



Sistema de Capacitación para el Manejo
de los Recursos Naturales Renovables

Manejo y conservación de suelos

Coordinación:

CARE

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS, ECOSISTEMAS Y LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Fabián CALISPA • Nelly CHÉRREZ • Oswaldo ENCALADA
Katia ROMOLEROUX • Carlos VALAREZO • Franklin VALVERDE



Manejo y conservación de suelos

Coordinación

CARE

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS, LOS ECOSISTEMAS Y LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Fabián CALISPA • Nelly CHÉRREZ • Oswaldo ENCALADA
Katia ROMOLEROUX • Carlos VALAREZO • Franklin VALVERDE



© CAMAREN, Quito-Ecuador, 2000

Título: Características de los suelos,
ecosistemas y las cuencas hidrográficas

Autores: Fabián Calispa
Nelly Chérrez
Oswaldo Encalada
Katia Romoleroux
Carlos Valarezo
Franklin Valverde

Eje temático: Manejo y conservación de suelos

Coordinación: CARE Ecuador

Coordinador del eje temático: Rusvel Ríos

Edición general: Unidad Coordinadora CAMAREN
Revisión técnica: Adriaan Vogel
Revisión de género: Catalina Tamayo
Revisión pedagógica: Laura Gazzotti / María Susana Ruggiero

Diseño gráfico: Luis Calderón
Diagramación: Alfredo Ruales
Fotografías: Archivos CARE

Diseño portada: Luis Calderón
Fotografía de Portada: CARE
Impresión: Risper Graf

Auspiciantes: COSUDE y DGIS
Organismo internacional asesor: INTERCOOPERATION

PARTICIPANTES EN MESAS DE TRABAJO

CAMAREN

Antonio Gaybor
Denis García
Patricio Crespo

CARE

Leo Mac Gillivray
Edgar Gudiño
Washington Chapalbay

IICA

Santiago Camino

CEA

Lourdes Peralta
Juan Córdova

MAG

Hernán Velásquez
Edmundo Custode

CESA

Nicola Mastrocola

FEPP

Wilson Navarro

IEDECA

Alfredo Cruz
Alejandro Flor

INIAP

Marcelo Calvache

UNIVERSIDAD CENTRAL

Eduardo Cañar

RAFE

Miguel Murillo
Arnulfo Ibarra

PROMUSTA CARE-MAG

Norman Astudillo
Carlos Viera
Wilson Chicaiza

UTA

Nelly Chérrez

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fernando Larrea

PROMAS

Gerd Dercom

FUNDACIÓN PASTAZA

Fabián Valencia
Giovani Cunalata

DIRECCIONES

CAMAREN

Av. 10 de Agosto 3560 y Mariana
de Jesús, Edificio METROCAR.
Telf.: 569178 / 563991
Fax: 506774
Email: camaren@hoy.net
Quito-Ecuador

CARE

Calle El Sol N39-270
y Gaspar de Villarroel
Telf.: 921871 / 921710-714
Email: careuio@care.org
Quito-Ecuador

ÍNDICE



INTRODUCCIÓN 5

UNIDAD 1:

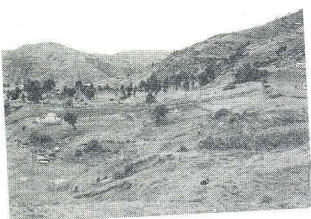
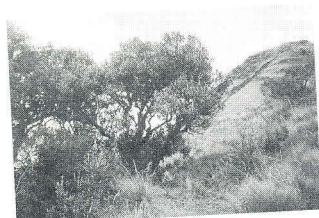
	EL SUELO: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MINERALÓGICAS, QUÍMICAS, DE FERTILIDAD Y BIOLÓGICAS	7
TEMA 1.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS POR NELLY CHÉRREZ	9
1.1.1	El suelo: un sistema de tres fases	9
1.1.2	Fase sólida del suelo	10
TEMA 1.2	CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS POR CARLOS VALAREZO MANDSALVAS	26
1.2.1	Tipos de material parental o de origen	26
1.2.2	Material mineral coloidal del suelo	27
TEMA 1.3	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	29
1.3.1	Reacción del suelo	29
1.3.2	Carbonatos de Calcio y Magnesio	31
1.3.3	Sulfato de Calcio en el suelo	32
1.3.4	Materia Orgánica del suelo	33
1.3.5	Capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y acidez cambiable del suelo	34
TEMA 1.4	LA FERTILIDAD DEL SUELO	36
1.4.1	Elementos nutrientes necesitan las plantas	37
1.4.2	Fertilidad potencial y actual del suelo	38
1.4.3	Disponibilidad de los nutrientes para las plantas	42
TEMA 1.5	BIOLOGÍA DE LOS SUELOS POR FRANKLIN VALVERDE	52
1.5.1	La fauna del suelo	53
1.5.2	Los microbios del suelo	56
1.5.3	Fijación del nitrógeno atmosférico	62
1.5.4	Mineralización de la Materia Orgánica	70

UNIDAD 2:

	CLIMA Y COBERTURA VEGETAL POR CARLOS VALAREZO MANDSALVAS	73
TEMA 2.1	FACTORES DEL CLIMA IMPORTANTES PARA EL MANEJO Y LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS	75
2.1.1	Temperatura	75
2.1.2	Precipitación	78
2.1.3	Viento	80
2.1.4	Evapotranspiración	83
2.1.5	La clasificación del clima	85
2.1.6	Las zonas de vida de Holdridge	86
2.1.7	El diagrama ombrotérmico de Gaussen	89
TEMA 2.2	LA COBERTURA VEGETAL	92
2.2.1	Importancia de la cubierta vegetal para el suelo	92
2.2.2	Caracterización de la cobertura vegetal y del uso del suelo	93

UNIDAD 3:

	LOS ECOSISTEMAS Y LOS AGROECOSISTEMAS	96
TEMA 3.1	LOS ECOSISTEMAS ANDINOS POR KATIA ROMOLEROUX	98
3.1.1	Ecosistema	98
3.1.2	Dinámica de los Ecosistemas	98
3.1.3	Características ecológicas generales de la Sierra ecuatoriana	102
3.1.4	Principales modificaciones de los ecosistemas andinos	104
3.1.5	Los ecosistemas de la Sierra ecuatoriana	105
TEMA 3.2	LOS AGROECOSISTEMAS POR FABIÁN CALISPA	113
3.2.1	La cultura y la naturaleza.	113
3.2.2	Diferencias entre ecosistema natural y agroecosistema	116
3.2.3	Clasificación de los agroecosistemas	117
3.2.4	Agrosistemas andinos que permanecen en la cultura agrícola actual	120





UNIDAD 4:

TEMA 4.1

4.1.1

4.1.2

TEMA 4.2

4.2.1

4.2.2

4.2.3

4.2.4

TEMA 4.3

TEMA 4.4

4.4.1

4.4.2

4.4.3

4.4.4

4.4.5

4.4.6

4.4.7

4.4.8

4.4.9

4.4.10

TEMA 4.5

4.5.1

4.5.2

4.5.3

TEMA 4.6

4.6.1

4.6.2

4.6.3

TEMA 4.7

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS Por OSWALDO

ENCALADA.....	124
CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	126
Los elementos que conforman una cuenca.....	127
Las cuencas hidrográficas: un poco de historia.....	128
COMPONENTES DE UNA CUENCA.....	132
Cauce.....	132
Divisoria de aguas.....	133
Vertiente.....	134
Valle.....	134
DELIMITACIÓN DE UNA CUENCA	
HIDROGRÁFICA.....	135
CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE	
CUENCAS.....	137
Según la clase de vertiente.....	137
Según la tenencia de la tierra.....	139
Según el tipo de explotación agrícola.....	139
Según la presencia de áreas naturales y bosques protectores.....	139
Según la altitud.....	140
Según su área.....	140
Según la permanencia del caudal durante el año.....	140
Según el clima.....	141
Según la densidad poblacional.....	141
Según el propósito del tratamiento.....	141
EL AGUA EN LA CUENCA.....	142
El ciclo del agua en la cuenca.....	142
El registro de caudales.....	142
La red hidrográfica.....	144
CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS Y SUS	
SUBUNIDADES.....	146
La importancia de caracterizar cada Cuenca, Subcuenca o	
Microcuenca.....	146
Los Parámetros para caracterizar una Microcuenca.....	146
Recomendaciones para la recolección de Información.....	159
LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS DE	
LA SIERRA ECUATORIANA.....	161
BIBLIOGRAFÍA.....	162
GLOSARIO.....	168

INTRODUCCIÓN

La presencia de la cordillera de Los Andes en el Ecuador, determina la existencia de tres regiones naturales, marcadamente diferentes en cuanto a: clima, suelos, vegetación, tipo de producción agropecuaria, características etnográficas y culturales de la población; y, problemas relacionados con el uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, particularmente el suelo.

En la Región Andina ecuatoriana, la altitud es el factor que determina diferencias importantes en los principales elementos que constituyen los ecosistemas y agroecosistemas: el clima, el suelo, la vegetación natural y los cultivos. Siendo una región montañosa, el relieve es marcadamente irregular, y determina el predominio de terrenos inclinados o de “ladera”. Estos terrenos constituyen ecosistemas frágiles, en los cuales se ha instalado un delicado equilibrio natural entre los suelos y la vegetación que los protege y defiende de la acción de la lluvia y los vientos.

Por la necesidad de los grupos sociales de disponer de alimentos, fibras y otros productos, la cobertura vegetal natural de estos terrenos ha sido reemplazada por diferentes tipos de uso (cultivos, pastos). Cuando, este reemplazo, no va acompañado de medidas de manejo para compensar el equilibrio natural y mitigar la agresión del agua de lluvia y los vientos, se desata un proceso de degradación del suelo llamado erosión. La erosión, constituye la pérdida física, irreversible, y para siempre, del material del suelo, con la concomitante disminución de: la reserva de los nutrientes que toman las plantas del suelo (pérdida de la fertilidad), la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, y la aptitud para soportar plantas. A su vez, genera alteraciones del microclima y de la capacidad de regulación del ciclo hidrológico de la cuenca hidrográfica; y, graves problemas en las partes donde el suelo, transportado, es depositado.

A lo largo del proceso histórico, en esta región, se han asentado diferentes grupos humanos, que para su subsistencia han utilizado los recursos naturales renovables. La estrategia y sostenibilidad del aprovechamiento de estos recursos ha estado y está estrechamente ligada a la forma de organización de la sociedad, las fuerzas sociales y económicas involucrada, los conocimientos generados y las tecnologías aplicadas.

Los primeros grupos humanos que se asentaron en la Sierra ecuatoriana, con gran intuición comprendieron la fragilidad de estos ecosistemas de ladera y altura, y de manera inteligente desarrollaron estrategias productivas y medidas de manejo de los recursos naturales (agua, suelo y vegetación) para evitar su degradación y, asegurar al sostenibilidad de sus sistemas de producción.

Las fuerzas sociales y económicas que han actuado, especialmente en los últimos cincuenta años en esta región, han determinado que los actores involucrados en la producción agropecuaria hayan aplicado estrategias de uso y manejo de los recursos naturales, en contra de las demandas del equilibrio natural, que tiene como resultado la

presencia de un proceso erosivo que se constuye en el mayor problema de degradación ambiental de la región.

Este problema es de mucha importancia, si se toma en cuenta que: en esta región se produce gran parte de los alimentos del país; y además los involucrados en la producción son en general pequeños agricultores con limitadas extensiones de terreno.

El eje de capacitación en Manejo y Conservación de Suelos del CAMAREN, bajo la coordinación de CARE, se orienta a brindar los conocimientos, habilidades, destrezas y aptitudes necesarias para los extensionistas que participan en acciones de desarrollo sustentable en esta región, de manera que en un diálogo de saberes con los hombres y mujeres que viven de estas laderas y producen los indispensables alimentos para la población ecuatoriana, encuentren opciones y estrategias productivas, que acompañadas de medidas de manejo y conservación del recurso suelo, en conjunto vayan encaminadas a mejorar los ingresos económicos y las condiciones de vida; y, sean ambientalmente sostenibles.

El eje de capacitación en Manejo y Conservación de Suelos se ha estructurado en cinco módulos, cuya nómina es la siguiente:

Módulo 1: Caracterización de los suelos, los ecosistemas y las cuencas hidrográficas

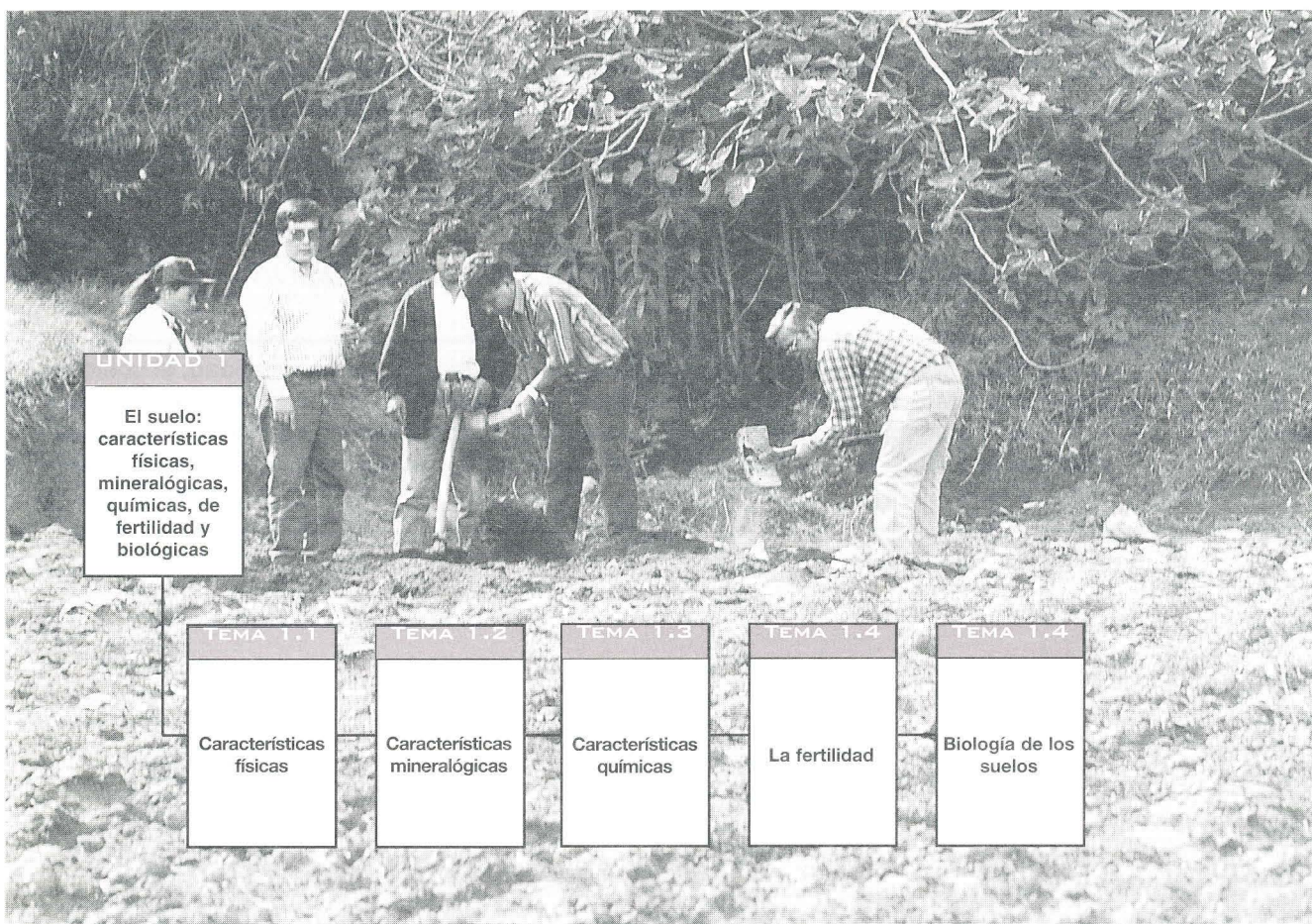
Módulo 2: Degradación de los Suelos en la Sierra Ecuatoriana y su Proceso Histórico

Módulo 3: Análisis y Diagnóstico de los Sistemas de Producción en el medio rural

Módulo 4: Prácticas de Manejo y Conservación de Suelos y Ordenamiento de Unidades Hidrográficas

Módulo 5: Capacitación y Extensión Participativa con Enfoque de Género

La secuencia de estos módulos responde a la práctica profesional que le corresponde ejercer a un extensionista, cuando interviene en una zona definida. Empieza por la caracterización de los recursos naturales, los ecosistemas y las cuencas hidrográficas, los sistemas de producción, los procesos de degradación del suelo, particularmente la erosión, y los factores socioeconómicos involucrados; y, a partir de ello, define conjuntamente con las familias campesinas las mejores alternativas para preservar y mejorar la fertilidad y conservar el suelo. Además, ello le demanda, estar dotado de suficientes pautas y estrategias probadas para propiciar, en las comunidades, la adopción de estas prácticas.



RESUMEN

El propósito de esta unidad es brindar los elementos necesarios para diagnosticar el estado del recurso suelo y tomar las mejores decisiones sobre su uso y manejo sostenido.

Se presentan las características físicas, mineralógicas, químicas y biológicas del suelo, que favorecen o limitan el crecimiento de las plantas cultivadas; y, que influyen decisivamente sobre la fertilidad potencial y actual, el intercambio de gases a nivel de las raíces (respiración), la capacidad de retención de agua, la permeabilidad y la erodabilidad del suelo.

En cuanto a la fertilidad se analizan los elementos nutrientes que las plantas toman del suelo, las formas químicas aprovechables por las plantas, los síntomas de deficiencia en las plantas, las recomendaciones para tomar muestras de suelo para el análisis de la fertilidad y la interpretación de los resultados de laboratorio.

En relación a la biología del suelo se tratan los aspectos más relevantes de la fauna y los microbios del suelo; así como, los procesos biológicos de fijación del nitrógeno atmosférico y de mineralización de la materia orgánica.



Al finalizar esta unidad se espera que las y los participantes estén en capacidad de:

- Identificar las características físicas, químicas, de fertilidad y biológicas del suelo; sus interrelaciones y efectos sobre el crecimiento de las plantas, la producción agropecuaria y la erodabilidad.
- Recolectar apropiadamente muestras de suelo para el análisis físico-químico y de fertilidad: indicar con criterio adecuado, la realización de los análisis al laboratorio.
- Aplicar las bases teóricas de la física del suelo, mineralogía, las propiedades químicas y la fertilidad, en la interpretación de los sistemas de producción y los procesos erosivos.

EL SUELO ES PARA LA TIERRA, COMO LA PIEL PARA LAS PERSONAS...



La comparación no sólo es poética sino muy adecuada. Porque en realidad, el suelo es como una piel que recubre, protege y nutre gran parte la superficie de la tierra, encerrando una insospechada riqueza. Es en el suelo, donde duerme el germen del que brotará el maravilloso reino vegetal. Y con él, gran parte del sustento, que multiplicará la vida...

1.1.1 EL SUELO: UN SISTEMA DE TRES FASES

Existen diferentes definiciones de suelo, pero nosotros, desde el CAMAREN partiremos de la definición que considera al suelo como:



“... Una colección de cuerpos naturales, que ocupan partes de la superficie terrestre, soportan plantas y tienen propiedades debido al efecto integrado del clima y de la materia sobreviviente que actúan sobre el material parental, condicionados por el relieve, durante períodos de tiempo...” (Buol, et. al, 1981).

Otra conceptualización interesante es la de Malavolta (1980), que dice:



“Suelo es un sistema de tres fases compuesto de sólidos, líquidos y gases dispersos para formar una matriz heterogénea”.

Si consideramos esta definición, podemos concluir que el suelo es un conjunto de tres partes elementales, que se relacionan. Estas partes o fases, son:

- Fase sólida.
- Fase líquida o solución del suelo.
- Fase gaseosa o atmósfera edáfica.



Figura 1 Fases del suelo: sólida, gaseosa y líquida

La forma en que se relacionen estas tres fases, tendrá importante influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Porque esa interrelación actuará en forma directa, sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Por eso, plantas como las leguminosas (haba, arveja, fréjol, etc.), crecerán muy bien, en un suelo que:

- retiene la humedad (propiedades físicas),
- es rico en nutrientes (propiedades químicas y de fertilidad) y,
- permite el crecimiento de las bacterias nitrificantes (propiedades biológicas).

1.1.2 FASE SÓLIDA DEL SUELO

Esta fase está compuesta por materia orgánica o **sólidos orgánicos** y por minerales o sólidos inorgánicos, que contienen la principal reserva de elementos nutricionales del suelo.

La parte inorgánica, en la mayoría de los suelos representa del **90 al 99%** del peso de la fase sólida. La parte orgánica, representa un mínimo porcentaje, del 1 al 10%.

Los constituyentes de la fase sólida se presentan en diferentes formas químicas, agrupadas en:

- Materia orgánica: residuos frescos, parcialmente descompuestos y humus.
- Minerales: primarios, secundarios (arcillas, óxidos, hidróxidos y sales).

Los **minerales primarios** son aquellos heredados de las rocas sedimentarias ígneas y metamórficas. Su proporción en los suelos varía de acuerdo con:

- el contenido original,
- la resistencia a la meteorización,
- la intensidad de la meteorización, por agentes bióticos y agentes abióticos.

Textura

La meteorización de las rocas y la formación de nuevos minerales, produce partículas de diferentes tamaños y composición química. Estas partículas, componentes del suelo, se denominan, en forma convencional: arenas, limos y arcillas. Estos grupos de partículas conforman la **textura** del suelo.

De la **textura** del suelo dependerá su comportamiento físico y químico. Y también el contenido de nutrientes disponible para las plantas.

Con el término **textura** nos referimos a las partículas individuales que se agrupan por tamaño. Estos grupos, llamados fracciones, son tres:

- arena
- limo
- arcilla

Las partículas de arcilla: ($< 0,002$ mm) están constituidas principalmente de aluminosilicatos de origen secundario, cuyas diferencias son analizadas en el tema *Características mineralógicas del suelo*.

Las partículas de arena son más grandes, se presentan sueltas y se ven a simple vista. Las partículas medianas, como el limo se puede observar como polvo, cuando están secas. Las partículas más pequeñas **no** se pueden ver a simple vista y reciben el nombre de **arcillas**.

En algunos suelos, existen fragmentos más gruesos (piedras, gravas y arena), que se clasifican por su tamaño.

Cuadro 1 **Tamaño de las fracciones del suelo**

Denominación	Diámetro de partículas en mm
Piedras	$> - 60$
Grava gruesa	$60 - 20$
Grava media	$20 - 2$
Arena gruesa	$2 - 0,2$
Arena fina	$0,2 - 0,02$
Limo	$0,02 - 0,002$
Arcilla	$< - 0,002$

Fuente: elaboración de la autora

El predominio de partículas gruesas, como la arena, gravas y piedras, **condiciona** el crecimiento normal de las plantas porque presentan **baja retención de humedad**, lo cual provoca una rápida destrucción de los residuos orgánicos incorporados, transformando al suelo **en poco fértil**.

Esto, naturalmente, afecta el desarrollo y crecimiento de los vegetales, disminuyendo la capacidad de producción.

Ahora, revisemos nuestra práctica...

¿Cómo podemos diferenciar las fracciones que forman el suelo?

En el campo es posible establecer las diferencias de manera sencilla y casi exacta:

- Tomamos una porción de suelo húmedo y la amasamos entre los dedos hasta destruir la posible microagregación (o sea, el tamaño más pequeño al que podemos llegar, desmenuzando un terrón de tierra.) Ilustración

- Luego la humedecemos otra vez con unas gotas de agua, hasta obtener una masa de consistencia pastosa, sin que aparezca película de agua.
- A este suelo amasado, lo rodamos sobre la palma de la mano y con los dedos moldeamos bolas, cordones o cintas de más o menos 3 mm de grosor.
- Después, formamos un anillo de 3 cm de diámetro y lo comparamos con la figura y el cuadro2

Cuadro 2 Comportamiento de las fracciones del suelo

Nº	Formación observable	Indica suelo
1	No forma bolas	arenoso
2	Forma bolas	franco arenoso
3	Forma bolas. El cordón se fragmenta	franco limoso
4	Forma cordón sólido. Se triza	franco arcilloso
5	Forma anillo. Se triza	arcilloso limoso
6	Forma anillo intacto	arcilloso

Fuente: elaboración de la autora.

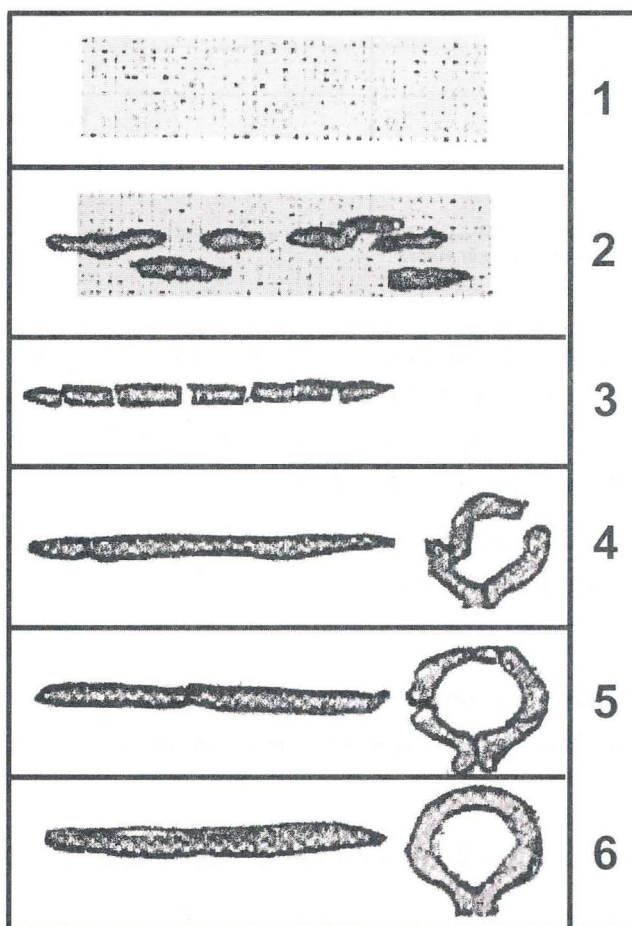


Figura 2 Formación de fracción en el suelo

Otra forma de reconocer la textura de nuestro suelo:

- Tomamos una porción de suelo y lo presionamos entre los dedos, hasta percibir la sensación que provocan las partículas.
- Si la sensación es de aspereza, podremos asegurar que predominan las partículas de arena. Por lo tanto, el suelo corresponde a la clase textural arenosa.
- Si por el contrario la sensación es de suavidad, pensaremos en partículas finas de arcilla. En ese caso, la clase textural será arcillosa.

Cuando se realiza la determinación de las fracciones del suelo mediante técnicas de laboratorio (método del densímetro o de la pipeta), los porcentajes obtenidos pueden ser representados gráficamente, utilizando una figura en forma de pastel o un perfilograma. Esto permite visualizar la distribución de las partículas a lo largo del perfil del suelo (Fig.3).

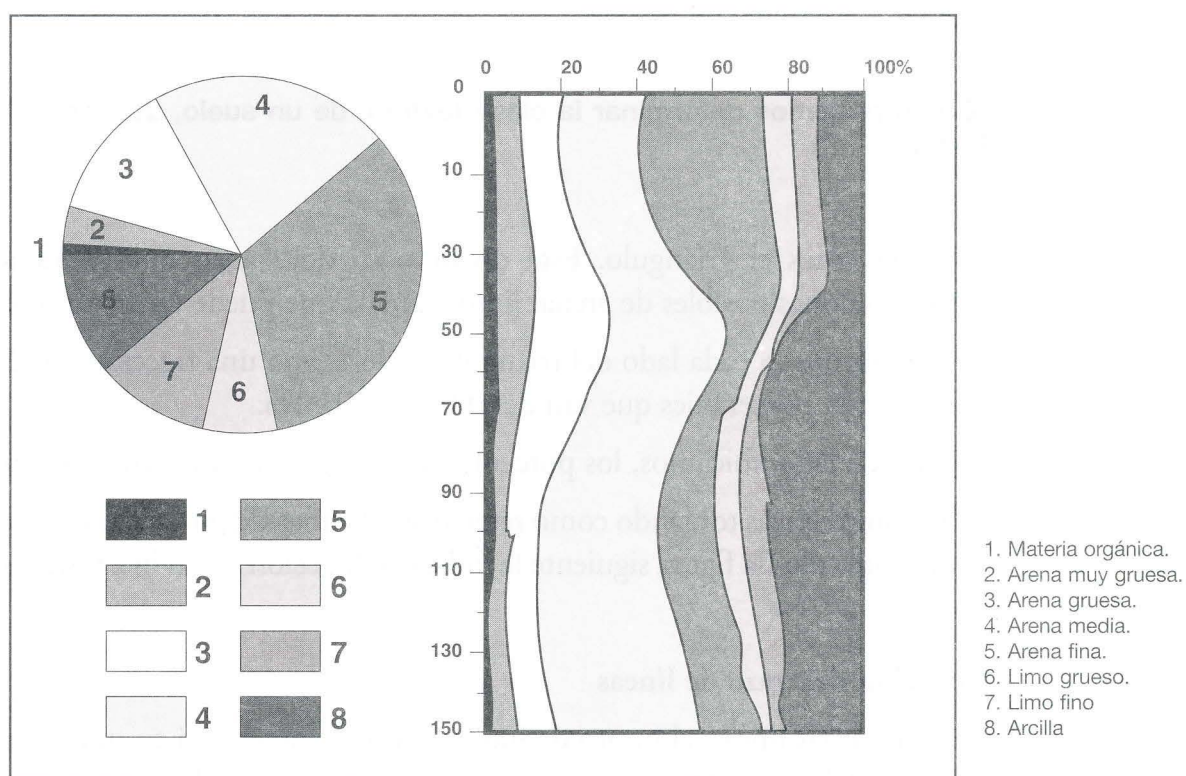


Figura 3 Partículas del suelo a lo largo del perfil

¿Qué es el Triángulo de Textura?

Un “triángulo de textura”, es un gráfico (Fig. 4) que nos permite hacer una clasificación de la textura de un suelo, sobre la base de los porcentajes de las distintas fracciones que lo componen y que se determina en el laboratorio.

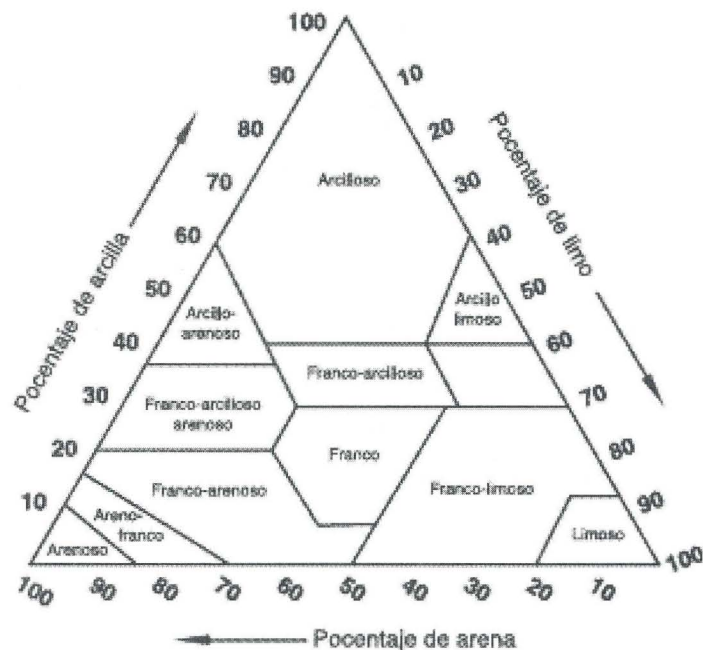


Figura 4 Triángulo de textura

¿Cómo podemos determinar la clase textural de un suelo, usando el Triángulo de Textura?

- Observemos el Triángulo. Está dividido en doce áreas que contienen todas las proporciones posibles de arena, limo y arcilla que puede tener un suelo.
- Veamos que, a cada lado del triángulo, se le asignó una fracción (arcilla, arena, limo) con porcentajes que van del 0 hasta el 100%.
- En cada lado ubicamos, los porcentajes de las fracciones correspondientes.
- Trazamos líneas tomando como referencias, la línea de puntos, que nace del porcentaje indicado (la figura siguiente le indica la dirección de las líneas de cada fracción).

Dirección del trazo de líneas

- Al trazar las líneas, el punto de intersección se encontrará en una de las figuras internas del triángulo correspondiente a una clase textural de suelo, que es la que se busca determinar.
- En el ejemplo del gráfico, la intersección de las líneas, (el punto señalado como 1), está ubicado en la sección franco-areno-arcilloso. Esto indica que el suelo es franco-areno-arcilloso. O sea que este suelo contiene:
 - 30 % de arcilla (indicado sobre la línea horizontal),
 - 10 % de limo (sobre la línea paralela al lado izquierdo del triángulo), y
 - 60 % de arena (sobre la línea paralela al lado derecho del triángulo).

Estructura

Las partículas de los suelos tienden a agruparse de forma natural en unidades llamadas **agregados** (Fig. 5 y 6) mediante:

- **mecanismos de simple unión**, debido a fuerzas de adhesión, por diversas causas (humedecimiento y secado alternado, presencia de micelios, sustancias gomosas)

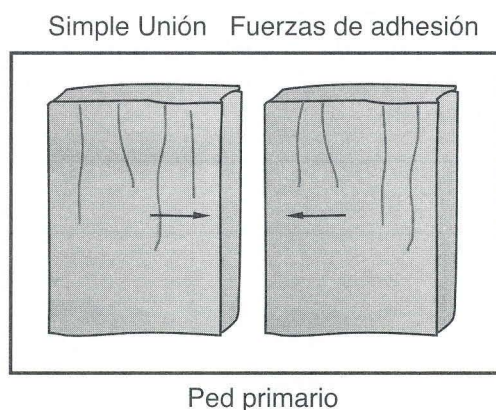


Figura 5 **Agregado Primario**

- **mecanismos de cementación**, que originan fuerzas de cohesión entre las fracciones, debido a la presencia, en el suelo, de humus, óxidos, carbonatos y arcillas. Estos agregados pueden adoptar formas características, que tienen distintos tamaños y pueden mantenerse o destruirse. (Fig 6)

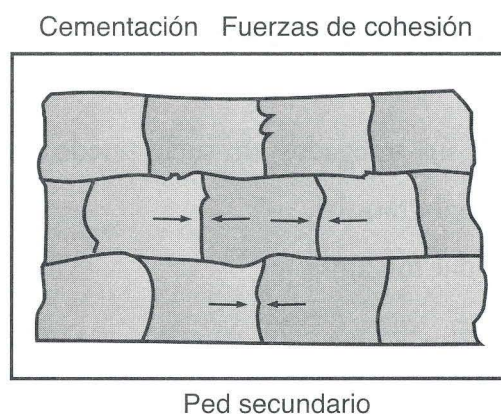


Figura 6 **Agregado Secundario**

La formación de los agregados favorece la porosidad que facilita la aireación, la permeabilidad, el intercambio de iones y la penetración de las raíces en el suelo. Tal como podemos observar en cada una de las anteriores ilustraciones de los agregados.

La estructura del suelo puede variar o modificarse por agentes externos:

- la labranza,
- la adición de materia orgánica,
- el encalamiento, etc.

Estos cambios pueden afectar al suelo, en relación con la productividad, la capacidad de drenaje y el grado de estabilidad. Porque, al desaparecer los terrones, existe la posibilidad de que se produzca erosión.

El grado de estructura de un suelo: su forma, tamaño, arrel o disposición de los agregados, determina la cantidad, dirección y tamaño de los poros que modifican la permeabilidad del suelo.

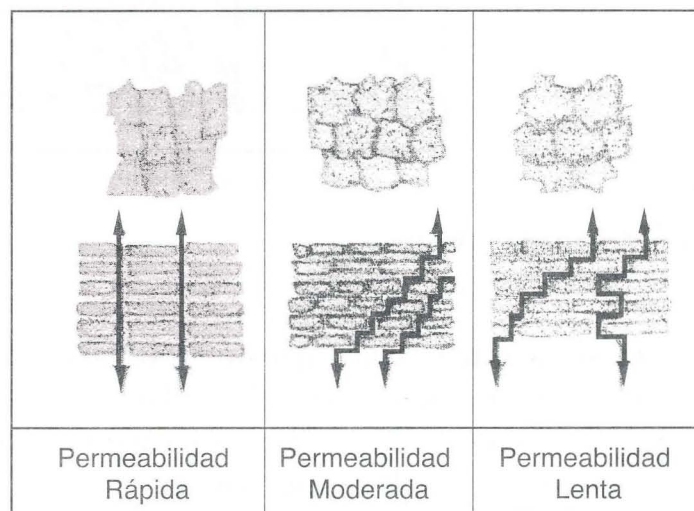


Figura 7 Permeabilidad del suelo

Por la forma de sus agregados, un suelo puede tener los siguientes tipos de estructura:

- esferoidal granular,
- esferoidal migajosa,
- laminar,
- blocosa,
- prismática, y
- columnar.

La *estructura esferoidal granular* presenta agregados o terrones redondeados y de menos de 10 mm de diámetro. Por lo general, estos agregados son sueltos y fáciles de disgregar. Forman parte de suelos sueltos, bien aireados y de horizontes superiores ricos en materia orgánica. Constituyen la única estructura formada por las personas, al trabajar el suelo.

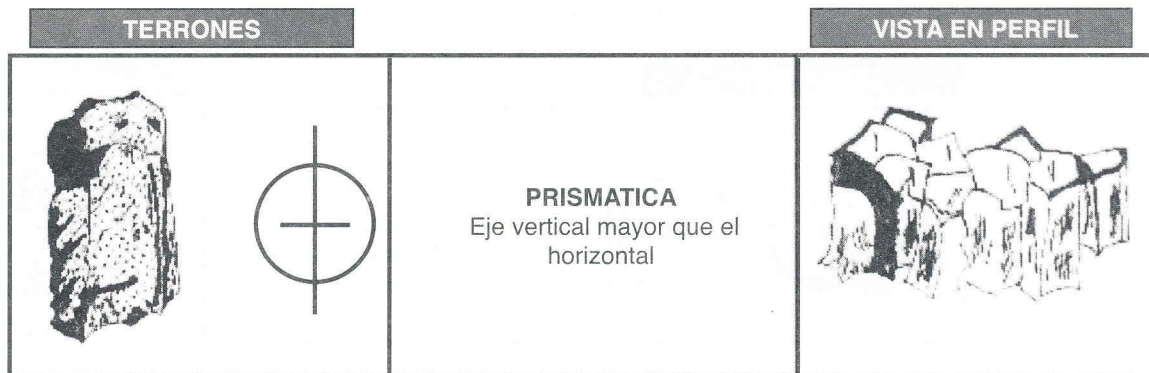


Figura 8

La *estructura esferoidal migajosa* se diferencia de la esferoidal granular porque es bastante porosa y más aireada. El tamaño de los agregados varía entre 1 y 5 mm.

