen uno de los mayores problemas encontrados, debido a la ocurrencia de deforestación de tierras para uso agrícola y minero, así como del uso indebido de áreas legalmente destinadas a reserva natural, los bosques ribereños y de ladera.

Por lo tanto estos factores han contribuido a la inestabilidad de áreas de producción agrícola, creando la necesidad de establecer una gestión adecuada del suelo y la recuperación de áreas degradadas. El estudio de la cuenca hidrográfica del río Angasmarca comprende:

- La caracterización morfométrica y
- El diagnóstico de la erosión hídrica

10.4.3. La caracterización morfométrica de la sub-cuenca del río Angasmarca

La caracterización morfométrica de la sub-cuenca y micro cuencas del río Angasmarca comprende la determinación y el análisis de las variables morfométricas descritas en la unidad anterior. Se requiere necesariamente del desarrollo de fases previas como indica el flujograma mostrado en la Figura
25.

Localización del área de estudio

La sub-cuenca del río Angasmarca se localiza entre los paralelos -7º58'55,2" y -8°12'46,8" de latitud sur y entre los meridianos -77º54’21,6” y -78º07’08,4”

de longitud oeste de Greenwich, con un área de 353.075 km2 y un perímetro de 96.264 kilómetros lineales, comprende parte de los distritos de Angasmarca, Cachica dan, Mollebamba, Mollepata de la provincia de Santiago de Chuco, Región La Libertad en territorio peruano (Figura 24).

Sub-Cuenca hidrográfica de rio Angasmarca

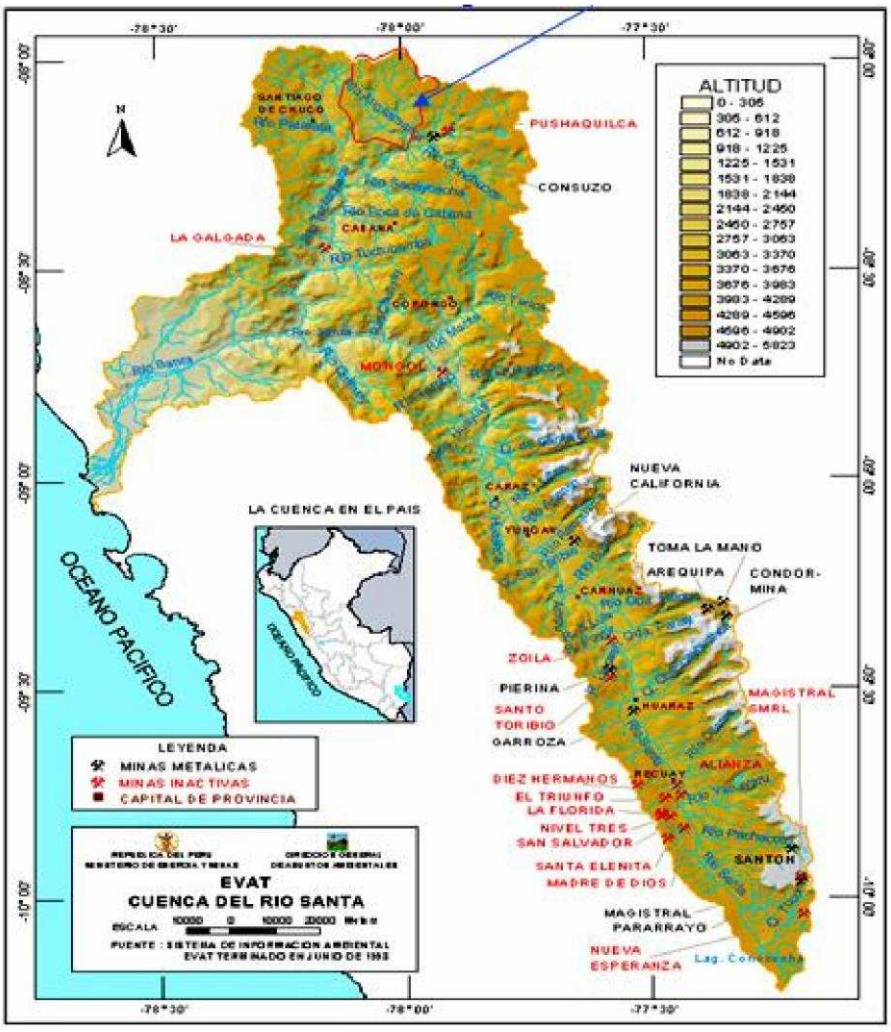


Figura Nº 24.- Mapa de localización de la sub-cuenca del río Angasmarca en la cuenca hidrográfica do río Santa.
Fuente: Sistema de Información Ambiental (EVAT, 1998)

Solución del método

La caracterización morfométrica de la sub-cuenca del rio Angasmarca con aplicación de técnicas de Geoprocesamiento se inicia con la obtención del Modelo Digital de Elevación (MDE), de la cuenca en estudio y este fue elaborado a partir de cartas topográficas y con mayor precisión a partir del mosaico de cuatro imágenes de satélite G-DEM2 del sensor ASTER, con una resolución espacial de 1 segundo (tamaño de píxel aproximado de 30 m).La secuencia metodológica podemos apreciarlo en el fluxograma que se muestra a continuación.

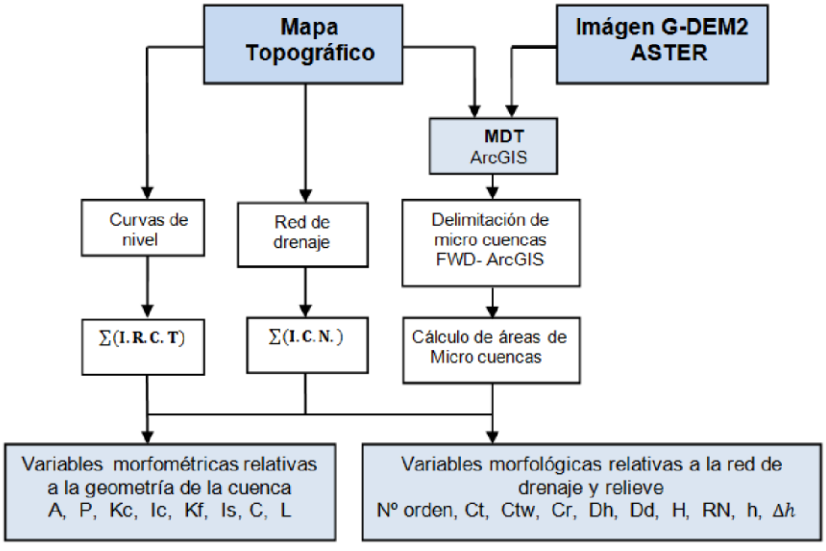


Figura Nº 25.- Flujograma simplificado de caracterización morfométrica de micro cuencas del rio Angasmarca.

También se utilizaron las cartas topográficas digitales, editadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Perú, escala 1:100,000, con equidistancias verticales de curvas de nivel de 50m utilizadas en la confección capas (layers), de redes de drenaje y de altimetría a través de las curvas de nivel en la preparación del Modelo digital del Terreno (MDT) y el mapa de pendientes, para el análisis hidrológico de la sub-cuenca.

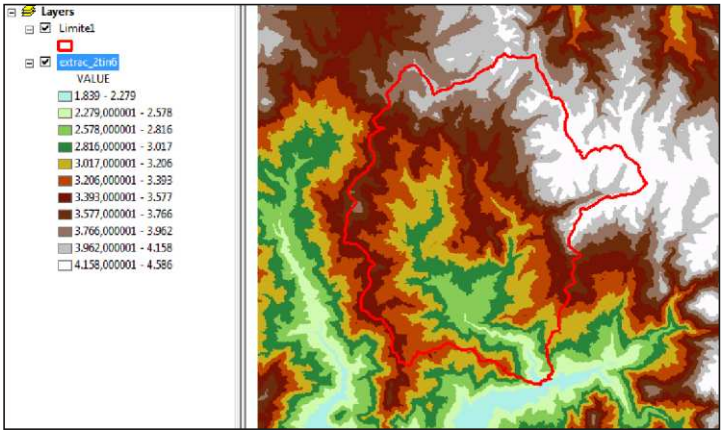


Figura Nº 26.- Altimetría - Modelo Digital del Terreno MDT. SIG-ArcGIS 9.2
Fuente: Imagen de satélite Tierra sensor ASTER G- DEM2

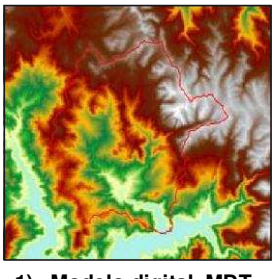
Presentación de resultados

1. Modelo digital de elevación de la sub-cuenca

- El Modelo Digital del Terreno (MDT), fue obtenido a partir de imágenes del sensor ASTER G-DEM2 según el procedimiento siguiente:
- Primeramente se hizo la transformación de coordenadas de las imágenes, de coordenadas geográficas en datum WGS-84 a coordenadas UTM (zona 17), y datum SIRGAS,
- luego de generar un mosaico de dichas imágenes se trabajó un área más allá del área de estudio para evitar errores de borde por efecto del procesamiento y cálculos.
- Elaboración de modelo digital del terreno (MDT), con la altimetría clasificada en 11 unidades o clases con intervalos de 250m.

2. Dicretización de la sub-cuenca

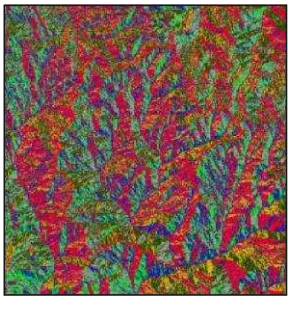
- La delimitación de la sub-cuenca del rio Angasmarca en micro cuencas fue realizada mediante herramientas del ArcGIS y el programa FWD ("Watershed Delineation Tools"), utilizando como datos de entrada el MDT.
- La red de drenaje (RD) y las curvas de nivel (CN) del área de la subcuenca (m2), en formato Shapefile, opcionalmente también un DEM procesado de la carta topográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN).



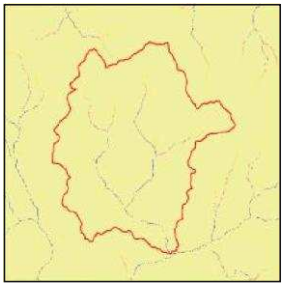
1) Modelo digital MDT



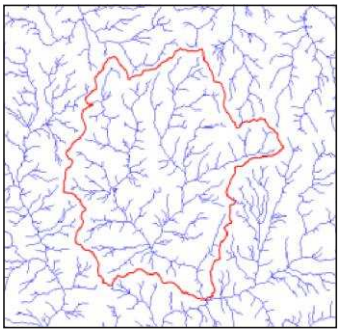
2) Discretización en micro cuencas



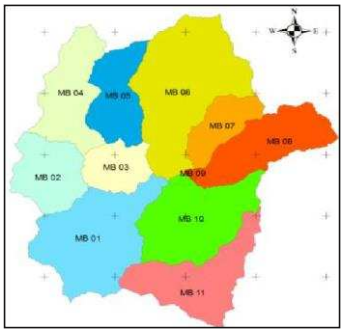
3) Clasificación de pendientes



4) Dirección y Acumulado de flujo



5) Redes de drenaje



6) Mapeamiento en micro cuencas

Figura Nº 27.- Ilustración del modelamiento hidrológico de la sub-cuenca Angasmarca con aplicación del programa FWD en ArcGIS.

3. Parámetros morfométricos de la sub-cuenca del río Angasmarca Todas las variables morfométricas calculadas anteriormente han sido exportadas al MS Excel para realizar otros cálculos y conversiones de unidades este trabajo.

Cuadro Nº 1.- Parámetros morfométricos de la sub-cuenca del rio Angasmarca

Nº	Parámetros	Fórmula	Valores y unidades
1	Área (A)	A	353.075 km^2
2	Perímetro (P)	P	96.043 km.
3	Coeficiente de compacidad (Kc)	$K_c = 0{,}28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	1.423
4	Índice de circularidad (IC)	$IC = 12{,}57 \frac{A}{P^2}$	0.487
5	Factor de forma (Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$	0.547
6	Índice de sinuosidad del curso de água (Is)	$Is = \frac{P}{Ccp}$	1.334
7	Mayor longitud (C)	C	25.556 km
8	Mayor ancho (L)	L	23.419 km
9	Orden de cursos de agua	n	5
10	Red de drenaje total	Ct	176.264 km
	Densidad hidrográfica (Dh)	$Dh = \frac{Ct}{A}$	0.2267cursos/km^2) 11
12	Longitud del canal principal	Ccp	32.290 km
13	Longitud vectorial del canal principal	Cvcp	24.201 km

14	Densidad de drenaje (Dd)	$Dd = \frac{L}{A}$	0.493 (km/km^2)
15	Pendiente média (H)	$H = \frac{\sum Ci \Delta h}{A} . 100$	33.892 %
16	Longitud de pendiente média de escorrentía superficial (Cr)	$Cr = \frac{1}{4.Dd}$	0.506791(km^2/km)

17	Coeficiente de rugosidade (RN)	RN = Dd. DME	$16.719 \approx 10^2$
18	Altitud (h)	h	4,250 m
19	Amplitud altimétrica (Δh)	h-máxima – h-mínima	2,300 m

Discusión de resultados

La caracterización morfométrica de la sub-cuenca y micro cuencas a partir de los modelos digitales del terreno (MDT), generados tanto de la carta topográfica como de imágenes ASTER G-DEM2. En la Figura 26 se muestra la altimetría de la región de estudio donde las cotas menores oscilan en torno a 1,980m sobre el nivel del mar (coloración cian verdosa) y superior en torno a 4,600m. (color blanco), ya en la Figura 26 se observa que la pendiente en el área de estudio de 0 - 4% (regiones de color crema) y puede llegar a 246 % (regiones azuladas).