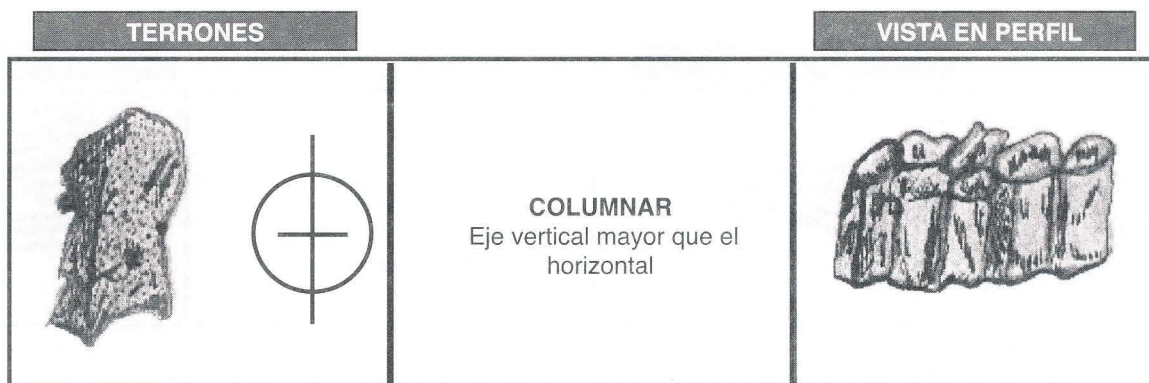


Figura 9

En la *estructura laminar*, los agregados forman láminas horizontales de 1 a 10 mm de espesor. Esta estructura es muy común en suelos ricos en arcillas y humus.

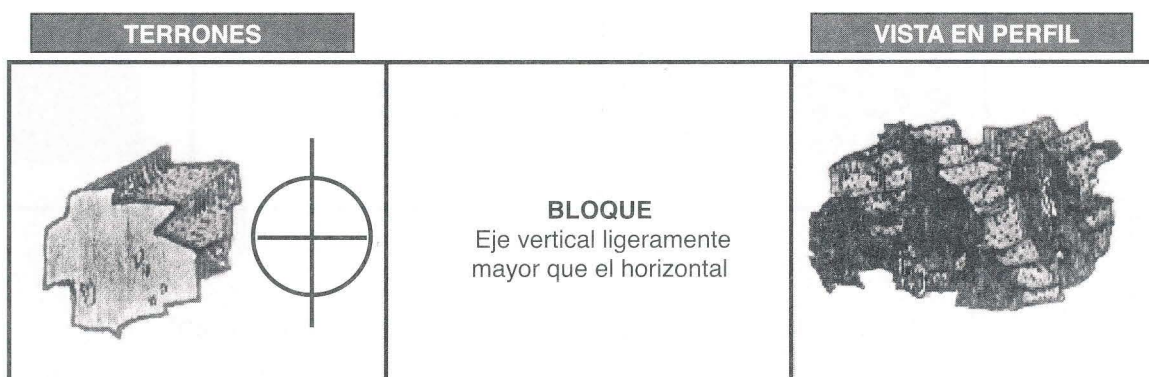


Figura 10

En la *estructura blocosa angular*, los agregados forman bloques, de caras más o menos iguales, que se unen por vértices angulosos, que van desde 0,5 a 5 cm y se disgregan en terroncitos que conservan su forma.

La *estructura blocosa subangular* se diferencia de la blocosa angular en que sus caras presentan aristas suaves y redondas, sin perder su forma de cubo. Esta estructura ha-

ce que los suelos sean bien aireados y tengan buen drenaje.



Figura 11

En la *estructura prismática*, los agregados son alargados, con caras más o menos planas, unidas por aristas angulosas. Pueden tener hasta un grosor de 10 cm y son comunes en los horizontes B.

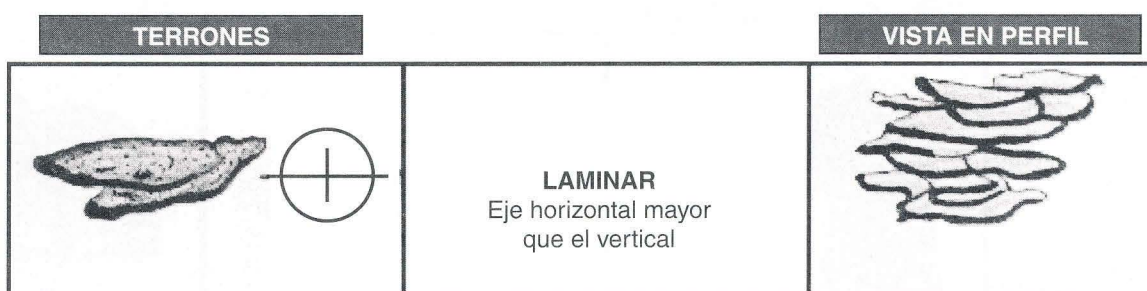


Figura 12

La *estructura columnar* es semejante a la prismática, pero presenta sus caras con bordes suaves y redondeados.

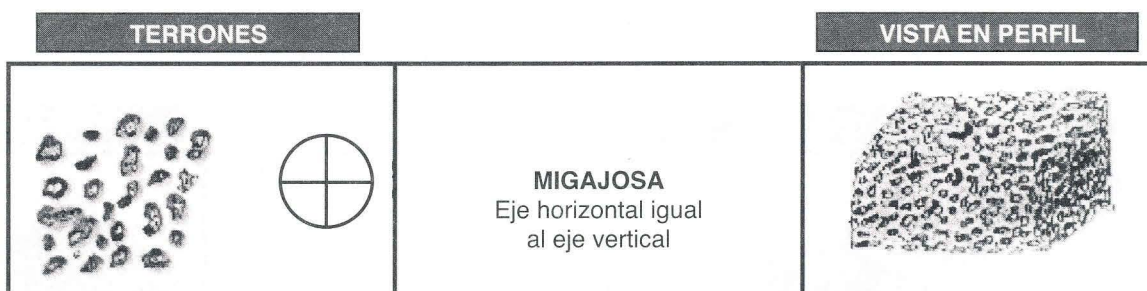


Figura 13

Por el grado de estructura podemos clasificar a los suelos en:

- *Sin estructura*: las fracciones permanecen sueltas: son los suelos arenosos, por ejemplo, los suelos de Palmira, en la provincia de Chimborazo.
- *Débiles*: los agregados se rompen a la mínima presión: son los suelos areno francos.
- *Moderados*: los agregados se mantienen casi todos sin romperse: son los suelos franco limosos.
- *Fuertes*: los agregados no se rompen: son los suelos arcillosos.

Esta clasificación, por grado de estructura, también se relaciona con el contenido de humedad de los suelos.

En suelos con **texturas finas** (arcillosos), podemos observar cómo una masa no porosa, al secarse, forma terrones difíciles de disgregar.

Los suelos de **textura arenosa**, no presentan ninguna coherencia entre los agregados. Cada partícula funciona independiente una de la otra.

En la **agregación débil** los terrones son escasamente formados y casi no se los distingue. Los agregados se rompen con la mínima presión.

En **suelos de agregación moderada**, los agregados se diferencian bien, pueden separarse sin romper a los adyacentes y se mantienen enteros al remover el suelo.

En los **suelos de agregación fuerte** los agregados se adhieren débilmente, son duraderos y no se rompen cuando el suelo es removido.

La estructura y textura de un suelo influyen en el movimiento del agua. El mayor movimiento de agua se produce en suelos con una estructura granular o una textura arenosa. Son suelos en los que el agua se filtra rápidamente y no conservan la humedad.

En suelos con textura arcillosa y estructura columnar, el movimiento del agua es menor y en el caso de la estructura granular es lento. El suelo se encharca dificultando la labranza.

¿Cómo podemos reconocer si nuestro suelo tiene, o no, estructura?

Para averiguar si el suelo es capaz de formar o no agregados, podemos reproducir agregados, en forma artificial, a partir de un suelo pulverizado.

Este es el procedimiento:

- Dejamos caer gotas de agua sobre una muestra de suelo finamente molido.
- Observamos que, al contacto con el agua, las partículas se agrupan formando bolas.
- Las dejamos secar al ambiente.
- Si las partículas se disgregan, tendremos un suelo **sin estructura**, suelto.
- Observemos, al abrir la mano, si se forman terrones. Si es así, quiere decir que se trata de un suelo **que puede formar estructura**.

Otro procedimiento puede ser:

- Tomemos en la mano una porción de suelo húmedo intacto.
- Presionemos y dejemos secar.
- Observemos ahora, si se forman terrones.
- En el caso en que se formen terrones, presionaremos sobre ellos.

- Si a la mínima presión el terrón se destruye, la estructura del suelo es **débil**.
- Si la presión es mayor y también se destruyen los terrones, la estructura es **moderada**.
- Si presionamos más fuerte aún y los terrones **no** se destruyen, la estructura del suelo es **fuerte**.



Cuando la estructura del suelo es débil, puede afectar al movimiento del agua, impidiendo que filtre a mayor profundidad.

Cuadro 3 Movimiento del agua con relación al grado de estructura de un suelo

Grado de estructura	Terrones	Movimiento del agua
Débil	se destruyen a la mínima presión	lento
Moderada	se deforman. al presionar con los dedos	rápido
Fuerte	no se rompe, se requiere presionar con la mano o la ayuda de un instrumento que permita golpearlo	muy rápido

Fuente: elaboración de la autora.

¿Cómo podemos identificar la estabilidad de los agregados de nuestro suelo?

- Tomamos un terrón de suelo, del tamaño del puño y lo mantenemos en la mano cerrada.
- Sumergimos la mano cerrada, varias veces, en un recipiente con agua.
- Observamos qué pasa:
 - Si el terrón se disgrega rápido y enturbia el agua, indica que el suelo tiene una **estabilidad débil**.
 - Si el terrón se conserva durante un tiempo y tarda en enturbiarse, el agua, tiene una **estabilidad mediana**.
 - Si el terrón no se disgrega fácilmente, indica que la estructura tiene **alta estabilidad**.

Otro procedimiento, para determinar la estabilidad de la estructura de nuestro suelo es:

- Dejamos caer unas gotas de agua (desde una altura aproximada de 10 a 15 cm), sobre un terrón de suelo y observamos:
 - Si se desmorona el terrón y se enturbia el agua, con unas pocas gotas, es un indicador de **estabilidad débil**.
 - Si resiste un tiempo largo, la estructura del suelo tiene una **buena estabilidad**.

Color

El color es una propiedad de los suelos, que se debe principalmente a: su composición mineralógica, contenido de materia orgánica y condiciones de aireación (buen o mal drenaje).

El *color claro* del suelo, puede estar dado, tanto por la presencia de minerales claros, como de sales, carbonatos y sulfatos.

Los suelos de *color claro* indican *un deficiente nivel de fertilidad*; por lo tanto requieren de enmiendas orgánicas o químicas. Estos suelos los hallamos por ejemplo, en Lícán y Palmira, provincia de Chimborazo.

El *color negro*, por lo general indica presencia de materia orgánica. La intensidad del color varía según el mayor o menor contenido de materia orgánica, lo cual manifiesta *condiciones nutricionales aceptables para sostener un cultivo*. Los encontramos por ejemplo, en Chambo, provincia de Chimborazo y generalmente en los páramos. Podemos identificarlos tanto en climas cálidos como fríos. En climas cálidos, porque hay abundantes aportes de residuos vegetales. Y en climas fríos, porque se acumulan los residuos vegetales y se descomponen lentamente.

Considerando el perfil del suelo, por lo general, el horizonte superficial tiene color oscuro, debido a que se produce acumulación de residuos vegetales, que al descomponerse y transformarse en humus, proporciona los tonos negros. A medida que se profundiza en el perfil, se va aclarando el color conforme disminuye la presencia de humus. *Menos humus, color más claro*.

El *color amarillo* está asociado a la hidratación del hierro.

El *color rojo* es debido a la oxidación de los compuestos que tienen hierro. Estos colores son indicadores de *buena circulación de aire, buena actividad de microorganismos y un buen drenaje*.

Otros colores que pueden presentarse, como el gris, el oliva o el azulado, son debido a la baja o ninguna oxidación del hierro y al predominio de condiciones reductantes (falta de aireación), como en suelos encharcados o mal drenados.

Cuando observamos manchas amarillas, rojizas o azuladas en el interior del suelo, nos indican fluctuaciones del nivel freático o presencia de capas impermeables, mal drenaje, y escasa aireación.

Ahora, analicemos nuestra práctica...

¿Cómo, a través del color de nuestro suelo, podemos definir su estructura y el nivel de fertilidad?

Es posible establecer la estabilidad de los agregados en el campo, observando, en un perfil, talud o corte de carretera:

- el color del suelo,

- la cantidad de materia orgánica existente y
- la presencia de óxidos de hierro y aluminio,

sabemos que el contenido de estos compuestos favorece la estabilidad de un suelo.

¿Podemos asociar el color con la fertilidad de nuestro suelo?

La presencia de uno u otro color permitirá estimar el estado del suelo, con relación al desarrollo de un cultivo.

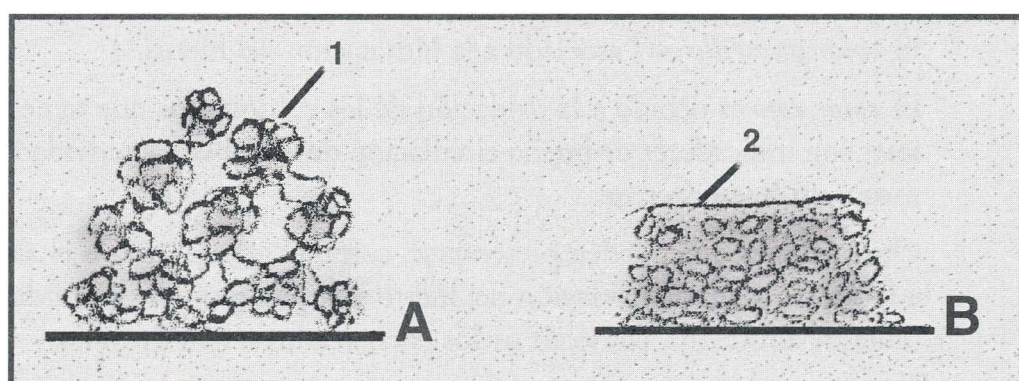
Observemos por ejemplo, los colores que se presentan en perfiles de cortes de caminos. Asociémoslos con lo trabajado en la fase presencial o revisemos esta unidad.

Podemos sacar algunas conclusiones sobre el estado actual de los suelos que nos interesan y hacer algunas recomendaciones para mejorar las propiedades físicas y así lograr un medio óptimo para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Porosidad

En el suelo, se encuentran espacios que quedan entre las partículas, o entre los agregados, que son ocupados por aire y agua. Son los poros.

La porosidad del suelo es la suma de los poros de diferentes tamaños. El tamaño de los poros está relacionado directamente con la textura y la estructura del suelo.



Suelo A con estructura

Suelo B sin estructura

Figura 14 Porosidad y estructura de un suelo

Los poros grandes y medianos -macroporos- abundan en suelos arenosos y sueltos y en suelos con estructura granular. Son ocupados por aire y sirven para la infiltración, permiten la rápida circulación de aire y agua.

Los poros finos y muy finos los encontramos en suelos de texturas medias y finas. Y los microporos, en suelos arcillosos. La circulación de agua y aire en los poros finos y microporos es lenta.

La cantidad de poros grandes, medianos y finos es más importante, que la cantidad total de espacios (porosidad total), ya que los poros grandes, permiten establecer el

equilibrio aire-agua en el suelo.

El equilibrio aire agua en el suelo es determinante en:

- el desarrollo y nutrición de las plantas,
- la actividad microbiana,
- el manejo de la humedad,
- la susceptibilidad a la erosión.

La estructura y textura de un suelo, determina la cantidad de aire y de agua presentes en ese suelo, y el equilibrio entre ellos.

El equilibrio agua-aire en un suelo determina su permeabilidad, incrementando o disminuyendo la intensidad de la infiltración, por lo tanto, influyendo en la escorrentía y la erosión del suelo.

¿Cómo podemos determinar la infiltración y retención de agua de nuestro suelo?

- Colocamos una porción de suelo en un recipiente con el fondo perforado.
- Añadimos agua por la parte superior, hasta llenarlo.
- Después, observamos y medimos el tiempo que tarda el agua en atravesar el recipiente (infiltración):
 - Si la infiltración es rápida, se trata de un suelo con predominio de macroporos, que luego de drenar se llenarán de aire.
 - Si la infiltración es lenta, indica que el suelo retendrá por mayor tiempo el agua y la humedad será suficiente para el crecimiento de la planta.

Consistencia

La **consistencia** es el comportamiento que adopta el suelo frente a las presiones mecánicas o manipulaciones. La consistencia se considera como una combinación entre las propiedades del suelo, que dependen de la humedad y la atracción de las partículas.

La consistencia del material edáfico, que no está cementado, se describe por separado, refiriéndolo, en cada caso, a los estados mojado, húmedo y, si es posible, seco.

En algunos suelos puede resultar de mayor interés para el agricultor, describir su comportamiento cuando está mojado, húmedo, o cuando ha sido suavemente desmenuzado, obteniendo los agregados finales. Así, un suelo, que en la masa es “muy friable” o “blando”, puede estar compuesto por agregados finos, que por separado son “muy firmes” o “duros”.

Los suelos arcillosos, después de la lluvia, retienen con frecuencia, una alta proporción de humedad y al ser trabajados se pegan, se adhieren, se fijan. Su comportamiento será plástico y adhesivo. Además, si se manipulan, tenderán a apelmazarse y a ser resba-

ladizos. Un suelo labrado, estando húmedo, producirá un surco que formará terrones. Al secarse, la consistencia de los terrones será dura y muy difícil de roturar para la siembra.

Un contenido menor de humedad (a capacidad de campo), será la condición ideal para que un suelo sea labrado. A esta condición se la denomina **consistencia blanda**.

Los suelos arenosos tienden a ser sueltos en estado seco y húmedo. Los suelos francos, de textura media, tenderán a ser intermedios en su comportamiento entre las arcillas y las arenas.

La consistencia del material edáfico es importante para determinar:

- la utilización práctica de los suelos
- el momento de laboreo,
- el uso de maquinaria agrícola e implementos, y
- el momento de siembra.

¿Qué podemos hacer para determinar la consistencia de nuestro suelo?

- Recojamos un puñado de suelo seco, húmedo o mojado.
- Presionemos la muestra entre los dedos o la mano.
- Observemos: ¿qué pasa con la muestra de suelo?

Hay varias posibilidades:

- En suelos arcillosos la consistencia podrá ser dura, firme, plástica o adherente, según la presencia o ausencia de humedad.
- En caso de que la textura sea arenosa, la consistencia será suelta, muy friable, no moldeable, no adherente.
- En suelos de textura media, suelos francos, la consistencia será blanda, friable, ligeramente adherente, y ligeramente moldeable.
- En el caso de suelos de otras clases texturales, éstos se comportarán según la fracción que predomine.

En conclusión podemos decir que la consistencia del suelo varía de acuerdo con la textura y el contenido de agua.

Profundidad efectiva

La profundidad efectiva se refiere al espesor del suelo que las raíces de las plantas pueden explorar libremente, sin ninguna dificultad.

Los factores que pueden limitar la profundidad efectiva, son:

- presencia de roca,

- capas endurecidas,
- piedras y gravas en forma de capas,
- aguas subterráneas (nivel freático),
- capas con alta concentración de sales, etc.

¿Cómo podemos determinar la profundidad efectiva?

En el campo, podemos aprovechar los cortes de los caminos. O cavamos una calicata (hueco) y.

- Observamos el perfil del suelo, para poder ver si encontramos capas endurecidas, piedras o roca.
- Examinamos cómo se distribuyen las raíces en el interior del suelo y hasta qué profundidad llegan.
- El color del suelo (manchas rojizas, azuladas, amarillas o grises) nos ayuda a determinar la presencia de agua subterránea, lo cual limita que las raíces dispongan de oxígeno.
- Se mide con una cinta métrica el espesor del suelo, desde la superficie hasta la capa limitante. Esta medida será la profundidad efectiva.

La profundidad efectiva la podemos interpretar así:

Muy profunda	> 1,2 m
Profunda	1,2–0,9 m
Moderadamente profunda	0,9–0,5 m
Superficial	0,5–0,2 m
Muy superficial	< 0,2 m

Si queremos orientar acciones adecuadas en Manejo y Conservación de los suelos, tendremos que tener suficiente información tanto sobre el material parental (original) del suelo como sobre el material coloidal mineral (arcilla).

El suelo es resultado de la acción del clima y los seres vivos (plantas y animales) que actúan sobre el material parental o material de origen, de acuerdo con las condiciones del relieve, en un cierto período de tiempo.

La alteración de las rocas o meteorización, produce residuos no consolidados que sirven como material parental para la evolución del perfil del suelo. Este perfil refleja el efecto integrado del clima, los seres vivos, el relieve y el tiempo.

El suelo se forma a un ritmo muy lento. En la mayoría de los casos, tarda entre 100 y 400 años para crecer sólo 1 cm. A ese ritmo hacen falta de 3.000 a 12.000 años para obtener suficiente suelo cultivable. Por esta razón es claro que se debe evitar la pérdida de suelo.

1.2.1 TIPOS DE MATERIAL PARENTAL O DE ORIGEN

La composición física, mineral y química del material parental (formado por los agentes atmosféricos a partir de la roca madre) juega un papel decisivo en la formación del suelo, en sus características físico-químicas y en su fertilidad natural (capacidad de abastecimiento de nutrientes o reserva mineral).

Veamos ahora algunos de los materiales que dan origen al suelo:

- ***Materiales Ígneos:*** provienen del magma solidificado en diferentes condiciones de profundidad, temperatura y presión. Podemos distinguir rocas:
 - intrusivas (granito, granodiorita, basalto),
 - extrusivas o lavas (andesita, riolita),
 - efusivas (cenizas volcánicas, escorias, piedra pómez, cangahua)
- ***Materiales Sedimentarios:*** corresponden a sedimentos, consolidados o no:
 - conglomerados,
 - areniscas,
 - margas,
 - calizas,
 - depósitos aluviales, etc.
- ***Materiales Metamórficos:*** provienen de rocas ígneas o sedimentarias transformadas:
 - cuarcita,
 - mármol,

filitas,
pizarras,
esquistos,
gneiss.

- **Materiales Orgánicos:** turba.

1.2.2 MATERIAL MINERAL COLOIDAL DEL SUELO

Durante los procesos de formación del suelo, se generan nuevos minerales a partir de los minerales primarios, del material parental: feldespatos, micas, anfíboles y piroxenos.

Estos nuevos minerales son las **arcillas** que corresponden al **material coloidal mineral** del suelo, $<0,002$ mm de diámetro. La arcilla puede ser de estructura cristalina o amorfa. Químicamente, pueden ser aluminosilicatos u óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio.

Los minerales arcillosos cristalinos (aluminosilicatos) poseen una estructura estratificada, por capas, con espacios entre ellas. Tanto las capas como los espacios, varían de acuerdo con el tipo de mineral.

Existen tres grupos importantes de estos minerales arcillosos cristalinos: el grupo de la **caolinita**, el grupo de la **montmorillonita** y el grupo de la **illita**.

- Las arcillas del grupo de la **caolinita**, están constituidas por dos capas: una de tetraedros de silicio (un átomo de silicio y cuatro oxígeno) y otra de octaedros de aluminio (un átomo de aluminio y seis de oxígeno). Se forman en los lugares de mayor precipitación.

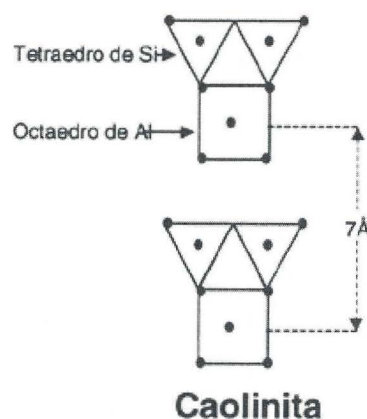


Figura 15

- Las arcillas del grupo de la **montmorillonita** están constituidas por tres capas (dos de tetraedros y una de octaedros, en el centro). Presentan la propiedad de hincharse y contraerse, en función del contenido de agua (arcillas expansivas). Se forman en los lugares de menor lluvia (alternancia de períodos de lluvia y secos). Por ejemplo, partes bajas de los valles interandinos.

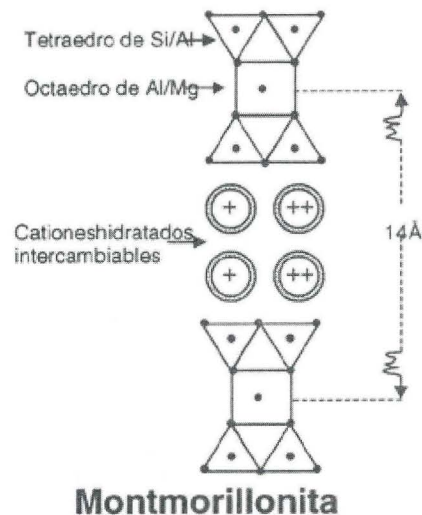


Figura 16

- Las arcillas del grupo de la **illita**, también tienen tres capas (dos de tetraedros y una de octaedros); pero, la presencia de potasio entre ellas, evita que se hinchen. Se forman en lugares de condiciones climáticas intermedias con respecto a las dos anteriores.

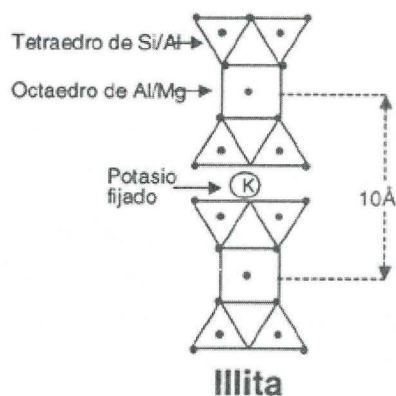


Figura 17 Estructura básica de los tres grupos de arcillas cristalinas silíceas. (Valarezo, 1998)

Los suelos con predominio de arcilla tipo caolinita son menos fértiles, más ácidos y retienen menos agua que aquellos en los que predominan las arcillas de tipo montmorillonita. Para los suelos con predominios de illita, la situación es intermedia.

Las arcillas aluminosilíceas amorfas, se forman en materiales de origen volcánico (cenizas). Se distinguen la *alófana* y la *imogolita*. Estas arcillas, muy comunes en los suelos negro andinos de la sierra ecuatoriana, tienen alta capacidad de retención de agua, lo cual facilita los deslizamientos en masa de los terrenos de ladera.

La fracción coloidal mineral del suelo también está conformada por óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, con estructura interna cristalina o amorfa. Estos materiales predominan en las zonas de clima tropical lluvioso (Valarezo, 1998). Por ejemplo la región oriental o amazónica.

Las características químicas del suelo están determinadas por: su reacción (pH), la presencia de carbonatos y sulfatos y su capacidad de retener e intercambiar cationes, lo cual afecta varias propiedades del suelo y su fertilidad.

1.3.1 REACCIÓN DEL SUELO

El término **reacción del suelo** se usa para indicar el grado de "acidez" o "alcalinidad" del suelo; que se expresa por el pH. Esta propiedad determina la solubilidad de los elementos y las posibilidades de crecimiento de las plantas. Por lo cual, es sumamente importante su determinación, como condición previa para un manejo adecuado de los suelos y los cultivos.

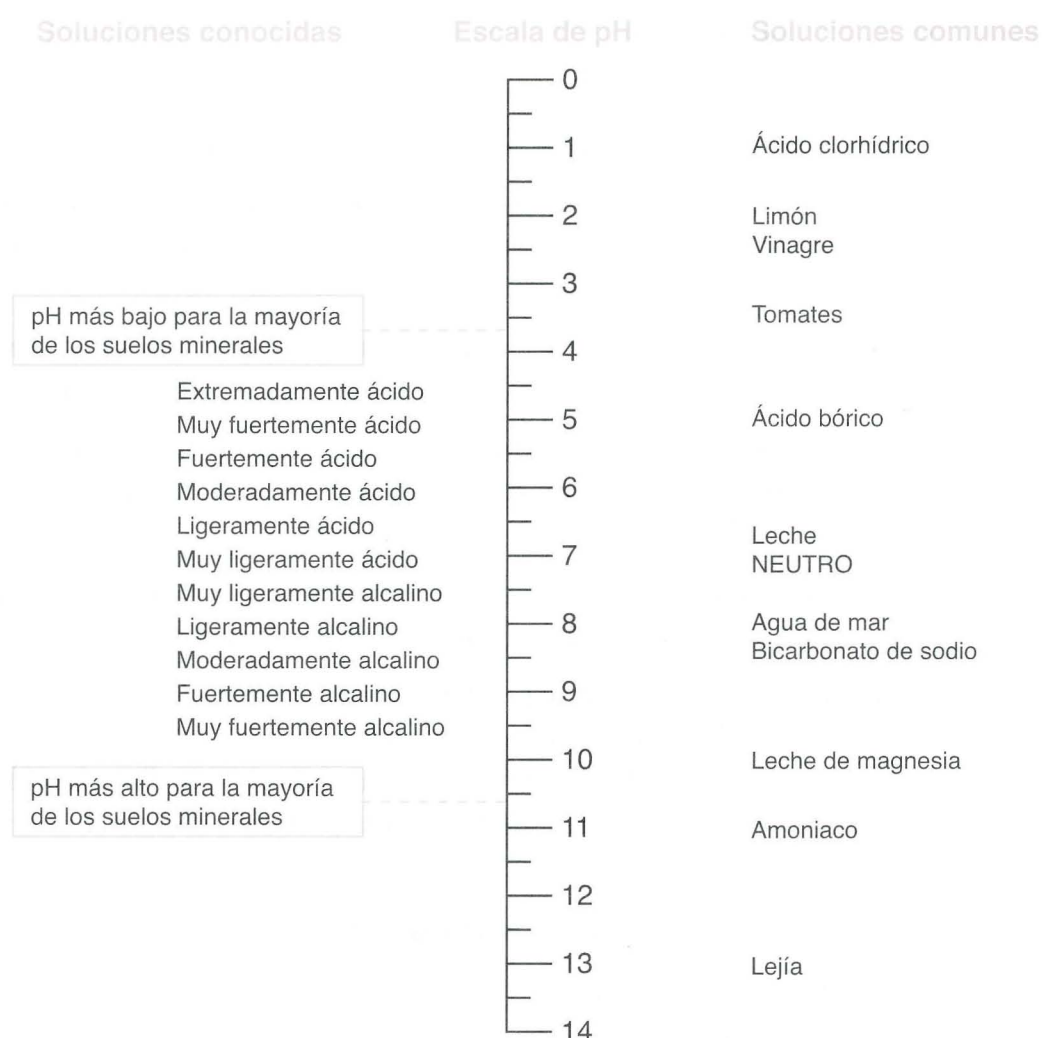


Figura 18 Rangos de pH del suelo y de algunas sustancias comunes. (Plaster, 1992)

En el cuadro 2 podemos observar, los rangos de pH del suelo (parte izquierda) con su correspondiente interpretación; en tanto que, en la derecha, hemos incluido el pH de algunas soluciones comunes, con fines ilustrativos.

Cuadro 4

pH del Suelo	Interpretación	Acidez/basicidad comparado con 7,0 de pH
9,0	Básico	100
8,0		10
7,0	Neutro	
6,0	Ácido	10
5,0		100
4,0		1.000

El valor del pH corresponde al logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (rango 10^{-1} a 10^{-12} **mol por litro**). A mayor concentración de iones hidrógeno, más bajo es su logaritmo negativo, lo cual significa, que el valor de pH y la reacción del suelo, son más ácidos.

A mayor presencia de hidrógeno en un suelo, mayor será su acidez. Por lo tanto, la solubilidad de algunos nutrientes será menor, como profundizaremos más adelante.

El significado práctico de la expresión logarítmica del pH es que cada cambio, en una unidad en pH, representa un cambio de una magnitud diez veces mayor en la acidez o alcalinidad del suelo (CARE, 1998).

Valores de pH menores a 4,0 ocurren en los suelos de la zona oriental del país y en las partes altas de nuestros Andes (generalmente a altitudes mayores a 2.500 m.s.n.m).

Rara vez se excede el valor de pH 10. Así, condiciones de alcalinidad muy fuerte, ocurren en suelos de climas áridos o semiáridos, donde hay presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio (Buol, Hole y Mc Cracken, 1980). Por ejemplo en los valles de Catamayo provincia de Loja y Chota en la provincia de Imbabura.

¿Cómo podemos conocer el pH del suelo?

Determinación en el campo

En el campo, el valor del pH del suelo es posible determinarlo, por aproximación, con la ayuda de papel indicador o soluciones indicadoras, para diferentes rangos de pH (amplios o estrechos). Se aceptan errores de 1,0 a 0,5 unidades.

- Ponemos unas gotas de la solución en una pequeña cantidad de suelo. Esperamos unos minutos, y
- comparamos el color desarrollado en la solución, con una tabla de colores, de referencia.

Además, **existen plantas que indican condiciones de acidez en el suelo.**

Por ejemplo la llashipa que señala que el suelo es pobre. La alfalfa se desarrolla bien en suelos neutros y alcalinos.

En el laboratorio

Se requiere tomar una muestra de suelo, que se envía al laboratorio, donde se medirá el pH en una suspensión suelo-agua (10 g de suelo en 25 ml de agua) con un potenciómetro.

1.3.2 CARBONATOS DE CALCIO Y MAGNESIO

¿Dónde se presentan estas sustancias?

Los carbonatos de calcio y magnesio, que es posible encontrar en cantidades apreciables, en el suelo, pertenecen a las formas minerales de calcita (CaCO_3) y en menor cantidad de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y/o magnesita (MgCO_3).

Los carbonatos pueden originarse a partir de materiales parentales calcáreos o haberse acumulado en un horizonte particular del suelo a través de los procesos de formación (enriquecimiento secundario). En este último caso, se usa el nombre de **horizonte cálcico**. En algunos lugares, se forman concreciones suaves o duras. Las concreciones duras, pueden dar lugar a **horizontes petrocálcicos**.

Estos carbonatos podemos encontrarlos en el interior de los suelos de las zonas secas de la Sierra andina, especialmente en las partes bajas próximas a/o en los valles.

¿Cómo podemos determinar la presencia de estos carbonatos?

La determinación del contenido de carbonato de calcio se realiza en el laboratorio o en el campo. En ambos casos, utilizamos una muestra de suelo a la cual se le aplica ácido clorhídrico (HCl) diluido, que produce efervescencia con la presencia de carbonatos. La interpretación se puede hacer siguiendo la siguiente escala:

Cuadro 5

Interpretación de la efervescencia del suelo al Ácido clorhídrico HCl diluido (Ilaco, 1980)

Reacción con HCl 10 %	Contenido de CaCO ₃ (%)	Interpretación
Ninguna efervescencia	Menor que 0,5	Trazas
Muy débil efervescencia	0,6 - 1,5	Muy bajo
Débil efervescencia	1,6 - 2,5	Bajo
Buena efervescencia	2,6 - 5,0	Medianamente bajo
Vigorosa efervescencia	5,1 - 10	Medio
	11 - 20	Alto
	21 - 40	Muy alto
	más de 40	Extremadamente alto

En el campo, si no se dispone de HCl, podemos identificar la presencia de los carbonatos, aplicando unas gotas de jugo de limón en un pequeño terrón. Si observamos efervescencia, es porque existen carbonatos. A mayor grado de efervescencia, mayor será el contenido de carbonatos (Ilaco, 1980).

1.3.3 SULFATO DE CALCIO EN EL SUELO

¿Dónde se presenta esta sustancia?

También en las áreas secas, podemos encontrar en el suelo, acumulaciones de sulfato de Calcio, o sea de yeso (CaSO₄), que por lo general, están asociadas con los carbonatos de calcio/magnesio.

¿Cómo podemos determinarlo?

La determinación del contenido de yeso, en el suelo, se realiza mediante análisis de laboratorio a partir de una muestra.

En el campo, en algunas ocasiones, es posible observar la presencia de este mineral en forma de pequeñas astillas de color blanquecino, menores a 1 cm.

¿Cuáles son los beneficios y los problemas que ocasionan la presencia de carbonatos de calcio y yeso en el suelo?

La presencia de pequeñas cantidades (<3%) de carbonatos de calcio/magnesio o de yeso (sulfato de calcio) en el suelo, es beneficiosa, porque el calcio y el magnesio mejoran la agregación del suelo, estabilizan la estructura y aumentan la proporción de poros grandes.

En cambio, un exceso de iones calcio, impide el aprovechamiento de otros elementos por las plantas (Valarezo e Iñiguez, 1993).

Además, el agua de riego puede disolver, de manera progresiva, estas sustancias produciendo grandes cárcavas, asentamientos y deslizamientos del terreno. Son varios los sitios de la Sierra Andina ecuatoriana en los que se evidencian estos fenómenos (sistema de riego Tablón de Oña, sector San José, provincia de Loja; sistema de riego Guarullá-Licto, sitio Lluishi, provincia del Chimborazo, etc.).

1.3.4 MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

La **materia orgánica (MO)** del suelo está formada por los restos de animales y vegetales. Sobre este material actúan una infinidad de **microorganismos** que lo descomponen y lo transforman en otras materias.

La descomposición de la materia orgánica, se realiza mediante dos procesos diferentes:

- los residuos orgánicos se transforman directamente y con rapidez en sustancias minerales (mineralización);
- los residuos orgánicos se transforman en otra materia orgánica llamada *humus* (humificación); posteriormente, el humus se descompone lentamente en sustancias minerales (mineralización).

La materia orgánica del suelo se puede encontrar en tres estados:

- **Materia orgánica fresca**, formada por residuos vegetales, más o menos divididos, y sobre los cuales no han actuado todavía los microorganismos.
- **Materia orgánica** en estado **transitorio**, o sea en vías de descomposición. Estos materiales no están ligados a las partículas del suelo, sino simplemente mezclados con ellas. Una parte de los productos transitorios evoluciona hacia el estado de humus, mientras el resto se mineraliza rápidamente.
- **Materia orgánica** en estado de **humus**. Es un material muy transformado que está ligado íntimamente al suelo. El humus es muy estable, quiere decir que se mineraliza lentamente, a un ritmo de 1 al 2 % anual dependiendo del clima.



La MO modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

En cuanto a las **modificaciones de las propiedades físicas** de los suelos, la MO tiene un efecto positivo sobre la estructura del suelo, en:

- la formación de agregados estables,
- el aumento de la capacidad de retención de agua,
- la mejora del intercambio de gases, y
- la mejora del drenaje.

En el cuanto a las **modificaciones de las propiedades químicas** de los suelos, cuando

la MO se descompone:

- es fuente principal nitrógeno, azufre, fósforo y otros nutrientes para las plantas,
- regula la nutrición de la planta, por cuanto conforma el complejo arcillo-húmico.

La **Materia orgánica** en estado de **humus**:

- facilita la absorción de elementos nutritivos,
- estimula el desarrollo del sistema radicular, y
- ayuda a la degradación de sustancias indeseables, como los residuos de los plaguicidas.

En promedio, la materia orgánica contiene:

58% de C (carbón),
5% de N (nitrógeno),
0,5% de P (fósforo) y
0,5% de S (azufre).

1.3.5

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO, BASES CAMBIABLES Y ACIDEZ CAMBIABLE DEL SUELO

¿Qué es la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cuál es su importancia?

El material coloidal del suelo inorgánico (arcillas) y orgánico (humus), presenta una superficie con **carga eléctrica** negativa, que permite el almacenamiento e intercambio de iones de carga positiva o cationes: Ca^{++} (calcio), Mg^{++} (magnesio), K^{+} (potasio), Na^{+} (sodio), H^{+} (hidrógeno), NH_4^{+} (amonio), Fe^{++} (hierro), Al^{+++} (aluminio). El número de signos positivos indica la valencia de cada elemento químico.

El intercambio catiónico, es una de las propiedades físico-químicas del suelo, más importantes. La cantidad y tipo de cationes cambiables influyen en:

- la estructura,
- la actividad biológica,
- el régimen hídrico y gaseoso,
- la reacción(pH),
- los procesos de formación del suelo, y
- la fertilidad.

El intercambio catiónico en los suelos es una reacción química reversible, esto es, que los cationes, pueden entrar y salir del complejo de intercambio a la solución del sue-

lo. Lo cual significa que los cationes retenidos en la superficie de los coloides minerales y orgánicos, pueden ser reversiblemente reemplazados, por aquellos de la solución del suelo, como observamos en la figura 20. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), usualmente se expresa en miliequivalentes por 100 g de suelo (me/100g).

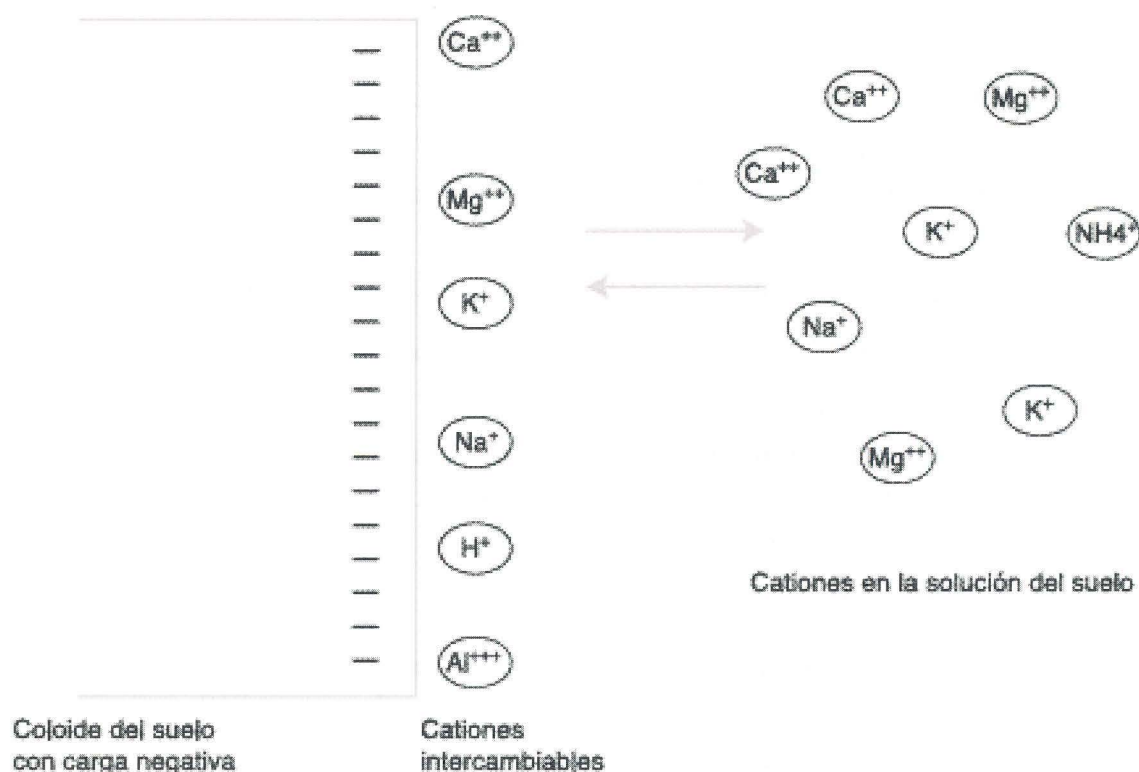


Figura 19 Intercambio catiónico del suelo (Valarezo, 1998).

El valor de la **CIC total** está dado por la suma de la CIC de la parte inorgánica (arcilla) y la CIC de la parte orgánica (humus).

¿Qué son las Bases Cambiables? y ¿qué es la Saturación de Bases?

Al grupo de los cationes intercambiables conformado por Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ y Na⁺ se los denomina **bases cambiables**. La suma de éstos, en me/100 g de suelo, se llama **suma de bases**, y su expresión porcentual con relación a la CIC, se conoce como la **saturación de bases**.

¿Qué es la Acidez Cambiable?

La **acidez cambiable** está dada por la suma de los cationes H⁺ y Al⁺⁺⁺ cambiables. Cuando mayor es la acidez cambiable de un suelo, se requiere mayor cantidad de corrector (cal), para controlar esta acidez.

La CIC, las bases cambiables y la acidez cambiable del suelo, se determinan en el laboratorio.

El **suelo** es el **medio fundamental para el crecimiento de las plantas**. El suelo provee, a las plantas, a través de sus raíces de:

- anclaje,
- agua,
- oxígeno y
- nutrientes.

Una de las funciones evidentes del suelo, es la de proveer **anclaje o soporte mecánico** para las plantas. Además el suelo debe ser suelto, suave y friable para permitir la germinación de la semilla y el desarrollo de la raíz.

El volumen de suelo que pueden explorar las raíces en busca de agua y nutrientes y a la vez anclar la planta, está en función de la **profundidad efectiva** (Valarezo, 1998).

La capacidad del suelo para **almacenar y proveer agua** aprovechable, es de importancia decisiva para el normal crecimiento de las plantas.

En cuanto a la **provisión de oxígeno**, las raíces tienen aberturas llamadas **lenticelas**, a través de las cuales se realiza el intercambio gaseoso del proceso de respiración. El oxígeno (O_2) se difunde hacia el interior de las células, mientras que el dióxido de carbono (CO_2) se expulsa de las raíces hacia la atmósfera.

Además, para que el suelo constituya un ambiente adecuado que facilite el crecimiento de las plantas, es necesario que esté libre de:

- acidez o alcalinidad extremas,
- sustancias tóxicas y,
- exceso de sales solubles.

Entre las sustancias tóxicas, debemos tener cuidado del boro (B), especialmente en las zonas con volcanes y en el agua de riego. Si bien el boro es indispensable para el crecimiento de las plantas, su exceso las mata. También el sodio (Na) en concentraciones elevadas, es un elemento nocivo para la estructura del suelo, afectando la agregación, la aereación y la transmisión del agua.

La **fertilidad total del suelo** es el resultado de la fertilidad física y la fertilidad química.

La **fertilidad física** es la "la capacidad que tiene el suelo de proporcionar soporte mecánico, agua y aire a las raíces de las plantas".

La **fertilidad química** se define como "la cualidad que le permite al suelo proveer de los nutrientes esenciales, en las cantidades adecuadas y bajo un correcto balance para el crecimiento de un cultivo específico, cuando los demás factores son favorables".

1.4.1 ELEMENTOS NUTRIENTES QUE NECESITAN LAS PLANTAS

Se considera que 16 elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas. El carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H), que se combinan en las reacciones fotosintéticas para formar primero carbohidratos, se obtienen del aire y del agua, y constituyen más del 90 % de la materia seca de la planta.

Los 13 nutrientes restantes las plantas los obtienen del suelo. El nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), son requeridos por las plantas en cantidades relativamente grandes y por consiguiente se los llama "*macroelementos*", "*macronutrientes*" o "*elementos mayores*".

Los elementos: manganeso (Mn), hierro (Fe), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl), las plantas los necesitan en cantidades considerablemente pequeñas. Por eso se los llama "*micronutrientes*" o "*elementos traza*".

Los 13 elementos esenciales, que provienen del suelo, son tomados por las plantas en diferentes formas iónicas, ya sea de la solución del suelo o de las superficies coloidales (arcilla y humus), tal como se resume en el siguiente cuadro:

Cuadro 6 Elementos esenciales absorbidos por las raíces de las plantas del suelo: símbolo químico y formas iónicas asimilables (Boul et al, 1980)

Nutrientes	Símbolo	Formas iónicas absorbidas por las plantas
Macronutrientes		
Nitrógeno	N	NO_3^- ; NH_4^+
Fósforo	P	H_2PO_4^- ; $\text{HPO}_4^{=}$
Potasio	K	K^+
Calcio	Ca	Ca^{++}
Magnesio	Mg	Mg^{++}
Azufre	S	$\text{SO}_4^{=}$
Micronutrientes		
Manganeso	Mn	Mn^{++}
Hierro	Fe	Fe^{+++}
Boro	B	H_2BO_3^-
Zinc	Zn	Zn^{++}
Cobre	Cu	Cu^{++}
Molibdeno	Mo	$\text{MoO}_4^{=}$
Cloro	Cl	Cl^-

Es muy raro, que encontremos un suelo capaz de suplir, durante un largo período de tiempo, todos los nutrientes o elementos esenciales, en las cantidades necesarias como

para obtener rendimientos constantes en los cultivos.

Por eso, es necesario permitir que se recupere la fertilidad, dejando descansar el suelo, o en su defecto, aplicando abonos orgánicos o químicos (fertilizantes) para garantizar el valor productivo y constante del suelo. Es lo que conocemos como la **gestión de la fertilidad del suelo**, que trataremos en el Módulo *Manejo y Conservación de suelos y ordenamiento de cuencas hidrográficas*.

1.4.2 FERTILIDAD POTENCIAL Y ACTUAL DEL SUELO

Podemos distinguir dos tipos de **fertilidad química del suelo**: fertilidad potencial y fertilidad actual.

La **fertilidad potencial** se refiere a la capacidad del suelo para suplir elementos nutritivos para las plantas, desde sus reservas inorgánicas y orgánicas, a través de:

- los procesos de meteorización de los minerales primarios del material parental, y
- la mineralización microbiana de la materia orgánica.

La **fertilidad actual** hace referencia a la velocidad con la que los elementos nutritivos se convierten en aprovechables para las plantas. Esta velocidad es gobernada por el equilibrio de asimilación-reposición en el que intervienen los sólidos (arcilla y humus) la humedad del suelo, por un lado, y la solución del suelo y las raíces de las plantas, por otro.

Factores que determinan la fertilidad potencial del Suelo

La fertilidad potencial del suelo está determinada por:

- La composición mineralógica de las fracciones arena y limo.
- La cantidad y composición química de la materia orgánica.
- La cantidad y tipo de iones intercambiables del complejo de intercambio catiónico.

¿Cómo influye la composición mineralógica de la arena y el limo en la fertilidad?

La composición mineralógica de la arena y el limo, representada por la abundancia de minerales primarios en estas fracciones, influye directamente en la fertilidad del suelo, porque constituye su reserva mineral.

Mientras mayor es el porcentaje de minerales primarios (piroxenos, anfíboles, micas, feldespatos, excepto cuarzo), mayor es la reserva mineral del suelo.

¿Cómo influye la cantidad y la calidad de la materia orgánica en la fertilidad potencial?

El grado de influencia de la MO sobre la fertilidad potencial, está dado por su **cantidad** y **calidad**. Por eso la **materia orgánica** es un componente muy importante de la fertilidad natural del suelo.

La calidad de MO está dada por la relación C/N, que corresponde al contenido total

de carbón (en porcentaje), dividido por el contenido total de nitrógeno (también en porcentaje).

Podemos interpretar la calidad de la MO aplicando la siguiente escala:

Relación C/N	Calidad de la MO
< 10	Alta
10 - 14	Media
> 14	Baja

Fuente: elaboración del autor

En muchos suelos del trópico húmedo, como por ejemplo en Macas provincia de Morona Santiago o en Lago Agrio provincia de Sucumbios, la base de la **fertilidad potencial** es la presencia de MO en el horizonte superficial. Esta MO ha sido acumulada a lo largo de varios siglos, como producto de la acción de la flora y la fauna existente.

Una vez que se ha eliminado la vegetación y el suelo se ha puesto bajo cultivo, sin el uso de abonos, la fertilidad natural desaparece en poco tiempo. Entonces, se requiere dejar, tantos años el terreno en barbecho, como los que han permanecido descubiertos, antes de que muestre signos de recuperación de su fertilidad natural.

El nitrógeno (N), procedente de la descomposición de la MO, tiene diferente destino, según sea la proporción de nitrógeno (N) y de carbón (C) contenido en esa MO.

Cuando se incorpora al suelo MO con una relación **C/N alta**, los microorganismos se multiplican activamente y consumen el exceso de carbón, dejando como residuos un producto, cuya relación C/N tiene un valor **más bajo** que el inicial, hasta llegar al **humus, que tiene una relación C/N muy próxima a 10**.

Si la **relación C/N es alta** (MO rica en celulosa y pobre en nitrógeno, como el aserrín y la paja de los cereales), los microorganismos toman el nitrógeno liberado y también el nitrógeno contenido en el suelo, produciendo una deficiencia temporal de N en las plantas. Por esta razón, es necesario aportar una cantidad suplementaria de nitrógeno, para que las plantas puedan tomarlo para su desarrollo.

Si la **relación C/N es baja** (MO pobre en celulosa y rica en nitrógeno, como el abono verde de arveja) los microorganismos toman una parte del nitrógeno liberado, mientras que la parte restante se incorpora al suelo. La descomposición de la materia orgánica se desarrolla con rapidez, porque los microorganismos encuentran en ella el nitrógeno que necesitan y las plantas no sufren por deficiencia de nitrógeno.

¿Cómo influye la cantidad y el tipo de iones intercambiables en la fertilidad potencial?

Mientras **más alta es la CIC**, mayor será la capacidad del suelo para almacenar nutrientes catiónicos aprovechables: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Zn^{++} , Mn^{++} , Cu^{++} , NH_4^+ ; y, en consecuencia será, **mayor la fertilidad potencial**.

En el horizonte superficial, con un aceptable contenido de MO, especialmente en suelos de textura liviana, la mayor parte de la CIC se debe al humus. Por esta razón es de

gran importancia mantener un adecuado contenido de humus en el horizonte arable; esto es, en la capa de mayor desarrollo de raíces.

Factores que influyen sobre la fertilidad actual del suelo

Como ya hemos mencionado, la fertilidad actual, se refiere a los elementos nutritivos, que son más o menos aprovechables, para las plantas en forma directa, siendo común referirse entonces a "**nutrientes aprovechables o nutrientes disponibles**".

Los factores que influyen sobre la disponibilidad de los nutrientes en el suelo son principalmente el pH y la CIC.

Efectos del pH en la fertilidad del suelo

La reacción del suelo afecta la disponibilidad de varios elementos nutritivos para las plantas. **La mayoría de las plantas y microorganismos del suelo viven y se desarrollan mejor en un rango de pH: 6 a 7,5.** Sin embargo, se debe recordar que las diversas especies de plantas e incluso algunas variedades, difieren en el grado en el cual se adaptan o toleran valores de pH, fuera del rango indicado.

En el cuadro 7, se muestra la amplitud del pH del suelo, que pueden tolerar algunos cultivos importantes, así como, el rango óptimo de pH.

Cuadro 7 **Rango de tolerancia y rango óptimo de pH para algunos cultivos (Syss et al, 1993)**

Cultivo	Amplitud de Tolerancia de pH	pH óptimo
Alfalfa	5,2 – 8,5	6,0 – 8,0
Aguacate	4,3 – 8,3	5,0 – 6,5
Arveja	5,5 – 8,2	6,0 – 7,5
Banano	4,5 – 8,2	5,6 – 7,5
Café	4,5 – 7,8	5,6 – 6,6
Caña de Azúcar	4,5 – 8,5	5,5 – 7,5
Cebada	5,5 – 8,5	6,2 – 8,0
Cebolla	5,5 – 8,2	6,0 – 7,8
Cítricos	5,0 – 8,2	5,5 – 7,6
Col	5,5 – 8,2	6,2 – 7,5
Fréjol	5,2 – 8,2	6,0 – 7,0
Maíz	5,0 – 8,5	5,8 – 7,8
Maní	5,4 – 8,2	6,0 – 7,5
Papa	4,8 – 8,2	5,6 – 7,0
Trigo	5,2 – 8,5	6,0 – 8,2
Yuca	4,5 – 8,2	5,2 – 7,0

El ancho de las fajas indica las zonas de mayor actividad microbiana y de mayor disponibilidad de nutrientes.

Valores extremos de pH, pueden ocasionar concentraciones tóxicas de ciertos componentes químicos: la acidez extrema causa la toxicidad del aluminio (Al) y/o manganeso (Mn); mientras que los valores altos de pH pueden causar la producción de gas amoníaco, (NH₃) especialmente tóxico para la germinación (Ilaco, 1980).

Considerando las correlaciones como un todo, el rango de pH de aproximadamente 6-7 corresponde al de mayor aprovechabilidad de nutrientes, para las plantas.

En resumen si el pH del suelo es ajustado en forma apropiada para el fósforo (P), los otros nutrientes, cuando se presentan en cantidades adecuadas, serán aprovechables satisfactoriamente en la mayoría de los casos.

Efectos del tipo y cantidad de los cationes intercambiables

A pesar de que la reserva de cationes almacenados en el complejo de intercambio, no es sinónimo de la fertilidad actual, es indudable que la cantidad y el tipo de cationes intercambiables presentes, son considerados como un referente de la fertilidad actual.

A partir del valor de la CIC y de la saturación de cationes del complejo de intercambio, se puede estimar la disponibilidad de los nutrientes Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ y NH₄⁺.

Estimación de la fertilidad actual del suelo

Considerando que las raíces de las plantas solamente pueden absorber los nutrientes disueltos (o sea iones en solución), en estricto sentido, sólo los nutrientes solubles presentes en la solución del suelo son aprovechables.

Las plantas difieren mucho en su habilidad para movilizar y utilizar los nutrientes en el suelo, por medio de los procesos de absorción activa y pasiva. Además presentan diferentes grados de adaptación a las diversas condiciones del suelo (acidez, alcalinidad, salinidad, etc.)

La fertilidad actual se estima en el laboratorio, a través de una muestra de suelo, de la cual se extraen los nutrientes utilizando soluciones extractoras suaves. La cantidad de nutrientes en el extracto, se usa como criterio de fertilidad, aplicando tablas de interpretación específicas. La cantidad de métodos de extracción usados es bastante amplia.

Vale advertir, que a través del análisis del suelo, no se puede lograr una simulación confiable de la actividad compleja, que realizan las raíces de las plantas, con respecto a la aprovechabilidad de los nutrientes. Ni de las peculiaridades y desviaciones individuales de los diferentes tipos de suelo. Por ello, se debe enfatizar que estas técnicas de extracción, **dan solamente una indicación aproximada. No hay una técnica de extracción universalmente válida y apta para todos los tipos de suelo.**

En consecuencia, es necesario tener en cuenta que cualquier método analítico para determinar la disponibilidad de los nutrientes, es completamente arbitrario y solo tiene

validez, a partir de trabajos experimentales de invernadero y de campo, que permitan establecer la correlación entre:

- la extracción de los nutrientes,
- el rendimiento de los cultivos y
- la respuesta del cultivo a los fertilizantes (Valarezo e Iñiguez, 1993).

1.4.3 DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES PARA LAS PLANTAS

Ahora analizaremos:

- las formas químicas de los principales nutrientes en el suelo,
- las cantidades de éstos que son tomadas por las plantas,
- los síntomas de deficiencia en las plantas, y
- la estimación de la disponibilidad en el suelo.

Nitrógeno (N)

Formas: El nitrógeno es el único elemento nutritivo que no forma parte de los minerales del suelo. La fuente de nitrógeno en la naturaleza es **la atmósfera**, de la cual constituye casi el 80 %. Solo algunos microorganismos pueden aprovechar directamente el nitrógeno atmosférico; el resto del nitrógeno necesario para los seres vivos tiene que ser obtenido de la atmósfera, mediante algún proceso artificial.

El N se encuentra en el suelo en tres formas:

- orgánica,
- amoniacal y
- nítrica.

La evolución de unas formas a otras, se realiza por acción de los microorganismos. Los vegetales y una gran mayoría de los microorganismos, lo asimilan bajo la forma de iones amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-).

La mayor parte del nitrógeno contenido en el suelo, se encuentra bajo la forma orgánica, ya que constituye una parte de **la materia orgánica**, la cual, al **descomponerse**, **transforma el nitrógeno orgánico a nitrógeno mineral**.

Requerimientos por los cultivos: Las plantas requieren de grandes cantidades de nitrógeno para crecer normalmente, como lo demuestra el siguiente cuadro.

Cuadro 8

**Cantidades de nitrógeno absorbido
por diferentes cultivos (Sys et al, 1993).**

Cultivo	Niveles de Producción (Toneladas/ha)	La cantidad de N absorbido por todo el cultivo (kg/ha)
Alfalfa ¹	80,0	320
Banano	25,0	30
Café	3,0	135
Caña de azúcar	90,0	85
Cebolla	20,0	100
Cítricos (frutos por ciclo)	15,0	100
Fréjol	1,0	31
Maíz	6,3	165
Maní	1,0	50
Papa	25,0	115
Trigo	3,0	70
Yuca	20,0	125

¹ Las leguminosas obtienen la mayoría de su N del aire.

Síntomas de deficiencia en la planta: La deficiencia de N resulta en clorosis (amarillamiento) de las hojas por la presencia de cantidades reducidas de clorofila. Este “amarillamiento” se inicia en las hojas más viejas y luego se traslada a las hojas más jóvenes, a medida que la deficiencia se hace más severa. Plantas pequeñas, con menos hojas y crecimiento lento, son también síntomas de deficiencia de N.

Por otro lado, el exceso de N puede incrementar el crecimiento vegetativo, reducir el cuajado del fruto y afectar adversamente la calidad.

Estimación de su disponibilidad: En general los análisis de laboratorio no dan mayor seguridad acerca del N aprovechable, por cuanto determinan las formas de nitrato y amoniacal. La mayor parte de N aprovechable en los suelos, está en forma de nitratos (que son altamente solubles). Los suelos arables pueden tener de 2 a 60 ppm (partes por millón) de nitrato extractable.

Fósforo (P)

Formas: En el suelo, el fósforo se encuentra en:

- **forma mineral insoluble** que corresponde a fosfatos de hierro y aluminio precipitados en suelos ácidos y fosfatos de calcio en suelos alcalinos,
- **fijado en el complejo arcilloso-húmico**, que atrae iones de carga positiva, especialmente calcio, que queda fijado en su superficie y,
- **la solución del suelo**, que constituye una mínima parte del fósforo total del suelo.

Las plantas absorben el fósforo del suelo, bajo las formas de ión monovalente (H_2PO_4^-) y ión divalente (HPO_4^{2-}) ver página...(44)

Requerimientos por los cultivos: El fósforo es esencial para el crecimiento de las plantas, por cuanto interviene en los procesos de acumulación y liberación de energía durante el metabolismo celular. También interviene en múltiples reacciones químicas de vital importancia (respiración, síntesis de proteínas e hidratos de carbono, etc.).

En el siguiente cuadro podemos observar la cantidad de P que absorben del suelo varios cultivos.

Cuadro 9 CANTIDADES DE FÓSFORO ABSORBIDO POR VARIOS CULTIVOS (Sys et al, 1993)

Cultivo	Nivel de rendimiento (toneladas/ha)	Absorción de P_2O_5 en todo el cultivo, kg/ha
Alfalfa (forraje verde)	80,0	60
Banano	25,0	7,0
Café	3,0	35
Caña de Azúcar	90,0	60
Cebolla	20	170
Cítricos (frutos por ciclo)	15,0	25
Fréjol	1,0	3,5
Maíz	6,3	55
Maní (grano descascarado)	1,0	15
Papa	25,0	45
Trigo	3,0	30
Yuca	20,0	75

Nota: El P_2O_5 como tal, no existe en la naturaleza ni en los fertilizantes. La designación de P_2O_5 es una expresión convencional del contenido de P. Para convertir P a P_2O_5 se debe multiplicar por 2,29. Inversamente para transformar P_2O_5 a P se debe multiplicar por 0,43.

Síntomas de deficiencia en la planta: La primera señal de falta de P, es una planta pequeña y un menor macollamiento en los cereales. En las plantas de maíz y otros cultivos deficientes en P, aparece a menudo, un color púrpura o rojizo, asociado con la acumulación de azúcares. En muchos cultivos, así como en ciertas etapas de crecimiento, la deficiencia de P es difícil de detectar en el campo.

Estimación de su disponibilidad: La determinación de la disponibilidad del fósforo es un tema muy complicado, debido tanto a la multiplicidad de formas de combinación de los fosfatos, como a la capacidad variable de los cultivos para tomar este nutriente.

Potasio (K)

Forma: Una gran porción de potasio está presente en los suelos, como parte de la es-

estructura cristalina de los minerales primarios y secundarios, tales como: micas, feldspatos y minerales micáceos de la fracción arcilla.

Una pequeña parte se encuentra como catión intercambiable y otra mínima, como catión soluble. En estas dos formas es bastante móvil, tanto en el suelo como en la planta. Sin embargo, como componente de la estructura del retículo cristalino de los minerales, es muy inmóvil y relativamente resistente al proceso de meteorización.

Requerimientos por los cultivos: El potasio es el catión que las plantas requieren en mayor cantidad. El Cuadro siguiente nos muestra la cantidad de K en forma de K_2O absorbido del suelo por algunos cultivos:

Cuadro 10 Potasio absorbido por algunos cultivos (Sys et al, 1993)

Cultivo	Nivel de rendimiento (toneladas /ha)	K_2O absorbido por el cultivo, kg
Alfalfa (forraje verde)	80,0	180
Banano	25,0	80
Café	3,0	145
Caña de azúcar	90,0	180
Cebolla	20,0	120
Cítricos	15,0	145
Fréjol	1,0	6,6
Maíz	6,3	135
Maní (grano)	1,0	15
Papa	25,0	200
Trigo	3,0	60
Yuca	20,0	150

Nota: El K_2O como tal no existe en la naturaleza ni en los fertilizantes. La designación de K_2O es una expresión convencional del contenido de K. Para transformar K a K_2O se debe multiplicar por 1,2. Inversamente, para transformar K_2O a K se debe multiplicar por 0,83.

Síntomas de deficiencia en la planta. Uno de los síntomas más comunes de deficiencia de K, es que los márgenes de las hojas se marchitan o se queman. En la mayoría de los cultivos, especialmente en las gramíneas, el quemado aparece primero en las hojas viejas. Las plantas con deficiencia de K, crecen lentamente, tienen un sistema radicular mal desarrollado, los tallos son débiles y el acame es común.

Azufre (S), Calcio(Ca) y Magnesio (Mg)

Importancia y formas: El S, Ca y Mg, pertenecen al grupo de los **macronutrientes** pero dentro de éste, se los denomina “nutrientes secundarios”. Esto no significa que sean elementos secundarios para el crecimiento de las plantas, al contrario, a pesar de que

las plantas los requieren en menores cantidades, estos elementos son tan importantes para el crecimiento de las plantas, como lo son los elementos primarios (N, P y K).

El azufre aprovechable del suelo, está muy relacionado con el azufre liberado, después de aplicar métodos de incubación. El azufre, en forma de sulfatos (SO_4^{2-}), se encuentra principalmente, en el subsuelo.

Por lo general, el calcio predomina entre las bases cambiables del complejo coloidal del suelo. El contenido en Ca cambiabile depende del material parental y del grado de evolución de los suelos. El Ca disminuye bastante, por la meteorización y el lavado.

El magnesio cambiabile, se encuentra absorbido en el complejo de intercambio catiónico del suelo. Las cantidades y la proporción, con respecto a otros elementos, son variables en los diferentes suelos. Los desarrollados sobre sedimentos pobres en bases o altamente meteorizados, presentan contenidos menores de magnesio.

El contenido de magnesio en la solución del suelo es, por lo general intermedio entre el Ca y el K.

Requerimientos por los cultivos: El cuadro 11 muestra las cantidades de Ca, Mg y S presentes en varios cultivos.

Cuadro 11 Absorción de Ca, Mg y S por diferentes cultivos (CARE, 1998).

Cultivo	Rendimiento (toneladas/ha)	Ca ¹	Mg kg/ha en todo el cultivo	S
Alfalfa	20	218	50	50
Algodón	1	14	23	20
Arroz	8	23	16	14
Maíz	10	43	58	30
Maní	4	20	25	21
Naranjas	60	90	25	*
Tomate	90	33	40	60
Trigo	4	18	20	17

¹ Estimado

* Información no disponible

Síntomas de deficiencia en las plantas: Las plantas que tienen deficiencia de S crecen lentamente y presentan en las hojas un color verde pálido. Las hojas se arrugan a medida que la deficiencia progresa. Los síntomas de deficiencia de S son similares a los de N. Solo que, la deficiencia de S, aparece primero en los sitios de crecimiento nuevo.

Un síntoma común de la deficiencia de Ca en la planta, es un pobre crecimiento de las raíces. Éstas se tornan negras y se pudren. Las hojas jóvenes y los tejidos nuevos, desarrollan los síntomas, debido a que el Ca no se transloca dentro de la planta.

Los síntomas de deficiencia de Mg aparecen primero en las hojas inferiores (hojas vie-

jas), debido a que el Mg se transloca del tejido viejo al tejido joven, dentro de la planta. Las hojas presentan un color amarillento bronceado rojizo, mientras que las venas de las hojas se mantienen verdes. En el maíz, se presentan fajas amarillentas a lo largo de las hojas, en tanto las venas, permanecen verdes.

Un desbalance entre Ca y Mg en los suelos de baja CIC, puede acentuar la deficiencia de Mg. Cuando la relación Ca/Mg es muy alta, las plantas absorben menos Mg.

Estimación de la disponibilidad: En el caso del S en los suelos minerales o suelos pobres en materia orgánica, se considera que, cantidades menores de 50 ppm obtenidos a partir de una extracción con agua, pueden ser indicativos de una posible deficiencia de este elemento para los cultivos.

La estimación de la disponibilidad de potasio, calcio y magnesio, generalmente, se basa en la determinación de estos elementos en forma intercambiable. Sin embargo, también se utilizan métodos de extracción simple.

Micronutrientes

A pesar de que la planta requiere los micronutrientes, solo en cantidades muy pequeñas, éstos son tan importantes para las plantas, como los macronutrientes. La ausencia de cualquiera de los micronutrientes en el suelo, puede limitar el crecimiento de la planta, aún cuando todos los demás nutrientes esenciales estén presentes, en cantidades adecuadas.

Los cultivos varían en su contenido de micronutrientes, como se ilustra en el primer cuadro; en tanto que, en el segundo, se presenta la remoción de micronutrientes por varios cultivos.

Cuadro 12 Concentración de micronutrientes en diferentes cultivos (CARE, 1998)

Cultivo	Etapa de crecimiento	Contenido de micronutrientes, ppm		
		Deficiente	Suficiente	Tóxico
	Boro			
Maíz	25 días, hojas superiores	< 5	5,25	-
Remolacha	Lámina de hoja	< 16	16-18	-
	Cobre			
Maíz	Hoja bajo de la mazorca	< 5	5-30	< 30
Soya	Hojas recientemente maduras	< 10	10-30	< 30
Trigo	Tallo	< 88	8-10	-
	Hierro			
Maíz	Hojas recientemente maduras	< 24-56	56-78	-
Arroz	Hojas	< 63	< 63	-
Soya	Tallos (34 días)	< 37	44-60	-
	Manganeso			
Maíz	Hojas debajo de la mazorca	-	19-84	
Arroz	Tejido superior	< 20	-	> 2.500
Trigo	Tejido superior	-	181-621	-
Soya	Tejido superior	< 15	15 - +	-
	Molibdeno			
Cebada	Hojas de 8 semanas	< 0,03	-	-
	Zinc			
Trigo	Planta de 8-30 cm	< 15	15-150	-
Maíz	Crecimiento vegetativo	< 15	15-150	> 150
Soya	Hojas	< 20	20-50	> 150
Arroz	Crecimiento vegetativo	< 20	20-250	-
	Cloro			
Plantas	-	< 100		-

Cuadro 13 Remoción de micronutrientes en la parte cosechada de varios cultivos (CARE, 1998).

Cultivo	Rendimiento t	Remoción, g					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Arroz	5	60	20	810	600	2	215
Maíz	4	36	20	120	36	-	60
Trigo	3	36	43	380	120	-	180
Maní	2	-	60	480	400	-	-
Papas	20	120	110	715	170	2	240
Alfalfa	12	600	120	1200	600	24	830
Tomate	48	28	60	535	95	2	60
Cítricos	48	120	120	600	140	2	60

Los factores que gobiernan la disponibilidad de los micronutrientes, no están completamente entendidos. Sin embargo, se han desarrollado metodologías específicas para estimar su disponibilidad.

No se suelen realizar análisis, de rutina, para determinar deficiencias de micronutrientes en los suelos. Solo cuando se detectan síntomas de deficiencia, es preferible realizar el análisis de la planta, como medio para juzgar su disponibilidad en el suelo.

¿Cómo podemos analizar la fertilidad del suelo?

Para analizar la fertilidad del suelo en el laboratorio, las muestras deben ser tomadas a una profundidad determinada, de acuerdo con el cultivo a plantar.

Se considera como capa arable, por convención, una profundidad de 25 cm; la que debe hacer un muestreo, en todo su espesor. Esta capa, que normalmente contiene materia orgánica, es considerada la mayor zona de desarrollo de los cultivos. Además se puede hacer un muestreo de la capa del subsuelo (25-50 cm de profundidad) que casi siempre es suelo mineral.

- Para tomar las muestras, en primer lugar debemos examinar visualmente el área; y, de ser necesario, podremos subdividirla en unidades o lotes más o menos homogéneos en cuanto a relieve, pendiente, textura, color, profundidad, prácticas de manejo (fertilización, riego, drenaje, cultivo, enmiendas, etc.).
- Después prepararemos un croquis del área de muestreo.

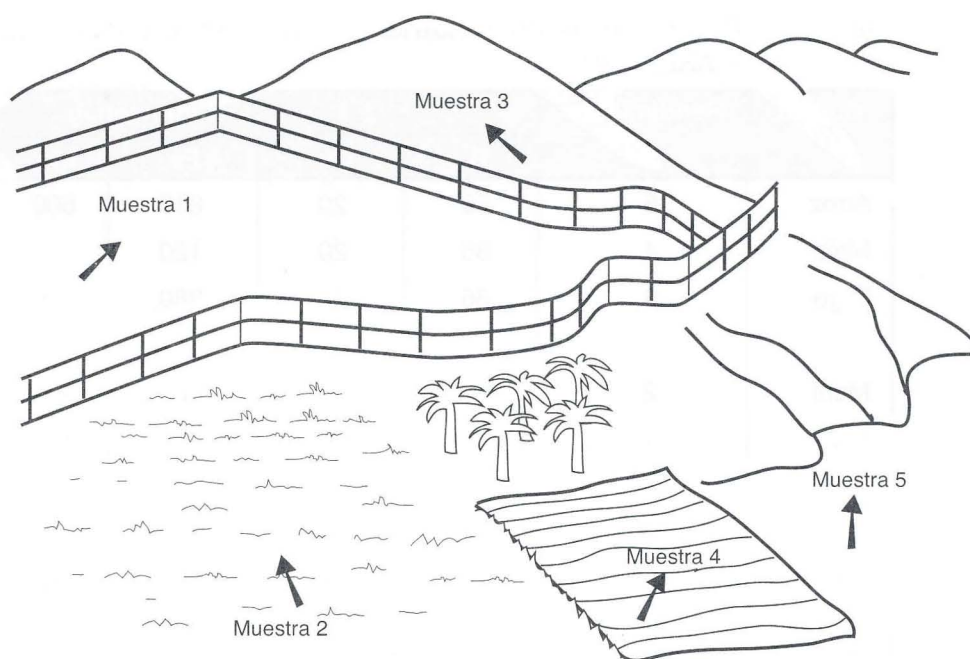


Figura 20 Croquis de las áreas de muestreo del suelo. INIAP, 1973. (la división de las áreas se ha realizado en función de la pendiente, color, vegetación, drenaje, etc.).

- A continuación, cada 10 a 20 pasos en zigzag, tomaremos submuestras de cada lote, que colocaremos en un recipiente limpio.
- Mezclamos y sacamos una muestra compuesta del lote, de más o menos 1 kg.
- Cada muestra se remitirá al laboratorio con una hoja de información, cuyo detalle se indica en el anexo 1 (INIAP, 1973).

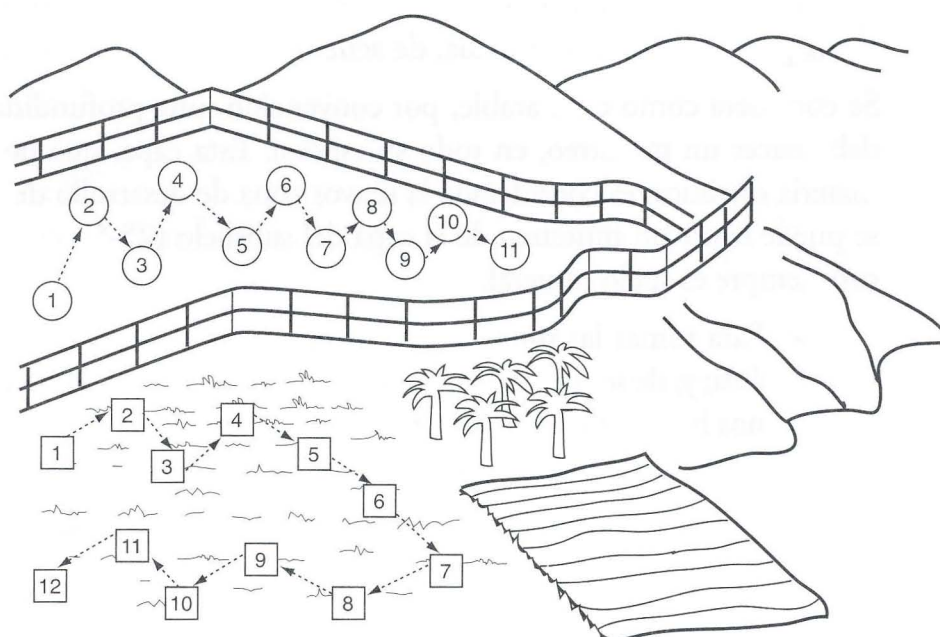


Figura 21 Toma de submuestras en zig-zag en un área de muestreo del suelo (INIAP, 1973).

Interpretación de los análisis de laboratorio

Todo laboratorio que reporte resultados de análisis de fertilidad del suelo, debe precisar el *método de determinación* usado y la *escala de evaluación respectiva*. Este es el resultado de estudios de la respuesta de los cultivos relacionada con el elemento analizado.

El análisis de fertilidad del suelo solo indica la cantidad de nutrientes aprovechables que existen en el suelo. La exactitud con que un dato de análisis puede ser interpretado dependerá, de la clase y calidad de los trabajos de investigación en el campo, en los cuales se han basado las correlaciones (Valarezo e Iñiguez, 1993).

Las unidades en que los laboratorios reportan los resultados de los análisis de la disponibilidad de los nutrientes del suelo pueden ser en:

- ug/ml: microgramos por mililitro de suelo (peso/volumen)
- ppm: partes por millón (peso/peso)
- me/100g: miliequivalentes por cien gramos de suelo.

En el anexo 2 se presenta la tabla para la interpretación de los análisis, que el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional de Loja anexa a la hoja de resultados. La concentración de los tres macronutrientes (en las formas de N, P_2O_5 , K_2O) se reporta en ug/ml, con los rangos de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

En tanto que, el anexo 3 contiene la guía para la interpretación del análisis de suelos utilizada por los Laboratorios del INIAP, para la extracción con $NaHCO_3$ (Olsen Modificado). La concentración de los diferentes nutrientes se da en ppm. Los rangos considerados son bajo, medio y alto. Por ejemplo, si el resultado del análisis del fósforo aprovechable (P) es de 5 ppm, su interpretación corresponde al rango bajo.

El suelo es el hábitat natural para innumerables organismos, representados en numerosos géneros y especies. Las clases y actividades de estos organismos son influenciadas por las características del suelo:

- disponibilidad de alimento,
- contenido de materia orgánica,
- textura,
- pH,
- humedad,
- temperatura,
- aireación, y
- otros factores.