La sub-cuenca del río Angasmarca es de quinto orden, lo cual indica que tiene ramificación media, con un área total de 353.075 km2 y un perímetro de 96.04 km. La longitud del canal principal es 32.29 km con una red total de drenaje de 176.264 km. Los resultados de la caracterización morfométrica de la subcuenca y micro cuencas son presentadas en los Cuadros 1, 2 y 3. El resultado de la aplicación de las técnicas Watershed Delineation Tools (FWD), subdividió la sub-cuenca del río Angasmarca en 11 micro cuencas hidrográficas, como se muestra en el mapa de delineación de micro cuencas de la figura 27 gráficos 2, 6.

Entre las micro cuencas generadas 7 de ellas son de segundo orden y sólo 4 de tercer orden. Los índices de compacidad (Kc), varía desde 1.18 a 1.53, el índice de circularidad (Ic) varía de 0.42 a 0.71 y el factor de forma (Kf), varió de 0.31- 0.80. Estos valores indican que las micro cuencas son ligeramente alargadas que favorecen la escorrentía superficial y no expuestas a inundaciones. Sin embargo, están sujetos a fenómenos de erosión relacionados con las condiciones de pendientes medias, el suelo expuesto o de áreas con escasa cobertura vegetal permanente.

La densidad media de drenaje de la sub-cuenca de 0.493 km/km², indica que ésta tiene baja la capacidad de drenaje. Sin embargo, en las micro cuencas

ocurren variaciones de 0.422 a 0.750 km/km² (excepto en la micro cuenca 9 que es 1.620 km/km², por ser micro cuenca muy pequeña). La densidad hidrográfica de la sub-cuenca también es baja, 0.227canales/km², es decir, menos de 1 canal/km². En las micro cuencas este valor varía 0.195-0.501 canales/km², excepcionalmente, en la micro cuenca 9 es 2.24 y en la micro cuenca 11 es de 0.081 canales/km².

Cuadro Nº 2.- Variables morfométricas correlacionadas con la geometría de las micro cuencas

Microcuenca	Área A km²	Perímetro P km	Coeficiente Compacidad Kc Adim.	Índice de Circularidad Ic Adim.	Factor de Forma Kf Adim.	Índice de Sinuosidad Is Adim.	Máximo Longitud C m	Máxima ancho L m
1	52.867	34.240	1.318	0.567	0.799	1.081	7,065.931	11,503.613
2	25.922	21.375	1.175	0.713	0.561	1.103	6,795.494	5,944.377
3	19.793	23.840	1.500	0.438	0.439	1.130	4,098.804	5,310.350
4	31.205	30.241	1.516	0.429	0.342	1.467	9,547.372	5,705.651
5	22.257	23.969	1.423	0.487	0.315	1.126	8,407.435	3,943.315
6	66.140	38.295	1.318	0.567	0.435	1.949	12,327.217	9,761.616
7	15.436	19.062	1.358	0.534	0.313	1.163	7,021.413	3,720.666
8	33.357	27.568	1.336	0.552	0.293	1.139	10,655.085	4,349.290
9	3.126	8.072	1.278	0.603	0.328	1.150	3,086.081	1,372.943
10	46.016	30.434	1.256	0.624	0.348	1.102	11,494.271	6,832.388
11	36.957	33.228	1.530	0.421	0.409	1.193	8,425.635	11,645.329
Media	**32.098**	**26.393**	**1.364**	**0.537**	**0.417**	**1.237**	**8,084.067**	**6,371.776**

Cuadro Nº 3.- Variables relativas de la composición de la red de drenaje y relieve de las micro cuencas hidrográficas

Micro cuenca	Orden de cursos n Adim.	Longitud total de red Ct km.	Densidad Hidrológica Dh km^{-2}	Densid. de Drenaje Dd $km.km^{-2}$	Pendiente H %	Long de pendiente Cr km	Coeficiente Rugosidad Rn Adim.	Altitud h m	Amplitud Altimétrica Dh m
1	3	30.074	0.208	0.569	31.942	0.439	18.175	3,700	1,130
2	3	19.454	0.501	0.750	29.234	0.333	21.926	3,900	990
3	2	7.596	0.253	0.384	28.048	0.651	10.770	3,600	670

4	2	18.420	0.224	0.590	28.548	0.423	16.843	4,150	1,140
5	2	12.085	0.225	0.543	36.382	0.460	19.755	4,150	1,130
6	3	34.653	0.227	0.524	33.539	0.477	17.574	4,500	1,370
7	2	12.223	0.389	0.792	49.436	0.316	39.153	4,650	1,410
8	3	19.472	0.360	0,584	50.282	0.428	29.365	4,500	1,450
9	2	5.062	2.239	1.619	50.687	0.154	82.062	3,960	910
10	2	23.445	0.195	0.509	35.340	0.491	17.988	4,340	1,760
11	2	15.599	0.081	0.422	50.229	0.592	21.197	3,750	1,770
Média	**2**	**18.008**	**0.446**	**0.662**	**38.515**	**0.433**	**26.801**	**4,109.091**	**1,248.182**

El factor de forma de 0.55 y el índice de circularidad de 0.49, indican que el perímetro de la sub-cuenca no es circular, es alargado en 9.13%, favoreciendo a los procesos de escorrentía, no está sujeta a inundaciones, hay mayores posibilidades de ocurrencia de lluvias intensas en partes altas de la subcuenca que podrían concentrar grandes volúmenes de agua en los afluentes de estas micro cuencas.

superiores a 2.0, indican que los canales tienden a ser tortuosos, siendo los valores intermedios indicativos de formas transaccionales, regulares e irregulares. La tendencia a la forma rectilínea en la sub-cuenca, indica que

este tipo de canal favorece a un mayor transporte de sedimentos, como lo dicen Antonelli y Thomaz (2007).

Observando de los valores medios de las pendientes en la figura 9, podemos apreciar que la inclinación de los interfluvios en la sub-cuenca y micro cuencas muestran diferencias significativas, de 28.05% a 50.69% para las micro cuencas y 33.89% para la sub cuenca.

Para las micro cuencas de 2º y 3º orden, la pendiente media (H), es menor (micro cuencas localizadas en las mayores altitudes) y las pendientes más pronunciadas se encuentran en las micro cuencas en altitudes intermedias y bajas, generando mayor velocidad de escurrimiento superficial de agua de las lluvias, lo cual contribuye a una mayor escultura del paisaje, Rocha (2008). Por lo tanto, el coeficiente de rugosidad presenta valores más altos en las zonas de mayores pendientes, habiendo posiblemente restricciones en cuanto al uso potencial de estos suelos.

La longitud de pendientes (L), se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación 5. Los resultados se muestran en el cuadro 3. Longitudes de pendiente hasta de 0.3 kilómetros corresponden un área 3.13 km2, o sea 0,90% del área de la sub-cuenca, localizándose en la micro cuenca 9 (Cuadro 2). Sin embargo, las longitudes de pendiente varían de entre 0.4 hasta 0.5 km, están presentes en 6 micro cuencas totalizando 251.84 km^2, que representa 71.33% del área de la

sub-cuenca. Las mayores longitudes de pendiente, entre 0.6 a 0.7 Km, cubren 19.79 km^2 y representan 5.60% de la superficie total de la sub-cuenca.

La pendiente media de la sub-cuenca es de 0.433 km. Este valor coincide en el mayor número de micro cuencas (0.4 a 0.5 km) y la ubicación geográfica de las mismas, pudiendo haber una influencia geológica en estos valores. Podemos inferir, aunque el área de la sub-cuenca tiene un relieve acentuado, la longitud de rampa (Cr), ejerce una influencia importante en el proceso erosivo, ya que la longitud de la ladera influye en la velocidad de la escorrentía superficial, favoreciendo a la erosión en intensidad y cantidad de material transportado (Silva et al., 2003).

La pendiente media fue calculada con aplicación de la ecuación 8 y los resultados se pueden ver en el Cuadro 3 (por micro cuenca).

Según los resultados encontrados observamos que los valores más altos de las pendientes, por encima del 50%, se producen al sur y sureste de la subcuenca, donde predomina el relieve montañoso, lo cual ocupa un área de 73.44 km^2 que corresponde al 20.80% del área total, considerada como pendiente muy empinada (Reglamento de Clasificación de Tierras, según D.S. Nº 0062-75- AG, 1975, Perú).

Las otras regiones son consideradas empinadas (25-50% de pendiente), por un total de 279.64 km^2 que corresponde al 79.20% de la sub-cuenca.

La magnitud de las longitudes de pendiente muestran la existencia de una relación inversa con los valores de la pendiente, es decir, cuando se obtuvieron las menores longitudes de pendiente, normalmente la pendiente fue de 40 a 60% (88.88 km^2) y con las mayores longitudes de pendiente fue del 25 al 30% (76.92 km^2).

Conclusiones

Fue posible realizar la caracterización morfométrica de la sub-cuenca del río Angasmarca, usando técnicas de Geoprocesamiento a partir de la espacialización de las informaciones y la realización de los análisis ambientales.

La caracterización morfométrica de la sub-cuenca y micro cuencas del río Angasmarca a través del análisis de los índices correlacionados con su geometría indica que poseen forma un poco alargadas, no están sujetas a

inundaciones y que favorecen la escorrentía superficial. La densidad de drenaje indica una baja capacidad de drenaje. La densidad hidrográfica es inferior a 1 canal/km² (considerado baja) y las pendientes medias altas indican que el área de estudio está potencialmente sujeta a fenómenos erosivos, especialmente bajo condiciones de suelo expuesto o de escasa cobertura vegetal permanente.

Se concluye que el análisis de los aspectos relacionados con el drenaje, relieve, la geología y los suelos puede dar lugar a la aclaración y comprensión de diversas cuestiones relacionadas con la dinámica ambiental local, aunque ninguno de estos índices debe ser entendido aisladamente como capaz de simplificar la compleja dinámica de la sub-cuenca y micro cuencas.

10.5. La erosión hídrica en cuencas hidrográficas

Entre los principales factores relacionados con el aumento de la degradación ambiental están los cambios frecuentes no planificados en el uso de la tierra, por encima de la capacidad de carga del suelo. En las zonas rurales, el manejo inadecuado del suelo, sin límites y riesgos de la degradación ambiental, ha provocado el desarrollo de procesos erosivos acelerados (Guerra & Cunha, 1996).

La erosión es una de las principales razones por la que los suelos agrícolas pierden su capacidad productiva. La eliminación de la vegetación nativa en una zona determinada provoca el rompimiento, efímero o permanente del equilibrio natural entre el suelo y el medio ambiente. Por regla general, el uso de la tierra para fines agrícolas se inicia con la eliminación de la vegetación nativa, dejando el suelo desnudo, por lo que es susceptible a la erosión por el agua de lluvia, también denominada erosión hídrica (Cabral et al. 2005). La pérdida de suelos por erosión hídricas constituye en uno de los principales problemas causados por la acción humana. La falta de una gestión adecuada debilita los suelos e n grandes áreas funcionales a la agricultura y al asentamiento urbano, que surgen de la falta de planificación (Guerra& Cunha, 1996).

El control de la erosión deberá efectuarse a través del uso de acciones preventivas y después de su ocurrencia a través de acciones correctivas y la información sobre el potencial de la tierra para el uso y la ocupación, se debe obtener a través del mapa de riesgos de erosión (Ribeiro, 2002).

La erosión en las cuencas hidrográficas es considerada uno de los problemas más graves en la actualidad, que afectan a la producción agrícola, debido al consecuente empobrecimiento de los suelos y a la falta de abastecimiento de agua.

El modelo de evaluación ambiental de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo ambiental (EUPS), se presenta como una herramienta importante, especialmente por proporcionar una fácil implementación en sistemas de información geográfica.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), en cuanto espacializada a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), ha permitido la estimación de la pérdida de suelos en cuencas hidrográficas (Pruski et al., 2006). Por lo tanto, la aplicación de la EUPS es válida para estudios cualitativos sobre predicción de pérdida de suelos, posibilitando la delimitación y espacialización áreas con mayor y menor susceptibilidad a erosión, favoreciendo la zonificación ambiental y por consiguiente, la planificación ambiental (Farinasso, 2005).

El diagnóstico cualitativo de erosión potencial de los suelos de la sub-cuenca del río Angasmarca, se puede lograr a través de la integración de los factores climatológicos, edafológicos, topográficos y antrópicos como, precipitaciones escorrentía, tipo de suelo, ocupación y uso de la tierra, pendientes, modelamiento digital del terreno (MDT), obtenidos mediante la utilización de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS), identificando geográficamente áreas críticas en cuanto a erosión potencial.

Podemos también calcular el potencial erosivo de las lluvias, indicado por el factor R (EI30) de la EUPS con el objetivo de identificar los períodos críticos de erosividad, tratando de orientar a los productores rurales a adoptar prácticas de manejo y conservación a fin de reducir la pérdida de suelos.