Una definición apropiada dice que el **suelo** es como...



“...una matriz de arena-limo-arcilla, conteniendo vida (biomasa) y materia orgánica muerta (necromasa), con cantidades variadas de gases y líquidos dentro de la matriz” (Coleman y Crossley, 1996).

El suelo o **pedosfera** interacciona con las facetas geológicas o **litosfera**, hidrológicas o **hidrosfera**, atmosféricas o **atmósfera** y la biológica o **biosfera**.

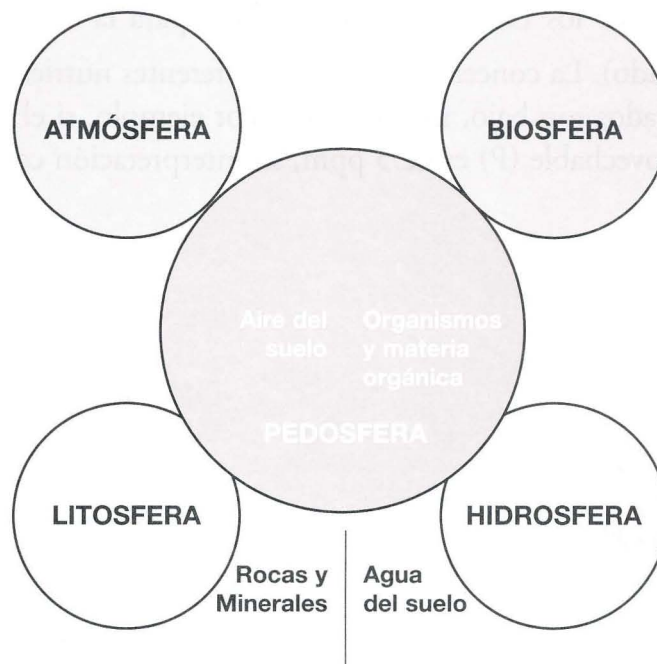


Figura 22 La pedosfera, presentando interacciones de entidades bióticas y abióticas en la matriz del suelo (Fitz Patricks, 1984).

Para un mejor entendimiento del esquema es necesario que en el gráfico se pueda identificar la interacción de los círculos y cada elemento que interactúan con las pedosfera.

1.5.1 LA FAUNA DEL SUELO

En el suelo existen organismos, en elaboradas cadenas alimenticias, que contienen varios niveles tróficos.

Algunos son **herbívoros**, que se alimentan directamente de las raíces, tallos y hojas de las plantas vivas y, que bajo ciertas condiciones, se transforman en plagas de los cultivos. Pero la mayoría se alimentan de plantas muertas, favoreciendo la descomposición de los residuos vegetales.

Otros son **carnívoros**, parásitos o predadores, entre los cuales encontramos organismos benéficos, utilizados en el control biológico.

Los organismos del suelo son numerosos y diversos. Muchas especies, son poco conocidas por su taxonomía (clasificación en género, especie, familia, etc.).

En condiciones naturales hay un equilibrio de las poblaciones de organismos vivientes en el suelo. Cuando las personas intervenimos, a través de la agricultura, se rompe ese equilibrio. Es cuando aparecen plagas y enfermedades, así como la baja fertilidad en los suelos, por efecto de la erosión y la extracción de nutrientes por parte de los cultivos.

Desde los años setenta, con la revolución verde o agricultura moderna, se ha incrementado el monocultivo y el uso exagerado de agroquímicos. Esto ha provocado la degradación de los recursos naturales suelo, agua y aire.

¿Qué importancia tiene la fauna, en las propiedades del suelo?

La fauna, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, según podemos ver en el cuadro 14:

Cuadro 14 Influencia de la fauna en el mantenimiento y conservación del suelo

Propiedades físicas	Forma montículos. Mezcla el suelo. Construye canales para la circulación de agua y aire. Forma y destruye los agregados del suelo.
Propiedades químicas	Regula el ciclo de nutrientes. Produce sustancias especiales (las lombrices aumentan el contenido de vitamina V 12 en el suelo y el contenido de nitrógeno (N) en las galerías).
Propiedades biológicas	Aumenta la actividad de los microorganismos. Regula el contenido de biomasa vegetal. Regula el contenido de biomasa animal.

¿Cuáles son los criterios para clasificar la fauna del suelo?

Para la clasificación de la fauna del suelo, se utilizan distintos criterios:

- el hábitat,
- el tipo o mecanismo de alimentación,
- las condiciones de permanencia en el suelo,
- el tipo de locomoción,
- los aspectos económicos en la agricultura, etc.

En este caso, vamos a clasificar a la fauna del suelo, de acuerdo con su tamaño. Podemos entonces, hablar de:

- Microfauna.
- Mesofauna.
- Macrofauna.
- Megafauna.

Microfauna: Aquí se agrupan todos los organismos que miden entre 0,2 a 200 micras de tamaño. Dentro de este grupo encontramos:

Protozoarios: (más adelante se señalarán algunas de sus características)

Nemátodos: la mayoría de tamaño microscópico. Se hallan en casi todos los suelos, llegando a encontrar un máximo de 50 por gramo de suelo y cerca de 111 billones por hectárea. Se distinguen tres tipos de nemátodos según su alimentación: saprófitos, predadores y parásitos.

- Los **saprófitos** viven sobre la materia orgánica.
- Los **predadores** viven sobre otros nemátodos, pequeñas lombrices y organismos parecidos.
- Los **parásitos**, viven enquistados en los tejidos y atacan las raíces finalizando su ciclo evolutivo.

Rotíferos: la mayor parte de ellos tiene un tamaño microscópico. En condiciones de humedad, se presentan en gran cantidad en el suelo, encontrándose hasta 59 especies distintas. La parte anterior está modificada en una especie de disco retráctil que lleva una circunferencia de cilios, los cuales al moverse, dan la apariencia de ruedas que giran; de ahí su nombre, rotíferos. Estas pestañas o cilios, van barriendo los materiales nutricionales flotantes, hacia el animal. La parte posterior del rotífero, lleva un pie, por el cual puede fijarse al suelo.

Mesofauna: Aquí se agrupan a todos los organismos que tienen un tamaño de 200 micras a 1 cm. Dentro de estos, podemos encontrar los siguientes:

- Microartropodos,
- Ácaros,

- Nemátodos grandes,
- Arácnidos,
- Opilones,
- Larvas de insectos.

Macrofauna: En este grupo se incluyen a todos los organismos que miden de 1 a 8 cm de tamaño. Algunas especies son: incluir imágenes

- Anélidos,
- Quilópodos,
- Moluscos,
- Insectos.

Megafauna: Son animales grandes que alcanzan tamaños desde 8 cm hasta 1,5 m. Por ejemplo:

- Mamíferos,
- Reptiles,
- Anfibios.

Otro criterio de clasificación de la fauna, tiene que ver con el tiempo de permanencia en el suelo. En este caso hablamos de:

Geobiontes o permanentes: son aquellos que pasan todo su ciclo biológico en el suelo. Como las lombrices.

Geofilos: son los que pasan parte de su ciclo biológico en el suelo y parte fuera de él. Como el gusano blanco de la papa *Premnotripes vorax*. Los geofilos, a su vez, se dividen en: transientes, temporales y periódicos.

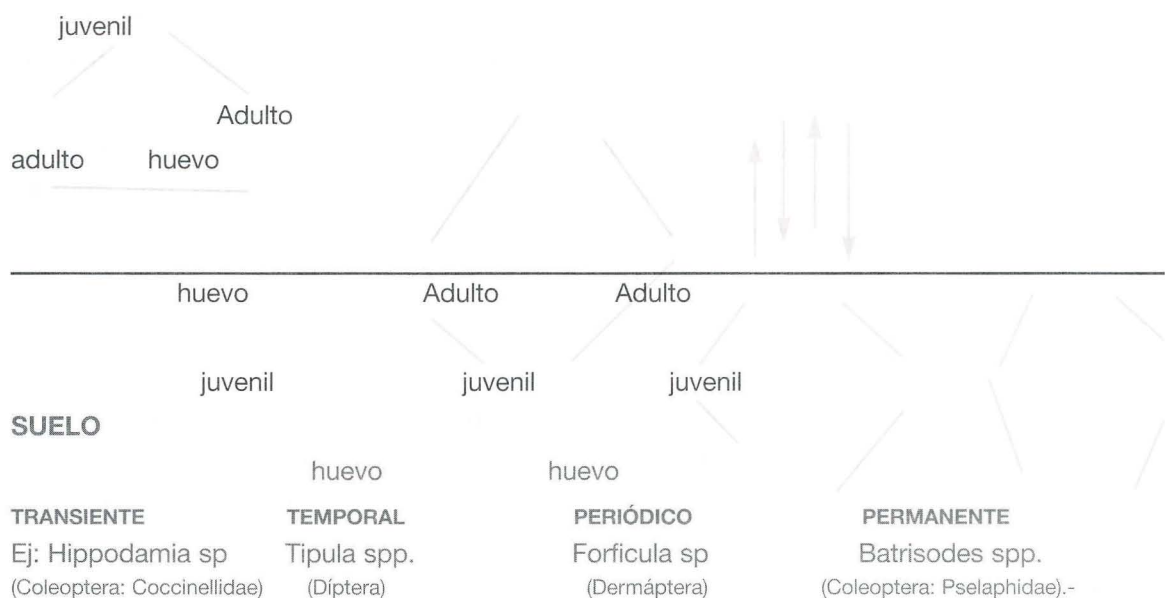


Figura 23 Categoría de los organismos del suelo de acuerdo con la permanencia.



Conocer el ciclo biológico de insectos - plaga, según su permanencia en el suelo, nos ayuda a dirigir el método de control químico o biológico.

Uno de estos ejemplos es el caso del control integrado del gusano blanco de la papa (*Premnotripes vorax*), que está dirigido a bajar las poblaciones de adultos por medio de trampas, plantas cebo, etc.

1.5.2 LOS MICROBIOS DEL SUELO

En el suelo viven un gran número de organismos de tamaño microscópico, que conforman los siguientes grupos microbianos:

- actinomicetos,
- algas del suelo,
- bacteria,
- hongos,
- protozoarios y
- virus.

Actinomicetos

Después de las bacterias, los actinomicetos son los más numerosos en el suelo, alcanzando cantidades de 15 a 20 millones por gramo de suelo. En condiciones favorables, unos 560 a 670 kg pueden estar presentes en la capa arable de una hectárea de suelo cultivable. El estiércol estimula su actividad. El aroma de tierra fresca mojada es debido a la presencia de los actinomicetos.

Su capacidad para simplificar el humus es importante, especialmente respecto del nitrógeno (N) ya que permite transformar el nitrógeno orgánico a formas inorgánicas, disponibles para las plantas. Considerables cantidades de este elemento (N) parecen estar relacionadas con las formas húmicas complejas, que quedan sin ser asimiladas por las plantas superiores. Estos organismos parecen tener una gran habilidad para volverlo a poner en circulación, junto con los hongos y bacterias.

Algas del suelo

Muchas algas son organismos con clorofila y como tales necesitan vivir en la superficie del suelo o próximos a ella, porque requieren de la energía solar para hacer la fotosíntesis. Sin embargo, algunas, son capaces de obtener su energía de la materia orgánica y pueden existir debajo del horizonte superficial. Ciertas algas tienen hábitos nutritivos típicos de los microorganismos del suelo, mientras que otras viven y actúan como plantas superiores.

Las algas tienen una nutrición *fotoautotrófica*. Para su desarrollo necesitan agua, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe) y otros micronutrientes del suelo, en pequeñas cantidades. La atmósfera les proporciona el carbono en forma de bióxido de carbono (CO_2) y la energía en forma de luz, pero algunas especies pueden hacer uso del nitrógeno molecular (N_2).

Las algas del suelo, como grupo, son más pequeñas y menos complejas que las algas acuáticas. Las algas del suelo se dividen en: *Chlorophyta*, *Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Xanthophyta*.

Las algas pueden tener una gran importancia agronómica en ambientes tales como arrozales inundados. La acción microbiológica puede estar asociada con la utilización de nitrógeno atmosférico, la liberación de O_2 o la excreción de productos que estimulan el crecimiento de las plantas, como por ejemplo aminoácidos.

Bacterias del suelo

Se conoce más sobre las bacterias, que sobre cualquier otro microorganismo común en el suelo. Las bacterias son seres unicelulares, y constituyen una de las más simples y pequeñas formas de vida. Se multiplican alargándose y dividiéndose en dos partes. El proceso es sorprendentemente rápido. Bajo condiciones favorables, un nuevo microorganismo puede desarrollarse en 20 a 30 minutos. Aunque la cantidad inicial de bacterias sea pequeña, su capacidad casi ilimitada de aumentar en número, es muy importante en los suelos, porque les permite asumir sus funciones normales, por ejemplo, en la nitrificación.

La multiplicación de las bacterias puede ser detenida por la falta de alimento, la competencia de otros organismos y otras condiciones como: humedad, pH, temperatura, etc.

Las bacterias son muy pequeñas, excediendo raramente los 4 a 5 μm . (**micrones**) de longitud, mientras que las más pequeñas se acercan, en tamaño, al tipo medio de las partículas de arcillas. Muchas bacterias del suelo están provistas de pelos vibrátiles, llamados **flagelos** que les permiten nadar en la solución del suelo. Las bacterias tienen formas variadas.

El número de bacterias en el suelo es variable; la mayor población está en los horizontes superficiales y suelos fértiles, según las condiciones de humedad, temperatura, aireación, pH y alimento.

La cantidad de bacterias en el suelo se estima entre 3 y 4 billones por gramo. De 450 a 560 kg de peso bacteriano, vive en la capa arable de una hectárea.

En el suelo, las bacterias aparecen en colonias, sobre o alrededor de las partículas. Existe una fluctuación constante de la población debido a una multiplicación rápida por la presencia de alimentos. Al crecer tan rápido la población, el alimento comienza a escasear, provocando la muerte por inanición.

Las bacterias del suelo se clasifican en: **Autótrofas y Heterótrofas.**

Autótrofas: obtienen su energía de la oxidación de los constituyentes minerales como amonio (NH_4^+), S, Fe y la mayor parte de su carbono proviene del CO_2 . En cifras, las bacterias autótrofas son comparativamente insignificantes, pero **al incluir los organismos que producen nitrificación y oxidación de azufre, son de una importancia enorme, para el sustento de las plantas superiores.**

Heterótrofas: su energía y carbono lo toman directamente de la materia orgánica del suelo. En la descomposición, las bacterias, hongos y actinomicetos, tienen un carácter heterotrófico. **Actúan en las tres transformaciones enzimáticas fundamentales: nitrificación, oxidación de azufre y fijación de nitrógeno.**

Desde este ángulo, las bacterias son los seres más importantes, siendo los más simples y numerosos dentro de las formas vivientes.

Con relación a sus **actividades dañinas**, ciertas bacterias causan enfermedades a las personas, animales y plantas, además de producir la putrefacción de los alimentos.

Hongos del suelo

Al igual que las bacterias y los actinomicetos, **los hongos no contienen clorofila** y dependen del C de la materia orgánica del suelo, como fuente de energía. Se caracterizan por su naturaleza filamentosa y sus formas vegetativas. Las esporas o cuerpos fructíferos, alcanzan en algunos grupos tamaños macroscópicos.

No hay acuerdo sobre su clasificación (posición taxonómica), siendo considerado como un subreino del reino vegetal. Sin embargo, hay suficientes bases como para considerarlo un reino aparte.

Cualquiera que sea su ubicación taxonómica, es conveniente distinguir entre los hongos sin pared celular (Myxomycota) y los verdaderos hongos con pared (Eumycota). Cada uno, a su vez, tienen subdivisiones.

Los hongos tienen gran habilidad para descomponer los residuos orgánicos (celulosa, almidón, lignina, gomas, proteínas y azúcares). Respecto de la formación de humus y de la estabilización de los agregados, los hongos son más importantes que las bacterias, sobre todo en suelos ácidos. Además, trabajan más “económicamente” que las bacterias, porque transforman gran proporción de C y N de los compuestos atacados.

Alrededor del 50% de sustancias descompuestas por los hongos, pueden transformarse en tejido fúngico. Sin embargo, no pueden oxidar los compuestos de amonio a nitratos, como lo hacen las bacterias, ni pueden fijar el nitrógeno atmosférico.

A pesar de ello, la fertilidad del suelo depende, en gran parte, de los hongos, porque siguen el proceso de descomposición, cuando las bacterias y los actinomicetos ya no son suficientes.

Micorrizas: Un grupo importante de hongos son las micorrizas, que tienen una

asociación íntima, funcional y estructural con las raíces de ciertas plantas superiores (muchas de los cuales pertenecen a los Ascomicetos y Basidiomicetos).

El punto de vista actual es que ambos, el hongo y las raíces de las plantas superiores, se proporcionan beneficios mutuos en esta asociación.

El micro ambiente de la rizósfera, es la primera ruta para la mayoría de las interacciones entre plantas y suelo. La raíz, habitualmente, está rodeada por una gran variedad de microorganismos especializados como bacterias, hongos, nemátodos, protozoos y algunas veces, algas.

Los exudados de la raíz, poseen compuestos orgánicos que sirven como alimento, y algunas veces, como inhibidores de las actividades fisiológicas de los microorganismos. Estos, a su vez juegan un papel vital en numerosos procesos fisiológicos.

Estas asociaciones, entre las micorrizas y las raíces de las plantas actúan como vehículo para la traslocación de iones, del suelo a las raíces.

Los iones absorbidos por las hifas de los hongos, son llevados a las raíces de la planta huésped y, los iones fotosintetizados del huésped, pasan al hongo para que este se alimente.

También se indica que los hongos micorrícicos, pueden proteger a las raíces de las plantas contra algunas enfermedades, en las siguientes formas:

- Las micorrizas utilizan carbohidratos superfluos en la cercana vecindad de las raíces, con lo que se limita la acción de los patógenos.
- Producen antibióticos, formando con ello una barrera química.
- Proveen una barrera física.
- Promueven el crecimiento de microorganismos favorables, de la rizósfera en la zona radical.

Además de este aspecto de protección, se señala que favorecen a las plantas porque:

- Permiten una mayor capacidad de asimilación de agua y sales.
- Dan la posibilidad de obtener compuestos inorgánicos de fuentes accesibles.
- Suministran nutrientes orgánicos, vitaminas, sustancias promotoras del crecimiento o compuestos de carácter antibiótico.

Existen tres grupos principales de micorrizas: ectomicorrizas, micorrizas endótrofas vesículo arbusculares y endomicorrizas.

Las plantas no micorrizadas tienen raíces largas y finas. Los cultivos obligados, que no pueden vivir sin micorrizas, no tienen raíces finas. En este caso las micorrizas se extienden con las hifas del hongo.

La micorriza se encuentra en el córtex (la parte de la corteza) y cuando la raíz está muerta, puede estar en la endodermis.

La planta da carbono al hongo y este facilita la entrada de nutrientes, ya que la hifa presiona la célula e incrementa la superficie de contacto celular. Las micorrizas pueden representar hasta un 20% de la biomasa del suelo.

A continuación se mencionan algunos cultivos con o sin micorrizas:

Cultivos con micorrizas (obligados): Espárragos, cebolla, yuca, papa, batata, citrus, inga, aguacate, ajo, plátano, banano, tomate, capsicum, naranjilla, tomate de árbol, berenjena, haba, papaya, guayaba, oliva, café, cacao y fréjol.

Cultivos no obligados: caña de azúcar, maíz, arroz, sorgo y trigo.

Cultivos no micorrizados: chocho, quinua, amaranto, col, nabo.

Además del fósforo, las plantas micorrizadas aumentan la absorción de nitrógeno y otros minerales, quizá debido al mayor grado de exploración del suelo por las hifas micorrícicas.

Las hifas micorrícicas son importantes para plántulas (transplante) que presentan problemas para su prendimiento en el campo, disminuyendo la pérdida de plantas en el sitio definitivo.

Las vesículas almacenan lípidos y los arbúsculos son sitios de intercambio de fósforo.

El arado rompe las hifas y favorece la propagación del hongo. El barbecho reduce la producción de esporas y la rotación de cultivos puede ayudar a mejorar la producción. Sobre el tema, hay estudios de laboratorio e invernadero pero muy pocos, de campo.

El hongo se inocula en las raíces que pueden micorrizar y se depositan con la semilla. Fungicidas como el Captan matan a las micorrizas.



Tanto los hongos como las bacterias favorecen la formación de agregados en el suelo, mejorando sus características físicas (aireación) lo cual facilita la penetración de las raíces.

Protozoarios del suelo

Son organismos unicelulares, más grandes que las bacterias y de diferente organización. Algunos son masas de protoplasma, mientras que otros presentan un desarrollo mayor y están protegidos por cubiertas cilíceas o quitinosas.

Para su estudio, los protozoarios se dividen en tres grupos:

- Amibas,
- Ciliados o infusorios y
- Flagelados (son los más numerosos en los suelos)

Los protozoos son muchos y variados. Se han aislado más de 250 especies, la mayoría de estos organismos están en los horizontes superficiales del suelo. Además, se han encontrado cerca de un millón de protozoos por gramo de suelo seco. Pueden llegar a

un peso desde 112 hasta 224 kg/ha.

Su acción se debe a que dependen de la materia orgánica como fuente de alimento. Algunos grupos pueden ingerir bacterias.

Los representantes subterráneos del *Phylum* Protozoa del suelo, se clasifican por sus medios de locomoción en:

- **Mastigophora o flagelados**, se mueven por flagelos, parecidos a las algas, representados por Euglena.
- **Sarcodina**, llamada Rhizopoda o Amiboidea, posee organelos temporales o pseudópodos.
- **Ciliophora o ciliados**, que presentan cilios durante el estado activo de su vida.

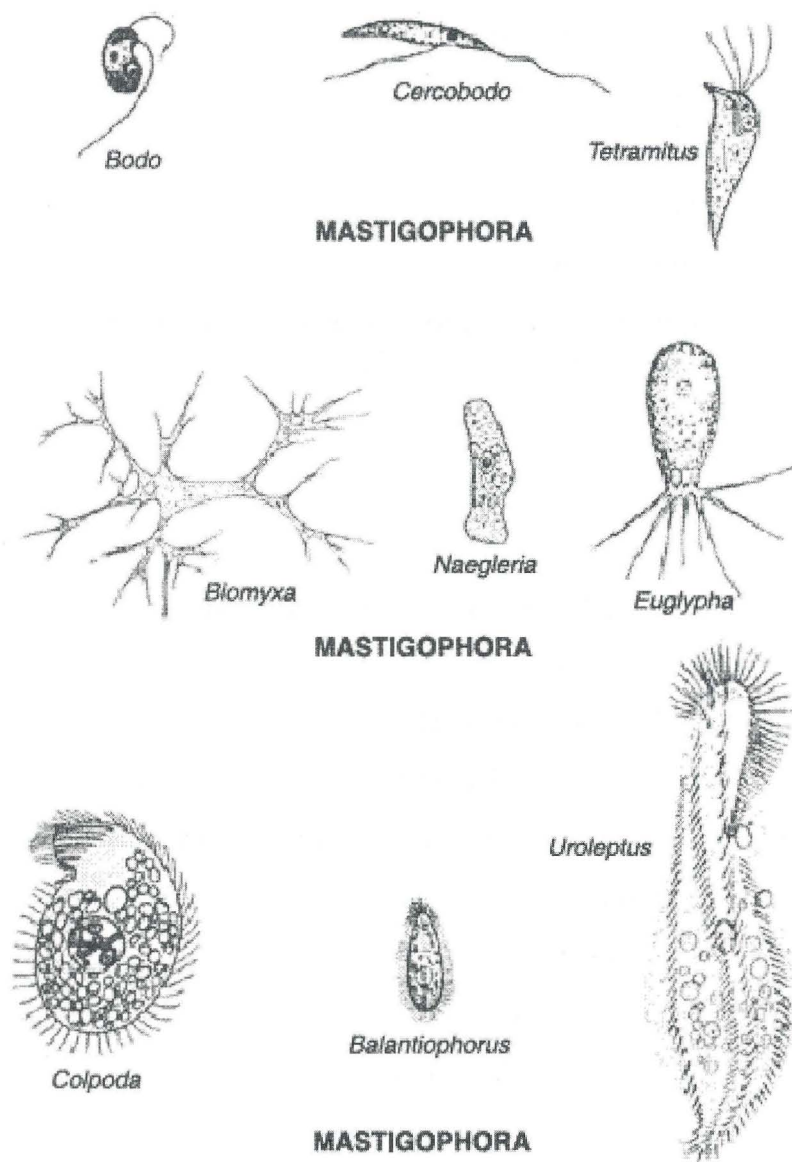


Figura 24 Protozoarios típicos del suelo

Virus

Este grupo de microorganismos del suelo, es el más pequeño y requiere de un hospedero adecuado para su desarrollo.

Los virus, organismos submicroscópicos, son considerados importantes por los problemas patológicos que causan en los seres vivos. En los últimos años se está prestando atención a su comportamiento como **agentes infecciosos** del suelo.

Cada partícula viral, para reproducirse, requiere de un hospedero. Como los hospederos son limitados, parasitan plantas, animales o microorganismos específicos.

Por eso se hace una clasificación en tres grupos específicos, que atacan plantas, animales y microorganismos.

Dentro de los microorganismos, están los virus que atacan a:

- bacterias (bacteriófagos),
- actinomicetos (actinófagos),
- hongos,
- levaduras,
- algas, y
- protozoarios.

Entre los que atacan a los protozoarios, hay entidades parecidas a los virus, denominadas como *estructuras de "tipo viral"*.

1.5.3 FIJACIÓN DEL NITRÓGENO ATMOSFÉRICO

El N total del suelo, en agricultura, es de origen:

- orgánico (abonos)
- sintético (fertilizantes)
- proviene de la fijación biológica de N₂ atmosférico.

Existen cuatro formas para fijar el nitrógeno atmosférico al suelo:

- Simbiótica
- No simbiótica
- Fijación asociada con raíces
- Por plantas no leguminosas

Fijación simbiótica de nitrógeno (N)

La familia *Leguminosae*, tiene aproximadamente 650 géneros y 18 000 especies en el mundo (de las cuales solo la mitad de los géneros fijan N).

La fijación de nitrógeno se basa en la asociación entre leguminosas y bacterias. Las bacterias del género *Rhizobium*, al infectar la leguminosa apropiada, causan la formación de **nódulos**.

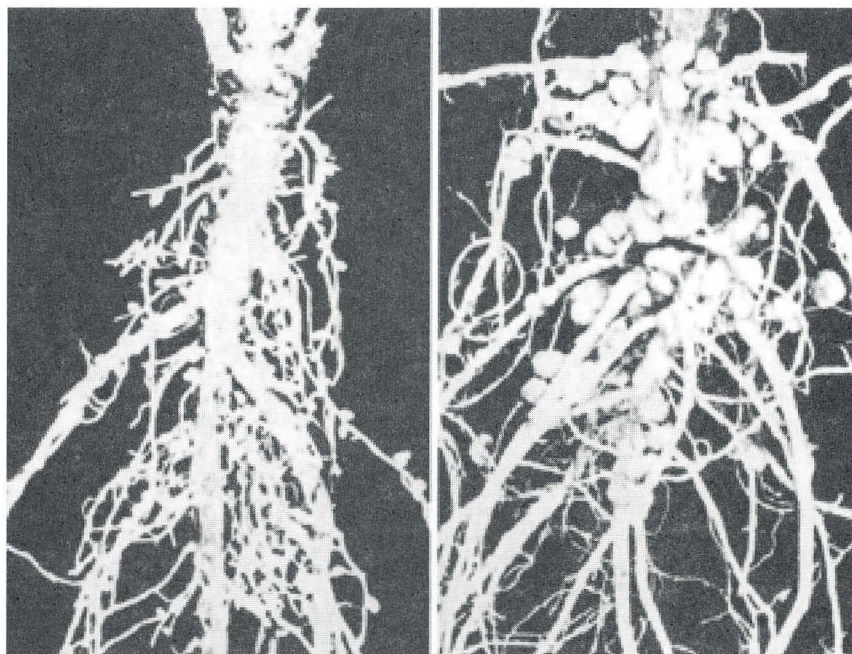


Figura 25 Raíces de leguminosas bien noduladas

Los rizobios son más abundantes en **rotaciones** con leguminosas y en la proximidad de las raíces.

Algunas cepas de rizobio persisten bien en suelos secos, siempre que la temperatura no sea muy alta y el pH muy bajo. Ciertos grupos de bacterias de los nódulos de las raíces, pierden su viabilidad en veranos largos y calurosos.

El proceso de nodulación: La formación de nódulos se inicia con la liberación de productos de excreción vegetal, que son estimulantes para las bacterias de la zona radicular (rizósfera). De esta manera el rizobio y una variedad de tipos microbianos pueden agruparse en diferentes sitios adyacentes a las raíces.

En la mayoría de las leguminosas, el ingreso de la bacteria ocurre a través de los pelos radiculares, que en presencia de la bacteria adecuada, sufren una deformación o enroscamiento. Luego se produce la infección real de la bacteria (algunas plantas son invadidas en formas diferentes). En esta etapa, la pared del pelo radicular se invagina y la invaginación continúa convirtiéndose en una estructura tubular. Sólo un 5% de los pelos radiculares infectados, producen nódulos.

Siguiendo la penetración microbiana dentro del pelo radicular, se forma un **cordón**

de infección parecido a una hifa. Después el cordón se ramifica dentro del nódulo en desarrollo, y las bacterias son liberadas en el citoplasma del simbionte, para multiplicarse ahí. Poco antes o después de la liberación, tiene lugar un período de rápida división celular en la célula del hospedero.



Figura 26 Cordón de infección

La mayoría de los nódulos, se derivan de una sola cepa de *Rhizobium* que prolifera fuera de la raíz, pero a veces puede originarse un nódulo a partir de células de más de una cepa.

Existen diferencias importantes en la morfología de los nódulos, entre las leguminosas. Los tréboles rojo y blanco tienen estructuras en forma de basto y lobuladas; los nódulos de la alfalfa están más ramificados y son más largos, mientras que en el caupí, maní y fréjol lima, los nódulos presentan una forma esférica.

En algunas plantas como el fréjol terciopelo, los nódulos pueden alcanzar el tamaño de una naranja, mientras que en otras leguminosas no tienen más que unos milímetros de diámetro.

Las leguminosas con raíces fibrosas, tienen, con frecuencia, una mayor abundancia de nódulos respecto de las plantas con raíces primarias bien formadas; las plantas que tie-

nen nódulos grandes tienen sólo unos pocos, mientras que las raíces con estructuras pequeñas los tienen en cantidades mayores.

La **infectividad**, es la capacidad de una cepa para nodular un hospedero dado. La capacidad de la asociación planta - bacteria, para asimilar N molecular, se conoce como **efectividad**.

Muchas cepas de *Rhizobium* son muy efectivas, mientras que otras no son para nada, efectivas (inefectiva). Una cepa que no permite la fijación a una tasa que cubra las demandas del hospedero, es parcialmente efectiva o directamente, no es efectiva.



La presencia de nódulos no garantiza que un cultivo de leguminosa pueda beneficiarse con N₂.

El medio ambiente influye en el desarrollo de la asociación simbiótica; así, los niveles inadecuados de nutrientes alteran el desarrollo de los nódulos, que usualmente son el reflejo del crecimiento anormal de la planta. La nodulación tiene lugar a temperaturas (del suelo) que tolera la planta. La abundancia de nódulos se reduce en los extremos más fríos y más calientes. La falta de luz y bajos niveles de CO₂ tiende a disminuir el peso y número de los nódulos. **Después de las adiciones de nitrógeno, se observa una reducción del número y peso de nódulos.**

Fijación de nitrógeno atmosférico: La ganancia de nitrógeno en un suelo con leguminosas, está determinada por la especie y las prácticas de cultivo.

Cuando se incorpora abono verde, la ganancia de N y materia orgánica es alta pero cuando la leguminosa se da como forraje y se regresa el estiércol al campo, la ganancia es apreciable.

En cambio, cuando se corta la parte aérea del cultivo para forraje fresco o forraje para ensilaje, hay un pequeño incremento de nitrógeno. Esta última práctica es de importancia porque el contenido de N del suelo no disminuye, a pesar de la remoción de grandes cantidades de material proteínico.

Por lo general, la ganancia de N es grande en la combinación gramínea - leguminosa y en las leguminosas solas, como alfalfa, trébol o chocho.



En nuestro medio es común la producción de leguminosas en verde como: habas, arveja, fréjol, etc. En este caso es importante recomendar la incorporación de los residuos después de la cosecha, que aporta considerables cantidades de nutrientes al suelo, como es el caso del haba.

Una idea de las ganancias de N bajo condiciones óptimas, se obtiene a partir de las siguientes cifras:

Cuadro 15 Ganancias de nitrógeno por cultivo bajo condiciones óptimas

Cultivo	kg de N ₂ fijado/ha/año
Alfalfa	125 – 335
Trébol rojo	85 – 190
Chícharo	80 – 150
Soya	65 – 115
Caupí	65 – 130
Arveja	90 – 155
Chocho (floración)	300 – 650

Fuente: INIAP

La alfalfa es uno de los fijadores de nitrógeno más eficiente; bajo condiciones normales de cultivo, en regiones templadas. Es común encontrar cifras de 100 kg/ha/año de nitrógeno fijado. También, el trébol, la vicia, el chocho, el haba, la arveja y el fréjol son buenos fijadores de N₂ y deben ser considerados en los sistemas de rotación de cultivos y producción de abono verde, con el fin de mejorar la fertilidad de los suelos.

El efecto benéfico de los cultivos con leguminosas puede persistir por tres o más años.

Las especies leguminosas arbóreas, de mayor interés en la sierra, desde el punto de vista de fijación de nitrógeno en sistemas agroforestales, son la *Erythrina*, *Inga* y algunas especies introducidas de acacia como *Melanoxylon*, *Dealbata* y *Cyanophyla*. La acacia negra (*Robinia pseudoacacia*) brinda una ganancia lenta pero apreciable de nitrógeno.

¿Cuáles son los métodos de inoculación de *Rhizobium*?

Se han desarrollado varios métodos de inoculación. Uno de los más primitivos, es la aplicación de suelo obtenido de un campo previamente cultivado con la leguminosa. Esta técnica no es segura, ya que al aplicarse los microorganismos activos, rizobios ineficientes, pueden mezclarse patógenos de plantas y semillas de malezas.

Un método mejor, es el uso de **nódulos efectivos**, obtenidos de plantas de la misma especie. Los nódulos son homogenizados, suspendidos en agua y aplicados a la semilla en el momento de la siembra.

Otra técnica es la de cubrir las semillas con una suspensión de las bacterias cultivadas en medios líquidos o en cultivos de agar.

En los últimos años, portadores sólidos han reemplazado a los anteriores. Para su preparación:

- Tomamos una suspensión concentrada de rizobios que crecieron en fermentadores.
- Mezclamos con turba finamente molida o una mezcla de carbón y turba.

- Humedecemos tanto las semillas con agua como el inoculante y mezclamos con la semilla húmeda, antes de la siembra.

Es común encontrar incrementos en peso seco de nódulos y/o producción, como resultado de la inoculación. Por otro lado, cuando los rizobios naturales son numerosos y eficientes, la respuesta, medida en términos de producción o asimilación de nitrógeno, puede ser escasa o nula.

Excreción de nitrógeno: Los pastos forrajeros (gramíneas) y los cereales, que crecen junto con leguminosas, a menudo contienen más nitrógeno que los cultivos que crecen solos.

El efecto benéfico de los cultivos mixtos se suele atribuir a la excreción de nitrógeno de las leguminosas, por medio de la liberación activa del nitrógeno, obtenido de la atmósfera a través de las raíces. Se observaron beneficios en cultivos mixtos como maíz con soya o caupí; pasto, rye grass con trébol, etc.

Como regla general, se liberan pequeñas cantidades de N por las raíces de las leguminosas. Solo una parte del N que necesitan las plantas adyacentes, puede ser proporcionado por este mecanismo.

Influencias del medio ambiente: La cantidad de nitrógeno adquirido por las leguminosas en la simbiosis con *Rhizobium*, depende de varios factores:

- tipo de leguminosa,
- efectividad de la bacteria,
- contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo,
- pH, y
- presencia de nutrientes secundarios.

Por otro lado, hay que considerar los factores climáticos y estacionales.



En suelos de la Estación Experimental Santa Catalina, la aplicación de niveles crecientes de cal, incrementó la formación de nódulos de *Rhizobium* (en número y peso) en el cultivo de haba. Este efecto se atribuye al incremento del pH del suelo y a la reducción en el contenido de aluminio del suelo, que favorecen la nodulación y la fijación de N_2 .

En cultivos de leguminosas como haba, fréjol, arveja, tréboles, etc., aplicaciones de N al suelo, en cantidades superiores a 40 kg/ha, inhiben la fijación simbiótica de N_2 . Por esta razón, en suelos pobres, se recomienda aplicar de 20 a 40 kg/ha de N a la siembra, siempre que se tenga la certeza de que el suelo, tiene la cepa de *Rhizobium* adecuada.

En fréjol en condiciones de invernadero, con soluciones nutritivas, se observó que el nitrógeno inhibió la nodulación. Cuando no se aplicó N a la solución nutritiva aparecieron nódulos en las raíces.

En campo con fréjol, se evaluó la eficiencia de *Rhizobium* y la adición de 40 kg/ha de N inorgánico. Los resultados presentaron una mayor eficiencia del *Rhizobium* en sue-

los pobres en nitrógeno.

La fijación de N_2 , también se realiza en la oscuridad, aunque a una tasa baja, de manera que las fuentes de energía almacenadas en la raíz, deben también ser movilizadas para este propósito.

Una vez fijado el nitrógeno, es transportado del nódulo al resto de la planta.

Los nódulos de las leguminosas, que metabolizan activamente el N_2 son de color rojo, por la presencia de una sustancia que contiene hierro, conocida como leghemoglobina.

Los nódulos de rizobios inefectivos no tienen ni leghemoglobina ni pigmentación roja; por lo que, **examinando visualmente los nódulos, es posible determinar la capacidad relativa para una fijación activa de N_2 .**

La leghemoglobina estimula la utilización de O_2 y favorece la fijación. Está localizada en el nódulo, fuera de la bacteria, entre la célula microbiana y la membrana de la planta.

Fijación no simbiótica de nitrógeno

La fijación biológica no simbiótica del nitrógeno (N_2) es efectuada por bacterias de vida libre o algas verde - azules. Hasta ahora, se ha identificado que las siguientes cepas de microorganismos son capaces de fijar N_2 :

- **Bacterias:** aerobias, anaerobias facultativas, anaerobias y fotosintéticas,
- **Algas verde azules,**
- **Actinomicetos** (algunos),
- **Hongos** de los géneros *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium*, y *Phoma*.

¿Cuáles son los factores que afectan la fijación de nitrógeno?

La fijación de N_2 por organismos de vida libre es afectada por características físicas y químicas del hábitat. O sea por:

La disponibilidad de nutrientes: como molibdeno, hierro, calcio y cobalto que son críticos para la reacción de fijación.

La disponibilidad de energía: como la presencia de azúcares, celulosa, residuos orgánicos, etc. con proporciones altas de C/N (relación carbono-nitrógeno) que favorecen la fijación de N_2 en condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

El pH: en general. Ambientes con pH menores a 5,0 están libres de organismos.

Humedad del suelo: cuando hay poca agua las ganancias de nitrógeno son insignificantes. La actividad es grande a la capacidad de campo o cerca de ésta y ocasionalmente en condiciones de anegamiento.

Temperatura: a bajas temperaturas, hay poca actividad microbiana, siendo mayor a temperaturas moderadas.

Ganancias de nitrógeno en el suelo: Para que la fijación de N_2 sea apreciable se deben satisfacer tres condiciones:

- las poblaciones de bacterias y algas deben ser grandes;
- la tasa de multiplicación de bacterias alta; y
- la mayor parte del N debe venir de la atmósfera.

Las mediciones de la fijación de nitrógeno en varios ambientes, en diferentes tipos de suelo y de cultivos, reportan tasas de fijación de N_2 de 0.15 a 30 kg/ha/año.

Fijación de nitrógeno asociada con raíces

Existen evidencias sobre una asociación débil, entre las raíces de algunas especies de plantas superiores y bacterias heterótrofas no simbióticas, fijadoras de N_2 . Estas bacterias difieren de *Rhizobium*, en que no están localizadas en nódulos especializados o protuberancias de las raíces, sino que crecen en la superficie radical y hacen uso de los exudados carbonados para satisfacer sus demandas energéticas. Hay tres géneros de bacterias:

- *Azotobacter*,
- *Beijerinckia*, y
- *Spirillum*.

Spirillum se encuentra en las raíces del maíz, trigo, sorgo y *Panicum maximum*, dependiendo de la planta, pueden ser fijados cada día de 2 a 100 g/ha de N_2 .

Entre los cultivos que se presume, se benefician de la inoculación de azotobacterias están: maíz, avena, trigo, cebada, remolacha azucarera, papas, col, tomates, zanahorias y algodón. Se reportan aumentos de producción de un 10%. Con frecuencia se requiere una mayor estimulación a las bacterias.

Fijación de nitrógeno por plantas no leguminosas

Algunos géneros de angiospermas no leguminosas, poseen nódulos en sus raíces, en una de las etapas de su ciclo de vida, en las que se ha confirmado la capacidad para hacer uso del N_2 .

En ciertos ambientes, estos géneros pueden ser más abundantes que las leguminosas, de tal manera que los nódulos formados para asimilar N_2 tienen una considerable importancia ecológica.

El aliso ha sido muy estudiado, la especie *Alnus*, asimila N_2 a una velocidad adecuada para permitir un rápido desarrollo en suelos deficientes en N.

El análisis químico del suelo con alisos, muestra un incremento en el contenido de nitrógeno. El pH óptimo para la fijación es de 5,5 a 6.

Igual que con las leguminosas, la cantidad de N que ganan las angiospermas, varía con el tipo de suelo, las condiciones climáticas y la edad de la planta.

Los reportes de ganancia de nitrógeno para especies de *Alnus*, son de 12 a 200 kg/ha/año y para especies de *Hippophae* de 27 a 179 kg/ha/año.

Las pruebas en localidades aisladas, para *Casuarina*, sugieren una fijación de: 58 kg/ha/año, para *Ceanothus* 60 kg/ha/año y para el “laurel” *Myrica* sólo cerca de 10 kg/ha/año.

1.5.4

MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Los residuos orgánicos son atacados, transformados y descompuestos por la mesofauna del suelo, así como también por los microorganismos, quienes llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica, produciendo polisacáridos, anhídrido carbónico, agua, nitrógeno en forma amoniacal y nítrica, proceso denominado “**mineralización**” o **descomposición microbiana**.



La materia orgánica (MO) es la fuente de energía para los microorganismos y es el centro de casi todas las actividades biológicas que ocurren en el suelo, incluyendo las de la microflora, fauna y hasta las del sistema radicular de las plantas superiores.

Los restos de vegetales y animales son compuestos orgánicos, que durante el proceso de transformación, son degradados y depolimerizados (o sea descompuestos, desdoblados).

Después de la **destrucción mecánica y física**, de los residuos, se produce el ataque por los microorganismos, sobre la base de sus jugos digestivos y enzimas, efectúan la **biodegradación** de los compuestos orgánicos, con la consecuente liberación de minerales.

Los microorganismos que intervienen en este proceso se agrupan de la siguiente manera (Fassbender, 1985):

Microflora: Bacterias, actinomicetos y hongos.

Microfauna: Rhizopodos, flagelados y ciliados.

Macrofauna: Nemátodos, lombrices, hormigas, termitas y colembolos.

Los factores principales que rigen la descomposición de la MO son:

- cantidad de materia orgánica del suelo,
- cultivo,
- temperatura,

- humedad,
- pH,
- profundidad y
- aireación.

Es evidente que estas condiciones ambientales afectan el crecimiento microbiano y modifican la tasa de transformación, tanto de la materia orgánica nativa, como de los compuestos agregados.

Inicialmente, se creía que la descomposición de la MO en un bosque, comenzaba al caer las hojas. Pero, según los resultados de estudios realizados en zonas sin alteración, demuestran que la descomposición comienza cuando la hoja está en el árbol.

La infección microbiana se inicia en la yema, con los hongos Basidiomicetos como *Sporobolomyces roseus*, que se alimentan de carbohidratos simples, aminoácidos y sales minerales (exudados de la hoja). Los Basidiomicetos son hongos invasores de la “**filopiana**” o superficie de la hoja. No son parásitos.

A la **vejez o senescencia** de la hoja, estos son sustituidos por los hongos ascomicetos y deuteromicetos, que degradan polisacáridos, almidones y celulosa. Es decir, cada especie de hongos, tiene una capacidad de biodegradación. Esta segunda colonización está en relación con el tipo de árbol. En el pino, son diferentes los hongos que lo colonizan. Luego la hoja cae y son remplazados por hongos del suelo.

Los hongos de la **tercera colonización** o del suelo son: *Penicillium*, *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Mucor* sp., etc.



El pino tiene fenoles, que producen resinas inhibidoras de la actividad microbiana del suelo, lo cual demora su descomposición; además, la relación C/N es alta, provocando inmovilización de N.

El humus es amorfo y no cristalino, el área superficial y la capacidad adsorptiva (adhesiva) del humus, es mucho mayor que el de las arcillas. La CIC del humus es de 150 a 200 me/100g (miliequivalentes por cien gramos); mientras que en la mayoría de las arcillas varía entre 8 a 100 me.

El contenido de N del humus varía de 1 a 6%, el contenido de carbono está entre 40 a 58%, la relación C/N es del orden del 10 a 12.



Las inclusiones de materia orgánica en la matriz mineral del suelo, pueden hacer que la materia orgánica quede inactiva por muchos años. Es el caso de los suelos volcánicos del Ecuador, que poseen materiales amorfos, en los cuales queda atrapada la materia orgánica; éste humus contribuye, anualmente, con pequeñas cantidades de nutrientes para el desarrollo de las plantas.

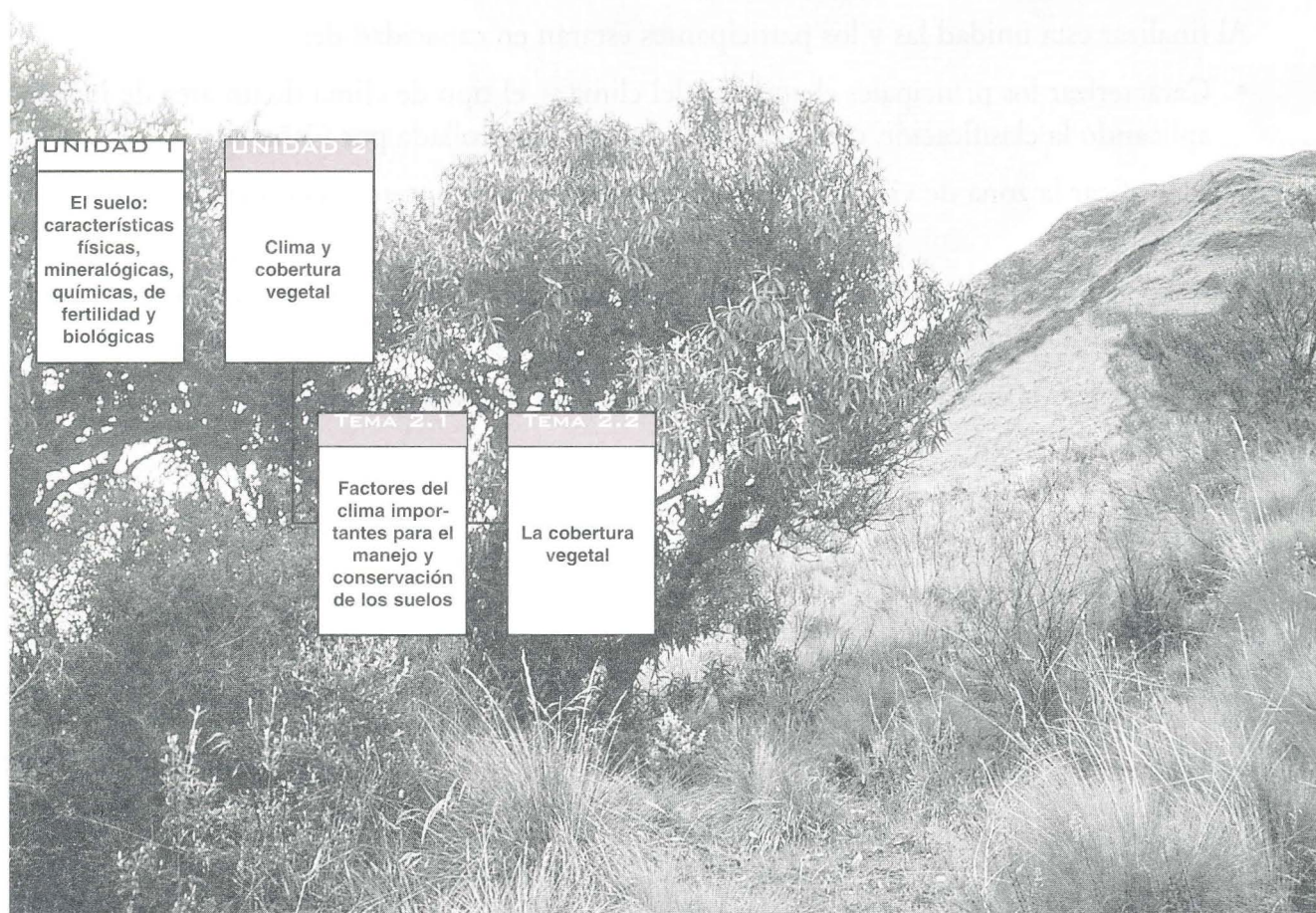
Cuadro 16

Relación C/N de algunos materiales

Material	Relación C/N
Bacterias	4:1
Hongos	9:1
Humus	10:1
Trébol	12:1
Estiércol (descompuesto)	20:1
Mantillo (bosque)	30:1
Tallos de maíz	60:1 - 90:1
Aserrín	250:1 - 400:1

Una relación, menor a 17 significa que habrá **mineralización neta**. Una mayor de 30 representa **inmovilización neta**.

El humus absorbe grandes cantidades de agua y demuestra propiedades de expansión y contracción. Las propiedades de adhesión y cohesión no son tan marcadas como en los coloides minerales. El humus es menos estable debido a la actividad microbiana.



RESUMEN

En esta unidad se analiza la estrecha relación y el equilibrio natural que existe entre el clima, los suelos que se forman y la vegetación que se desarrolla y los cubre.

Se caracterizan los principales elementos del clima (temperatura, lluvia, vientos y evapotranspiración) que influyen sobre el tipo de vegetación y la formación y degradación de los suelos por erosión, tomando en cuenta las particularidades de la Sierra andina ecuatoriana.

Se aborda la clasificación del clima del Ecuador, las zonas de vida de Holdrige y se caracterizan las 25 zonas de vida del Ecuador. Además, se brindan los elementos para la determinación de los meses ecológicamente secos, aplicando el Diagrama Ombrotérmico.

Finalmente, se analiza la importancia de la cobertura vegetal como protectora del suelo y reguladora de la relación suelo-agua; y, se incluye una guía para la caracterización de la cubierta vegetal y el uso actual del suelo, tomando como referencia el grado de protección relativa al suelo.



OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar esta unidad las y los participantes estarán en capacidad de:

- Caracterizar los principales elementos del clima, y el tipo de clima de un área de interés, aplicando la clasificación climática del Ecuador, desarrollada por Cañadas;
- Identificar la zona de vida a la que pertenece un área de interés, según la clasificación de Holdrige;
- Determinar el número de meses ecológicamente secos en un área de intervención, aplicando el diagrama ombrotérmico;
- Caracterizar la cobertura vegetal y el uso actual en un área de interés.

Existe una estrecha relación y un equilibrio natural entre el clima de un lugar, los suelos que se forman y la vegetación natural que se instala y los protegen. Esta situación se alcanza después de un lento proceso de reciclaje natural.

El clima y los cambios atmosféricos han intervenido e intervienen en todas las actividades de las personas: migraciones, descubrimientos geográficos, hechos bélicos, reacciones frente a los períodos de sequía e inundaciones, épocas de escasez y abundancia, costumbres y manifestaciones culturales, etc.(Maldonado, 1995).

Entonces, es indispensable tener una caracterización adecuada del clima, para poder establecer las relaciones causa - efecto de:

- las condiciones biofísicas y las socioeconómicas, con
- los procesos de erosión y degradación de los suelos.

Esta información nos facilitará las bases para el diseño e implementación, participativos, de las soluciones para el manejo y conservación de los suelos.

Los principales elementos del clima son:

- Radiación solar
- Temperatura
- Precipitación
- Presión atmosférica
- Viento
- Humedad del aire
- Evapotranspiración

De los anteriores elementos, los de mayor importancia para la toma de decisiones sobre el manejo y conservación de los suelos son: la temperatura, la precipitación, el viento y la evapotranspiración.

2.1.1

TEMPERATURA



La temperatura es una variable que indica el promedio de la energía calórica que tienen las moléculas que conforman una sustancia.

Las unidades de medición tradicionales son el grado Celsius (°C) y el grado Fahrenheit (°F).

Para convertir grados Fahrenheit a grados Celsius, se tiene:

$$T\text{ }^{\circ}\text{F} = (T - 32) \frac{5}{9} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

La temperatura del suelo puede ser modificada por las personas. Por ejemplo, mediante surcos, podemos lograr un mayor calentamiento de la zona de raíces (comparable con lo que se da en la macro-topografía: la ladera que da hacia el oriente se calienta más temprano en el día, que la ladera que da hacia el occidente).

Con los trabajos culturales como la **roturación** y el **aporque**, también se cambia la conductividad térmica que influye en la temperatura del suelo.

Lo mismo ocurre, si regamos con agua de una temperatura diferente a la del suelo. Por eso el **riego nocturno limita la incidencia de heladas**.

Con relación a la temperatura del aire, varía con la altitud. **A mayor altura menor temperatura.**

En la troposfera, (tropos = cambio), la temperatura **disminuye con la altura**, con 5°C/km (grados centígrados por kilómetro).

La temperatura se mide con un **termómetro**. Cuando decimos “temperatura”, normalmente nos referimos a la temperatura del aire.

La temperatura debe medirse:

- en un abrigo meteorológico (caseta de Stevenson) y
- a 2 m de altura.

La medición se puede realizar a diferentes horas del día, que deben ser especificadas. De las diferentes mediciones, se pueden extraer valores extremos y promedios. El INAMHI mide la temperatura a las 07, 10, 13, 16 y 19 horas. *La temperatura media diaria* es el promedio de estos 5 valores (Maldonado, 1995).

Valores en la sierra ecuatoriana:

Por su ubicación en la línea ecuatorial, en cada punto del Ecuador, la temperatura media diaria, casi no varía durante el año. La temperatura media anual, es prácticamente, igual para cada lugar que tiene la misma altitud.

La relación entre altitud y temperatura media es bastante sencilla y puede ser expresada en fórmulas, una de ellas es la de Teodoro Wolf:

$$T = (26 - \text{Alt.} / 200) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Las **isotermas** son líneas, que en un mapa, unen los puntos que tienen una misma temperatura media. Permiten apreciar la distribución geográfica de la temperaturas medias.

Por la situación geográfica del Ecuador, la variación de la temperatura durante el día *-temperatura momentánea-*, es más importante, que la variación de la temperatura media diaria durante el año, sobre todo, a mayor altitud.

La **temperatura momentánea** tiene una variación cíclica durante el día. El momento más frío del día es antes de la salida del sol. La temperatura más alta, no se da al me-

diodía, sino algún tiempo después (14H00). Antes de ponerse el sol, ya existe un enfriamiento importante. Todo esto funciona en una situación normal, sin influencia de lluvia, viento o nubosidad.

¿Cómo reaccionan las plantas a los cambios de temperatura?

Cada cultivo tiene su rango de temperaturas óptimas. Los cultivos de origen tropical están acostumbrados a una temperatura constante. Los cultivos que vienen de latitudes mayores, como por ejemplo el manzano, a veces necesitan una variación determinada en la temperatura.

En el Ecuador, la relación inversa entre altitud y temperatura (a mayor altitud menor temperatura), se ilustra en el siguiente gráfico. Se dan los límites para el cultivo del banano, café, maíz, etc., las zonas de maduración (temprana, intermedia, tardía) y la duración de los ciclos vegetativos.

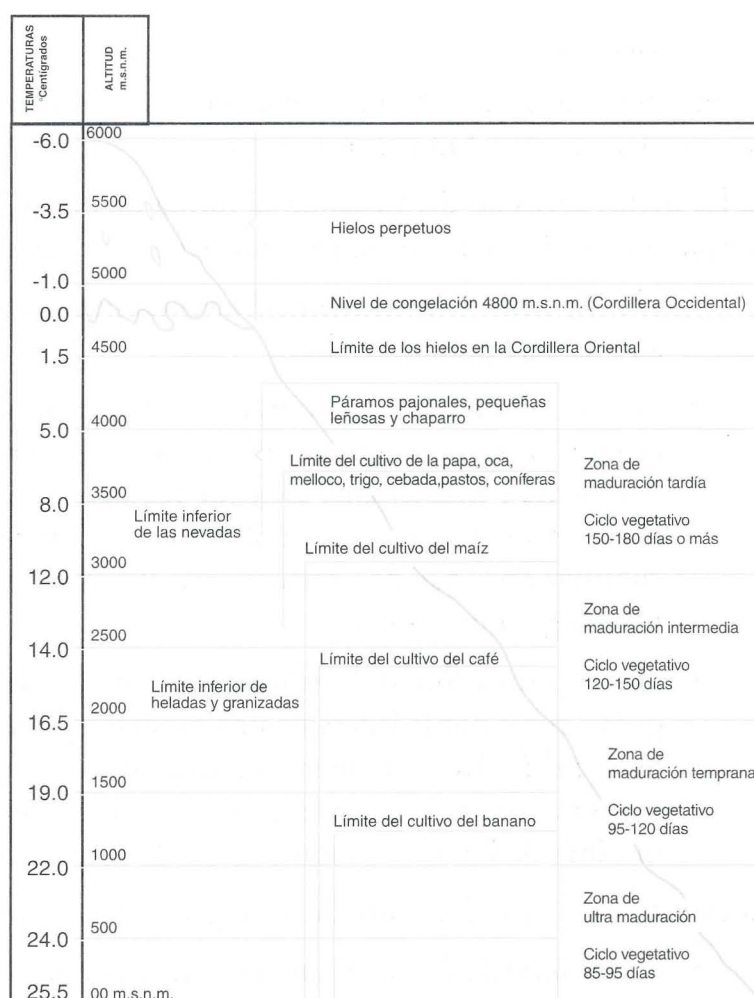


Figura 27 Relaciones de altitudes y temperaturas en el Ecuador. (Hernández et al. 1998).

2.1.2 PRECIPITACIÓN

Cuando hablamos de precipitación, pensamos en la lluvia. Pero desde la climatología, **precipitación** es todo producto de condensación o sublimación de los vapores de agua de la atmósfera, que llega a la superficie de la tierra.

Las diferentes formas de precipitación son:

lluvia (diámetro de gota mayor a 0,5 mm),
llovizna (diámetro de gota menor a 0,5 mm),
nieve,
granizo,
rocío, y
escarcha.

Las pequeñas cantidades de precipitación, que humedecen las superficies de las hojas, pueden ser absorbidas directamente.

Para las tierras agrícolas del Ecuador, la forma de precipitación más importante es la lluvia, que puede subdividirse en tres categorías, según cómo se forme:

- Lluvias *ciclónicas*: resultan del levantamiento del aire, que converge en un aire de baja presión (ciclón).
- Lluvias *convectivas*: se producen por lo general en las tardes calurosas, cuando el movimiento ascendente convectivo es máximo. La masa de aire caliente y más liviana, asciende rápidamente y supera el nivel de equilibrio (nivel de condensación) donde se enfría, formando nubes de tipo cumuliforme, que dan origen a una lluvia puntual, muchas veces violenta y de gran intensidad.
- Lluvias *orográficas* o de *relieve*: ocurren cuando una masa de aire es obligada a subir por la ladera de una montaña y, en el ascenso, necesariamente se enfría. Este fenómeno produce lluvias de baja intensidad, que son siempre mayores a barlovento. En las cadenas montañosas importantes, el máximo de lluvia se produce antes de la divisoria de aguas.

Para caracterizar la precipitación de un lugar se debe considerar:

- la *cantidad* de lluvia en un cierto tiempo, por ejemplo día, mes o año; y,
- la *intensidad* de la lluvia que cae en cierto momento.

A estos valores podemos aplicarles operaciones estadísticas, por ejemplo, para obtener valores extremos o promedios.

La **cantidad de lluvia** se mide en unidades lineales, generalmente mm (milímetros) o pulgadas. La lámina de 1 mm de agua, se la traduce a volumen (m^3) por superfi-

cie (hectárea) de la siguiente manera:

$$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = 1 \text{ l/m}^2$$

La *intensidad de la lluvia* es muy importante, porque de ella depende la cantidad de agua infiltrada al suelo. La lluvia que infiltra al suelo es denominada lluvia efectiva. La intensidad se expresa en mm por unidad de tiempo, por ejemplo: 15 minutos, 30 minutos o 1 hora.

(I_{30}) significa la intensidad de la lluvia en 30 minutos. Este valor es muy usado para calcular la cantidad de agua que fluye sobre el terreno y también como dato de diseño para las obras de conservación, tales como canales de desviación, etc.

Si la intensidad de lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del suelo, el agua no podrá infiltrarse totalmente. Entonces, dependiendo de la topografía, el agua se estanca o fluye sobre la superficie del terreno. A este flujo se le llama *escorrentía o escurrimiento superficial*, y es el que determina la pérdida de suelo (por desprendimiento y transporte) que llamamos *erosión hídrica*.

El escurrimiento superficial y la erosión hídrica dependen además de:

- la intensidad y duración de la precipitación (factor R)
- la erodabilidad del suelo (factor K)
- la topografía (gradiente y longitud de la pendiente, factores S y L),
- el manejo del cultivo (factor C) y
- las prácticas de control contra la erosión (factor P).



La información sobre las máximas intensidades de lluvia en un lugar y su frecuencia de ocurrencia, es de fundamental importancia para el diseño de las obras de conservación de suelos. Desgraciadamente, en muchos lugares del país, no se dispone de estos datos, entonces se asume que la máxima cantidad de lluvia registrada en un día, ha caído en una hora.

El *régimen pluviométrico* corresponde a la variación, de las sumas mensuales de lluvia durante el año, y representa una característica importante del clima de cada lugar. Para el Ecuador continental se ha identificado un tipo de régimen pluviométrico para cada una de las tres regiones naturales:

- Tipo "*Costa*": lluvia abundante durante los 3 o 4 primeros meses del año de enero a marzo o abril.
- Tipo "*Sierra*": con dos meses máximos de lluvia, abril y noviembre, y dos con lluvia mínima, julio y enero.

- Tipo "*Amazónico*": lluvia abundante todo el año, con un pico mayor entre mayo y julio.

Las *isoyetas* son líneas que, en un mapa, unen lugares con iguales valores de lluvia anual y permiten apreciar la distribución geográfica de la lluvia y las diferentes influencias. Por ejemplo, la influencia de la distancia al mar o de las montañas.

Para la construcción de *isoyetas* se toman en cuenta estos dos últimos factores aparte de los valores medidos y conocidos. **Las isoyetas normalmente corren paralelas a las curvas de nivel.**

El agua de lluvia, tiene una composición física diferente al agua destilada, porque al descender desde las nubes, arrastra diferentes compuestos químicos del aire (polvo atmosférico, polen, microorganismos diversos, ácido sulfuroso, nitrógeno, amoníaco y diversas sales). La cantidad de nitrógeno que puede aportar la lluvia al suelo, no es despreciable, pudiendo alcanzar una docena de kilos de N₂ por hectárea por año (Ilaco, 1981).

¿Cómo medimos la precipitación?

La precipitación se mide con un **pluviómetro**, que normalmente se lee una vez por día, a las 07H00.

Un **pluviógrafo** es un pluviómetro que registra el nivel del agua en un gráfico, a lo largo de un período de tiempo. Este aparato permite determinar la intensidad de la lluvia. Existen pluviógrafos que no requieren de lecturas diarias.

Para realizar trabajos estadísticos sobre la precipitación en un lugar determinado, conviene que tengamos una serie de datos de largos períodos. Suele suceder que nos falten datos dentro de una serie. Ahí podemos completar la serie, usando promedios de la misma serie o valores generados a través del comportamiento dentro de la serie o por una correlación con otra serie, perteneciente a otro lugar.

2.1.3

VIENTO

El viento es el aire en movimiento, como consecuencia de las diferencias de presión. El movimiento del aire tiene algunos efectos positivos sobre la naturaleza:

- Ayuda al intercambio de CO₂, que es uno de los principales elementos de la fotosíntesis.
- Incrementa la transpiración y la fuerza evaporativa del aire.
- Transporta grandes cantidades de polen producido por las plantas.

Pero también puede causar daño, por ejemplo en las zonas muy azotadas por el viento, el crecimiento de los vegetales puede ser retardado. El viento transporta el

suelo, fenómeno que se denomina **erosión eólica**.

El movimiento del aire se da desde la zona de alta presión, hacia aquella de baja presión. La velocidad del viento será mayor, mientras más alta sea la diferencia de presión por unidad de longitud. La diferencia de presión por unidad de longitud se llama *gradiente de presión*. En un mapa meteorológico, el gradiente de presión es más alto donde están más cercanas las *isobaras*, que son las líneas que unen lugares de igual presión.

Los cambios de temperatura en la superficie terrestre, causan un cambio en el viento entre el día y la noche. Una situación inestable durante el día se convierte en una inversión térmica nocturna, por la desaparición de la radiación solar. Durante la tarde y la noche, la masa fría se convierte en masa caliente y en la mañana, cambia otra vez. Por esto hay un ritmo diurno en el viento.

Durante la noche aumenta mucho la fricción, entonces, el viento en la mañana, es de menor velocidad. Durante el día, en la masa fría disminuye la fricción, y aumenta la velocidad del viento. En la tarde, el viento es más fuerte. Con el cambio de fricción, se da también un cambio en la dirección del viento.

En muchos lugares se dan vientos locales, con una gran influencia en el clima. Un ejemplo de un viento local, es la brisa de relieve o de montaña. De día, por el calentamiento producirá un movimiento del aire hacia arriba, originando normalmente nubes. Por la noche, la circulación cambia y desaparecen las nubes.

El **viento nocturno** puede causar un enfriamiento importante, en combinación con una *radiación saliente* fuerte. Este viento frío **puede causar daños a los cultivos**. De darse esta situación, podemos proteger los cultivos, haciendo caminos para el viento, en los senderos sin sembrar. En la Sierra ecuatoriana, muchas veces, las quebradas cumplen esta función.

La influencia de los Andes sobre los vientos no es considerada como viento local, por las grandes dimensiones de esta cadena montañosa. La montaña obliga al viento a elevarse, por lo que, en barlovento, se producen neblina y lluvias; mientras que a sotavento se producen vientos montañosos calientes y secos (Maldonado, 1991).

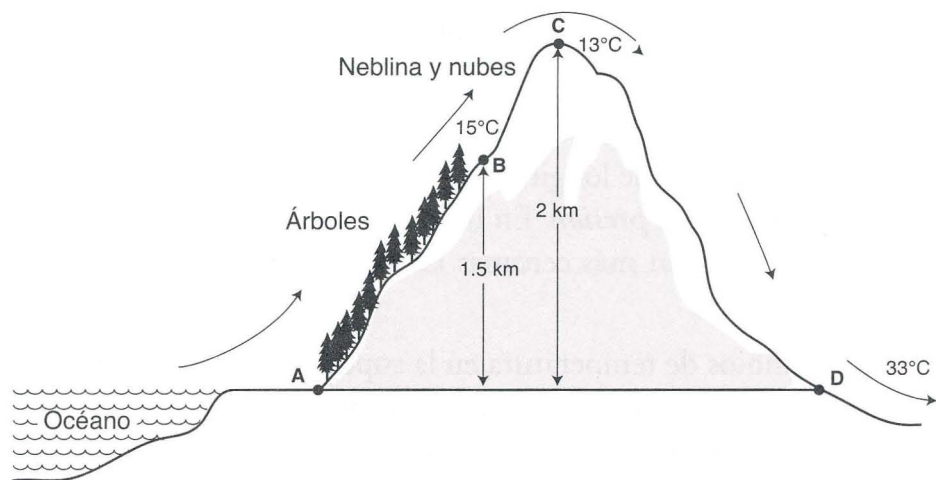


Figura 28 Influencia de una montaña sobre la temperatura en barlovento y sotavento
(Burgmeijer, 1998)

¿Cómo medimos la intensidad de los vientos?

En la medición del viento importan su **velocidad** y su **dirección**.

La velocidad del viento se mide con un anemómetro. La velocidad del viento puede expresarse en diferentes unidades:

m por segundo,
kilómetros por hora, y
nudos.

Un nudo es una milla marítima (1.852 m) por hora y, numéricamente, en la práctica equivale a medio metro por segundo de velocidad. Por ejemplo, 3 m/s equivale a 6 nudos.



En la tarea de manejar y conservar los suelos en un lugar específico, es de fundamental importancia el conocer la velocidad del viento y su frecuencia de ocurrencia, por cuanto son elementos determinantes de la **erosión eólica, que corresponde al desprendimiento y transporte de las partículas del suelo por la acción del viento.**

En el cuadro 17, encontramos la relación entre la velocidad del viento en nudos y la fuerza del viento, según la escala de Beaufort. Las velocidades del viento son las que se miden a una altura de 10 m sobre la superficie terrestre.

Cuadro 17

Determinación de la velocidad del viento con la Escala de Beaufort. (Burgmeijer, 1998)

Grados Beaufort	Nombre del Viento	Velocidad ¹	Características
		m/s	
0	CALMA	0,0 – 0,5	El humo sube verticalmente.
1	VENTOLINA	0,6 – 1,7	El humo se dobla al viento.
2	SUAVE	1,8 – 3,3	Se siente en la cara, las hojas de los árboles se mueven apenas.
3	LEVE	3,4 – 5,2	Las hojas ya se agitan y las banderas se extienden.
4	MODERADO	5,3 – 7,4	Se mueven las ramitas y se levantan del suelo papeles y polvo.
5	REGULAR (fresquito)	7,5 – 9,8	Se mueven las grandes ramas y arbustos, y las aguas se encrespan.
6	FUERTE (fresco)	9,9 – 12,4	Grandes ramas agitadas. El viento silva y se oye en las casas.
7	MUY FUERTE	12,5 – 15,2	Árboles agitados. Dificultad de andar contra el viento.
8	TEMPORAL (borrasca)	15,3 – 18,2	Ramas rotas. El viento impide andar.
9	TEMPORAL, FUERTE	18,3 – 21,5	Pequeños objetos y tejas arrastrados.
10	TEMPORAL, MUY FUERTE	21,6 – 25,1	Árboles arrancados de cuajo o desgajados; notables desperfectos en los edificios.
11	TEMPESTAD	25,2 – 29,0	Devastaciones graves en todas partes.
12	HURACÁN	> 29,0	Promueve verdaderas catástrofes. Estos vientos se encuentran en el centro de los tifones o ciclones tropicales.

¹ 1 m/s = 3,6 km/h

La dirección del viento es la dirección **desde dónde viene** el viento. Decimos que un viento es del Oeste, cuando viene desde el Oeste y se dirige al Este (dirección Oeste-Este). La dirección del viento se registra con una veleta.

2.1.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La *evaporación* es el proceso físico por el cual el estado de una sustancia, cambia de líquido a vapor. Esto ocurre con el consumo de energía. La evaporación del agua puede darse desde una superficie de agua libre (río, lago), el suelo o la vegetación.

La *transpiración* de las plantas es un proceso fisiológico que ocurre a través de los estomas y de la cutícula de las hojas. La suma de los dos procesos, se denomina “*evapotranspiración*”(ET) y corresponde a la cantidad total de agua que retorna a la atmósfera en forma de vapor, durante el día. (Figura 29).

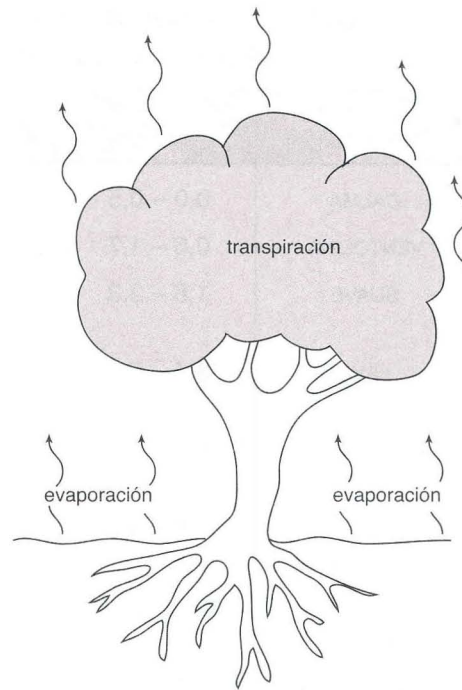


Figura 29 La evapotranspiración

La *evapotranspiración de referencia (ET₀)*, es la tasa de evapotranspiración de una extensa pradera de gramíneas en crecimiento activo, de 8 a 15 cm de altura, que cubre totalmente el suelo, con un suministro de agua, óptimo.

La *evapotranspiración potencial* de un cultivo es la evapotranspiración que se da cuando el cultivo presenta un crecimiento óptimo. El concepto está muy relacionado con la evapotranspiración de referencia, y para su cálculo, se multiplica éste con un factor dependiente del cultivo y su fase de desarrollo.

$$ET_{\text{cultivo, potencial}} = k_c ET_0$$

Con: k_c coeficiente del cultivo

El término “*uso consuntivo*” se refiere a la evapotranspiración potencial de un cultivo.

La *evapotranspiración actual o real* de un cultivo en una parcela, es la evapotranspiración que realmente se da. Puede ser menor a la evapotranspiración potencial calculada para el cultivo, por razones:

- climatológicas (por ejemplo menor radiación de lo previsto, por nubosidad),
- fisiológicas del cultivo (el cultivo está enfermo, para evitarse problemas cierra los estomas),
- agrohidrológicas (falta humedad en el suelo) o
- causas combinadas (por ejemplo el cultivo está cubierto de polvo).

¿Cómo se puede medir la evapotranspiración?

Por el momento no existen métodos para medir directamente la evapotranspiración. Lo más cercano, a una medición, es el monitoreo de un **lisímetro**, que es un tanque ubicado en una excavación de una parcela, con suelo y vegetación iguales al resto de la parcela, y que puede pesarse, mediante una balanza que se coloca en el fondo.

Para calcular la *evapotranspiración de referencia y la potencial*, existen algunas fórmulas, que usan uno o más datos meteorológicos.

Si existen datos de medición del tanque-evaporímetro, puede usarse la fórmula del tanque:

$$ET_0 = k_t * E_t$$

Donde:

ET_0 : Evapotranspiración potencial (mm/día)

k_t : Coeficiente de tanque

E_t : Evaporación del tanque (mm/día)

La fórmula teórica que da los mejores resultados es la de Penman, originalmente desarrollada en 1948. Esta fórmula se ha actualizado y en el programa computacional CROPWAT, de la FAO, se la usa con el nombre de Penman-Monteith. (Burgmeijer, 1998)

Para el **cálculo del requerimiento de riego**, se comparan los datos de la evapotranspiración potencial de los cultivos seleccionados con la precipitación efectiva probable. Multiplicando los déficit por las superficies a cultivarse y sumando estos productos sobre el total de la superficie, se obtiene el requerimiento de riego, expresado como caudal (l/s).

2.1.5 LA CLASIFICACIÓN DEL CLIMA

Debido a la gran diversidad de climas, a nivel mundial, se ha buscado clasificarlos describiendo sus características principales, con lo cual se desarrolló una diversidad de clasificaciones.

Una de las clasificaciones climáticas más usadas es la de Köppen (Burgmeijer, 1998)

Existe una clasificación climatológica específica para el Ecuador, desarrollada por Cañadas (1983), que considera los promedios anuales de temperatura y precipitación, cuyo esquema se presenta en el cuadro 18:

Cuadro 18

Clasificación climatológica específica para el Ecuador (Cañadas 1983)

	Temperatura del aire	Precipitación Atmosférica (mm/año)	Clima
Páramo	0 a 6°C	(1) $p < 200$	Desértico
Subtemperado	6 a 12°C	(2) $500 > p > 200$	Del Húmedo al Subdesértico
Temperado	12 a 18°C	(3) $1000 > p > 500$	Del Muy Húmedo al Muy Seco
Subtropical	18 a 22°C	(4) $1500 > p > 1000$	Del Lluvioso al Seco
Tropical	22 a 26°C	(5) $2000 > p > 1500$	Del Muy Lluvioso al Subhúmedo
		(6) $3000 > p > 2000$	Del Muy Lluvioso al Húmedo
		(7) $p > 3000$	Del Pluvial al Muy Húmedo

Especificaciones:

Páramo		Húmedo	Muy Húmedo	Lluvioso	Muy Lluvioso		
Subtemperado		Sub-Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo	Lluvioso	Muy Lluvioso	Pluvial
Temperado		Seco	Sub-Húmedo *	Húmedo	Muy Húmedo	Lluvioso	Muy Lluvioso
Subtropical		Muy Seco	Seco***	Sub-Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo	Lluvioso
Tropical	Desértico	Sub-Desértico	Muy Seco**	Seco	Sub-Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo
Precipitación Anual	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Ejemplos: * Saraguro: temperatura media anual 13.0°C; precipitación media anual 773 mm, Clima Temperado Subhúmedo.

** Macará: temperatura media anual 24.8°C; precipitación media anual 630,3 mm. Clima Tropical Muy Seco.

*** Malacatos: temperatura media anual 20.7°C; precipitación media anual 686.9 mm. Clima Subtropical Seco. (la información meteorológica de estas estaciones se presenta más adelante).

2.1.6 LAS ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE

Después de haber realizado numerosas observaciones a través del mundo, Holdridge estableció entre 1947 y 1966 un modelo de clasificación de las formaciones vegetales, basado en la relación existente entre factores climáticos (la biotemperatura, la precipitación y la humedad disponible) y vegetación (Kibler, 1997).

Biotemperatura: es la relación de la vida animal y vegetal con la temperatura. Teóricamente, en el sistema de Holdridge, se calcula la biotemperatura, sumando las temperaturas comprendidas entre 0°C y 30°C (límites entre los cuales tiene lugar el crecimiento vegetativo), y sustituyendo por 0°C todas las temperaturas por debajo de 0°C y por encima de 30°C.

En la zona ecuatorial, podemos asumir que la biotemperatura media anual corresponde a la temperatura media anual, calculada de manera estándar, por las estacio-

nes meteorológicas.

Precipitación: es el segundo factor determinante de las zonas de vida. En el sistema de Holdridge, la cantidad total de precipitación es prioritaria frente a su distribución, por existir dentro de cada piso altitudinal o región latitudinal una correlación entre la precipitación media anual y su distribución.