10.5.1. Ecuación universal de pérdidas de suelo (EUPS)

La Universal Soil Loss Equation, USLE, conocida como Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, EUPS, se define como una de las ecuaciones de predicción de pérdida de suelos más aceptada y utilizada, elaborada con metodologías correlacionadas con la predicción de la pérdida anual media de suelos ($t.ha^{-1}año r^{-1}$), causada por la erosión hídrica laminar. Esta ecuación puede expresarse matemáticamente de la siguiente forma:

□□ = □□□□□□□□□□□□□□ (10)

donde: A = pérdida anual media de suelos,t.ha^{-1}año^{-1}; R = factor de erosividad de la lluvia, expresado como índice numérico que estima la capacidad de la lluvia de causar erosión en, MJmmha^{-1}h^{-1}; K = factor de erodibilidad del suelo, expresa numéricamente la relación de pérdida anual media del suelo y el factor de erosividad de una parcela estándar en t.ha^{-1}/(MJmmha^{-1}h^{-1}); L = factor longitud de pendiente, S = factor grado de pendiente, los demás factores en condiciones iguales; C = factor uso y manejo que son la relación de pérdida de suelos entre un suelo cultivado con determinado cultivo y el mismo suelo sin cobertura, es decir, en las mismas condiciones del factor K; y P = factor práctica conservacionista, (relación entre un suelo con determinada práctica de control de la erosión y un suelo sin prácticas de conservación de suelos. Cada factor se introdujo en el modelo. Los factores R, K, L y S son dependientes de las condiciones naturales, ya que los factores C y P están relacionados con las formas de ocupación y uso del suelo (factores antrópicos).

10.5.2. El potencial natural de erosión (PNE)

El potencial natural de erosión (PNE), es una simplificación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, donde sólo se consideran los factores: Erosividad de la lluvia (R), la erodibilidad del suelo (K), longitud de pendiente (L) y el grado de pendiente (S). Esta magnitud expresa la susceptibilidad de determinada área a la erosión, indicando donde se producen una mayor o menor erosión, sin tener en cuenta los factores antrópicos cubierta vegetal y las prácticas conservacionistas (Brandão, 2001).

10.5.3. Diagnóstico de la erosión hídrica de la sub-cuenca del río Angasmarca, región La Libertad

Es el objetivo del presente estudio realizar un diagnóstico ambiental de la subcuenca utilizando técnicas Geoprocesamiento. Siendo objetivos específicos:

- Evaluación ambiental basado en la pérdida de suelo por la erosión hídrica obtenida mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. La espacialización de las áreas potenciales de conflicto de uso, áreas susceptibles a erosión laminar y la degradación ambiental mediante el uso de sistemas de información geográfica.

- Proponer acciones mitigadoras para áreas de conflicto, a fin de que los impactos ambientales de utilización indiscriminada de estas tierras tengan su magnitud reducida.

Revisión de información base de la sub-cuenca

1. Clima y zonas de vida regional

Según ONERN (1972), el clima de la zona de estudio es variado, la temperatura media varía entre los 6° y los 16°C. Los picos nevados por encima de 4,500m de altitud presentan un clima glacial, las vertientes bajas presentan temperaturas moderadas y los valles profundos son cálidos.

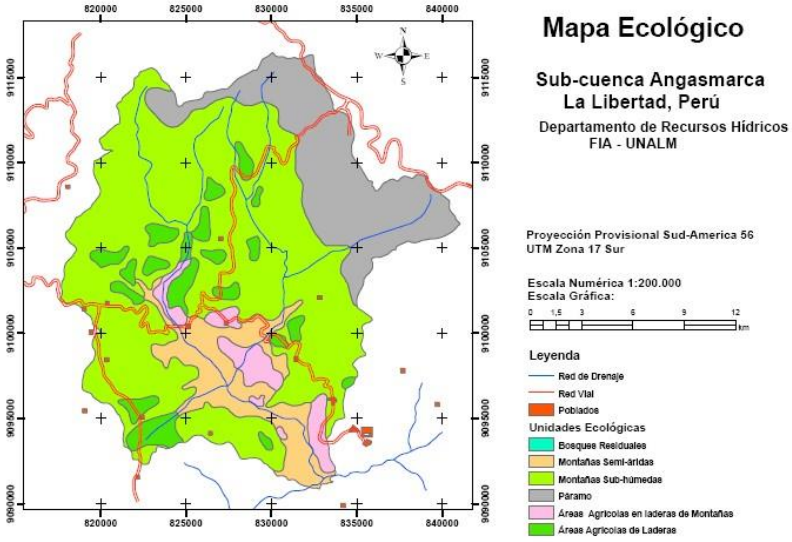


Figura Nº 28.- Mapa ecológico de la sub-cuenca del rio Angasmarca
Fuente: Estudio del río santa, ONERN (1972). Evaluación ambiental

Las precipitaciones por encima de 3,800m de altitud se producen en forma de nieve y granizo; entre 2,500 a 3,800m de altitud las precipitaciones son abundantes, sobre todo durante el verano austral (diciembre a abril).

Debido a su gran variación en altitud antes indicada posee tres regímenes climáticos bien definidos, que producen tres unidades ecológicas, de acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge: Estepa Espinosa Montano Bajo (ee-BM), Estepa Montano (e-M) y Páramo Muy Húmedo Sub-alpino (pmu-SA). Las características más importantes de estas formaciones ecológicas se encuentran en el mapa ecológico de la sub-cuenca en estudio en la Figura 28.

2. Geología – Estratigrafía e recursos estructurales

Según ONERN (1972), el área de estudio fue, probablemente una gran cuenca de sedimentación, donde se produjo sucesivos hundimientos y emersiones a lo largo de la historia geológica, los que permitieron la deposición de sedimentos de facies marinas y continentales. En el mapa geológico, Figura 29, se identifican la presencia de unidades litológicas sedimentarias, rocas ígneas y metamórficas, con edades comprendidas entre el Jurásico y Cuaternario reciente, según las siguientes formaciones en:

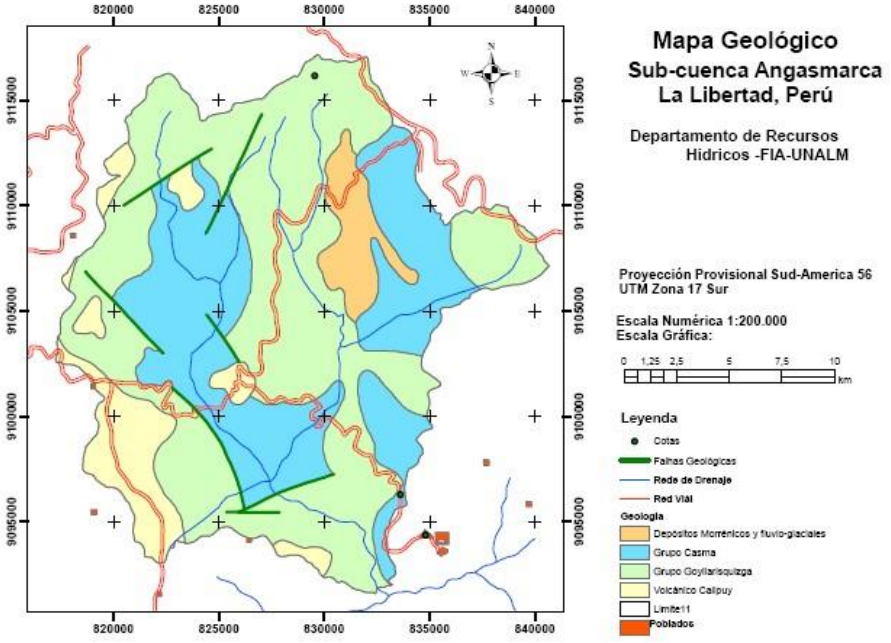


Figura Nº 29.- Mapa geológico de la sub-cuenca del río Angasmarca
Fuente: Estudio del río Santa, ONERN (1972). Evaluación Ambiental

- **Formación Goyllaresquizga (Ki-g.)**- Corresponde al período Cretácico Inferior de la era Mesozoica. Litológicamente comprenden las formaciones Chimú (areniscas y cuarcitas con intercalaciones lutáceas y mantos de carbón), Santa (caliza y lutitas calcáreas ferruginosas), Carhuaz (areniscas y cuarcitas abundantes con intercalaciones de lutitas) y la formación Farrat (areniscas y cuarcitas con intercalaciones de lutitas, piedra caliza y yeso cerca de la base).

- **Formación chicama (Js-chic)**.- Corresponde al período Jurásico de la era Mesozoica. Litológicamente tiene una secuencia de lutitas laminadas, color gris oscuro, blancas cuarcitas y areniscas claras.

- **Formación volcánica Calipuy (KTI-vac)**.- Pertenece al Cretácico Superior (Terciario Inferior de la Era Cenozoica). Litológicamente cuenta con una amplia y variada formación volcánica; piroclásticos, derrames y brechas de composición dacita, riolítica, andesita de color morado, verdosa y amarillenta. Sus afloramientos están cubriendo la mayor parte del área de estudio.

- **Formaciones depósitos morrénicos fluvioglaciares (Q-fg)**.- Perteneciente al Cuaternario de la era Cenozoico. Litológicamente

consisten en acumulaciones morrénicas y llenos de arena, arcilla y grava. Los fragmentos rocosos son heterogéneos pocos seleccionados, de forma angulosa y sub-redondeados.

3. Suelos - Grandes grupos de suelos

Según ONERN (1972), el área de estudio incluye suelos de origen residual de naturaleza lítica y/o paralítica clasificada en el nivel de grandes grupos del suelo. Las asociaciones de grandes grupos de suelos que de muestran en el mapa de suelos de la Figura 30 y los Cuadros Nº 5 y 6, como unidades de mapeo y que contribuyen a la clasificación de capacidad de uso. Se describe como sigue:

- **Asociación Litosol desierto - xerosol (LdXc)**: Es una zona intermedia entre el desierto y Entisoles Entisoles andina situada entre 2,400 y 2,600m de altitud y muestra una topografía escarpada, con pendientes de 50 a 70%, es posible el uso agrícola limitado debido a su topografía y en general dedicado a la ganadería extensiva.

- **Asociación Litosol distrófica Andina (Lad-c)**: Se extiende desde los 2,600m hasta su unión con las formaciones nivales o puramente líticas, formada por Litosoles andinos distróficos, Litosoles andinos eutróficos. Xerosoles háplicos Kastanozems lúvicos cálcicos y formaciones líticas. La topografía es accidentada, con pendientes que alcanzan a más del 70%,

  desarrollados sobre materiales volcánicos con cantidades menores de rocas ígneas intrusivas. En lugares con topografía suave tienen un potencial limitado para los fines agrícolas y pecuarios.

- **Asociación Páramosol eutrófico - Litosol andino eutrófico (Pe-Lae)**: Se encuentra a partir de los 3,900m de altitud. Se estima que el 40% corresponde a Páramosol eutrófico y 60% a Litosol andino eutrófico con afloramientos líticos. El relieve topográfico es generalmente complejo, con fuertes pendientes relacionados con las áreas de relieve más suave. Fue desarrollado sobre la base de una litología predominante sedimentarias y excepcional ígnea intrusiva. Por las condiciones edáficas, climáticas y topográficas adversas, el potencial agrícola es muy limitado y sólo es adecuado para el desarrollo de ganadería extensiva, especialmente ovejas. Las características físicas y químicas, físico-mecánicas de los suelos descritos se encuentran en el Cuadro 4(a y b).

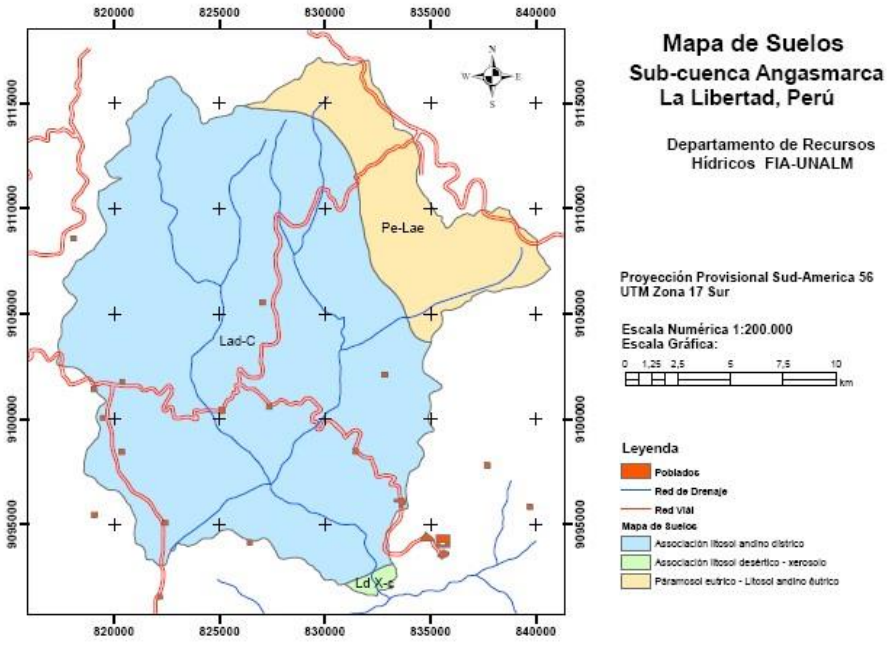


Figura Nº 30.- Mapa de suelos da sub-cuenca del rio Angasmarca
Fuente: Estudio del rio Santa, ONERN (1972). Evaluación Ambiental

Cuadro Nº 4a.- Análisis de las características físico-químicas y físico-mecánicas de suelos de la sub-cuenca del río Angasmarca

Símbolo	Grandes Grupos FAO	Horizonte	Profundidad (cm)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Materia Orgánica (%)	Clase Textural
PeLae-c	Páramo Andosol	A	0 - 30	31	21	34	14.0	7.93	Franco
		(B)	30 - 50	41	27	24	8.0	0.83	Franco arenoso
Lad - c	Kastanazem lúvico	A1	0 - 30	30	20	32	18.0	3.58	Franco
		B2	30 -70	24	16	32	28.0	0.12	Franco arcilloso
Lad - c	Kastanazem cálcico	A	0 - 30	31	21	28	20.0	1.52	Franco