Así, se toma en cuenta la precipitación media anual como segundo factor determinante del sistema de Holdridge.

La clasificación de las zonas de vida

La clasificación de Holdridge divide el mundo en zonas de vida, de acuerdo con:

- la región latitudinal,
- piso altitudinal, y
- provincia de humedad.

En otros términos, **cada zona de vida está determinada por un rango de biotemperatura media anual y un rango de precipitación media anual.**

A cada zona de vida le corresponde una formación vegetal, que es la formación vegetal que existe cuando el medio ambiente no impone otras limitaciones para el crecimiento de las plantas, que aquellas dadas por los factores climáticos.

Una “**zona de vida**” es por lo tanto **un ecosistema de primer orden**, que rara vez se puede observar en su forma ideal.

En efecto, es importante notar que dentro de cada zona de vida existen condiciones edáficas, hídricas o atmosféricas, particulares, que pueden alterar esa formación vegetal.

Dentro de cada ecosistema de primer orden, las condiciones particulares determinan ecosistemas menores, que se denominan asociaciones (edáfica, hídrica, atmosférica).

Las 25 zonas de vida del Ecuador

El Ecuador se encuentra enteramente dentro de la región latitudinal “tropical”. Sin embargo, existe en el país una gran diversidad de climas que determinan que se puedan identificar 25 zonas de vida (de las 100 zonas de vida existentes en el mundo), correspondientes a siete pisos altitudinales y ocho provincias de humedad.

En el cuadro siguiente podemos apreciar las características climáticas (precipitación media anual y temperatura media anual) de las zonas de vida existentes en el Ecuador.

Cuadro 19

Zonas de vida del Ecuador de acuerdo a la clasificación de Holdridge

Precipitación media anual Temperatura media anual	Zonas de vida						
	<125 mm	125 – 250	250 – 500	500 – 1000	1000 – 2000	2000 - 1000	>1000 mm/ano
3 – 6°C 6 – 12°C			bh SA e M	Bmh SA Bh M	Bp SA Bmh M	bp M	
12 – 18°C		md MB	ee MB	Bs MB	Bh MB	bmh MB	bp MB
18 – 24°C		md PM	me PM	Bs PM	Bh PM	bmh PM	bp PM
> 24°C	d T	md T	me T	Bms T	Bs T	bh T	bmh T

md T: matorral desértico Tropical
 me T: monte espinoso Tropical
 bms T: bosque muy seco Tropical
 bs T: bosque seco Tropical
 bh T: bosque húmedo Tropical
 bmh T: bosque muy húmedo Tropical

md PM: matorral desértico Pre Montano
 me PM: monte espinoso Pre Montano
 bs PM: bosque seco Pre Montano
 bh PM: bosque húmedo Pre Montano
 bmh PM: bosque muy húmedo Pre Montano
 bp PM: bosque pluvial Pre Montano

md MB: matorral desértico Montano Bajo
 ee MB: estepa espinosa Montano Bajo
 bs MB: bosque seco Montano Bajo
 bh MB: bosque húmedo Montano Bajo
 bmh MB: bosque muy húmedo Montano Bajo
 bp MB: bosque pluvial Montano Bajo

e M: estepa Montano
 bh M: bosque húmedo Montano
 bmh M: bosque muy húmedo Montano
 bp M: bosque pluvial Montano

bh SA: bosque húmedo Sub Alpino
 bmh SA: bosque muy húmedo Sub Alpino
 bp SA: bosque pluvial Sub Alpino

En resumen, el **concepto de zona de vida**, según la clasificación de Holdridge, **nos proporciona una primera aproximación del ecosistema original**. Sin embargo, es importante cruzar esa información con las condiciones locales de tipo edáfico, hídrico y atmosférico para reconstruir el ecosistema original con más precisión.

Finalmente, la cubierta vegetal solo se puede conocer mediante la observación en el terreno, siendo el resultado de factores naturales difícilmente predecibles o de la acción humana.

Ejemplos:

*Saraguro: temperatura media anual 13,0°C; precipitación media anual 773 mm.
 Zona de Vida: bosque seco Montano Bajo.*

*Macará: temperatura media anual 24,8°C; precipitación media anual 630,3 mm.
 Zona de Vida: bosque muy seco Tropical.*

*Malacatos: temperatura media anual 20,7°C; precipitación media anual 686,9 mm.
 Zona de Vida: bosque seco Premontano.*

Hemos visto que las delimitaciones de las zonas de vida según Holdrige solo toman en consideración los valores medios anuales de las precipitaciones y temperaturas. En consecuencia, no permiten apreciar la repartición de las precipitaciones en el curso del año, ni tampoco las variaciones de temperaturas, lo cual reviste mucha importancia para la actividad agropecuaria: períodos de siembra, duración de los ciclos vegetativos, períodos de estiaje, etc. (Kibler, 1997).

Para apreciar esa repartición en el transcurso del año Gaussen, postuló en los años 1960 que **el ritmo de las temperaturas y precipitación en el curso del año importa más que sus medias anuales.**

Gaussen, sin usar datos de evapotranspiración desarrolló un criterio simple para distinguir entre húmedo y seco: propuso el concepto de “*mes ecológicamente seco*” para caracterizar un mes con condiciones desfavorables para la vegetación.

Un *mes es ecológicamente seco*, cuando la precipitación mensual, expresada en milímetros, es igual o inferior a dos veces el valor de la temperatura promedio mensual, expresada en grados centígrados:

$$P \text{ (mm/mes)} < 2 T \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad \text{mes seco}$$

$$P \text{ (mm/mes)} > 2 T \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad \text{mes húmedo}$$

Para visualizar la variación climática, en el transcurso del año y poder determinar los períodos ecológicamente secos, se puede construir un diagrama sencillo, llamado “*diagrama ombrotérmico*”, basándose en los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas.

El *diagrama ombrotérmico* relaciona la precipitación y la temperatura, de la siguiente manera:

- en la abscisa: los 12 meses del año,
- en la ordenada, a la derecha: la escala de las precipitaciones mensuales medias en milímetro,
- en la ordenada, a la izquierda: en doble escala que las precipitaciones, las temperaturas mensuales medias en grados centígrados ($10^{\circ}\text{C} = 20 \text{ mm}$).

En ese diagrama, los meses en los cuales la curva de precipitaciones (*ombric*) pasa por debajo de la curva de temperaturas (*termic*) son considerados “meses ecológicamente secos”.

Los siguientes ejemplos de las estaciones de Saraguro (Figura 30), Macará (Figura 31), y Malacatos (Figura 32) permiten entender la importancia de tales diagramas.

SARAGURO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
temperaturas (°C)	12,9	12,9	13,0	12,9	14,1	12,8	12,4	12,5	12,9	13,2	13,3	13,2	
precipitaciones (mm)	73,3	101,6	117,8	85,8	53,4	43,4	38,1	35,2	37,5	57,5	55,6	74,1	773,3

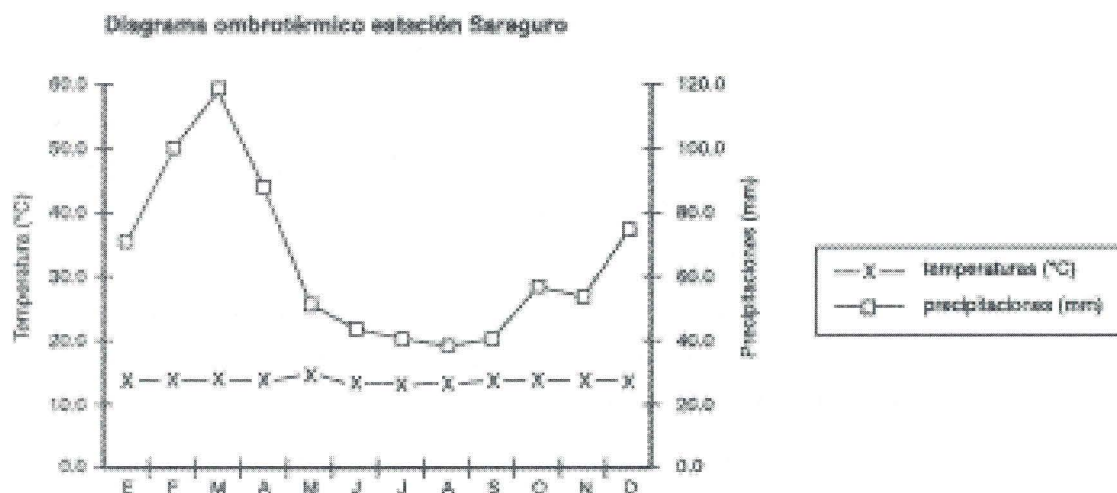


Figura 30 Diagrama ombrotérmico de Saraguro

Analizando el **diagrama ombrotérmico de Saraguro** podemos detectar que no existen meses ecológicamente secos a lo largo del año, aunque en el período de junio a septiembre, la curva de la precipitación se acerca significativamente a la curva de la temperatura.

MACARÁ	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
temperaturas (°C)	25,6	25,8	25,6	25,0	24,3	23,6	23,5	23,9	24,5	25,0	25,3	25,7	
precipitaciones (mm)	66,3	113,1	238,4	138,1	30,5	9,6	0,6	0,6	1,4	7,2	4,0	20,5	630,3

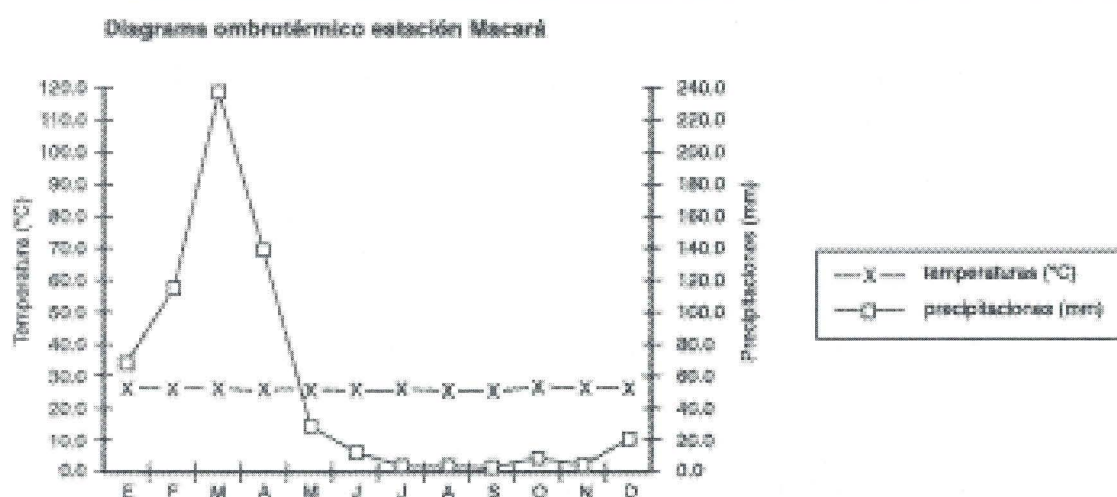


Figura 31 Diagrama ombrotérmico de Macará

En el caso de **Macará**, en la provincia de Loja, según el diagrama ombrotérmico, los meses ecológicamente secos corresponden al periodo de mayo a diciembre, en el cual la producción de cultivos únicamente es posible con riego (ocho meses).

MALACATOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
temperaturas (°C)	20,7	20,7	20,7	20,6	20,3	20,1	20,0	20,5	21,0	21,0	21,2	21,1	
precipitaciones (mm)	67,6	88,1	120,0	98,0	10,1	16,7	10,0	11,3	28,0	62,1	54,4	87,6	686,9

Diagrama ombrotérmico estación Malacatos

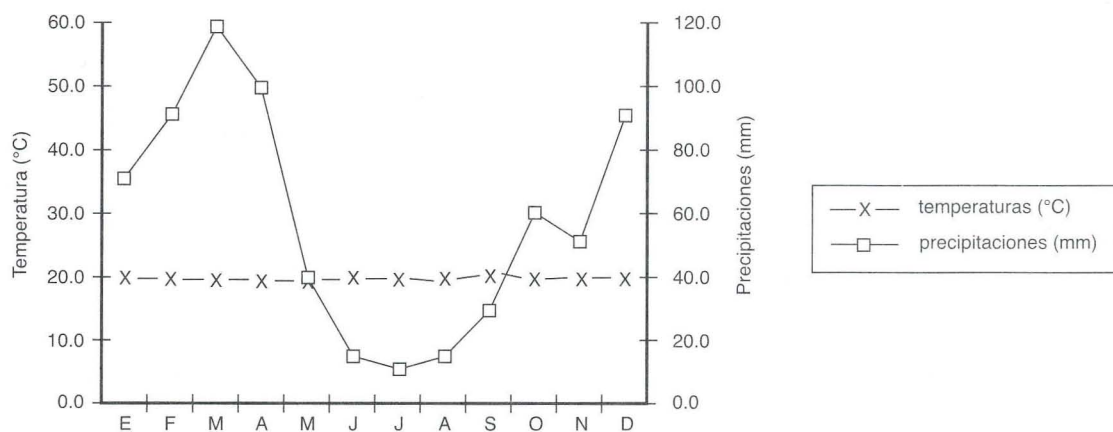


Figura 32 Diagrama ombrotérmico de Malacatos

En tanto que, en **Malacatos**, en la misma provincia de Loja, el período que contiene los meses ecológicamente secos, se extiende desde junio a septiembre (cuatro meses).



El diagrama ombrotérmico permite visualizar, de forma muy sintética, los períodos de lluvia y de sequía dentro del año (importante para la actividad agropecuaria), e identificar los meses ecológicamente secos desfavorables al crecimiento de la vegetación (determinante sobre el tipo de vegetación natural).

El proceso evolutivo de los recursos naturales y de adaptación de las especies en un lugar, se traduce en un **estado de equilibrio natural entre el clima, el suelo que se forma y la cobertura vegetal que lo protege** (Valarezo, 1996).

2.2.1. IMPORTANCIA DE LA CUBIERTA VEGETAL PARA EL SUELO

La **cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno, contra la erosión**. Toda planta, desde la minúscula hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias, en forma y proporción diferentes.

Suárez de Castro (1979) resume la forma como las plantas defienden al suelo de la erosión en los siguientes puntos:

- **dispersión directa:** intersección por el follaje y evaporación de gotas de agua de lluvia, que en esta forma, no llegan al terreno,
- **transpiración:** a través de los tejidos, grandes cantidades de humedad pasan de los estratos profundos del suelo a la atmósfera,
- **protección directa:** contra el impacto de las gotas de lluvia,
- **efecto sujetador:** del sistema radicular sobre las partículas del suelo,
- **penetración de las raíces:** a través del perfil, las que al morir y descomponerse, dejan numerosas cavidades tubulares que aumentan la infiltración y mejoran la aireación del suelo,
- **mejoramiento de la estructura del suelo y aumento de la infiltración, la retención y el almacenamiento del agua en el suelo:** debido al suministro de materia orgánica,
- **aumento de la fricción superficial y dispersión lateral de la escorrentía:** que reduce su volumen y disminuye su velocidad.

De todos estos efectos, **los más importantes para el suelo son: el aumento de la infiltración y la protección directa contra el impacto de las lluvias**.

Cuando una gota de lluvia golpea un terreno cubierto con una vegetación densa, se rompe en minúsculas gotitas de agua clara, que penetran fácilmente en los innumerables intersticios y canalículos del suelo.

Al contrario, el **efecto de la lluvia en el suelo descubierto** de vegetación, origina básicamente, las siguientes acciones:

- remoción de las partículas del suelo, por impacto de las gotas de lluvia,
- suspensión de las partículas removidas y a medida que el agua se infiltra, se depositan en los espacios porosos del suelo, obstruyéndolos y dificultando el paso posterior del agua, la cual se ve obligada a fluir sobre la superficie del terreno, y

- transporte de las partículas del suelo en las laderas por la escorrentía, que luego se sedimentan en las partes más bajas.

Los ensayos experimentales han demostrado que **la infiltración del agua en el terreno es mayor con una cobertura de bosque, que con pasto, y es mínima (alrededor de diez veces menos) en un suelo desnudo**. Por el contrario, las pérdidas de suelo y agua aumentan muy significativamente desde una cobertura de bosque (bajo la cual son mínimas) a una cobertura de pasto, de semi-bosque (café) y cultivo limpio.

Durante un aguacero fuerte, varios miles de millones de gotas de agua, golpean cada hectárea de terreno. Si el terreno está desnudo de vegetación, las gotas desprenden y salpican cientos de toneladas de partículas de suelo, que son fácilmente transportadas por el agua.

Cuando **la vegetación es densa**, a ras del suelo, o es densa la capa de restos vegetales sobre el terreno, la fuerza del impacto de **las gotas de lluvia queda amortiguada**, permitiendo que el agua llegue suavemente al terreno, sin energía suficiente para desprender partículas (Suárez de Castro, 1979).

2.2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y DEL USO ACTUAL DEL SUELO

Los seres humanos, en el afán de aprovechar los recursos naturales renovables para la producción de alimentos, fibras, madera, leña, etc., intervienen sobre la cubierta vegetal natural alterándola, y sometiendo al suelo a un uso determinado, que puede, o no, estar en armonía con la aptitud o capacidad de uso equivalente a su equilibrio natural.

Las acciones de manejo sustentable de los recursos naturales renovables, en particular el manejo y la conservación de los suelos, en un área de intervención, demandan al inicio la caracterización del tipo de cubierta vegetal o el uso actual del suelo.

Con este propósito, bastará separar aquellas secciones en:

- sembradas con cultivos anuales o limpios, que exigen labores culturales intensivas, tales como el maíz, la papa, el fréjol;
- ocupadas con cultivos densos, como el trigo o la cebada, los cuales requieren una preparación anual del terreno, pero a la vez forman una buena cubierta durante su período vegetativo;
- con cultivos de larga duración, que sólo necesitan preparación del suelo con intervalos de muchos años y labores culturales moderadas, en cuanto remueven poco suelo, como la caña de azúcar

- ocupadas con cultivos perennes (semibosques) tales como huertos frutales, cafetales, etc.;
- los potreros o terrenos de pastoreo;
- los bosques; y,
- para fines no agropecuario (vida silvestre, etc.).

A continuación proponemos una leyenda para la caracterización de la cubierta vegetal y del uso actual, que es una adaptación del Mapa de Uso Actual del Suelo y Formaciones Vegetales de PRONAREG-ORSTOM (1983) En ella se ha considerado como criterio de diferenciación, el grado de protección que brinda cada tipo de cubierta vegetal al suelo.

Vegetación arbustiva y arbórea permanente

- Matorral bajo: formación siempre verde de arbustos y chaparros.
- Bosques naturales arbóreos: formación siempre verde, de arbustiva a arbórea cerrada.
- Bosques plantados (arbóreos)
- Semibosques artificiales (huertos): asociación de café y árboles de sombra, frutales arbóreos.

Vegetación herbácea permanente

- Pajonal de páramo: formación herbácea perenne con algunos arbustos muy bajos y ralos.
- Pastos naturales.
- Pastos cultivados (con o sin riego)
- Silvopastura: asociación de árboles y pasto.

Cultivos

- Permanentes: caña de azúcar
- Densos: trigo, cebada
- Limpios y hortícolas: maíz, papa, yuca, tomate, etc.

Áreas desnudas (sin vegetación), semidesnudas y rocosas.

Centros poblados y caseríos.

En los diferentes ecosistemas, se pueden encontrar combinaciones de los tipos de cobertura vegetal o uso actual arriba indicados, por lo que es conveniente, señalar en la descripción, el uso predominante. Así mismo, en cuanto a los cultivos limpios y hortícolas, es necesario indicar si son o no regados y el tipo de manejo.

LOS ECOSISTEMAS Y LOS AGROSISTEMAS



RESUMEN

Esta unidad aborda los conceptos básicos referidos a los ecosistemas y agroecosistemas sus características, diferencias, componentes y dinámica interna.

Se presentan algunas particularidades generales de la Sierra ecuatoriana: geología, topografía, suelos y vegetación y se describen sus tres ecosistemas: valles y estribaciones, región austral y páramos.

Para finalizar se analiza, desde las culturas andinas tradicionales la relación con la naturaleza y sus sistemas agrícolas; y se identifican los agroecosistemas andinos tradicionales, que permanecen en la cultura agrícola actual.



OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar esta unidad, los participantes estarán en capacidad de:

- Reconocer y explicar las diferencias entre ecosistema y agroecosistema de la sierra ecuatoriana.
- Determinar las características de los ecosistemas de la sierra ecuatoriana.
- Distinguir las posibilidades de los agroecosistemas para la agricultura de cada región.
- Identificar los rasgos de la cultura agrícola tradicional en los agroecosistemas actuales.

3.1.1 ECOSISTEMA

Un ecosistema se puede definir como la totalidad de los organismos de un área determinada, que se relacionan entre sí y con el medio físico, produciendo un intercambio de materiales entre las partes vivas y las inertes.

El ecosistema consta de dos componentes: **Abiótico** y **Biótico**.

Componente Abiótico

Está compuesto por una serie de factores que ayudan a mantener un equilibrio constante, en el ecosistema. Estos factores son:

- el clima (determinado por la temperatura, la precipitación, la humedad y el viento) y
- el suelo.

La modificación o ausencia de alguno de estos factores, puede ocasionar el desequilibrio y, en casos extremos, la destrucción de un ecosistema. Porque estos factores abióticos determinan, con cierta precisión, los tipos de organismos presentes, la forma en que se organizan en comunidades y su capacidad de utilizar la energía y los recursos disponibles.

Componente Biótico

Lo constituyen los elementos vivos de un ecosistema: organismos **autótrofos** (Productores) y organismos **heterótrofos** (Consumidores).

Organismos Autótrofos o productores: son aquellos capaces de elaborar su propio alimento, a partir de sustancias inorgánicas simples (como agua, CO₂ -anhídrido carbónico-, nitratos) en el proceso de fotosíntesis. A este grupo pertenecen de las plantas.

Organismos Heterótrofos o consumidores: son aquellos que **no** pueden fabricar su propio alimento, sino que lo toman de la materia sintetizada por los organismos autótrofos. Dentro de este grupo, se encuentran todos los animales e incluso los seres humanos. Además, se incluyen hongos, bacterias no fotosintéticas y otros microorganismos conocidos como *descomponedores*.

3.1.2 LA DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS:

Niveles tróficos y cadenas alimentarias

En todo ecosistema se produce una **transferencia de energía** que pasa de los **organismos productores** (plantas) a los **consumidores primarios** (animales herbívoros)

y de éstos a los **consumidores secundarios** (animales carnívoros). Los **organismos descomponedores** (hongos y bacterias) desintegran la materia muerta - productores y consumidores- e incorporan, nuevamente, parte de esa energía al suelo para que las plantas la vuelvan a utilizar.

La energía circula o se transfiere de un organismo a otro, y se establece una **relación trófica** (relación de alimentación) entre los diferentes organismos que integran el ecosistema, formando una **cadena alimentaria**.

En un sistema ecológico se encuentran, a menudo, cadenas alimentarias complejas, de acuerdo con los seres vivos que las integran.

Por lo general, un organismo tiene más de una fuente de alimento y él mismo puede ser devorado por más de un tipo de organismo. Por ejemplo: el ratón de campo, se alimenta de hierbas y animales pequeños y a su vez es alimento de las raposas y las aves de rapiña. Bajo estas circunstancias sería más apropiado hablar de **redes alimentarias** que de cadenas alimentarias.

Pirámide trófica

En las cadenas alimentarias existe, como se mencionó anteriormente, transferencia de energía de un nivel trófico al siguiente. La transferencia de energía conlleva la pérdida de una gran parte de esa energía. Por esto, se observa, que en general, el nivel de los **productores** debe contar con una **biomasa** (cantidad de individuos por especie) mucho mayor que la de los consumidores. Los productores, son la base de la alimentación y dan soporte al crecimiento de otras poblaciones o comunidades.

La relación entre productores y consumidores es la estructura trófica que suele denominarse: **pirámide trófica**.

En la base de la pirámide encontramos a los productores y en los pisos siguientes (niveles tróficos) a los consumidores, que van disminuyendo, en cantidad, hasta cerrar el vértice de la pirámide, ocupado por los consumidores del último nivel trófico.

Flujo de energía en un ecosistema

La energía fluye a través de un ecosistema de manera ordenada. Sin embargo, no sigue un ciclo. Una gran proporción de energía se pierde en cada eslabón de la cadena alimentaria.

Sólo alrededor del uno por ciento de la luz o energía solar, es convertida en **energía potencial** por las plantas verdes. Cuando éstas son consumidas, alrededor del **10 por ciento de su energía potencial, llega al nivel trófico siguiente** (consumidores primarios o herbívoros), y así se da en cada nivel trófico siguiente. Es decir, solo una pequeña parte de la energía es aprovechada por el siguiente eslabón.

Las cantidades de energía que se transfieren de un nivel trófico a otro, son tan pe-

queñas, que las cadenas alimentarias raramente constan de más de tres o cuatro eslabones.

La energía solar que entra y circula en los ecosistemas, es muy importante para su funcionamiento, pero no es suficiente para dar soporte a su vida; existen otros elementos que son fundamentales.

¿Qué otros ciclos sostienen la vida de los ecosistemas?

Varios elementos químicos, que circulan cíclicamente en los ecosistemas, también son fundamentales para sostener su funcionamiento.

Presentamos como modelos, los ciclos del carbono (C), nitrógeno(N) y fósforo(P), para ilustrar los principios involucrados en la circulación de todos los elementos químicos que intervienen en un ecosistema.

Ciclo del Nitrógeno (N)

El ciclo del N tiene especial importancia en la agricultura, por eso su comprensión será útil para optimizar las actividades agrícolas.

El N es absorbido, del suelo, por las plantas, en forma de **nitratos** (NO_3^-), que es convertido en **proteína vegetal** y pasa a los animales donde es transformada en **proteína animal**. Luego regresará al suelo mediante excreciones y también por la descomposición de plantas y animales muertos.

El N constituye un elemento clave en los sistemas vivos, porque forma parte de moléculas vitales: proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, etc.

Los descomponedores del suelo desintegran los compuestos orgánicos y los convierten en inorgánicos (nitratos y amoníaco) completando así el ciclo del N.

El N atmosférico entra en el ciclo por acción de los organismos fijadores de nitrógeno (plantas, bacterias que se encuentran en el suelo) y por la oxidación de las descargas eléctricas de los rayos, como podemos observar más adelante.

Como sabemos, muchas plantas tienen la propiedad de fijar el nitrógeno. Sin embargo, las leguminosas (arveja, maní, alfalfa, trébol) son las más eficaces ya que todas poseen en sus raíces, nódulos con bacterias fijadoras de nitrógeno.

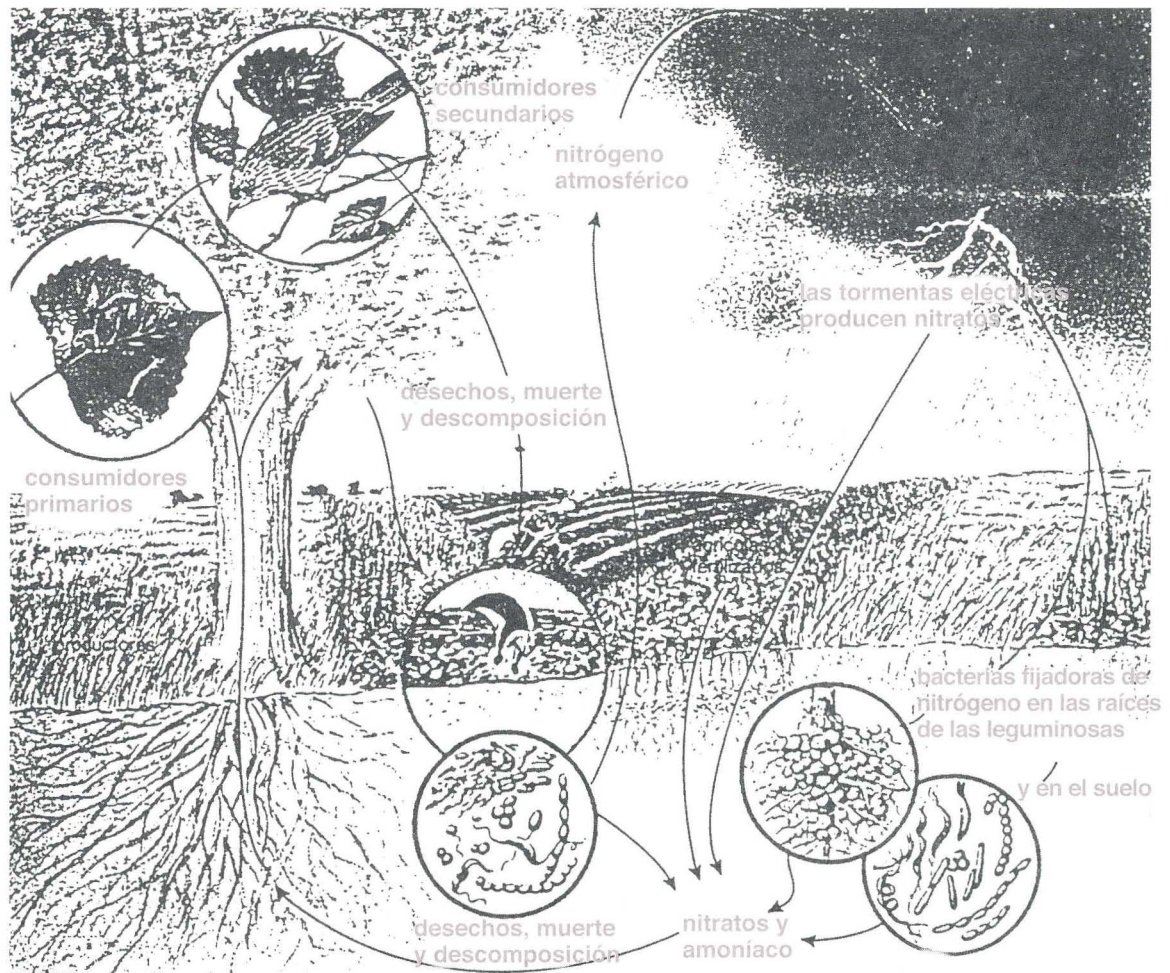


Figura 33 **Ciclo del Nitrógeno** (tomado de Audesirk y Audesirk, 1997)

Ciclo del Carbón (C)

El carbón es un elemento esencial para la vida. Las plantas toman el carbón de la atmósfera o del agua en forma de anhídrido carbónico y en el proceso de la fotosíntesis, lo transforman en gran parte, en sustancias de reserva y tejidos (carbohidratos, grasas y proteínas). Otra parte del carbón absorbido pasa nuevamente a la atmósfera mediante la respiración vegetal. El resto se incorpora al suelo a través de las raíces.

Las cadenas de C son las que unen las moléculas químicas que forman los carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos

Ciclo del Fósforo (P)

El P, en forma de fosfato (PO_4^-) es una sustancia esencial en la transferencia de energía. La energía, en los organismos, se acumula en las células en forma de moléculas de Adenosin Trifosfato (ATP). Cuando los organismos requieren de más ener-

gía, se rompe esta molécula y se transfiere la energía.

Este elemento se encuentra presente en las rocas, en huesos, conchas y dientes. Mediante reacciones químicas se convierte en fosfato, y es absorbido por las raíces de las plantas.

El ciclo del P es similar al que hemos visto para los elementos anteriores, pero en este caso no es cerrado, sino que una parte del fósforo queda fuera, sin ser aprovechado directamente por los seres vivos. Otra parte del P se pierde en forma de sedimentos, que con el tiempo se incorporan a los depósitos marinos.

3.1.3

CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS GENERALES DE LA SIERRA ECUATORIANA

La Sierra o región central andina ecuatoriana comprende las partes altas de los Andes que atraviesan el Ecuador de norte a sur.

No existe un límite altitudinal establecido donde empieza exactamente la Sierra, este límite cambia de acuerdo a la topografía, vegetación o tipo de estudio que se realice. En este trabajo se incluyen las áreas sobre los 1 200 m.s.n.m. Esta altitud coincide con el límite de distribución natural de muchas plantas (Ulloa y Jorgensen, 1993).

¿Cómo es la geología de la Sierra ecuatoriana?

En el inicio, el levantamiento de los Andes fue consecuencia de la deriva del continente americano hacia el oeste, que produjo la colisión de la placa Continental y la corteza Oceánica (Ulloa y Jorgensen, 1993).

La mayor parte del levantamiento tuvo lugar en los últimos cinco millones de años (Van der Hammen, 1974).

La actividad volcánica más reciente, empezó hace 3 ó 4 millones de años. En el norte de los Andes ecuatorianos, la mayor parte de las formaciones volcánicas son activas y datan del Cuaternario. Aquí se encuentran los volcanes más altos. En el sur no hay volcanes activos, la cordillera no sobrepasa los 4 000 m.s.n.m.; la línea divisoria entre estos dos tipos de volcanismo está localizada a la latitud de 2°30'S, justo al norte del Valle Girón-Paute (Hall, 1977).

La composición geológica de las provincias del sur, data del pre- Cretácico al Terciario, o sea que son mucho más antiguas que las del norte.

Los Andes ecuatorianos se componen principalmente de rocas volcánicas, sedimentos y rocas pre-Cretácicas metamórficas (Jorgensen y Ulloa, 1994).

¿Cómo es la topografía?

Los Andes en el Ecuador, constan de dos cadenas montañosas: cordillera Oriental y cordillera Occidental. Entre las dos vertientes internas de la cordillera, se encuen-

tra el **Callejón Interandino** que tiene un ancho de menos de 40 km.

El Callejón Interandino se compone de cuencas, que son “hoyas” separadas por ramales transversales “nudos” con elevaciones entre 3.000 y 3.400 m.s.n.n.m. Cada hoyas es un sistema hidrográfico conectado hacia el océano Pacífico o hacia el río Amazonas.

¿Cuáles son las características del suelo?

Las formaciones geológicas, con el clima, producen una gran diversidad de suelos en los Andes ecuatorianos. En la sierra se pueden encontrar dos grandes grupos:

- **suelos de origen volcánico reciente**, y
- **suelos compuestos de material antiguo** o llamados no volcánicos (Jorgensen y Ulloa, 1994; Hofstede et al, 1998)

Suelos de origen volcánico reciente: Se encuentran en el norte y centro de los Andes (norte de 2°30'S). Están formados de ceniza volcánica y se han transformado en arcilla del tipo alófana.

Se reconocen cuatro tipos de suelos:

Suelos arenosos: en las partes más secas de los valles. Por ejemplo: Guayllabamba en la provincia de Pichincha, Sigchos provincia en Cotopaxi, Palmira provincia de Chimborazo.

Suelos ricos en materia orgánica y nutrientes: en las partes más húmedas de los valles interandinos.

Suelos alofánicos: en las partes altas de los Andes, son ricos en material orgánico y con gran capacidad de absorción de agua.

Suelos alofánicos muy húmedos: forman islas en varias partes. Por ejemplo: el Valle de Maldonado y la cordillera Oriental entre 1 200 y 3000 m.s.n.m.; son más ricos en material orgánico y con mayor capacidad de absorción que los anteriores.

Suelos compuestos de material antiguo o llamados no volcánicos: los encontramos en la parte austral (sur de 2°30'S). A menudo presentan una capa delgada de ceniza volcánica en la superficie, procedente de los volcanes del norte. Debido a la erosión, esta capa ha desaparecido, en muchas partes dejando las cenizas antiguas en la superficie.

¿Cómo es el clima?

Por la presencia de los Andes, el Ecuador posee una variedad de climas. En la zona

andina se pueden distinguir los siguientes climas (Atlas del Ecuador, 1982; Jorgensen y Ulloa, 1994):

Clima ecuatorial mesotérmico seco: Se encuentra en los valles andinos, protegidos de las influencias oceánica y amazónica. Se caracteriza por una temperatura entre 18°C y 22°C; una precipitación menor a 500 mm; una humedad relativa del 50 al 80%. Presentan este clima, los valles de Guayllabamba provincia de Pichincha, Latacunga provincia de Cotopaxi, Riobamba y Alausí ambos en la provincia de Chimborazo.

Clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo: Es el más frecuente en las vertientes de la cordillera, en altitudes menores a 3 200 m. Se caracteriza por una temperatura entre 10°C y 20°C; una precipitación entre 500 y

2 000 m.s.n.m.; una humedad relativa del 65 al 85%. Este clima se encontraría en la mayor parte del área de la sierra, que corresponde a la franja altitudinal entre los 2 000 y los 3 200 m.s.n.m.

Clima ecuatorial de alta montaña: Presente sobre los 3 000 m.s.n.m.. Se caracteriza por una temperatura entre 0°C y 20°C -dependiendo de la altitud-; una precipitación entre 1 000 y 2 000 mm y una humedad relativa del 50 al 80%. El páramo de Papallacta, en la provincia de Pichincha, es un ejemplo de este clima.

3.1.4 PRINCIPALES MODIFICACIONES DE LOS ECOSISTEMAS ANDINOS

En la sierra ecuatoriana se practica agricultura y ganadería, a gran escala, por lo menos desde hace 3 000 años. Debido a estas prácticas, el paisaje andino ha ido cambiando mucho.

Algunas de las principales causas y consecuencias de la modificación de los ecosistemas andinos son:

Deforestación o tala de la vegetación natural

La deforestación en ciertas áreas de los Andes, es la principal razón de la extinción de varias especies vegetales. Una de las mayores causas para cortar la vegetación natural ha sido la obtención de leña (Ulloa y Jorgensen, 1993). Por ejemplo, en el bosque de *Polylepis* “queñua” en la carretera Pifo–Papallacta, con frecuencia se talan árboles, para obtener leña.

Actividad agrícola y quemas

Cuando un bosque se corta o se quema con el fin de preparar el terreno para la agri-

cultura, se eliminan todas las plantas leñosas (deforestación a tala rasa). La quema es la práctica más usada para este fin, porque es efectiva y no requiere de mucha labor. Como un ejemplo de las plantas leñosas afectadas por estos fuegos, se puede citar a *Polylepis* que presenta una corteza que se desprende en láminas y es muy susceptible al fuego (Læggaard, 1992). Después de la tala rasa, el clima cambia drásticamente, a nivel del suelo, las temperaturas son más extremas y hay más influencia del viento; además, por falta de vegetación que retenga el agua, se producirá sequedad y erosión del suelo.

Introducción de especies exóticas

El “eucalipto” (*Eucalyptus globulus*) y el “pino” (*Pinus radiata*) pueden indicarse como ejemplos de especies introducidas. Ambos son los más usados en los programas de reforestación de la sierra, aunque no siempre son los más apropiados para los programas forestales (Ulloa y Jorgensen, 1993).

En los últimos años, los estudios realizados con especies nativas, demostraron que es posible utilizarlas para controlar la deforestación y la erosión, suplir la escasez de leña y contribuir al restablecimiento del equilibrio ecológico.

Brandbyge (1992) menciona particularmente tres especies de árboles para programas de reforestación a gran escala en el Ecuador: “Yagual” (*Polylepis incana*) “Colla” (*Buddleja coriacea*) y “Quishuar” (*Buddleja incana*).

3.1.5 LOS ECOSISTEMAS DE LA SIERRA ECUATORIANA

Algunos de los ecosistemas que representan una parte importante de la sierra ecuatoriana son:

- Valles interandinos y estribaciones. Región Central y Norte
- Región austral
- Páramos

Valles Interandinos y Estribaciones - Región Central y Norte del Ecuador-

El callejón interandino, que está comprendido entre los 1 600 a 3 000 m.s.n.m., (Acosta-Solís, 1977) presenta una variedad climática y de paisajes ecológicos, por efecto de la cordillera de los Andes. El callejón interandino va formando valles con una cubierta vegetal característica, que presenta variaciones de acuerdo con la altitud, temperatura, lluvias, vientos, suelos, etc.

Valles: son depresiones geográficas ubicadas entre las cadenas montañosas que se encuentran drenadas por un sistema hídrico. Por ejemplo: el valle de Chota en la pro-

vincia de Imbabura o de los Chillos en Pichincha

En los **valles bajos y secos**, la temperatura varía de los 18°C a los 12°C, (acompañado por la presencia de corrientes de aire muy frecuentes). Sobre los 3 000 m.s.n.m. (fajas) la temperatura puede ser más baja (Acosta-Solís, 1977).

Los **valles profundos y cálidos** se caracterizan ser poco lluviosos. Como son los valles de Guayllabamba y San Antonio, provincia de Pichincha, Saquisilí-La Victoria-Latacunga provincia de Cotopaxi, etc.

Las nubes que vienen de la costa, al tratar de llegar a la cordillera de Los Andes, se enfrían y descargan su lluvia antes de cruzarla. Luego, cuando cruzan la cordillera y descienden, se calientan, por efecto de la presión atmosférica y finalmente, llegan a los valles para absorber humedad y terminan siendo mucho más calientes, de lo que inicialmente eran. Como consecuencia, en los valles se da poca nubosidad, mucho calor y una alta sequedad relativa del aire.

Los valles corresponden a la zona de vida llamada **Estepa espinosa Montano-Bajo** (que va de los 2 000 a los 2 900 ms.n.m. e incluso a los 3 000 m.s.n.m. en las vertientes orientales de los Andes) comprende las siguientes zonas: Guayllabamba, Jerusalén, San Antonio, Saquisilí-La Victoria-Latacunga, Yambo-Ambato-Cevallos-Totoras, Guano-Cubijíes-Riobamba, San Luis-Licán, Sibambe-Alausí-Guasuntos (Cañadas, 1983).

En general, los valles han sido deforestados. Los remanentes de vegetación que aún se encuentran, podrían ser indicadores de que existieron bosques en varias áreas que ahora son tierras agrícolas y pastizales.

Las planicies secas y arenosas de Chimborazo, comprenden de los 2 700 a los 2 800 m. En este sitio existe una vegetación diferente a la descrita en otros lugares de igual altitud, como son: Machachi, Cayambe y áreas altas del Valle de los Chillos. En estas áreas se destacan:

- “chilca” (*Baccharis latifolia*),
- “espino” (*Mimosa quitensis*),
- “chanchilva” (*Cassia tomentosa*),
- “sauco negro” (*Cestrum tomentosum* y *C. ecuadorensis*),
- “trinitaria” (*Monnina obtusifolia*),
- “supi-rosa” (*Lantana rugulosa*),
- “chivo-casha” (*Duranta triacantha*),
- “iso” (*Psoralea bituminosa* y *P. pubescens*) y
- algunas gramíneas como *Sporobolus poiretii* y *Cynodon dactylum*.

En las laderas, quebradas, cauces de ríos y torrentes (de los 2.800 a los 2.900

m.s.n.m.), aún se pueden encontrar relictos (formaciones boscosas) que pertenecieron a la antigua cubierta vegetal cuyas principales especies son:

- “chilca” (*Baccharis latifolia*),
- “capote” (*Gynoxys hallii*),
- “pumamaqui” (*Oreopanax ecuadoriensis* y *O. sp.*),
- “cordoncillos” (*Piper miersinum* y *P. sp.*),
- “sauco blanco” (*Cestrum aureum*),
- “sauco negro” (*Cestrum tomentosum*), y
- otros sauces afines (*C. ambatense*, *C. ecuadorensis*, *C. viridiflorum*, *C. quitenensis*, y *C. stuebelii* que es la especie típica de la región interandina del Ecuador).

Rara vez encontramos “cedros” (*Cedrela rosei*) que fueron propios de estas altitudes. En las quebradas más altas o laderas inaccesibles se encuentran, formando manchas o asociaciones, los bambúes andinos llamados “suros”, “surillo” o “moya” (*Chusquea scandens* y *Ch. spp.*) (Acosta-Solís, 1977).

El “capulí” (*Prunus serotina* var. *capulí*) es el árbol representativo de la región interandina y se encuentra en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay. Es muy apreciado por su valor económico (frutos y madera).

Algunos árboles cultivados o propagados artificialmente son el “sauce” (*Salix humboldtiana*), el “nogal” (*Juglans neotropica*) y el “cedro” (*Cedrela rosei*).

En los lugares secos de los valles (de 1 500 a 3 100 m) se observan los “cabuyos” o “pencos” (*Agave americana*), mientras que en las partes más bajas y abrigadas es notoria la “cabuya blanca” (*Furcraea spp.*).

En ausencia de los árboles nativos, en la región interandina se ha sembrado el “eucalipto” (*Eucalyptus globulus*), que está perfectamente adaptado y se utiliza como madera, leña y carbón.

Además, han sido introducidos algunos “cipreses” (*Cupressus macrocarpa*, *C. mago-biana*) y algunos “pinos” (*Pinus insignis* y *P. radiata* ,).

También podemos mencionar los valles secos o xerofíticos, en las regiones del Chota en la provincia de Imbabura, Guayllabamba provincia de Pichincha y Catamayo provincia de Loja. Estos valles se caracterizan porque sus suelos son muy superficiales y presentan una vegetación entre la que encontramos las siguientes especies:

- “mosquero” (*Croton sp.*),
- “chamana” (*Dodonaea viscosa*),
- “tuna” (*Opuntia tunicata*),

- “chamico” (*Datura stramonium*),
- “cabuya” (*Agave americana*).

En grupos, podemos ver al “faique” (*Acacia macracantha*), el “guarango” (*Coulthetia tinctoria*) y el “molle” (*Schinus molle*). En el valle del Chota domina la “sábila” (*Aloe vera*).

Estribaciones: son declives que se forman a lo largo de las Cordilleras Occidental y Oriental, y son parte de las siguientes zonas de vida:

Bosque Húmedo Pre-Montano: (de 1 800 a 2 000 m.s.n.m.). Corresponde a la confluencia del río de la Plata en el Chota, Tandapi en la provincia de Pichincha, Tingo en Cotopaxi, además de las estribaciones de la cordillera occidental en la Provincia de Bolívar. (Cañadas, 1983).

Bosque húmedo Montano Bajo: (de 2000 a 3000 m.s.n.m.). Corresponde a las siguientes poblaciones: Huaca en la provincia de Carchi, Quichinche en Imbabura, Sangolquí, Pintag en Pichincha, Guaranda en Bolívar, Cañi en Chimborazo, Nabón en Azuay, Gonzanamá en Loja, entre otras.

En la mayor parte de las estribaciones y vertientes superiores de los valles, las precipitaciones medias anuales están comprendidas entre 610 y 875 mm, repartidas de 130 a 190 días por año y de 2 a 6 meses secos (Winckell et al, 1997).

La vegetación que caracteriza a las estribaciones, está representada en las partes montañosas, por: “sarar” (*Weinmannia descendens*), “cascarilla” (*Cinchona*), “romerillo” (*Podocarpus*) entre las más importantes. En zonas intervenidas por los seres humanos, es común ver: “aliso” (*Alnus jorullensis*), “guarumo plateado” (*Cecropia* sp.), “helecho arbóreo” (*Cyathea*), “laurel de cera” (*Myrica pubescens*) y extensos “surales” (*Chusquea scandens*). Un arbusto muy característico del Azuay y Cañar es el “gañay” (*Embothrium grandiflorum*).

En los pisos inferiores de las estribaciones, las temperaturas medias son altas y los suelos de cultivo son profundos en los valles, donde existen posibilidades de riego y ciertas áreas están destinadas a la agricultura. A mayor altura las temperaturas promedio son más bajas, aumenta el peligro de las heladas y la probabilidad de daños causados por el granizo. Por estas razones, las épocas de cultivo son cortas.

Los suelos de ladera son menos productivos, y van disminuyendo su productividad conforme la altitud es mayor. Un claro ejemplo es la considerable disminución de la frondosidad de los cereales (cebada), leguminosas (habas), tubérculos (papa, melloco, ocas y mashua), e incluso de los pastos,

Región Austral del Ecuador

De acuerdo con el último estudio sobre Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano (Dercont et al, 1998), se define como **austro ecuatoriano**, la región andina ubicada entre los paralelos 2°30'S y 4°00'S. Este límite casi coincide con el propuesto por algunos estudios sobre diversidad florística, por ejemplo Jørgensen y Ulloa (1994), en el cual el valle Girón-Paute, se considera el límite entre la región norte y austral de los Andes ecuatorianos.

Al sur del valle Girón-Paute (2°30'S) el paisaje andino cambia, los volcanes desaparecen y la cordillera difícilmente alcanza los 4 000 m.s.n.m.. Los suelos, en esta zona, son más antiguos que en el centro y norte del país, por lo tanto su composición es diferente.

Es muy notorio el hecho de que en la parte sur del Ecuador, existe una vegetación típica, que no se da en el resto del callejón interandino. Por esta razón, se ha visto la necesidad de protegerla, creando reservas ecológicas y áreas naturales, tales como: el Parque Nacional Podocarpus, el Bosque de Mazán y el Area Recreacional en Cajas.

Son típicas de la región sur las siguientes especies:

- “faique” (*Acacia macracantha*),
- “guarango” (*Coultheria tinctoria*),
- “jorupe” (*Sapindus saponaria*),
- ejemplares aislados de “palo santo” (*Bursera graveolens*),
- “molle” (*Schinus molle*),
- “cardo” (*Cereus* sp.),
- “tuna” (*Opuntia* sp.),
- “cabuyo negro” (*Agave americana*),
- “mosquero” (*Croton* sp.),
- “sábila” (*Aloe vera*).

Como ejemplo de las **plantas endémicas** se pueden mencionar: *Miconia dodsonii* y *Xyris subulata*, con una distribución parcial en la parte sur; *Brachyotum confertum*, que se encuentra distribuida alrededor del valle Girón-Paute, *Calceolaria helianthemoides*, en la parte norte de la región sur (Jørgensen, 1994) y *Rubus laegaardii*, que se la encuentra solamente en la provincia de Loja (Romoleroux, 1996). También se observan algunas especies epífitas, entre ellas: orquídeas de los géneros *Odontoglossum* y *Stanhopea*.

El Austro es una zona con gran variedad de climas y de unidades de suelos. Entonces, su potencialidad para un determinado tipo de uso de la tierra, es igualmente muy diverso. Sin embargo, esta región, como el resto del país, afronta **serios problemas de erosión de los suelos**. Un ejemplo típico es el complejo hidroeléctrico

Paute, en la provincia del Azuay, que provee el 70% de la energía eléctrica y que recibe ingentes cantidades de sedimentos de su embalse de Amaluza (Dercont et al., 1998).

De acuerdo con el estudio de Dercont et al. (1998) la única zona con vegetación natural en el austro, está ubicada en áreas cuyas condiciones físicas son imposibles para la agricultura. Estas zonas deberían ser protegidas contra el uso indiscriminado de los recursos naturales. Debe existir una política estricta que no permita las invasiones, que son una de las principales causas de su deterioro. La reforestación cumpliría un papel muy importante dentro de un programa riguroso de protección, que es muy necesario en toda la zona austral.

Páramos

No existe una definición única para páramo. Ni siquiera se puede afirmar con seguridad si es un ecosistema natural o creado por el hombre. Sin embargo, la mayoría de autores coincide en que es un ambiente que presenta una variedad de factores geográficos, climáticos, geomorfológicos, y florísticos propios, que lo caracterizan como un ecosistema independiente.

En cuanto a los factores geográficos, por lo general el rango altitudinal de los páramos va desde 3 000 hasta 4 500-5 000 m.s.n.m.

Las altitudes que se han dado para marcar los límites de páramo, son variables al igual que en los demás pisos altitudinales andinos. Los niveles en los que comienza o acaba el páramo dependen, entre otras cosas, de factores orográficos, meteorológicos y geográficos (Josse y Anhalzer, 1996). En el sur del país, por ejemplo, el páramo comienza cerca de los 3 000 m.s.n.m.

La **topografía del páramo** es, en general irregular, hay partes planas pero también lugares escarpados.

Los **suelos en el páramo** son generalmente, negros u oscuros, humíferos y ácidos. Es usual que estén saturados de agua, por el alto contenido orgánico que poseen y además, retienen humedad, incluso en períodos de menos lluvia. Mientras más se asciende en altitud se incrementa el contenido de rocas y disminuye la producción de materia orgánica.

El **clima del páramo** es frío y usualmente húmedo, aunque también hay zonas bastante secas. La temperatura media está alrededor de 8°C, con máximas de 18 a 23°C y mínimas de 0 a -3°C.

Durante el año, las condiciones climáticas son más o menos uniformes y las principales variaciones se producen en un mismo día, en especial hacia el mediodía. Después empieza a nublarse y llueve con frecuencia, lo cual produce la baja de temperatura.

La **precipitación anual** fluctúa entre 900 y 2 500 mm, pero a veces puede pasar los

3 000 m.s.n.m. La humedad relativa siempre es superior al 80% y tiende a aumentar a medida que se asciende.

Debido a que el páramo es un ecosistema de altas elevaciones, los organismos que lo habitan, están adaptados a las **condiciones climáticas extremas**:

- radiaciones ultravioletas intensas,
- cambios bruscos de temperaturas, y
- vientos fuertes.

Estas condiciones inciden para que los procesos ecológicos sean más lentos (descomposición de materia animal o vegetal, crecimiento de las plantas, ciclo de nutrientes, productividad, etc.).

En cuanto a la diversidad florística, la **flora paramuna**, como se la denomina, es rica en relación al área total ocupada por el páramo (Hofstede et al., 1998). Una característica típica de la flora del páramo es su alto grado de endemismo. Se estima que hasta un 90% de las especies de páramo, son endémicas (Luteyn, 1992).

En el **aspecto ecológico**, una de las funciones más importantes del páramo, es su capacidad de absorber grandes cantidades de agua, que sirven a las personas, para abastecerse de agua potable y riego.

En el páramo se pueden encontrar **diferentes zonas altitudinales**, cada una con su vegetación típica. Ascendiendo desde el límite superior del **bosque cerrado** (3 200-4 000 m.s.n.m.) hasta el límite inferior de la **nieve perpetua** (4 600-4 900 m.s.n.m.), las temperaturas bajan considerablemente y con esto, la vegetación se hace más baja y más abierta (Hofstede et al., 1998). Sobre la base de la fisonomía y la florística, el páramo ha sido dividido, tradicionalmente, en tres zonas altitudinales:

- Subpáramo o páramo arbustivo.
- Páramo propiamente dicho o pajonal.
- Superpáramo.

Subpáramo o páramo arbustivo: corresponde a la zona arbustiva de transición, generalmente entre 3 000 a 3 500 m.s.n.m. Presenta un mosaico de árboles pequeños dispersos, con pajonal y pequeños bambúes. Las plantas arbustivas incluyen géneros como: “mortiño” (*Vaccinium Befaria*), “árbol de papel” o “queñua” (*Polylepis*) y “sacha manzana” o “Quique” (*Hesperomeles*)

Páramo propiamente dicho o pajonal: es la zona más típica de páramo, entre

3 500 y 4 100 m.s.n.m. Existe presencia de pajonal y también de una vegetación postrada, que consiste en rosetas y hierbas. Éstas, a menudo, forman almohadillas, que son asociaciones de varias plantas muy unidas que tienen la ventaja de crear su propio microclima, en el que la temperatura es un poco mayor a la del medio. En-

tre las plantas arbustivas se encuentran: “sacha manzana” o “quique” (*Heperomeles*), “cachacomo” (*Escallonia*), “árbol de papel” (*Polylepis*), *Pernettya*, *Loricaria* y “chuquiragua” (*Chuquiraga*) y el “frailejón” (*Espeletia pycnophylla*) que es típico de esta zona.

Superpáramo: Es una franja en general, angosta, entre el pajonal y el límite de las nieves perpetuas, que se encuentra entre 4 100 y 4 800 m.s.n.m. Debido a las condiciones climáticas, tan severas, la vegetación es escasa. Los géneros más comunes son: *Senecio*, *Ephedra*, *Draba* y “chocho” (*Lupinus*). Los musgos y líquenes están bien representados en esta zona, formando almohadillas.

Como se mencionó antes, **los páramos son quemados en forma permanente** para usarlos en actividades agrícolas. Aunque, hay géneros que han desarrollado estrategias adaptativas para regenerarse, como: la “chilca” (*Baccharis Chuquiraga*) y el “suro” (*Chusquea Pernettya*). Otras especies no pueden resistir al fuego y sobreviven en los fragmentos de los bosques o simplemente están desapareciendo o ya se han extinguido. El páramo además, ha sido objeto de **sobrepastoreo** durante años.

Todo esto, sumado al hecho de que en el páramo es un ecosistema frágil, (debido a que los procesos ecológicos son más lentos) lo ha colocado entre las zonas más afectadas del mundo.

Para continuar vivenciando y recreando los páramos, debemos definir nuevas actitudes de uso, manejo y conocimiento.



La base de la gestión ambiental debe estar en la integración de las políticas territoriales, la educación y la organización social.

3.2.1 LAS CULTURAS Y LA NATURALEZA.

Historias de vida: Mi mamá tenía razón...***Fabián Calispa***

Cuando niño solía acompañar, a mi mamá a sembrar las parcelas de cultivos para nuestro alimento... Sembrábamos maíz junto con fréjol, haba, sambo y otras especies.

Antes de la siembra había que elegir las semillas. Alistábamos diferentes semillas de maíz. Un amarillo grueso, que era para tostado, un amarillo que terminaba en punta que era para harina, un blanco que servía para el mote y un blanco muy duro, era el morochuco... También teníamos chulpi, bien duro para desgranar, pero suavito una vez tostado... y canguil... y un maíz negro que daba color a la colada morada del día de los difuntos.

Lo que más me llamaba la atención era que no se sembraban todos los maíces el mismo día. Mi mamá hacía la siembra escalonada: primero el maíz amarillo para tostado, después otro, y así, hasta llegar al maíz negro.

A mí me molestaba, volver a sembrar y sembrar los maíces..., pero esa era la forma y había que cumplir. Mi mamá sólo decía "si se siembran todos juntos, se dañan". Yo no entendía lo que quería decir.

Después de muchos años, ya en la universidad, estudiando Genética, comprendí que el maíz tiene polinización cruzada y que para mantener las variedades, se debe conocer el período de polinización de cada especie y manipular la fecha de siembra, para evitar que el polen de una variedad se cruce con otra y se dañen sus características.

Entonces, me vino a la mente la forma de sembrar el maíz que practicaba mi mamá. ¡Cuanta razón tenía!... Su interés era conservar las semillas. Sin haber estudiado Genética, ella conocía esta cualidad del maíz. Por eso nos hacía sembrar de manera escalonada...

Muchas veces me pregunté: ¿Cómo sabía ella, todo eso? Si a duras penas terminó la escuela...

Pasó el tiempo y me tocó estudiar Agroecología (porque en la Universidad no me enseñaron este detalle) Entonces aprendí que el maíz era originario de los Andes y que nuestros antepasados eran verdaderos ingenieros genéticos. Porque supieron desarrollar, mejorar y conservar muchísimas variedades de maíz y han entregado al mundo, esta importante contribución para la alimentación humana.

Ahí comprendí... Mi mamá tenía razón... heredó este conocimiento y lo aprovechó... pero no alcanzó a explicármelo mejor... Se marchó antes.

A través de la historia, toda relación entre las diferentes culturas humanas y la naturaleza, ha dado como resultado, la modificación o desestructuración, en mayor o menor medida, de los sistemas naturales (o ecosistemas) y su transformación en agroecosistemas (CETAP, 1991)

Pero también, en esta relación entre las culturas y la naturaleza, siempre se ha configurado un conjunto de técnicas para el manejo de estos sistemas agrícolas, que constituyen parte del conocimiento campesino tradicional. Según el tiempo de permanencia y de relación con la naturaleza, de su habilidad innata para investigar, **muchas culturas alrededor del mundo han configurado sistemas agrícolas muy**

complejos (Blanco, 1996), con gran similitud con el ecosistema natural, por lo tanto, muy estables, productivos y fáciles de manejar.

Las diferentes culturas han ido dejando testimonio de sus prácticas. Buena parte de las civilizaciones pre-cristianas conocían muy bien sus ecosistemas, como el caso de los Incas, Aztecas y Mayas en el continente americano, y de los Galos y Celtas en el viejo mundo, sólo por citar algunos ejemplos.

En el Brasil, a partir del momento en que la agricultura indígena fue estudiada a profundidad, se descubrió que áreas consideradas no tocadas, por la mano humana eran, en realidad manejadas desde hace más de 10 000 años (Guazelly, 1993)

Algunos investigadores sostienen que través de esta influencia de la naturaleza en la formación de la cultura, **en los Andes, las culturas prehispánicas, desarrollaron un complejo tecnológico propio**, que constituye la base científica para la formación del conocimiento tradicional andino, cuyos principales rasgos, a pesar de los efectos de la conquista y la colonia, aún se mantienen vigentes (Altieri, 1996).



La relación culturas/naturaleza ha dado como resultado la configuración de un conocimiento tradicional propio para el manejo de los sistemas agrícolas locales.

Sin embargo, durante los últimos 50 años, en el país, la dinámica del mercado ha provocado cambios significativos en los sistemas de producción locales (CIBT, 1993), cuya principal consecuencia ha sido una mayor simplificación y desestructuración de estos sistemas, que tiene en el **monocultivo** su expresión más evidente.

Esta práctica agrícola intensiva, ha generado **otros problemas, antes no conocidos por los campesinos en sus agroecosistemas**, algunos de efecto visible en la parcela, como:

- la erosión,
- la presencia de plagas y enfermedades en cultivos y especies animales,
- las plantas invasoras que compiten con los cultivos,
- el deterioro de la fertilidad del suelo,
- la necesidad de aportes externos de fertilizantes para mantener los niveles de productividad, y
- la falta de agua para los cultivos, etc.

Y otros, de efecto más global, como:

- la drástica reducción de la biodiversidad,
- los cambios en los ciclos del clima,
- la reducción de la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades de las poblaciones,

- los efectos negativos del viento etc.,

frente a los cuales, el conocimiento local tradicional, ha evolucionado con mayor lentitud, en la búsqueda de respuestas.

Como podemos entender, en este proceso de rápidos cambios, **las prácticas propias de los campesinos no han resultado suficientes**, para resolver los distintos problemas que ahora afectan su producción.

De allí que sea necesario, el aporte de las ciencias occidentales. Concretamente de las ciencias agronómicas, las ciencias ecológicas y las ciencias sociales, para, de manera interdisciplinaria, poder, construir junto al conocimiento local, **un nuevo conocimiento que permita el manejo sustentable de los recursos naturales** (CIPAV, 1994).

El resultado de este *diálogo de saberes* debe ser la configuración de **un nuevo conocimiento, totalmente renovado**, que sirva de base para el diseño de una propuesta de manejo sustentable de los sistemas agrícolas.

DIÁLOGO DE SABERES

Conocimiento local tradicional + ciencias occidentales

=

Conocimiento renovado (nuevo conocimiento) para el manejo sustentable de los recursos naturales.

Pero, conviene tener presente que, dada la heterogeneidad de los ecosistemas (por lo tanto de los sistemas agrícolas) y la naturaleza diferenciada de los grupos étnicos de los Andes, es claro que **no puede existir un tipo único de intervención tecnológica para el desarrollo.**



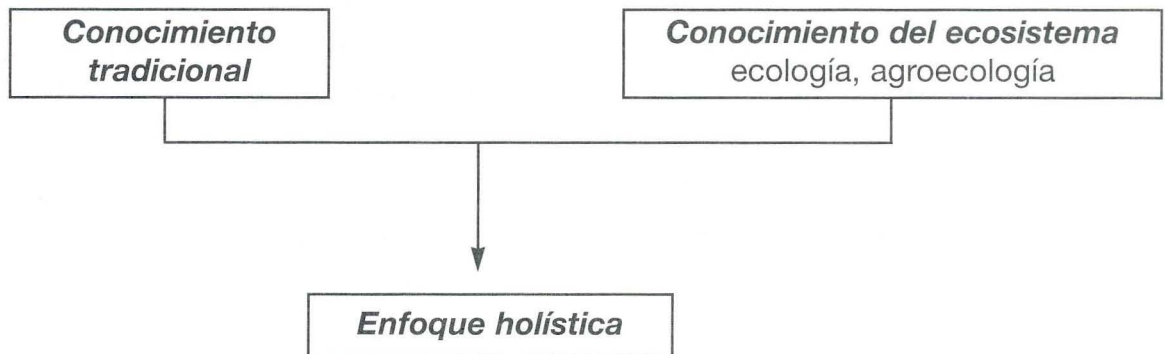
Las soluciones deben diseñarse de acuerdo con las necesidades y aspiraciones de las comunidades específicas, así como de acuerdo con las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes.

El problema con el enfoque agrícola convencional (agricultura químico-mecanizada), es que no ha tomado en cuenta las inmensas variaciones de los ecosistemas locales, las relaciones económicas ni el tipo de organizaciones sociales que existen en la región. Por lo tanto, el desarrollo agrícola no ha coincidido con las necesidades y potencialidades de los campesinos locales (Altieri, 1995)

Frente al deterioro de los recursos naturales, en especial del suelo y del agua, por el uso de técnicas inadecuadas que se orientan sólo a la búsqueda de la renta, hace falta **configurar un enfoque más integral** (holístico) que en lo esencial enfrente el problema de:

- la conservación de los recursos naturales,
- la seguridad alimentaria de nuestros pueblos,
- la supervivencia de los campesinos en el campo y
- la adecuada relación de éstos con el mercado.

Este enfoque holístico surge del conocimiento de los mecanismos y procesos de funcionamiento del ecosistema natural, para poder aplicarlos en la práctica agrícola.



Ahora, analicemos nuestra práctica...

Hagamos una lista de los distintos problemas tecnológicos, que antes no existían en nuestras parcelas y a los que nuestro conocimiento campesino tradicional, no ha podido responder.

3.2.2 Diferencias entre ecosistemas natural y agrosistemas

Se conoce como **agrosistema** al ecosistema natural que ha sufrido modificaciones, por la intervención de los grupos humanos, para la práctica de la agricultura. En otras palabras, se trata de un ecosistema “domesticado”, que ha sufrido cambios según la intensidad de la intervención humana.

Para el tratamiento del tema de agroecosistemas nos basamos en el trabajo de Altieri (1995).

Las diferencia entre ecosistema y agroecosistemas las podemos analizar si tomamos en cuenta los siguiente factores:

- **Fuente de energía:** mientras los ecosistemas, en condiciones naturales, utilizan la energía natural (el sol) para el sostenimiento del sistema, los agroecosistemas requieren de fuentes auxiliares de energía, que puede ser humana (mano de obra) o combustible (fertilizantes sintéticos, herbicidas o insecticidas) para aumentar la productividad de organismos específicos, como son los cultivos o las especies animales.

- **Diversidad:** los ecosistemas, en especial el tropical-húmedo, se caracterizan por su elevada diversidad, mientras que los agroecosistemas pueden tener una biodiversidad reducida, llegando inclusive al extremo del monocultivo.
- **Selección de especies:** mientras en los ecosistemas naturales las especies atraviesan por el proceso de selección natural, en el agroecosistema, los propios productores, seleccionan, artificialmente las plantas y animales.
- **Regulación:** los ecosistemas naturales se autoregulan mediante mecanismos internos, que les dan la característica de sistemas homeostáticos (autorregulados). Los agroecosistemas, debido a la simplificación de la biodiversidad, pierden esta capacidad, por eso hay que regularlos mediante controles externos como son los fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc.

Aunque varios autores han empleado términos tales como **agroecosistema** o **sistema agrícola** o **sistema cultivado**, como sinónimos, conviene hacer algunas precisiones:

El **agroecosistema** expresa el conjunto de relaciones que se dan entre los distintos organismos (incluida la familia campesina) al interior de una parcela.

En cambio, el **sistema agrícola** es un concepto más amplio, que incluye por ejemplo, las relaciones de la familia con el entorno y en especial, con el mercado o las instituciones.

También conviene establecer las diferencias entre agroecosistema tradicional y sistema agrícola convencional:

Agroecosistema tradicional: Es el sistema de producción en el que se mantienen aspectos propios de la cultura tradicional andina, como la diversidad de especies (expresada en las asociaciones, policultivos, sistemas agroforestales) y la reposición natural de nutrientes como barbechos, abonaciones orgánicas, etc.

Sistema agrícola convencional: Es el sistema de producción en el que se aplican las técnicas de la “revolución verde”. Se llama “convencional” por cuanto este sistema de producción ha sido adecuado a los intereses de la industria de los países desarrollados, que proveen los insumos e implementos como fertilizantes, insecticidas, herbicidas, híbridos, tractores, etc. La expresión más evidente de este modelo, es el monocultivo.

3.2.3

CLASIFICACIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS



Una de las mejores zonas para producir tomate en la sierra, es Pimampiro, en la provincia de Imbabura. El ajo y la cebolla crece muy bien en la zona norte de la provincia de Chimborazo, así como Patate, en Tungurahua, reúne las mejores condiciones para la producción de tomate de árbol, las manzanas, uvas, babaco, etc.

¿Por qué sucede esto en el Ecuador?

Según Altieri (1995) cada región o microregión, tiene características agroecológicas y socioeconómicas, particulares, que la diferencian de las demás. Estas cualidades son el resultado de las variaciones locales en el clima, el suelo, las relaciones económicas, la estructura social, la cultura y la historia, como podemos ver en el siguiente cuadro.

Cuadro 20 Características del agroecosistema que establecen el tipo de agricultura de cada región (Altieri, 1995)

Tipo de características	Factores
Físicos	Radiación Temperatura Lluvia, suministro de agua (humedad, presión) Condiciones del suelo Declive Disponibilidad de tierra
Biológicos	Plagas de insectos y enemigos naturales Comunidades de vegetación nativa (malezas) Enfermedades de plantas y animales Biota del suelo Entorno de vegetación natural Eficiencia de la fotosíntesis Modelos de cultivos Rotación de cultivos
Socioeconómicos	Densidad de la población Organización social Economía (precios, mercados, capital y disponibilidad de crédito) Asesoría técnica Herramientas de cultivo Grado de comercialización Disponibilidad de mano de obra
Culturales	Conocimiento tradicional Creencias Ideología División sexual del trabajo Hechos históricos

A pesar de que cada parcela es distinta, muchas de ellas, en un lugar determinado, muestran similitud y se identifican con un tipo de agricultura. Por eso se las puede agrupar como parte de un agroecosistema.

Los criterios para clasificar a los agroecosistemas de una región, pueden ser:

- El tipo de asociaciones de cultivos y el ganado.
- Los métodos para producir los cultivos y el ganado.
- La intensidad en el uso de la mano de obra, capital, organización y producción resultante.
- La distribución de los productos para el consumo (ya sea que se utilicen para la subsistencia en la finca o para el mercado).
- El conjunto de estructuras usadas para la casa y para facilitar las operaciones de la finca.

Sobre la base de estos criterios, las parcelas se han clasificado en seis agroecosistemas:

- Sistemas de cultivo itinerante.
- Sistemas semipermanentes de cultivo de secano (sin riego).
- Sistemas permanentes de cultivo de secano.
- Sistemas arables de irrigación.
- Sistemas de cultivos permanentes.
- Sistemas de cultivos-ganado.

Sin embargo, más allá de la utilidad práctica de la clasificación de los agroecosistemas, la información que se pueda recopilar, debe permitir la evaluación del “Estado Ecológico y la Sustentabilidad de los Agroecosistemas Andinos”, para establecer la capacidad del agroecosistema de mantener un rendimiento constante a lo largo del tiempo, sin arriesgar la integridad de sus componentes estructurales y funcionales.

Dadas las condiciones especiales de los ecosistemas andinos: suelos marginales, la pendiente y el potencial erosivo, es posible que, enfocando la atención sobre indicadores de la sustentabilidad y calidad del suelo, se logre una visión general sobre la sustentabilidad ecológica de los agroecosistemas:

- El primer paso es identificar los procesos que degradan el suelo - actuales y potenciales- y las propiedades del suelo que serán afectadas por procesos como la erosión, compactación, degradación química y biológica, etc.
- El segundo paso consiste en volver a evaluar estos indicadores afectados por los procesos modificadores del suelo, de acuerdo con el tipo de uso del suelo y con los sistemas de cultivo usados. Esto es importante para identificar las prácticas de conservación (terrazas, cultivos de cobertura, adición de materia orgánica, etc.) que sirvan para mejorar y proteger la estructura del suelo, su biología, su capacidad de retención de humedad, etc. Así como también, los diferentes mecanismos involucrados en el reciclaje de nutrientes.



Las culturas andinas han dejado un importante legado de conocimientos para el manejo de los sistemas agrícolas, especialmente, algunas técnicas para el manejo del suelo, los cultivos, los animales y el riego.

Ahora, revisemos nuestra práctica.

Comparemos la diversidad y las condiciones del suelo entre un ambiente natural, un agroecosistema tradicional y un monocultivo manejado con agroquímicos.

Para cumplir esta actividad identificaremos tres lugares:

- un pequeño bosque o chaparro, que tenga, por lo menos, cinco años de crecimiento sin intervención,
- un policultivo tradicional, por ejemplo donde se siembre maíz, fréjol, habas, etc.
- un cultivo de papa.

Ahora vamos a abrir una pequeña calicata y prestaremos atención a los siguientes aspectos:

- la presencia de materia orgánica
- el color y el olor del suelo,
- las diferencias en formación de las raíces,
- la cantidad y variedad de bichos del suelo (arañas, lombrices, hormigas).

3.2.4 Agrosistemas andinos que permanecen en la cultura agrícola actual

A pesar de las fuertes transformaciones que han sufrido los sistemas agrícolas tradicionales andinos, en algunos sectores se observan rasgos evidentes de la cultura agrícola que desarrollaron nuestros antepasados, cuya base para la estabilidad, es el adecuado uso y manejo del suelo y la biodiversidad. Algunos de los más interesantes son estos:

Policultivo de cereales, con transferencia de fertilidad

En algunas zonas del norte del país, se practica la siembra de un policultivo integrado por maíz, haba, fréjol, zambo, quínoa y chochos. Después de la cosecha del último producto, se introduce el ganado (vacas), cerdos y borregos para que consuman el rastrojo y abonen el terreno. De esta manera los animales aportan nutrientes, para los cultivos, a través de su estiércol (Field, 1991)

Hortalizas-frutales-cuyes

En Sigsig, provincia del Azuay, las mujeres que han quedado en las comunidades manejan un sistema de producción, integrado por cuyes, que crían en sus casas y por pequeñas parcelas de hortalizas, alfalfa, pastos y manzanas. Se trata de un sistema bastante bien integrado cuyos componentes se complementan (Martínez, 1996).

Las hortalizas, las manzanas y los cuyes sirven para el autoconsumo y el mercado, la alfalfa y el pasto, se destinan a la alimentación de los cuyes y a la venta, mientras que el estiércol de los cuyes, sirve de abono para las hortalizas y manzanas.

Producción pionera de papas en el páramo

En algunas zonas de Cayambe, los indígenas voltean el suelo del páramo para sembrar papas aprovechando la fertilidad natural de los suelos. Después de dos o tres campañas, los suelos son dejados en descanso para que se recuperen (Field, 1991).

En la zona andina, se puede observar una mezcla de varios agroecosistemas dentro de la misma finca, ya que los agricultores andinos tienen, en su memoria histórica, la idea de la diversidad, el reciclaje, la reposición de nutrientes, etc.

La influencia del mercado

Observamos, en muchas zonas de la región andina una clara tendencia hacia la especialización productiva debido a que la influencia del mercado ha modificado los esquemas tradicionales de producción. En varias zonas se puede ver la predominancia de un determinado cultivo, así:

- papas en algunas zonas del Carchi,
- maíz para choclo en varias zonas de la provincia del Imbabura,
- fréjol y tomate en Pimampiro,
- hortalizas y frutales en Tungurahua,
- cebolla, ajo y zanahoria en varias comunidades del norte de la provincia del Chimborazo,
- caña para aguardiente y ganadería en ambas estribaciones de las cordilleras, etc.

Estos cambios locales, sin duda, tienen directa relación con los cambios que en el ámbito global están ocurriendo. Por ejemplo, se ha podido observar que la apertura de las fronteras y la liberación de los mercados está provocando la competencia entre agricultores de distintos países, con efectos lamentables para los que están menos especializados. Este es el caso de los fruticultores de la zona central del país que deben soportar la presencia de manzana chilena, a precios más bajos que el de las locales.



En adelante, la agricultura del mundo se desarrollará con un mercado ampliado, normada por reglas mundiales y regionales, mientras que los productores locales tendrán márgenes de maniobra cada vez menores.

Si bien las perspectivas no están claras, podemos afirmar que la agricultura ecuatoriana en general y la andina en particular, es todavía competitiva, debido a la subvaloración del costo de la mano de obra y al valor de la tierra. Por ejemplo, los costos nacionales no tienen comparación con lo que les cuesta producir a los vecinos agricultores de Colombia.

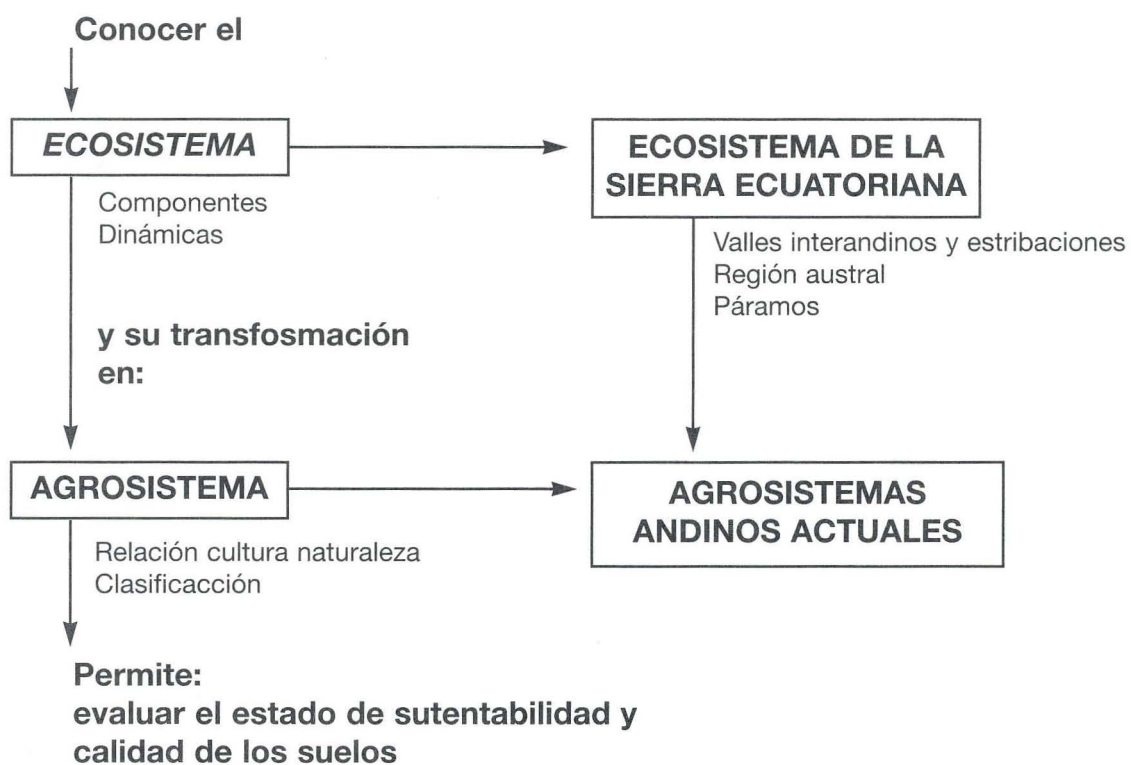
Ahora, analicemos nuestra práctica...