		B2	30 -70	32	22	24	22.0	0.89	Fco-arcilloarenoso
		C	70 - 160	32	22	30	16.0	0.89	Franco arenoso
Ld X-c	Xerosollúvico	A	0 - 15	22	14	42	22.0	4	Franco arcilloso
		B	15 - 65	24	16	32	28.0	0.89	Franco arcilloso
		B3	65 - 110	27	15	30	28.0	0.89	Franco arcilloso

Fuente: ONERN (1972)

Cuadro Nº 4b.- Análisis de las características físico-químicas e físico-mecánicas de los suelos de la sub-cuenca Angasmarca

Símbolo	Horizonte	Materia Orgánica (%)	ClaseTextural	Estructura	Permeabilidad
PeLae-c	A	7.93	Franco	Estrutura marga (loam), muy rápida fina	Moderada a
	(B)	0.83	Franco arenoso	Estrutura granular muy fina	Moderada a rápida
Lad - c	A1	3.58	Franco	Bloquessub-angulares finos	Moderada
	B2	0.12	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares grandes	Lenta a moderada
Lad - c	A	1.52	Franco	Granular media	Moderada,
	B2	0.89	Frcoarcilloarenoso	Bloquessub-angulares finos	Moderada a rápida
	C	0.89	Franco arenoso	Estrutura masiva	Moderada a rápida
Ld X-c	A	4	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares finos	Lenta a moderada
	B	0.89	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares médios	Lenta a moderada
	B3	0.89	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares finos,	Lenta a moderada

Fuente: ONERN (1972)

Método

El presente estudio es un diagnóstico de áreas con riesgo potencial de la erosión hídrica en la sub-cuenca del rio Angasmarca, mediante la aplicación

del modelo matemático de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). El método fue desarrollado mediante el uso de técnicas de Geoprocesamiento, a través del análisis e integración de los factores naturales y antrópicos, estimación de la pérdida de suelos, visualización de áreas con riesgos potenciales de erosión laminar y su distribución espacial en la sub-cuenca.

La aplicación de las técnicas de Geoprocesamiento utilizadas se inició mediante el procesamiento de las cartas topográficos digitales, los mapas temáticos del rio Santa ONERN (1972), imágenes de sensores remotos: ASTER G-DEM2 y sensor CCD CBERS-2 datos de precipitaciones de estaciones pluviométricas y datos de análisis de suelos y de vegetación. El procedimiento se detalla en el diagrama de flujo en la Figura 31.

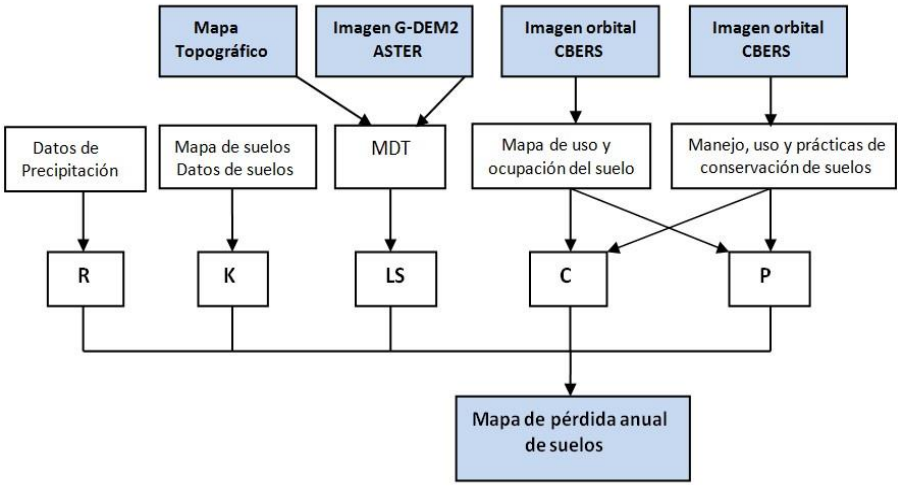


Figura Nº 31.- Flujograma simplificado del procedimiento para el cálculo de pérdida de suelos, mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, EUPS.

1. Cartografía base del área de estudio

Las cartas topográficas editadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), escala 1:100.000, con curvas de nivel de 50 m, las hojas: 16-g 16-h, 17-g y 17-h, utilizadas en estudio de redes de drenaje, Modelo Digital del Terreno (MDT), en primera aproximación, mapa de pendientes, Los mapas temáticos en escala 1:350,000: geológico-minero, ecológico, suelos y capacidad de uso, del estudio "Evaluación, Inventario de Recursos Naturales de las cuencas hidrográficas de los ríos Santa y Lacramarca Nepeña", ONERN 1972.

2. Imágenes de sensores remotos

a) Imágenes G-DEM2 ASTER.- La base de datos de la red de drenaje y el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la sub-cuenca del río Angasmarca. El mapa MDT fue elaborado para mayor precisión a partir de cuatro imágenes de satélite G-DEM2 del sensor ASTER: ASTGTM2_S08W078, S08W079, S09W078 y S09W079, con resolución espacial de 30m, en formato GeoTIFF, georeferenciadas en coordenadas geográficas, datum WGS84, geoide EGM96.

   La caracterización morfométrica relacionada con el drenaje y relieve de la sub-cuenca para evaluar el riesgo de erosión ha sido posible elaborar con mejor aproximación la el Modelo Digitales del Terreno (MDT), a partir de las imagen de satélite ASTER G-DEM2 antes citadas.

b) Imagen de satélite CBERS-2.- La base de datos de uso y ocupación del suelo fue elaborada a partir la imagen orbital CBERS_2_CCD1XS_20060721_190_109_L2, del 21 de julio de 2006, del sensor CCD a bordo del satélite CBERS-2, obtenida a través del catálogo de imágenes orbitales del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE), del Brasil.

c) Los datos pluviométricos de estaciones meteorológicas.- Para el índice IE30 o parámetro R de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPE), Los datos de precipitación media mensual de tres estaciones pluviométricas de SENAMHI, las más cercanas a la Sub-cuenca Anasarca: Mollepata, Cachicadán con datos de 30 años (1981-2010) y la estación de Santiago de Chuco con datos de 20 años (1964-1983).

d) Los datos de análisis físico-químico de suelos y estudios de vegetación.- Fueron obtenidos del estudio: "Inventario, evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de las cuencas hidrográficas de los ríos Santa, Lacramarca y Nepeña" ONERN 1972, con caracterización en campo en la sub-cuenca objeto de estudio.

Solución del método

a) Elaboración del modelo digital del terreno (MDT).- Elaborado a partir de las cartas topográficas digitales con curvas de nivel, mediante las herramientas 3D Analist, de ArcGIS se genera un TIN de contornos. Las fajas altimétricas de TIN se clasificaron en 11 clases con 250m de intervalo. Así mismo con mayor resolución fue elaborado el MDT.
b) Delimitación de las micro cuencas hidrográficas.- Estas herramientas “Watershed Delineation Tools” crean una red de flujo basado en un

umbral proporcionado por el usuario y delimita las micro cuencas hidrográficas para cada enlace de la red de flujo. Finalmente, se obtuvieron como resultado de la salida automática de los layers (rasters): las micro cuencas delimitadas (watershed-delimitation), redes de drenaje (stream), dirección del flujo (flow-direction), flujo de acumulación (flow-Acumulation).

c) Elaboración de mapas en capas (layers), de la sub-cuenca.- A partir de las cartas topográficas de IGN y mediante las herramientas del software ArcGIS: El Mapa de pendientes (S) a partir del MDT, el mapa de redes de drenaje (RD) y el mapa de curvas de nivel (CN). Finalmente los mapas fueron creados en layers en formato Shapefile.

d) Clasificación de uso potencial de suelos.- El procedimiento metodológico para caracterizar el "Uso potencial de suelos" en cuatro clases como se muestra en la Tabla 9, se calculan la amplitud (A) y el punto (I) a partir de los coeficientes de rugosidad.

$$A = (\text{mayor valor de RN} - \text{menor valor de RN}) \quad (11)$$

$$I = A/4 \quad (12)$$

siendo 4 es el número de clases de aptitud (A, B, C, D). Para definir los intervalos de dominios (ancho de intervalos de clases de los RNs).Se determina el uso potencial del suelo a partir del coeficiente de rugosidad de las micro cuencas estudiadas.

Cuadro Nº 5.- Clasificación de uso potencial del suelo

Clase RN	Uso potencial del suelo (UP)
A	Suelos con aptitud para agricultura (menor valor de RN)
B	Suelos con aptitud para pastizales
C	Suelos con aptitud para pastizales /forestación
D	Suelos con aptitud para forestación (mayor valor de RN)

e) Clasificación del uso y ocupación del suelo.- El Mapa de uso y ocupación del suelo (MUO) de la sub-cuenca (clasificación no supervisada de la imagen CBERS-2, de tres bandas de composición en color (RGB) 342, en escala 1:100.000, mediante el uso el software SPRING 5.1.6). Las clases se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro Nº 6.- Clasificación de uso y ocupacional del suelo

Nº ordem	Classe
1	Forestal
2	Pastizal abierto
3	Pastizal cerrado
4	Agricultura de secano
5	Agricultura de irrigación
6	Suelo expuesto
7	agua

f) Estimación de la erosividad de las lluvias (R).- La metodología utilizada para generar el índice de erosividad (R = EI30), de acuerdo con criterios propuestos por Bertoni y Lombardi Neto (1993), usando datos de series históricas de precipitación de un lugar determinado, obtenido por la ecuación 13.

$$El_{30} = 67.355\ (r^{2}/P)^{0,85} \qquad (13)$$

siendo (r) la precipitación media mensual en mm (P), la precipitación promedio anual en milímetros y EI30 es el índice media mensual del índice de la erosión en MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}.mes. Los cálculos r y P se obtuvieron utilizando registros de precipitación mensual de 3 estaciones más cercanas al área de estudio de un período de 30 años consecutivos desde 1981 hasta 2010, con la ayuda del software de MS Excel. Los datos fueron agrupados en tres períodos de 10 años: 1981-1990, 1991-2000 y 20012010.

g) Estimación indirecta de erodibilidad de los suelos (K).- La estimación de erodibilidad del suelo de manera indirecta se realizó mediante la aplicación de las ecuaciones de 14 y 15 descritas a continuación elaboradas por Wischmeier y Smith (1978). El factor de erodibilidad del suelo también puede ser determinada por la ecuación utilizada en la construcción el nomograma de Wischmeier y Smith (1978).

$$K = \left[\frac{2,1\,M^{1,14}\,10^{-4}(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3)}{100}\right] 0,1318 \qquad (14)$$

donde: OM = contenido de materia orgánica, dag kg^{-1}, M = parámetro que representa la textura del suelo, s = Clase de estructura del suelo, sin dimensiones y p = perfil de permeabilidad, sin dimensiones. El valor de M se calcula por la ecuación:

□□ = (% □□□□□□□□□ + % □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□)(100 − % □□□□□□□□□□□□□□□□) (15)

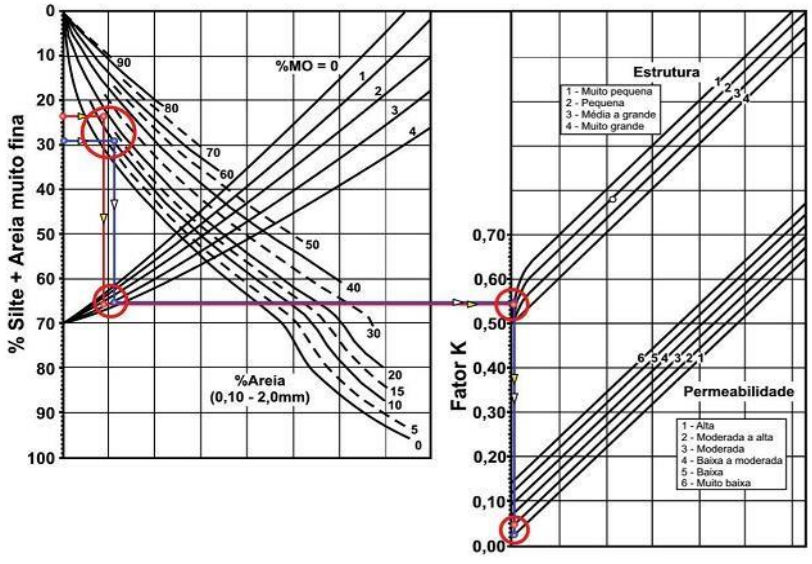


Figura Nº 32.- Nomograma para determinación de erodibilidad del suelo para convertir resultados al Sistema Internacional de unidades, basta dividir el valor de K de este nomograma por 7.59. Fuente: Adaptado de Renard et al (1997)

Los resultados obtenidos fueron comprobados con una estimación de la erodibilidad partir de la lectura gráfica del nomograma de los mismos autores, Figura 32, que se basa en la combinación de las propiedades físicas de los suelos (porcentaje de limo y arena muy fina); porcentaje de arena entre 0.1 a 0.2 mm, estructura, clase de permeabilidad y el porcentaje de materia orgánica), expresados como ($t.ha^{-1}.MJ^{-1}mm^{-1}$).

Los datos de las propiedades físicas de suelos se obtuvieron a partir de muestras de perfiles de suelos en el estudio de los suelos de la cuenca del río Santa (ONERN, 1972). véase la caracterización del área de estudio.

h) Longitud de la pendiente (L).- La longitud promedio de las pendientes para cada micro cuenca se obtuvo a partir de mapas topográficos, por el método del rectángulo equivalente de acuerdo con el método modificado

de Vilela & Mattos (1975), con la aplicación de la ecuación 16, siendo, L = longitud de la pendiente (m), A = área de la cuenca (m²); sumatoria de la longitud de todos los cursos de agua de la cuenca (m). Esta ecuación fue utilizada teniendo en cuenta la longitud media de las pendientes para cada micro cuenca:

$$\square\square = \square\square / (4\ \square\square) \quad (16)$$

i) Factor pendiente S.- El factor pendiente S puede obtenerse de acuerdo con la metodología desarrollada por Wischmeier & Smith (1978), mediante la aplicación de la ecuación 17, donde S + factor de pendiente (adimensional) y s = pendiente media de la vertiente en porcentaje (%). El Cuadro 7 muestra la clasificación de las pendientes utilizadas en este estudio. Esta ecuación es como sigue:

$$\square\square = 0{,}00654\square\square^2 + 0{,}0456\square\square + 0{,}065 \quad (17)$$

Cuadro Nº 7.- Clasificación de pendientes para el estudio

Clase	Símbolo	Intervalo (%)	Clasificación cualitativa
1	A	00 - 04	Plano a ligeramente inclinada
2	B	04 - 15	Moderada a fuertemente inclinada
3	C	15 - 25	Moderadamente empinada
4	D	25 - 50	Empinado
5	E	50 - 75	Muy empinada
6	F	75 - 100	Extremadamente muy empinada
7	G	>100	Abrupto

Fuente: Adaptada del Reglamento de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor, del Ministerio de Agricultura del Perú (D.S. No. 0062-75- AG, 1975).

j) Factor Topográfico (Factor LS).- Después de elaborar el mapa de longitud de rampa (factor L) y teniendo en cuenta el mapa de pendientes, se procedió a la ejecución de la expresión matemática se muestra en la ecuación 18 generadora del factor topográfico (LS), donde: L = longitud de pendiente (m); S = pendiente (%).

$$\square\square\square\square = 0{,}00984\ \square\square^{0{,}63}\square\square^{1{,}18} \quad (18)$$

Las ecuaciones 17 y 18 suponen pendiente esencialmente uniforme, es decir, no tiene en cuenta si es cóncavo o convexo, lo que constituye una limitación del uso de la EUPS (Pruski 2009).

k) Potencial natural de erosión (PNE).- Fue calculado a partir de la combinación de los mapas que representan los valores medios de la emotividad de las lluvias (factor R), la credibilidad del suelo (factor K) y el factor topográfico (LS), según la ecuación de 19 y mediante el uso del software de MS Excel.

□□□□□□□ = □□. □□. □□. □□
(19)

l) Uso y manejo de prácticas de conservación de suelos (factores C y P)
Estos factores se obtienen a través del mapa de uso y ocupación del suelo (MUO), y las prácticas de conservación de suelos, determinados mediante los siguientes pasos:

- A través del análisis del uso y ocupación de suelos a partir de imágenes CBERS-2, y el manejo con buenas prácticas de conservación y uso de suelos, comprobadas en campo por reconocimiento de patrones representativos.

- Estimación de la variables antrópico (factor CP), en base a los valores propuestos por Righeto (1998), Ruhoff (2004) y Tomazoni et al (2005), considerando la peor situación de prácticas de conservación de suelos para P = 1. Ver Cuadro 8.

- La adopción del valor medio ponderado de valores de CP para agricultura y pastoreo guiados por el uso y ocupación del suelo de región. La estimación de los valores de CP en cada unidad de uso y ocupación de las micro cuencas seleccionadas es determinada mediante aplicación de la ecuación 20.

$$CP_{médio} = \frac{\sum(CPxA)}{AT} \quad (20)$$

donde: ∑(CPx A) = valor de CP de los items que componen las actividades como los del cuadro 5, multiplicado por el porcentaje del área de ocupación de la micro cuenca (%), AT = porcentaje total del área de la actividad en el estudio de micro cuencas.

m) Pérdidas de suelos por erosión en la sub-cuenca
La pérdida de suelo por erosión laminar (A) en (t.ha/año), fue determinada mediante la aplicación de la ecuación 10, o como el producto del potencial natural de erosión (PNE) y el factor antrópico (CP), mediante aplicación de la ecuación 19.

Cuadro Nº 8.- Valores de P, C y factor CP para algunos tipos de manejo de suelos adaptados para la Sub-cuenca de Angasmarca adaptados para la Sub-cuenca de Angasmarca

Classe de Uso da Terra	Valor de C	Valor de P	CP (adim)
Forestal	0.012	0.1	0.0012
Pastizal	0.01 - 0.025	0.4	0.004 - 0.0100
Agricultura de secano	0.18 - 0.290	0.7	0.126 - 0.2030
Agricultura irrigada	0.18 - 0.360	1.0	0.180 - 0.3600
Suelo expuesto	1.000	1.0	1.0000
Minería	1.000	1.0	1.0000
Agua	0.000	0.0	0.000

Fuentes: Righeto (1998), Ruhoff (2004), Tomazoni et al (2005)

n) Tolerancia límite de la pérdida de suelo

La tolerancia de la pérdida de suelo por la erosión (T) propuesto por Oliveira (2004), correlaciona el efecto de la permeabilidad y el contenido de materia orgánica de las respectivas pérdidas mediante la ecuación 21 de la siguiente manera:

$$\square\square = h \ \square\square\square\square\square\square 1000^{-1} \qquad (21)$$

donde, T= tolerancia de pérdida de suelos por erosión (t.ha-1.año-1), h = espesor del horizonte (cm), r = coeficiente que expresa efecto de la relación textural en horizontes A y Ben ponderación de las pérdidas de suelo (g.kg-1), m = factor de materia orgánica en capa de 0 a 20 cm, p = factor de efecto de permeabilidad de suelo. Los valores de r son iguales a 1.0, 0.9 y 0.8 para los suelos de contenido de arcilla en el horizonte A mayor que 40%, entre 40 y 20% es menor que 20%, respectivamente. Ver Cuadro 9.

Cuadro Nº 9.- Factor de materia orgánica (a) y factor efecto de permeabilidad (b)

a) Factor matéria orgânica (m) (capa de 0 a 20 cm)		b) Factor efecto de permeabilidad	
> 2%	1.15	> 63.50	1.00
1% a 2%	1.00	5.08 a 63.50	0.85
< 1%	0.85	< 5.08	0.70
		($mm.h^{-1}$)	(p)

Fuente: Oliveira, 2004.

Presentación y discusión de resultados

Factor erosividad (Factor R).- Según los datos de tres estaciones pluviométricas (período en 30 años), se encontró que la precipitación media anual es de 690.3 mm, el valor promedio mensual más alto se produce en el mes de marzo, con 149.2 mm y el más bajo en el mes de julio con 3.3 mm (Cuadro 10). Dichas precipitaciones tienen mala distribución durante el año, como se muestra en la Figura 1, con la mayor concentración de las lluvias (superiores a 100 mm), entre octubre y abril, con un verano lluvioso (ver histograma en la Figura 33), donde ocurren el 92.2% de la precipitación total. Mientras que entre abril a septiembre ocurren 7.8% de las lluvias, considerado estiaje prolongado.

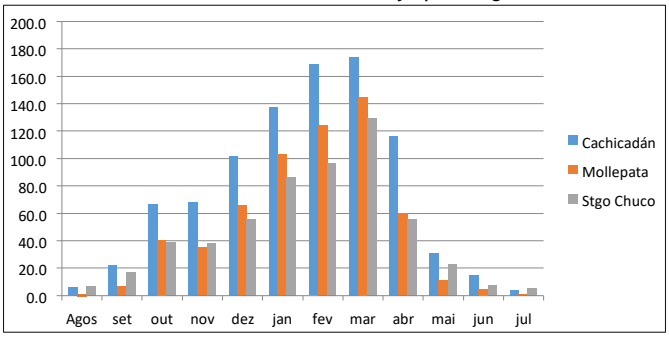


Figura Nº 33.- Histograma de la distribución de la precipitación media mensual (mm) de estaciones pluviométricas de la sub-cuenca Angasmarca (1981-2010)

Los coeficientes de variación de los datos de precipitación son altos, el más grande en la estación Mollepata con 102% y Cachicadán el menor con 82.5%, éstos altos índices se deben a valores extremos que van desde 0.7 mm (Mollepata) a 173.9 mm (Cachicadán), cuya media aritmética es influenciado por tales valores extremos.

Se observa en el Cuadro 10 y en la Figura 34 que el valor de erosividad en áreas de influencia a la estación de Santiago de Chuco es 3.564,5 MJ.ha1mm.h^{-1}, en el área de influencia de la estación Mollepata es de 4199.2MJ.ha1mm.h^{-1} y en la región próxima a la estación Cachicadán se eleva a 5.324,8 MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}.

El factor "R" para 30 años fue de 4,762.0 MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}, donde el 97,8% de este índice se produjo durante la estación lluviosa y sólo el 2.2% en la estación seca (Figura 34). Estos valores están fuera del rango encontrado para las condiciones brasileñas que van desde 5,000 MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}a 12,000MJ.ha$_1$mm.h$_{-1}$

El período que coincide con el inicio de la preparación del suelo y la siembra de los cultivos anuales como: papa, maíz, arvejas y otros cereales como avena, trigo, cebada presentan alta erosividad, debiendo tomarse medidas

que traten de minimizar las pérdidas de suelo, como la adopción de prácticas de conservación, como labranza mínima, plantío o labranza cero.

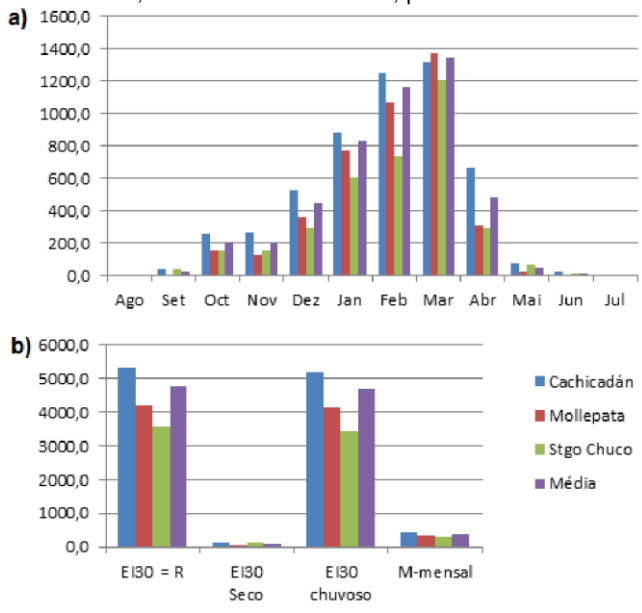


Figura Nº 34.- Histograma de distribución de la erosividad de las lluvias para la subcuenca Angasmarca en el período de 1981 a 2010. a) Erosividad media mensual de las lluvias. b) valor EI30 = R, EI30 Seco: para período seco, EI30 lluvioso: para período lluvioso mensual: EI30 medio mensual.

El período de retorno y la probabilidad de ocurrencia de lluvias para el mayor índice de emotividad anual observado fue de 31 años y 3.2%, respectivamente. Por lo tanto, se espera para esta localidad una probabilidad de 3.2%, que el valor del índice de emotividad anual sea igual o superior a 5,324.8 $MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}$ al menos una vez cada 31 años.

Para la tasa más baja de erosividad anual observada, el valor del período de retorno fue de 7 años, con 14.3% de probabilidad de ocurrencia de lluvias (ver Cuadro 11). Se cree, por lo tanto, que ocurra con una probabilidad del 14.3%, un índice de erosividad anual superior a 3,564.5 $MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}$ al menos una vez cada 7 años.

Cuadro Nº 10.- Ubicación de estaciones pluviométricas utilizados en el estudio

Estación Pluviométrica	Latitud Sur	Longitud Oeste	UTM (m-E)	UTM (m-N)	Altitud (m)	Período (años)
Cachicadán	8°03'14"	78°06'50"	152749.09	9103319.05	2892.00	1981 - 2010
Mollepata	8°11'30"	77°58'00"	172710.48	9094594.28	2758.00	1981 - 2010
Santiago de Chuco	8°08'30"	78°10'45"	152792.00	9103946.00	3113.00	1964 - 1983

Cuadro Nº 11.- Índice medio mensual y anual de precipitaciones para el período 1981-2010 (30 años)

Estación	Média mensal	S	CV	Média anual	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Cachicadán	75.9	62.6	82.5	910.7	6.3	22.2	66.9	68.2	101.5	137.3	168.5	173.9	116.4	31.1	14.6	3.9
Mollepata	49.7	50.7	102.0	599.4	0.7	6.8	40.2	35.0	66.1	103.0	124.5	144.3	59.7	11.4	4.3	0.7
Santiago de C.	46.7	39.9	85.4	560.7	6.5	17.1	38.8	38.2	55.8	86.3	96.9	129.3	55.8	23.0	7.7	5.3
Média	**62.8**	**56.6**	**92.3**	**755.1**	**3.5**	**14.5**	**53.5**	**51.6**	**83.8**	**120.1**	**146.5**	**159.1**	**88.1**	**21.2**	**9.4**	**2.3**

CV = coeficiente de variación (%), S = Desviación estandar.

Cuadro Nº 12.- Indice de Erosividad R = EI30, referente al período de 1981 a 2010 (30 años). $EI_{30} = 67.355\left(\frac{r^2}{P}\right)^{0.85}$

Estación Pluviométrica	EI30= R	EI30 Seco	EI30 lluvioso	R médio mensual	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Cachicadán	**5324.8**	137.3	5187.6	443.7	4.8	40.0	260.8	269.0	529.1	885.0	1253.1	1322.3	668.1	70.8	19.6	2.1
Mollepata	**4199.2**	29.8	4169.4	349.9	0.2	7.6	156.2	123.7	364.7	774.6	1068.7	1374.6	306.9	18.4	3.5	0.2
Stgo. De chuco	**3564.5**	125.7	3438.8	297.0	7.6	38.8	155.8	151.9	289.1	607.2	738.6	1206.6	289.6	64	10.1	5.2
Média	**4762.0**	**83.5**	**4678.5**	**396.8**	**2.5**	**23.8**	**208.5**	**196.3**	**446.9**	**829.8**	**1160.9**	**1348.5**	**487.5**	**44.6**	**11.6**	**1.1**

P = precipitación media anual (mm), r = precipitación mensual (mm)

Cuadro Nº 13.- Erosividad media anual y mensual, probabilidad de ocurrencia (Pr) y el período de retorno (T), para el área de estudio en el período 1981-2010.

Estación Pluviométrica	NO	MA (mm)	MM (mm)	T	Pr
Cachicadán	1	5,324.8	443.7	31.0	3.2
Mollepata	2	4,199.2	349.9	15.5	6.4
Santiago de Chuco	3	3,564.5	297.0	7.0	14.3

NO=Numero de orden, MA=Media anual, MM= Média mensual, T= Tiempo de retorno, Pr = probabilidad

Factor erodibilidad del suelo (K).- Valores de erodibilidad (K),mediante la aplicación de las ecuaciones 14 y 15 de Wischmeier y Smith (1978), sobre la base de datos del estudio de suelos (Cuadro 14), fueron idénticos a los valores obtenidos mediante la lectura gráfica del nomograma de los mismos autores.

De los resultados obtenidos podemos deducir que los suelos con menor erodibilidad son los Páramo Andosoles, los más superficiales, a diferencia de los Kastanazem que son suelos cálcicos y tienen mayor valor de erodibilidad. La erodibilidad media de los horizontes superficiales de los suelos Kastanazem lúvicos y Kastanazem cálcico es equivalente a la erodibilidad media del conjunto de los suelos analizados.

Cuadro Nº 14.- La Erodibilidad de los suelos de la sub-cuenca Angasmarca – Factor K, según la aplicación de las fórmulas y el nomograma de Wischmeier y Smith (1978)

Símbolo	Grandes Grupos de Suelos (FAO)	Horizonte	ANALISE MECANICO					PARAMETROS DEL FATOR "K"				FACTOR "K"
			Profundi-dad	Arena Gruesa	Arena Fina	Limo	Arcilla	OM	M	Estruc-tura	Permea-bilidad	
			(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Adim.	s	p	
PeLae-c	Páramo Andosol	A	0 - 30	31	21	34	14.0	7.93	4.730	1	2	0.00984
		(B)	30 - 50	41	27	24	8.0	0.83	4.692	1	2	0.03980
Lad - c	Kastanazem lúvico	A1	0 - 30	30	20	32	18.0	3.58	4.264	2	3	0.03202
		B2	30 -70	24	16	32	28.0	0.12	3.456	3	4	0.04314
Lad - c	Kastanazem cálcico	A	0 - 30	31	21	28	20.0	1.52	3.920	2	3	0.03621
		B2	30 -70	32	22	24	22.0	0.89	3.588	3	2	0.03569
		C	70 - 160	32	22	30	16.0	0.89	4.368	4	2	0.04870
Ld X-c	Xerosol lúvico	A	0 - 15	22	14	42	22.0	4	4.368	2	4	0.03457
		B	15 - 65	24	16	32	28.0	0.89	3.240	3	4	0.03847
		B3	65 + 110	27	15	30	28.0	0.89	3.240	2	4	0.03419

Geoprocesamiento en el modelamiento hidrológico de la sub-cuenca.- En la Figura 35, Modelo Digital del Terreno MDT, se muestra los diferentes niveles altitudinales de la sub-cuenca. Las primeras giran en torno a la 1,980m sobre el nivel del mar (cyan-verdoso) y la ultimas de blanco, en torno a los 4,600m.

La delimitación de micro cuencas.- Fue posible mediante las herramientas hidrológicas de ArcGIS, y el programa FWD (Fast Watershed Delimitation) a partir del raster MDT.

Longitud de pendiente (Factor L).- La longitud de pendientes (L), se obtuvo de la ecuación 16 y los resultados se muestran en el Cuadro 15, en donde la pendiente media de la sub-cuenca es de 0,433 kilómetros. Este valor coincide en el mayor número de cuencas (0,4 a 0,5 km) y la ubicación geográfica de la misma, puede ser una influencia geológica en estos valores ya que están situadas en la parte más alta de la de la sub-cuenca, en una formación Goyllaresquizga (Ki-g) y Chicama (Js-chic), conforme al mapa geológico (Figura 36).

Cuadro Nº 15.- Longitud de pendiente (L), pendientes (S) y Factor topográfico (LS).

Número de micro cuenca	Área microcuenca	Longitud de la red de drenaje	Longitud de pendiente	Pendiente média	Factor topográfico
	A (km^2)	l (km)	L (m)	S (%)	LS (adim)
1	52.867	30.073	439.48	31.94	27.11
2	25.922	19.453	333.12	29.23	20.51
3	19.793	7.596	651.37	28.05	29.80
4	31.205	18.420	423.52	28.55	23.20
5	22.257	12.085	460.41	36.38	32.56
6	66.140	34.652	477.16	33.54	30.25
7	15.436	12.223	315.71	49.44	36.86
8	33.357	19.472	428.25	50.28	45.57
9	3.126	5.062	154.40	50.69	24.19
10	46.016	23.444	490.68	35.34	32.75
11	36.957	15.599	592.27	50.23	55.82
Total	**353.075**	**198.085**	**-**	**-**	**-**
Média	**32.098**	**18.007**	**433.31**	**38.52**	**32.60**

Pendiente o declividad (Factor S).- La pendiente media obtenida de la aplicación de la ecuación 8. De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 19. Se observa que los valores más altos de la pendiente (por encima del 50%**)**, se producen al sur y sur**-**este de la sub-cuenca, en un terreno predominantemente montañoso, tiene una superficie de 73.44 km^2 que corresponde al 20.80% de**l** área total, considerada como pendiente muy pronunciada de acuerdo con el Cuadro 16 de clasificación de pendientes.

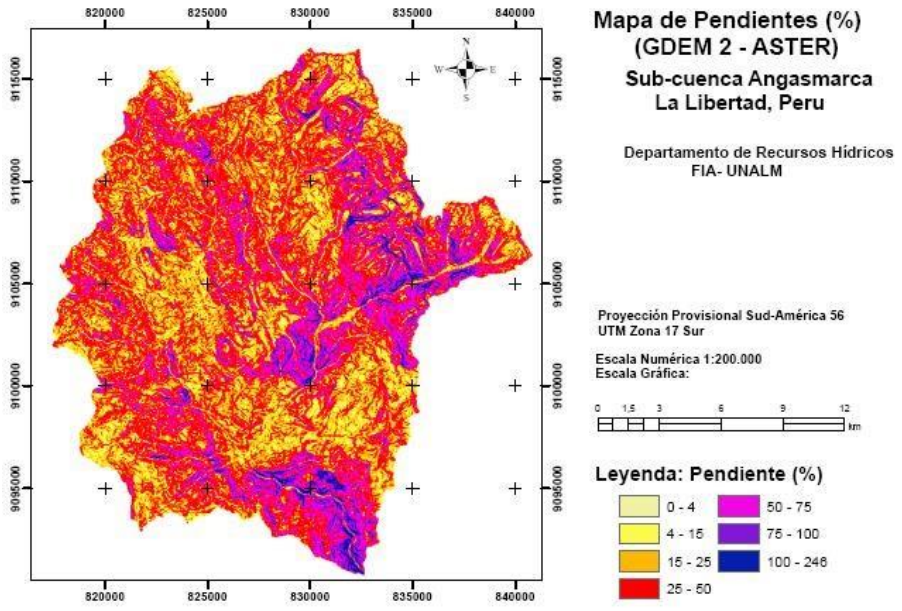


Figura Nº 35.- Mapa de pendientes de la sub-cuenca del rio Angasmarca a partir del MDT.

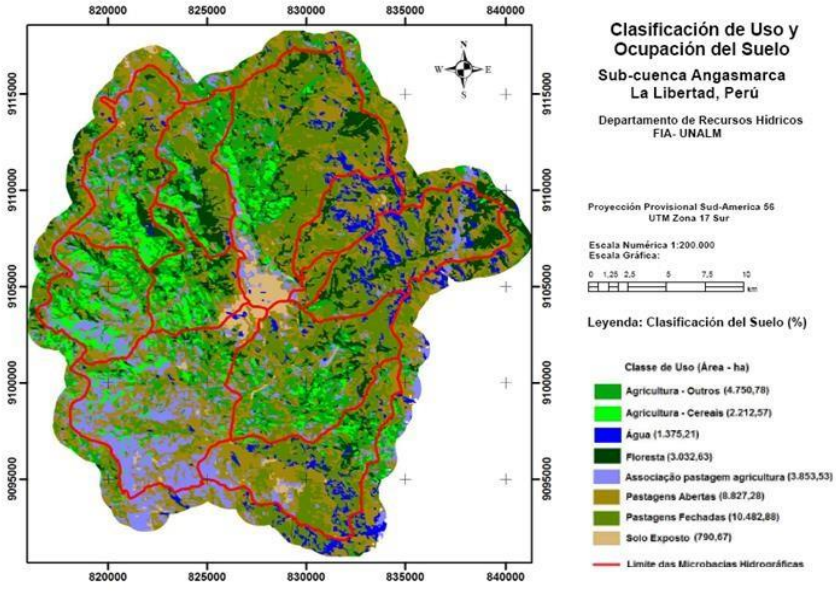


Figura Nº 36.- Mapa de uso e ocupación de tierras de la sub-cuenca del río Angasmarca, mediante el software SPRING 5.1.6 (INPE)

Las otras regiones son consideradas empinadas (25 - 50% de pendientes), totalizando 279.64 km^2 que corresponde al 79.20% de la sub-cuenca. Las longitudes de pendiente muestran la existencia de una relación inversa con los valores de la pendiente, es decir, las longitudes más cortas de pendiente es normalmente de 40 a 60% (88.88 km^2) y con las mayores longitudes de pendiente, la pendiente fue del 25 al 30% (76.92 km^2).

El mapa de pendientes de la Figura 35 muestra el grado y la variación las pendientes de las micro cuencas del área de estudio: del 0-4% (color crema) y puede llegar a 246% (Regiones azuladas).

El mapa de uso y ocupación de tierras (MUO) de la sub-cuenca, Figura 44, obtenido por clasificación digital de imágenes CBERS y el software SPRING 5.1.6 los resultados se muestran en el Cuadro 16.

Cuadro Nº 16.- Clasificación de uso y ocupación de tierras de la sub-cuenca Angasmarca

MBH	Agua	Suelo Expuesto	Floresta	Agricultura Otros	Pastizal Abierto	Pastizal cerrado	Agricultura Cereales	Asociación Agric-past.	AREA TOTAL
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
1	41.08	205.14	93.17	586.15	1,707.20	631.74	324.54	1,697.72	**5,286.74**
2	1.79	0.00	138.85	584.81	540.14	253.90	567.22	505.46	**2,592.18**
3	17.53	7.00	193.60	377.18	494.09	503.95	207.29	178.61	**1,979.26**
4	27.64	11.03	305.24	594.67	779.00	794.54	326,81	281.61	**3,120.53**
5	19.34	0.00	365.67	514.95	357.21	673.16	186.29	109.07	**2,225.71**
6	188.04	359.20	706.51	843.76	1,237.74	2,666.93	329.76	282.02	**6,613.96**
7	276.63	11.36	114.39	12.19	490.51	629.44	0.00	9.06	**1,543.58**
8	460.52	0.00	557.68	66.33	865.77	1,259.72	8.61	117.04	**3,335.67**
9	4.76	4.16	22.06	3.68	93.28	170.35	0.00	14.33	**312.63**
10	104.71	108.07	368.71	899.87	1,056.79	1,564.62	192.36	306.47	**4,601.60**
11	233.16	84.69	166.75	267.17	1,205.55	1,334.54	69.68	334.13	**3,695.67**
TOTAL	**1,375.21**	**790.67**	**3,032.63**	**4,750.78**	**8,827.28**	**10,482.88**	**2,212.57**	**3,835.53**	**35,307.53**

Factor topográfico (Factor LS).- Los resultados de la aplicación de la ecuación 18 presentados en el Cuadro 17, observamos que el 80.08% de la sub-cuenca tiene un valor inferior a 40 m, debido al predominio de pendientes menores de 40% y de longitudes de rampa medios a bajos.

Factor manejo de práctica conservacionista (Factor CP).-Según los valores de C y P presentados en el Cuadro 17, el factor C en agricultura, varía de 0.18 a 0.36 y el factor P varía de 0.7 a 1.0 en cultivos de secano y 1.00 en cultivos irrigados. En pastizales C varía entre 0.01 a 0.025 y P en 0.4.Por

tanto los valores del factor CP en agricultura varían de 0.1260 a 0.3600 y en pastizales de 0.004 a 0.01.

Los valores C, P y el factor adimensional CP indicados fueron estimado, teniendo en cuenta que en la región predominan formas de agricultura y manejo no adecuado de pastizales que protegen poco y exponen el suelo a la erosión, siendo estas actividades de importancia por representar el 85.27% de la superficie de la sub-cuenca. Se sabe además que las áreas de "suelo expuesto", van en aumento con la reducción de pastizales y de bosques nativos, por ocupación de la actividad minera, que está creciendo en la región durante los últimos 20 años, lo cual demuestra que tenemos que tratar el problema con más seriedad en relación a los impactos ambientales causados por estas actividades humanas. La variable antrópica media (factor CP), presentada en la Tabla 20, es el valor medio ponderado del factor CP para cada una de las micro cuencas del área de estudio.

Cuadro Nº 17.- Valor medio ponderado de CP para clases de uso en agricultura y pastoreo en micro cuencas del río Angasmarca

MBH	Floresta	Agua	Pastizal 1	Pastizal 1	Agricultura 1	Agricultura 2	Agricultura 3	Suelo expuesto	
1	0.0012	0.0100	0.0040	0.2225	0.1327	0.0133	1.0000	0.0000	
2	0.0012	0.0100	0.0040	0.2567	0.1445	0.0144	1.0000	0.0000	
3	0.0012	0.0100	0.0040	0.2456	0.1407	0.0141	1.0000	0.0000	
4	0.0012	0.0100	0.0040	0.2456	0.1407	0.0141	1.0000	0.0000	
5	0.0012	0.0100	0.0040	0.2391	0.1384	0.0138	1.0000	0.0000	
6	0.0012	0.0100	0.0040	0.2386	0.1382	0.0138	1.0000	0.0000	
7	0.0012	0.0100	0.0040	0.2030	0.1260	0.0126	1.0000	0.0000	
8	0.0012	0.0100	0.0040	0.2100	0.1284	0.0128	1.0000	0.0000	
9	0.0012	0.0100	0.0040	0.2030	0.1260	0.0126	1.0000	0.0000	
10	0.0012	0.0100	0.0040	0.2246	0.1334	0.0133	1.0000	0.0000	
11	0.0012	0.0100	0.0040	0.2193	0.1316	0.0132	1.0000	0.0000	
Média	**0.0012**	**0.0100**	**0.0040**	**0.2280**	**0.1346**	**0.0135**	**1.0000**	**0.0000**	

Potencial natural de erosión (PNE).- Los resultados en la tabla 21 muestran que las áreas con riesgo potencial a la erosión incluyen el 82.94%, de la subcuenca de lo cual el 19.92% tienen un potencial de erosión extremadamente alto, mientras que las áreas menos susceptibles representan sólo el 17.06%. En general, la sub-cuenca puede presentar serios problemas de erosión, debido a su PNE por encontrarse dentro del rango de moderado a extremadamente alto en su mayor extensión, sobre todo, sin tener en cuenta la posible acción antrópica y la falta prácticas de conservación para el manejo del suelo.

Cuadro Nº 18.- Potencial natural de erosión de las micro cuencas del río Angasmarca

	R	K	LS PNE MBH ▯▯▯▯. ▯▯▯▯ ▯▯. ▯▯▯▯. ▯▯ ▯▯.	
	▯▯▯▯. ▯▯	▯▯▯▯. ▯▯▯▯. ▯▯▯▯		Adim. ▯▯▯▯. ▯▯▯▯▯▯
1	4,762	0.03412	27.11	4404.82
2	4,762	0.03412	20.51	3332.45
3	4,762	0.03412	29.80	4841.89
4	4,762	0.03412	23.20	3769.52
5	4,762	0.03412	32.56	5290.33
6	4,762	0.03412	30.25	4915.00
7	4,762	0.03412	36.86	5988.99
8	4,762	0.03412	45.57	7404.19
9	4,762	0.03412	24.19	3930.38
10	4,762	0.03412	32.75	5321.20
11	4,762	0.03412	55.82	9069.60
TOTAL	**4,762**	**0.03412**	**35.80**	**5,816.76**

Los mayores valores de potencial natural de erosión (en el Cuadro19), se producen en áreas de mayor pendiente, y relieve más pronunciado, llegando a ser más evidentes las interrelaciones del potencial natural de erosión con la topografía y el suelo, haciendo hincapié en la importancia del conocimiento de la erodibilidad (K) y factor topográfico (LS). El alto potencial de erosión se asocia a los Kastanazem lúvicos y cálcicos y a los relieves más pronunciados, mientras que los potenciales de erosión ligeramente bajos están asociados a los Xerosoles con pendientes moderadas y convexas. En áreas de mayor altitud predominan los Páramo-Andosoles. En grandes áreas, los altos valores de PNE ocurren asociados con cabeceras de drenaje más ramificadas, las crestas de montañas divisorias más prominentes y valles tallados.

Cuadro Nº 19.- Potencial natural de erosión de la sub-cuenca del río Angasmarca, adaptado de Bertoni & Lombardi N. (1999); Scopel (1988) y Nascimento (1998).

Potencial de perdidas de suelo	PNE= R*K*LS ($t.ha^{-1}.año^{-1}$)	MBH	Área (km^2)	Área Total (%)
Moderado	3,000.0 – 4,000	2, 4, 9	60.253	17.06

Medio	4,000.1 – 5,000	1, 3, 6	138.800	39.31
Alto	5,000.1 – 6,000	7, 10	83.709	23.71
Muy alto	6,000.1 – 7,000	---	---	---
Extremamente Alto	7,000.1 – 8,000	8	33.357	9.45
Extremamente muy Alto	>8,000.1	11	36.957	10.47
TOTAL	**---**	**----**	**353.075**	**100.00**

Pérdida de suelo por unidad de área (A) en t.ha^{-1}ano^{-1}.- Del análisis de las Tablas 20, 21 y 22 y la Figura 37, se deduce que la distribución espacial de la susceptibilidad a la erosión está asociada a la geomorfología y al relieve de la región. El caso A1 con factor CP más elevado en agricultura y suelo desnudo, la pérdida es exageradamente alta, de 72,052.47 t.ha^{-1}año^{-1} con una media de 6,550.22 t.ha^{-1}año^{-1}. El caso A2 (mejor valor de CP para la agricultura, pastizales y suelo desnudo), la pérdida de suelo es 59,249.98 t.ha^{-1}año^{-1}, con una media de 5.386,36 t.ha^{-1}año^{-1}también resulta muy alta.

El resultado A3, ya que en esta época del año las tierras están en barbecho, la vegetación natural es escasa, debido a la ausencia de lluvia, y la mayoría de los cultivos en esta época del año son de regadío y las otras áreas expuestas son las de ocupación minera.

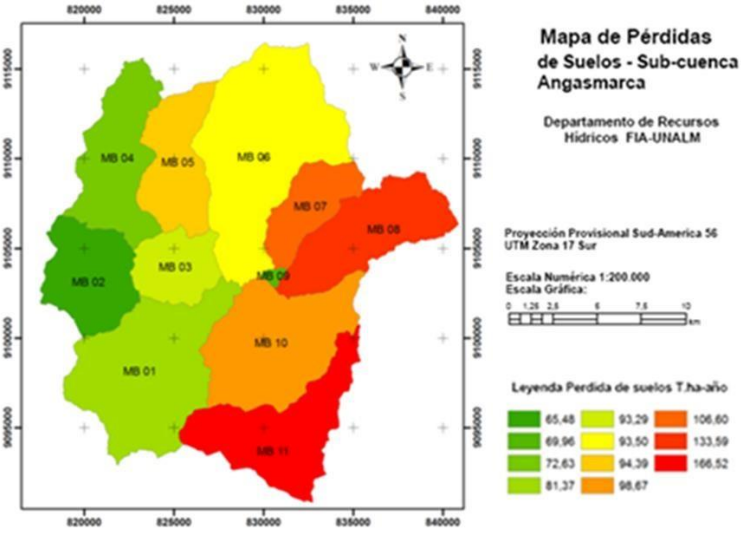


Figura Nº 37.- Mapa de riesgos de erosión o de pérdidas de suelos por erosión hídrica

Las micro cuencas con estimaciones superiores a 97.82t.ha^{-1}año^{-1}, se encuentran en zonas de mayor pendiente en las divisorias de las micro cuencas, laderas y crestas de los cerros, en un área de 88.88 km^2. Sin embargo, en las micro cuencas donde se ocurren menores pérdidas de

suelos, una media de 77.47t.ha^{-1}año^{-1}e un 76.92 km^2 y se encuentran en terrenos con pendientes planas a moderadas.

Las pérdidas promedio de suelo en la sub-cuenca son 97.82 t.ha^{-1}año^{-1}, una cifra caracteriza como pérdida de suelo "media fuerte", de acuerdo con la cifra propuesta por Silva et al. (2003), en t.ha^{-1}año^{-1}) son: <10nula a pequeña, de 10 – 15 moderada, de 15 – 50 media, de 50-120 media fuerte y de 120-200 fuerte.

Cuadro Nº 20.- Pérdidas de suelo en las micro cuencas del rio Angasmarca

MBH	A1(t.ha.año)	A3(t.ha.año)	A3*(t.ha.año)
1	5,434.22	4,486.18	81.37
2	4,225.22	3,397.93	65.48
3	6,085.28	4,935.18	93.29
4	4,733.01	3,842.15	72.63
5	6,614.50	5,290.33	94.39
6	6,142.77	5,008.50	93.50
7	7,271.83	6,095.60	106.60
8	9,041.99	7,537.78	133.59
9	4,767.55	4,000.34	69.96
10	6,575.94	5,419.87	98.67
11	11,160.15	9,236.13	166.52
Media	**6,550.22**	**5,386.36**	**97.82**
Total	**72,052.47**	**59,249.98**	**1,075.99**

Los valores medios, teniendo en cuenta el suelo expuesto (1,075.99 t.ha^{-1}año^{-1}), son muy altos, en relación a otras condiciones ya que las pérdidas de todos los suelos están muy por encima de los niveles de tolerancia según resultados en el Cuadro 21.

En el Cuadro 21, se muestra la relación entre la tolerancia a la pérdida de suelo por la erosión y la pérdida efectiva encontrada en el presente trabajo. Los suelos con menores tolerancias de pérdidas por erosión son los Xerosoles lúvico y Páramo Andosoles con 10.87t.ha^{-1}año^{-1} y 13.60 t.ha^{-1}año^{-1}, respectivamente, pero mostró pérdidas reales de suelo para de 50.68 a 58.35t.ha^{-1}año^{-1}.En el caso de suelos Kastanazem lúvicos y cálcicos la tolerancia media en el horizonte A es de 23.21t.ha-1año-1 para pérdidas efectivas promedio de 50.02 t.ha^{-1}año^{-1}.

Cuadro Nº 21.- Valores de tolerancia a la pérdida de suelos en la sub-cuenca del río Angasmarca según la metodología de Oliveira (2004)

Suelos	Horizonte	Tolerancia ($t.ha^{-1}año^{-1}$)	Pérdida de suelos ($t.ha^{-1}año^{-1}$)
Páramo Andosol	A	27.60	14.42
	(B)	13.60	58.35
Kastanazem lúvico	A1	23.46	46.94
	B2	21.42	63.25
Kastanazem cálcico	A	22.95	53.09
	B2	30.60	52.33
Xerosol lúvico	A	10.87	50.68
	B	24.10	56.40

Acciones propuestas para mitigación de las zonas con riesgo de erosión

Algunas recomendaciones para zonas con riesgos significativos de erosión:

1. Plantío en nivel: dirigido a la prevención o reducción de la erosión laminar. Reduce la pérdida de suelos, agua y fertilizantes, al tiempo que optimiza las operaciones con maquinaria agrícola.

2. Adopción del sistema de labranza que no promuevan pulverización excesiva del suelo (labranza, mínima o sembrío directo) y dejar todo el material residual en la superficie o en parte incorporar al suelo.

3. El mantenimiento o la mejora de las condiciones físicas del suelo: Adopción de la rotación de cultivos, aumento de la productividad combinado con la conservación del suelo.

4. Pisos de vegetación permanentes: promueve la cubierta vegetal que evite la erosión (proporcionan forraje semillas, alimentos y la protección de la vida silvestre).

5. Distribución de animales por unidad de área, destacando su capacidad de soporte al pastoreo. Pastoreo rotacional.

6. Enriquecer el bosque: la forestación debe ser heterogénea y contener al menos un 50% de las especies nativas.

7. Mantenimiento anual de las terrazas existentes.

8. Educación ambiental.

9. Facilitar y supervisar la regeneración natural de la vegetación.

10. Prohibición de cualquier tipo de concesión minera

Conclusiones

Es posible llevar a cabo la evaluación ambiental en la sub-cuenca del río Angasmarca utilizando técnicas de Geoprocesamiento a partir de la espacialización de la información y la realización de los análisis ambientales.

Caracterización morfométrica de la sub-cuenca relacionada con el sistema de drenaje y relieve con pendientes medias altas indican que el área de estudio está potencialmente sujeto a los fenómenos de erosión, especialmente en condiciones de suelo expuesto o de escasa cubertura vegetal permanente, también en áreas donde se practican formas de agricultura que protegen poco y exponen el suelo más a la erosión, así como por el manejo no adecuado de pastizales.

Las áreas con mayor susceptibilidad a la pérdida potencial de suelos por erosión laminar de la aplicación del modelo matemático de la EUPS, son las micro cuencas hidrográficas 7, 8 y 11 con 166.52, 133.59 y 106.60t.ha^{-1}año^{-1} respectivamente. Esto es debido a que el área de estudio tienen altos grados de pendiente promedio, con cobertura vegetal escasa a nula, por lo tanto, el análisis de la pérdida de suelos por erosión laminar aunque la EUPS considere todos los factores.

Los modelos matemáticos realizado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), posibilitan la integración de datos las estimaciones del potencial erosión laminar y la evaluación física conservacionista del medio ambiente, lo que permite espacializar áreas de riesgo potencial tanto de conflictos de uso del suelo, la erosión y la degradación del medio ambiente.

Las medidas de mitigación propuestas para las áreas que presentan riesgos o limitaciones de uso del suelo significativas se presentan en forma de recomendaciones técnicas de los impactos ambientales del uso indiscriminado de estas tierras tengan su magnitud reducida.

BIBLIOGRAFÍA REVISADA

1. Anaya M, Martinez J. (2007). Manual Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y El Caribe. Colegio de Postgraduados. Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia **–**CIDECALLI**–**, México. 156 pp.
2. Antoneli, V; Thomaz, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. Rev. Caminhos da Geografa, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.
3. Aparicio, J. (1993). Fundamentos de hidrología de superficie. Ed. Limusa.
4. Arias Lescano, W. (1997). Distribución probabilística de intensidad de lluvias en la cuenca del Mantaro. Tesis UNALM.
5. ASCE. 1996. Hydrology Handbook. 2º Edición. USA.
6. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF). 2000. Elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI. Argentina.
7. Basterrechea, M. et al. (1996). Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas para eventual financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo, BID, Washington, D. C.
8. Bruinjnzeel, L. (1990). Hidrology of moist tropical forest and effects of conversión: A state of knowledge review. UNESCO – HP, ISHS, ITC. Free University, Amsterdam.
9. Cabral, J. B. P. et al. “Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocesamiento na carta topográfica de Morrinhos - Goiás / Brasil para o período de 1971 a 2000”, GeoFocus (Artículos), nº 5, p. 1-18. ISSN: 1578-5157, 2005.
10. Cajina M. (2006). Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza – CATIE – Turrialba, Costa Rica.
11. Carabias J., (1996). Segunda Conferencia Regional Latinoamericana y del Caribe sobre la Conservación de Lucha contra la Desertificación. Conferencia magistral presentada en el acto inauguración. México, D.F.
12. Casanova M., *et al.* (2000). Cosecha de agua asociada a un sistema *Acacia saligna*/ pradera en el secano semiárido interior de la Zona Central de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Ingeniería y Suelos. Santiago, Chile.
13. Cardoso, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. Árvore, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
14. Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. McGraw-Hill. USA.
15. Chow, Ven Te; D. Maidment y L. Mays. 1994. Hidrología Aplicada. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana S.A. Colombia.

16. Christofoletti, A. Geomorfologia. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 190 p. 1980.
17. Christofoletti, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blucher, 236 p. 1999.
18. Costa A.L.C. Estudo da vulnerabilidade da erosão com aplcação da ecuação Universal da perda do solo da bacia hidrográfica da Jacaré 2005.
19. De Buck, *et al*. (2006). Rainwater harvesting by a Maasai Community. An evaluation report of a project in Talek of Masai Mara, Kenya. Technical Report No. 31. Regional Land Management Unit RELMA-in-ICRAF World Agroforestry Centre ICRAF. Kenya.
20. Deepesh m, *et al*. (2004). Planning and design of cost-effective water harvesting structures for efficient utilization of scarce water resources in semi-arid regions of Rajasthan, India. In Water Resource Management 18, Kluwer Academic Publishers. India 219-235 pp.
21. Diaz J.L. Diagnóstico ambiental por geoprocesamento de la Sub-bacia do rio Angasmarca la Libetad, Peru 2012
22. Djokic, D., Z. YE, and A. Miller. Efficient Watershed Delineation Using ArcView and Spatial Analyst, Proc. 17th Annual Esri User Conference, San Diego, CA. 1997.
23. Electro Perú. (1987). Análisis de intensidades de tormentas en la zona interandina sur del Perú. Lima.
24. FAO. (1992). Erosión de Suelo en América Latina. Santiago. Chile 219 p.
25. FAO. (1993). La erosión potencial de los suelos en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay. Santiago. Chile. 50 p.
26. FAO. (1967). “La erosión del suelo por el agua”. Roma.207 p.
27. FAO (2000). Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas No. 13. FAO, Santiago (Chile). Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago, Chile.
28. Faustino, J. (2002). Manejo de Cuenas con enfoque en la prevención de desastres naturales. Material para curso. CATIE. Honduras.
29. FEMAP. (1998). Manual de plantaciones forestales para la sierra peruana. Pronamachcs. Lima-Perú. 165 p.
30. Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. Degradação ambiental. In: Cunha, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 337-379, 1996.
31. Horton, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quatitative morphology. New York: Geological Society of American Bulletin, New York, v.56,n. 3,p. 275-370, 1945.
32. International Journal of Water Resources Development. Wáter Resources development in México. Ed. K. biswas. Oxford, U. K.

33. Iost T, V. L.; Teixeira D.; Costa D. J. L.; Fuller, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. Ver. UNIARA, n.20, Pag. 147-157. 2007.
34. Maidment, D.R. GIS and Hydrologic Modeling, in *Environmental Modeling with GIS*, ed. by M.F. Goodchild, B. O. Parks, and L.T. Steyaert, Oxford University Press, New York, pp. 147-167. 1993.
35. Manco Pisconti, (1985). M. Distribución probabilística de intensidades de lluvia en el Valle de Cajamarca. SENAMHI. Lima.
36. Martínez, a. (1998). Desarrollo de un modelo sobre recolección de agua aplicable a la restauración forestal. Revista Ecología, Volumen 12. España. pp 93-104.
37. Martínez de Azagra. (1996). Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal. Madrid.
38. Ministerio de agricultura (2000). Proyecto Sierra Verde – Estudio Técnico Económico. Lima.
39. Ministerio de agricultura (2002). Evaluación al Programa Alivio a la Pobreza, Informe Interno.
40. Moore, I. D., Grayson, R. B., and Ladson, A. R., Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, 1991.
41. Nasr M. (1999). Assessing Desertification and Water Harvesting in the Middle East and North Africa: Policy Implications. ZEF – Discussion Papers on Development Policy Bonn, Germany.
42. Oweis T, Hachum A. (2004). Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Productivity of Dry Farming System in West Asia and North Africa. Proceedings of thr 4th International Crop Science Congress, 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia.
43. Oweis T, Hachum A.; Kijne J. (1999). Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improves Water Use Efficiency in Dry Areas. SWIN Paper, System Wide Initiative on Water Management. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
44. PERU, ONERN. Inventario evaluación y uso racional de recursos naturales de las cuencas hidrográficas de Santa Nepeña e Lacramarca, ONERN, Lima, 1972.
45. Pissarra, T. C. T.; Politano, W.; Ferraudo, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, Jaboticabal (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. v. 28, n.2, p. 297-305, 2004.
46. PNUD. (1992). Manual y guías para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible. New York. NY.
47. PRONAMACHCS. 1988. Impacto de la conservación de suelos y aguas en la sierra peruana. Lima – Perú. 20 p.
48. Pizarro R, *et al*. (2008). Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. En revista Bosque Valdivia, Vol. 29 No. 2. Chile.
49. Rennó, C. D.; Soares, V. J. Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica. In: Meirelles, M. S. P.; Câmara, G.; Almeida, C. M. de. (Orgs.). Geomática: modelos e aplicações ambientais. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 11, cap. 2. 2007.

50. Rocha, J. S. M. Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas. 4ª edição ampliada e melhorada. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, 302 p. 2001.
51. Santa Cruz Y, *et al*. (2008). Cosecha de agua, una práctica ancestral: manejo sostenible de las praderas naturales. Centro de estudios y promoción de desarrollo. Perú.
52. Silveira, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade/FEGS, p. 35-51. 2001.
53. Soares, J. V. Curso de Introdução à Hidrologia Florestal. São José dos Campos: INPE, 78 p. 2000.
54. Strahler, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions American Geophysical Union, New Halen, v.38, n.6, p. 913-920, 1957.
55. Terán A. Ruben (1998). Diseño y construcción de defensas ribereñas. Escuela Superior de Administración de aguas "Charles Sutton". Pag 113. Lima – Perú.
56. Texas Water Development Board (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Third Edition. Austin, Texas. United States.
57. Vásquez V., Absalón. (2000). Manejo de Cuencas Alto andinas. UNALM. – Lima, Perú.
58. Vásquez V., Absalón. (2011). Sistema de captación del agua de lluvia en laderas semiáridas de la sierra y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático. UNALM **–** Lima, Perú. 146 p.
59. Vilela, S. M., Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 245 p. 1975.
60. Wischmeier, W. H. A rainfail erosion index for a universal sou loss equation. Proceedings of the Science America, Madison, v. 20, p. 246-249, 1959.



ABSALÓN VÁSQUEZ V.

Estudió Ingeniería agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina, maestría en Ingeniería de Recursos Agua y Tierra y un doctorado en Ingeniería de Recursos de Agua y Tierra. Ocupó el cargo de Viceministro de Recursos Naturales y Desarrollo Rural en 1988. Fue nombrado Viceministro de Agricultura y posteriormente ocupó el cargo de Ministro de Agricultura entre los años 1992 y 1996



ABEL MEJÍA M.

Ingeniero Agrícola; con grado de Magíster en Ingeniería de Recursos Hídricos (UNALM), grado de Máster en Hidrología de la Universidad Libre de Bruselas, Bélgica y grado de Doctor en Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Ha desempeñado el cargo de Jefe de Departamento de Recursos Hídricos y de Coordinador del Programa de Maestría y de Doctorado en Recursos Hídricos. Decano de la Facultad de Ingeniería Agrícola y Rector de la UNALM en el periodo 2009-2014.



JORGE FAUSTINO M.

Ingeniero Agrícola, MSc. y PhD., realizó estudios de posgrado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú y en la Universidad de California/ USA. Ha trabajado en enseñanza, capacitación y asistencia técnica en la UNALM y en el Centro

(CATIE, de Costa Rica). Es un experto en Manejo

y Ordenamiento Territorial, con experiencia

Coordinador de las Maestrías de Manejo de Cuencas de la Escuela de Posgrado del CATIE.



RUBEN TERÁN A.

Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional Agraria

Hídricos. Experto en el diseño y construcción de obras hidráulicas y centrales hidroeléctricas. Consultor Internacional.



ISSAAK VÁSQUEZ R.

Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina. MSc. en Ingeniería de Riegos – Utah State University – USA. PhD. en Ingeniería Ambiental – Utah State University – USA. Experto en Riegos, Manejo de Cuencas e Ingeniería Ambiental. Experto en Educación Virtual. Empresario y Consultor Independiente.



JORGE DÍAZ R.

El Ingeniero Agrícola, graduado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, en 1997, Maestría

María, en Rio Grande do Sul, Brasil en 2012. Es Especialista en Interpretación de Imágenes de Sensores Remotos Aplicada a Levantamientos Rurales y Evaluación de Tierras en 1989, en el Centro Inter-Americano de Fotointerpretación

(IGAC), Bogotá, Colombia.



CRISTIAN VÁSQUEZ R.

Ing. Civil – Utah State University – USA. MSc. en Ingeniería Civil – Utah State University – USA. Especialista en Geotecnia e Ingeniería de Transportes. Experto en Educación Virtual. Consultor Independiente



ANDRÉS CASTRO A.

Ingeniero Agrónomo egresado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Maestro en Ciencias egresado del Colegio de Post Graduados de Chapingo–México, en la especialidad de Protección Vegetal. Post Grado en la UNMSM en Evaluación de Impacto Ambiental. Profesor en la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca

Sostenible. Consultor y Monitor de Proyectos de Desarrollo Sostenible a nivel Nacional. Ex funcionario del Ministerio de Agricultura.



MANUEL TAPIA M.

Ingeniero Agrícola – UNPRG. MSc. en Ingeniería de Recursos Hídricos. Director General de Aguas y Suelos (DGAS) del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Ministerio de Agricultura, 1994 -2000. Gerente de Manejo de Recursos Naturales

(PRONAMACHCS), Ministerio de Agricultura, 2007-2008. Director de Operaciones del Programa de

Ministerio de Agricultura, 2009 – 2012.



JULIO ALCÁNTARA R.

Ingeniero Agrícola, estudios de Maestría en Ingeniería de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Profesional Especialista en Hidrología e Irrigaciones de la ex Dirección General de Irrigaciones del Ministerio de Agricultura. Director Técnico de Infraestructura Rural del PRONAMACHCS (Programa Nacional de

de Suelos. Consultor Privado en las Especialidades de Hidrología, Irrigaciones, Recursos Hídricos y Proyectos de Inversión Pública

Una Cuenca hidrográfica es todo un sistema complejo, abierto, donde ocurre el ciclo hidrológico y cuyos elementos naturales, sociales, ambientales, económicos, políticos e institucionales son variables en el tiempo; y se encuentran en estrecha interrelación formando un todo. Sin embargo, los efectos que resultan de las interacciones entre los diferentes componentes producen algo que es más que la suma de sus partes; tal como ocurre con el cuerpo humano que también es considerado como un sistema complejo. Por otro lado, una cuenca hidrográfica es un sistema abierto a flujos, influencias y líneas de acción que atraviesan sus fronteras; es decir que puede recibir y dar; pues una cuenca hidrográfica es solo una parte ínfima de la tierra. Además, se debe tener siempre presente que no existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica. El elemento más importante de una cuenca hidrográfica es el agua, sin agua no hay vida.

Los trabajos de manejo y gestión de cuenca deben iniciarse desde las partes más altas (cabecera de cuenca) hacia abajo; teniendo siempre presente que controlando y manejando las partes altas de las cuencas, se controlarán y manejarán los ríos y habrá más agua y de mejor calidad en las partes medias y bajas de la cuenca, especialmente en las épocas de espiaje (época de no lluvia).

ISBN: 978-612-4147-55-5

9 786124 147555

Fondo Editorial
Universidad Nacional Agraria La Molina