Cada cual en su zona de trabajo, observará y describirá cómo las personas campesinas hacen para mantener la fertilidad de sus suelos.



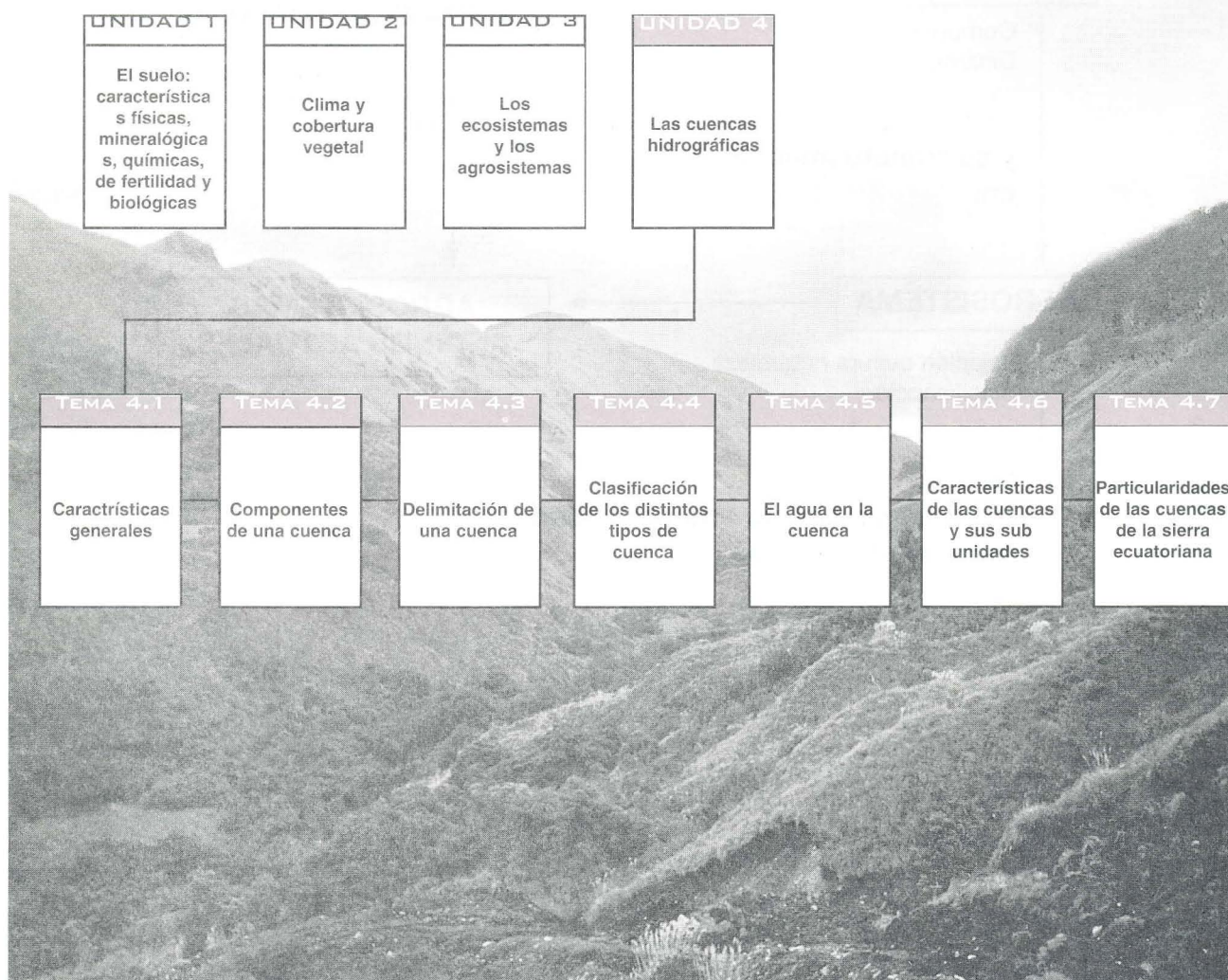
FOTO 1: La Importancia de la Biodiversidad en los Andes La base de la estabilidad de los sistemas andinos es la compleja integración de la biodiversidad. En la foto, una parcela altamente diversificada en la comuna Angahuana, provincia del Tungurahua.

Para sintetizar lo trabajado en esta unidad interpretamos el siguiente mapa conceptual.



LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

4 UNIDAD



RESUMEN

El enfoque de esta unidad está centrado en la caracterización de los elementos de una cuenca hidrográfica, y sus subunidades las subcuencas y las microcuencas, como unidades naturales básicas para la planificación del aprovechamiento y manejo de los recursos naturales renovables, en armonía con los intereses de la población.

Además se caracterizó al agua en la cuenca y la importancia de sus componentes en la regulación del ciclo hidrológico. También se brindan algunas técnicas y herramientas para diagnosticar los diferentes factores biofísicos y socio económicos de especial importancia en la elaboración de planes de ordenamiento y/o manejo adecuado de los recursos naturales en la cuenca. Finalmente se presentan algunas características de las cuencas de la Sierra ecuatoriana.



OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar esta unidad las y los participantes estarán en capacidad de:

- Caracterizar los principales componentes de la cuenca hidrográfica relacionados con la planificación del aprovechamiento y manejo de los recursos naturales renovables.
- Analizar desde una perspectiva integral la problemática de una unidad hidrográfica.

Partimos del criterio de que una cuenca no es igual que otra. Por lo tanto, la información bibliográfica y de experiencias que se presenta en este material es, simplemente, una guía que, con facilidad, puede ser adoptada y adaptada a su realidad.

Para poder tener una primera idea, general y concreta, sobre una cuenca hidrográfica, resulta práctico y eficaz compararla con la hoja de una planta:

- el nervio central de la hoja, vendría a ser el **cauce principal** del río,
- los nervios secundarios, **sus afluentes**,
- el borde de la hoja, **la divisoria topográfica** (los límites de la cuenca), dentro de la cual hay una serie de otros elementos o componentes,
- el flujo de la savia vegetal, representaría **el movimiento del agua** en la cuenca, y
- las sustancias químicas, **los distintos componentes**, relacionados entre sí, que interactúan en una cuenca, buscando siempre un equilibrio natural (recursos naturales, aspectos sociales, económicos y jurídicos institucionales etc.)

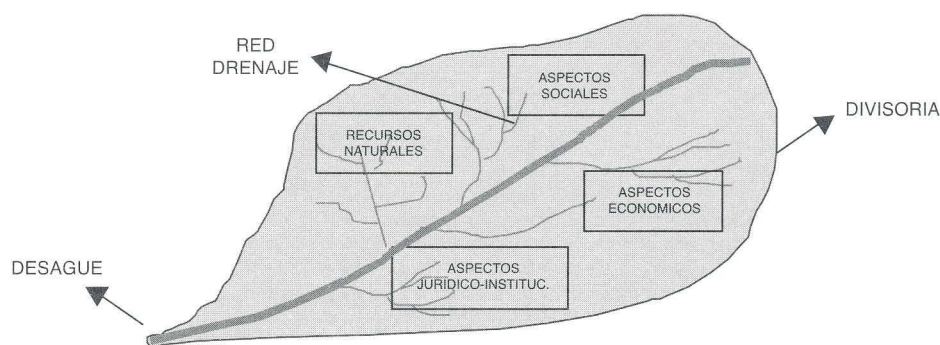


Figura 34 Cuenca hidrográfica

Desde el CAMAREN consideramos que una cuenca es una unidad territorial y ambiental delimitada por una línea divisoria de aguas, que tributa o alimenta a una red natural de drenaje, con una salida única. En su interior se encuentran una serie de elementos como el agua, la flora, la fauna, el suelo y las personas, que actúan formando un sistema abierto e interdependiente.

La presencia de los seres humanos en las cuencas hidrográficas, determina la consideración de aspectos sociales, económicos, jurídicos e institucionales. El ser humano interactúa con el medio ambiente, aprovechándolo para satisfacer sus necesidades e interviniendo en su equilibrio ecológico.

Todos estos elementos –personas y recursos naturales- se interrelacionan en forma permanente, generando una interdependencia importante que deberá ser orientada hacia un desarrollo sostenible.

Entendemos por desarrollo sostenible "el satisfacer las necesidades sociales, económicas, tecnologías y ambientales, sin comprometer las capacidades las generaciones futuras para alcanzar sus propias necesidades..." (WCED, 1987)

Por eso, para la FAO, una cuenca hidrográfica es **"una unidad hidrológica, físico-biológica, socio- económica y política para la planificación y ordenación de los recursos naturales"**.

4.1.1 LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA CUENCA

Los principales elementos, son:

Recursos naturales: Agua, suelo, vegetación, fauna, recursos geofísicos, geológicos, geomorfológicos, climáticos, etc.

Aspectos sociales: Población, cultura, creencias, costumbres, comportamientos, ideologías, religión, entre otras.

Aspectos económicos: Producción, productividad, mercadeo, consumo, comercialización, empleo.

Aspectos Jurídicos institucionales: Tenencia de los recursos (tierra, agua), normas y leyes para el uso de reservas y áreas silvestres protegidas, y participación de organizaciones comunitarias e instituciones locales, gubernamentales y no gubernamentales.

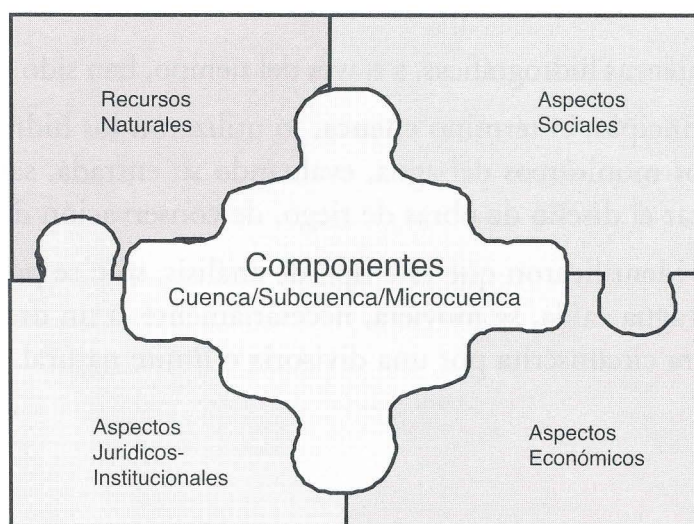


Figura 35 Elementos de una cuenca hidrográfica

Las subcuencas y las microcuencas

Son las unidades menores en las que se divide una cuenca hidrográfica para poder estudiarla.

Entonces, las **subcuencas** son unidades de menor tamaño que la cuenca principal. Las **microcuencas** son áreas más pequeñas que las subcuencas y las **fuentes de agua** son unidades mucho más pequeñas, que las microcuencas.

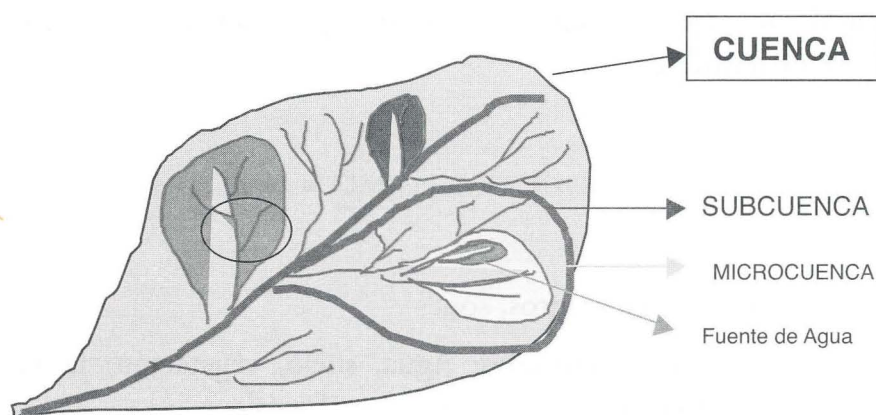


Figura 36 Cuenca con sus unidades territoriales menores

La posibilidad de trabajar en las unidades menores de una cuenca, como son las microcuencas, nos permitirá tener mayores resultados e impactos en nuestra intervención para lograr un mejor manejo o protección de sus recursos.

4.1.2 Las cuencas hidrográficas un poco de historia...

Las cuencas hidrográficas, a través del tiempo, han sido utilizadas con diferentes fines. Al principio, el término **cuenca**, lo utilizaron los hidrólogos que necesitaban realizar los monitoreos del agua, evaluando su entrada, salida y almacenamiento, para realizar el diseño de obras de riego, de conservación de suelos e infraestructura.

Ellos identificaron que este tipo de análisis, sólo se podría realizar en un área donde el agua caída, se moviera, necesariamente, a un drenaje común. O bien que estuviera circunscrita por una divisoria o límite natural.

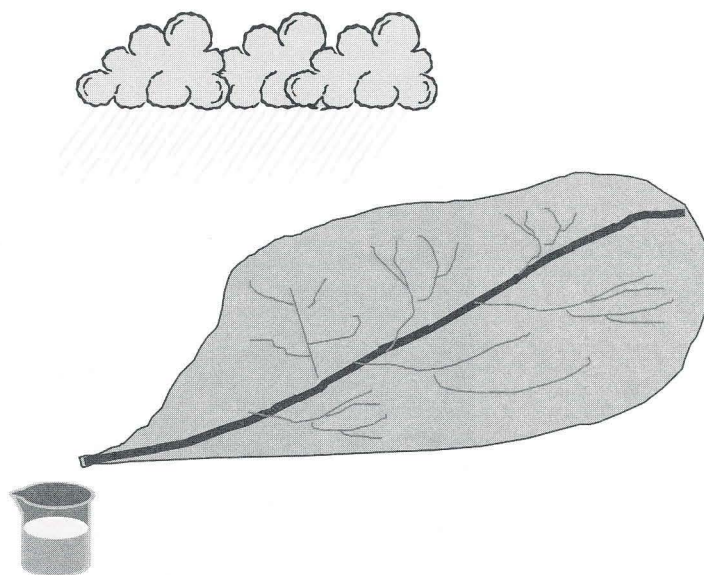


Figura 37 Evaluación Entrada - Salida

Después, las cuencas y microcuencas se consideraron **espacios de planificación local** usados para la producción agrícola, pecuaria, forestal, el control de sedimentación de embalses, y la provisión de agua para consumo humano.

Se lograron buenos resultado en la protección de los sistemas naturales y en la provisión de agua a los centros poblados.

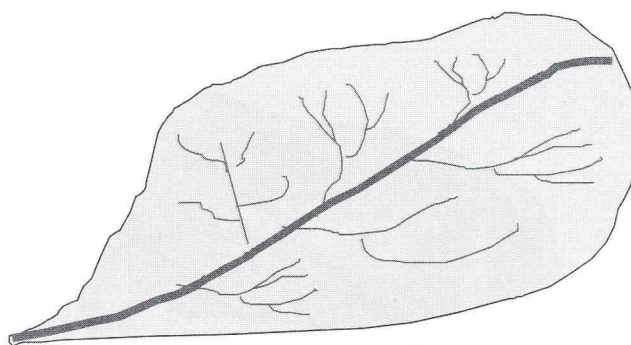


Figura 38 Protección de los Sistemas Naturales

- Ahora, se considera que una **cuenca** es un **espacio físico de planificación más integral**, que ayuda a concentrar procesos, relaciones sociales, económicas y permite evaluar los impactos ambientales causados, tanto por las acciones de los seres humanos como de los fenómenos naturales.

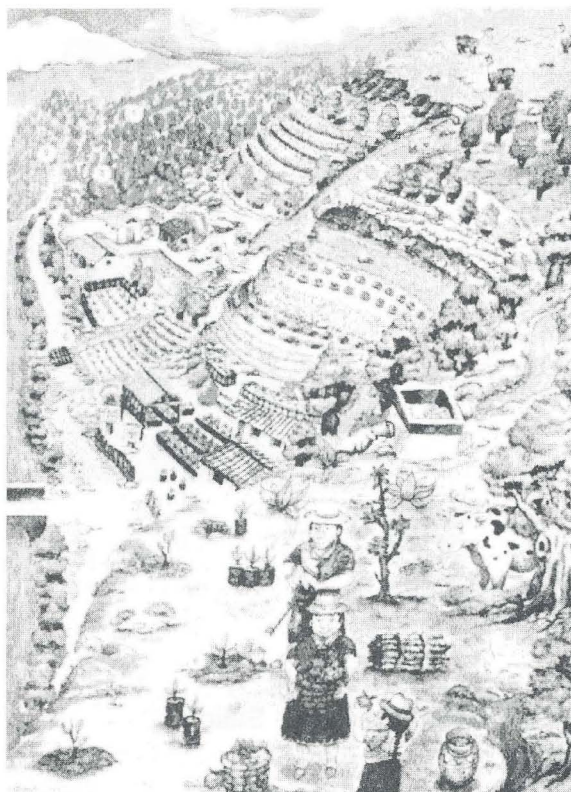


Figura 39 Espacios de planificación integral

Dentro del marco de planificación y desarrollo integral, hay quienes plantean que las divisiones político-territoriales (provincias, cantones, parroquias y comunidades), deben hacerse en función de unidades geográficas como: cuencas, subcuencas, microcuencas y fuentes de agua, con sus respectivos equivalentes a provincias, cantones, parroquias y comunidades.

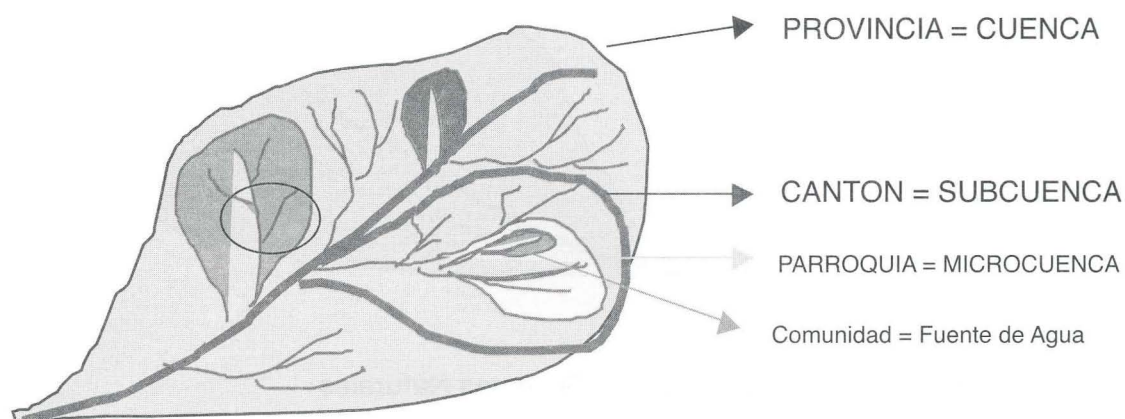


Figura 40 Planteamiento de nuevo esquema de distribución territorial

Esta propuesta sobre unidades territoriales parece muy lógica e interesante, porque las poblaciones ubicadas en las partes altas de las microcuencas, se interesarían por quienes habitan en las partes bajas y están afectados por la contaminación de sus aguas y la reducción de los caudales, debido al mal uso de los recursos de las partes altas.

Al realizar la planificación y desarrollo integral, en función de este tipo de unidades geográficas, toda la población dependerá de las mismas políticas, reglamentos y leyes, logrando así, un mejor control de sus recursos. Entonces las acciones que se realicen, en estas áreas geográficas repercutirán, en la calidad de vida de los habitantes de la cuenca.

Está integrada por:

- su cauce,
- la divisoria de aguas,
- la vertiente y
- el valle.



Figura 41 Partes físicas de una cuenca hidrográfica

4.2.1 CAUCE

Es la sucesión de puntos de la cota más baja de cada sección transversal. En la sección transversal del cauce, se pueden distinguir **el lecho y los taludes**, los cuales varían entre otras cosas, con el tipo de corriente, la zona de la cuenca en que se encuentran o los sedimentos que acarrean.

Los cauces pueden ser permanentes o temporales. Y pueden cambiar de una condición a otra, dependiendo del uso que se les dé a los recursos naturales de la cuenca.

Son cauces **permanentes** cuando mantienen su caudal de agua y cauce, por más fuertes y largos que sean los períodos de sequía. Se presentan cuando las cuencas se encuentran bien protegidas y/o manejadas en forma adecuada.

Son cauces **temporales** cuando dependen fundamentalmente de los períodos lluviosos y de las escorrentías que los forman, perdiéndose en los períodos de sequía. Se presentan en las cuencas que están desprotegidas de vegetación, que es el elemento regulador de la permanencia de los cauces.

4.2.2 DIVISORIA DE AGUAS

Corresponde al límite de la cuenca. Se la conoce también como “parte aguas” y se la define como la línea que circunscribe un área que tiene un drenaje común, o la línea que separa las dos cuencas hidrográficas vecinas, como podemos ver en el gráfico.

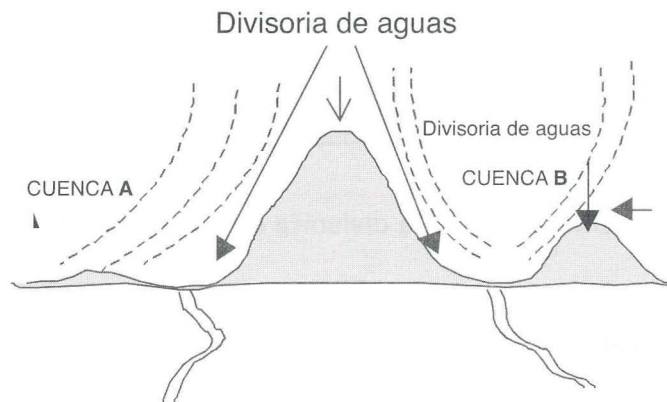


Figura 42 Divisoria de aguas de cuencas subyacentes

Una cuenca generalmente tiene dos tipos de divisorias: una de aguas superficiales (divisoria topográfica) y otra de aguas subterráneas o subsuperficiales (divisoria geológica o freática)

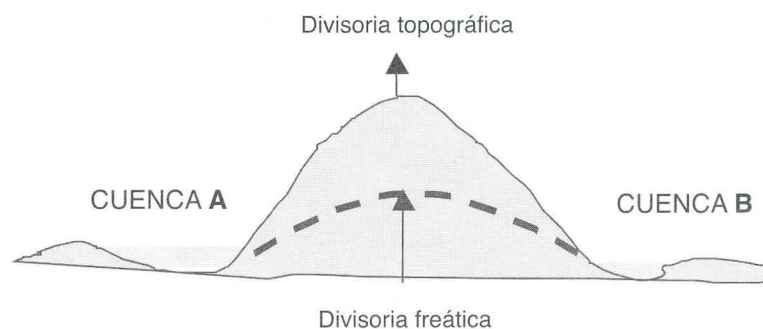


Figura 43 Divisoria de aguas topográfico y freático

El límite topográfico es el que divide una cuenca de otra y determinará hacia donde irá la precipitación. El límite freático, divide el drenaje del agua subterránea o agua freática, que va por debajo del suelo.

Es importante destacar que, la divisoria topográfica no siempre coincide con la divisoria de aguas freáticas. Cuando esto ocurre, se presenta escape de agua de una cuenca a otra.

Como vemos en el siguiente gráfico, el escape de agua de la cuenca B pasa hacia la cuenca A.

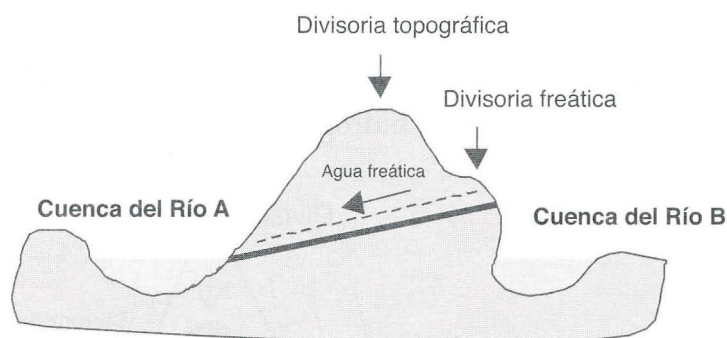


Figura 44 Diferencia de la divisoria de agua, topográfica con respecto de la freática

En términos generales, el escape de agua de una cuenca ocurre, desde la más alta a la más baja.

La localización exacta de la divisoria freática, es casi siempre desconocida.

Los estudios de cuencas, identifican solamente la divisoria de aguas superficiales y en muy pocos casos, la divisoria de aguas subsuperficiales o subterráneas.

4.2.3 VERTIENTE

Es el área entre el cauce y la divisoria topográfica. La mayoría de los usos de la cuenca se concentran en estas áreas desarrollando actividades agrícolas, pecuarias, de minería y forestales entre otras.

4.2.4 VALLE

Es el área más o menos plana, que existen entre la finalización de las vertientes empinadas y el cauce. En las zonas montañosas, el valle es muy pequeño o no existe, debido a que las vertientes caen directamente al cauce. En cuencas más grandes, de zonas medias y bajas, existen valles de diferente amplitud que constituyen una zona de amortiguamiento de la escorrentía que se dirige hacia el cauce.

En las vertientes y valles hay usos agrícolas, pecuarios y forestales, que determinan en gran medida, la degradación o conservación de los recursos de la cuenca.



Es necesario manejar en forma adecuada, los recursos naturales de la cuenca, para conservarlos y favorecer el desarrollo equilibrado del ser humano.

Como hemos dicho anteriormente los límites de la cuenca, subcuenca o microcuenca, son las líneas divisorias de aguas que corresponden a los filos de los cerros que parten las aguas de lluvia, para escurrir hacia uno u otro curso de agua.

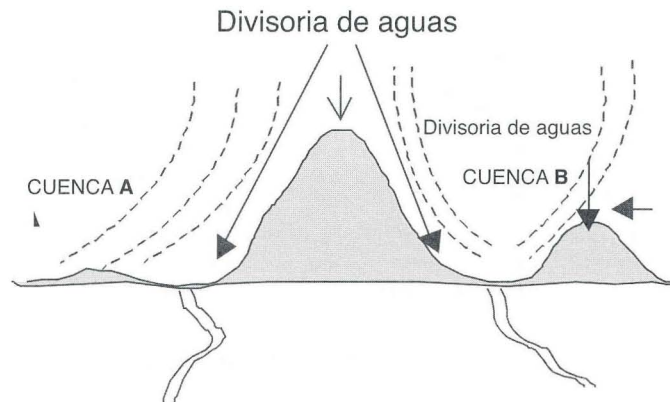


Figura 45 Divisoria de aguas

Para delimitar una cuenca en el campo, hay que tener en cuenta la **topografía del terreno**. La delimitación, la podemos hacer recorriendo los cerros que parten las aguas hacia una y otra unidad geográfica.

También podemos delimitar las cuencas a partir de los mapas topográficos.

¿Cómo se delimita una cuenca en un mapa topográfico?

Los pasos para delimitar una unidad geográfica - cualquiera que sea su tamaño - en un mapa topográfico son:

- Identificar la **red hidrográfica** caracterizada por el conjunto de ríos y cauces (líneas azules en el mapa topográfico).
- Señalar los bordes de las laderas que indican los **límites de la cuenca**, cortando las curvas topográficas de mayor cota.
- Dibujar la forma de la cuenca.

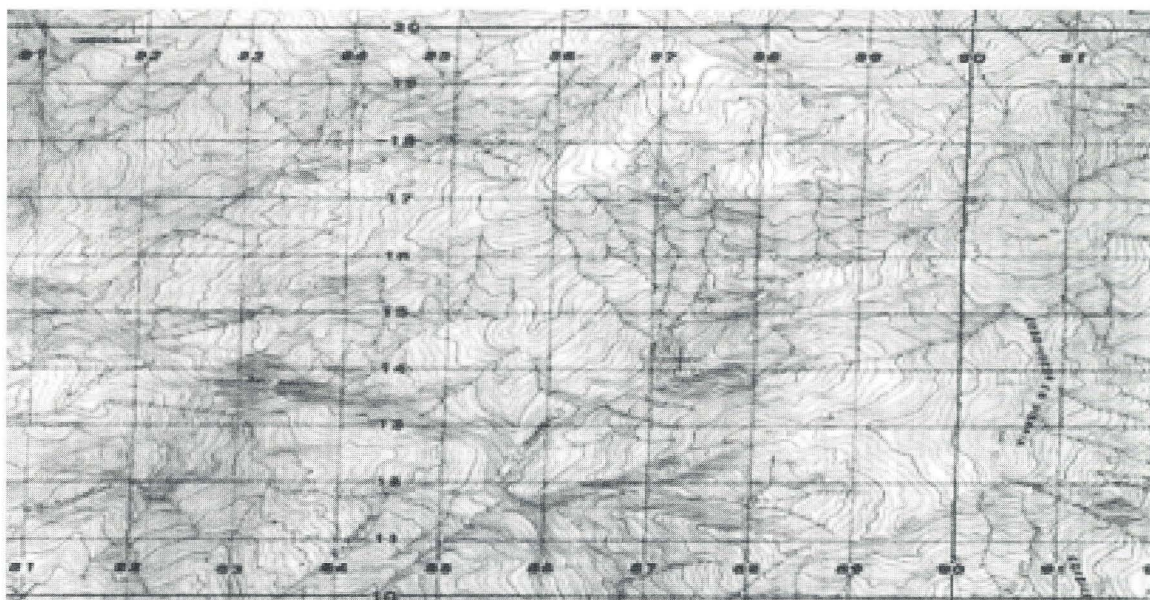


Figura 46 Delimitación de una cuenca, subcuenca o microcuenca en una carta Topográfica

El Instituto Geográfico Militar ha elaborado la cartografía del Ecuador (IGM) en diferentes escalas, facilitando la delimitación de cualquier unidad geográfica del país.

Como ya hemos visto, en las cuencas se presentan situaciones físicas y socioeconómicas, con grado variable de complejidad, sobre las cuales actúan factores técnicos, institucionales y políticos.

Para entender el funcionamiento y facilitar el diseño de estrategias de manejo de las cuencas, es necesario clasificarlas en función de varios criterios. Los más empleados en nuestro medio son:

- clase de vertientes,
- tenencia de tierra,
- explotación agrícola,
- presencia de áreas naturales y bosques protectores,
- altitud,
- área,
- permanencia del caudal durante el año,
- clima,
- densidad de población,
- propósito del tratamiento.

4.4.1 SEGÚN LA CLASE DE VERTIENTE

Existen tres tipos de cuencas:

- embudo
- corredor y
- canelón

Tipo embudo

Estas cuencas concentran las aguas de escorrentía, en una red densa y muy ramificada. Las vertientes son empinadas, de pendientes fuertes, poco alargadas y tienen un importante volumen rocoso en su composición. Las características principales son:

- Pendiente fuerte mayores de 30° .
- Rocas impermeables.
- Suelos finos.
- Crecidas de fuertes intensidades.
- Forma redondeada.

- Red densa y ramificada.

En estas cuencas las crecidas en general se producen **antes** de que termine una lluvia y resultan ser un poco peligrosas.

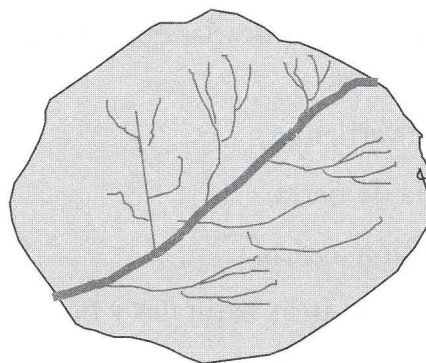


Figura 47 Cuenca tipo embudo

Tipo corredor

Son las cuencas de las zonas calcáreas. Tienen grandes superficies planas de mesetas calcáreas, ligeramente onduladas en los páramos. Un solo valle se entalla en profunda garganta; los escasos afluentes, igualmente encajonados, son casi siempre muy cortos.

Las crecidas por lo general se producen **después** de ocurrido un evento de precipitación, por lo que es menos peligrosa que la cuenca tipo embudo.

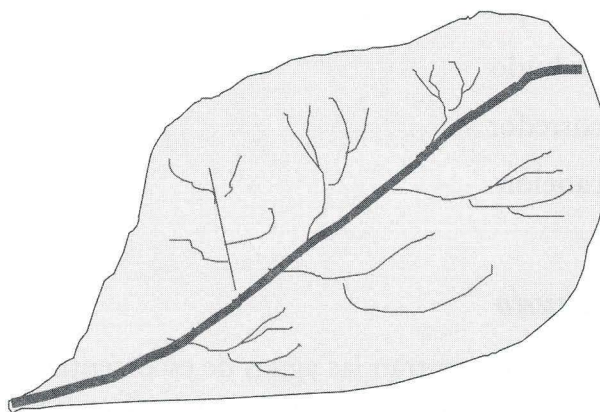


Figura 48 Cuenca tipo corredor

Tipo canelón

Se encuentran en terrenos planos. Las cuencas son poco alargadas, parecidas al tipo corredor, pero las pendientes de las vertientes, son suaves.

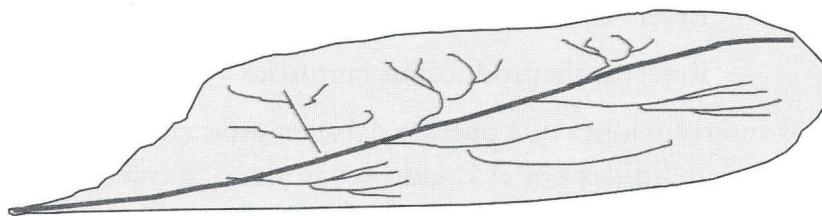


Figura 49 Cuenca tipo canelón

4.4.2 SEGÚN LA TENENCIA DE LA TIERRA

Sobre la base de este criterio, podemos clasificar las cuencas en:

- privada,
- estatal, y
- municipal.

En las cuencas privadas, la estrategia de manejo es compleja, porque, necesariamente, debe involucrar a toda la población para lograr los objetivos del plan.

El manejo de las cuencas estatales y municipales, implica una muy buena coordinación con las políticas del Estado central y local.

4.4.3 SEGÚN EL TIPO DE EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA

Podemos clasificarlas en:

- Cuencas de **minifundio**, de manejo complicado.
- Cuencas de **latifundio**, de manejo difícil.
- Cuencas **empresariales**, donde el interés de los propietarios es particularmente económico.
- Cuencas **comunales** de asociación y cooperativas, donde es necesario un trabajo con organización y apoyo financiero.

4.4.4 SEGÚN LA PRESENCIA DE ÁREAS NATURALES Y BOSQUES PROTECTORES

En la legislación ecuatoriana podemos encontrar:

- Parques nacionales
- Reservas ecológicas
- Áreas de recreación
- Bosque protectores
- Reservas etnobotánicas

- Reservas biológicas
- Reservas de producción faunística

Las intervenciones que pueden darse en estas cuencas, dependen de normas y regulaciones definidas por el Estado ecuatoriano, a través del organismo responsable, el Ministerio del Ambiente,

4.4.5 SEGÚN LA ALTITUD

En Ecuador, según la altitud sobre el nivel de mar, las cuencas se dividen en:

- **cuencas altas:** ubicadas sobre los 2.000 m.s.n.m.. Son todas las cuencas de la sierra ecuatoriana,
- **cuencas medias:** varían en los rangos altitudinales entre 500 y 2.000 m.s.n.m y
- **cuencas bajas:** se encuentran por debajo de los 500 m.s.n.m.

4.4.6 SEGÚN SU ÁREA

El ex INEFAN, en su momento, propuso la siguiente clasificación:

- Sistema hidrográfico (+ de 300 000 ha)
- Cuenca (100 000 – 300 000 ha)
- Subcuenca (15 000 – 100 000 ha)
- Microcuenca (4 000 – 15 000 ha)
- Fuente de agua (- de 4 000 ha)

4.4.7 SEGÚN LA PERMANENCIA DEL CAUDAL DURANTE EL AÑO

Podemos distinguir:

Permanentes: tienen escorrentía todo el año. Como en el caso de las cuencas de la Amazonía.

Intermitentes: Con escorrentía en los meses de precipitación. Por ejemplo aquellas microcuencas que son parte del río Paute.

Efímeras: la escorrentía se presenta horas después de una lluvia. Son las que se ubican en zonas desérticas. Por ejemplo, las microcuencas que pertenecen al cantón Santa Isabel, en la provincia del Azuay.

En nuestro país existen muchos ejemplos de cuencas que han pasado del régimen permanente al efímero, **por el mal manejo de los recursos naturales**, lo cual provoca consecuencias económicas y sociales negativas, como pérdidas de cultivos, baja

productividad, migraciones, etc.

Por otro lado, vale la pena mencionar que **si promovemos un buen manejo de la cuenca, existen muchas posibilidades de transformar una corriente efímera en una corriente estable o permanente.**

4.4.8 SEGÚN EL CLIMA

Tenemos:

Cuencas de zonas húmedas: en las cuales la estrategia de manejo se orienta a controlar los excesos de agua y los problemas erosivos. Por ejemplo las partes altas del Cajas en la provincia del Azuay.

Cuencas de zonas secas: donde el objetivo es disminuir la evapotranspiración, siempre que se mantenga la estabilidad de los suelos. Es el caso del sector del Chota, en la provincia de Imbabura.

4.4.9 SEGÚN LA DENSIDAD POBLACIONAL

Según la cantidad de personas que habitan en las cuencas, la presión sobre los recursos naturales puede ser: **fuerte, mediana o débil.** Cuanto mayor es el número de personas, mayor es el impacto sobre los recursos de la cuenca.

4.4.10 SEGÚN EL PROPÓSITO DEL TRATAMIENTO.

Pueden ser:

Cuencas demostrativas: Para divulgación a la comunidad y a técnicos, quienes observan los beneficios de los tratamientos que se aplican en el manejo de las cuencas. Por ejemplo la microcuenca de Joyapa, en la provincia del Azuay.

Cuencas experimentales: Tienen menos de 4 kilómetros cuadrados y son relativamente homogéneas en suelos, vegetación, etc. En ellas se miden los efectos de diferentes tratamientos en tiempos cortos, medianos y largos. Un buen ejemplo es la microcuenca “Dan Dan” en la provincia del Azuay.

4.5.1 EL CICLO DEL AGUA EN LA CUENCA

El agua se evapora de los océanos, mares, lagos, vegetación y suelos húmedos; y es transportada en forma de vapor, muchas veces, a miles de kilómetros. El agua se condensa produciendo las nubes y después se precipita como agua líquida, granizo, nieve, etc., para regresar a los suelos, océanos y mares, encauzada por los ríos y corrientes subterráneas. Todo este proceso constituye el “*ciclo del agua*” o *ciclo hidrológico*.

La precipitación se puede infiltrar al suelo o fluir sobre la superficie del terreno. Cuando fluye sobre el terreno, se la llama **escorrentía** o **escurrimiento superficial**. La parte de la precipitación infiltrada, se puede percolar a través del suelo, para incrementar el agua subterránea. Pero también puede fluir por la subsuperficie, en las capas superiores del suelo, hacia los arroyos y ríos, llegando a los lagos o mares y completando así el ciclo.

En la cuenca hidrográfica el comportamiento y las formas del agua, responden al **ciclo hidrológico**, que comprende el conjunto de fenómenos que ocurren a través de la interacción atmósfera-vegetación-suelo, y cuyo combustible es la energía solar.

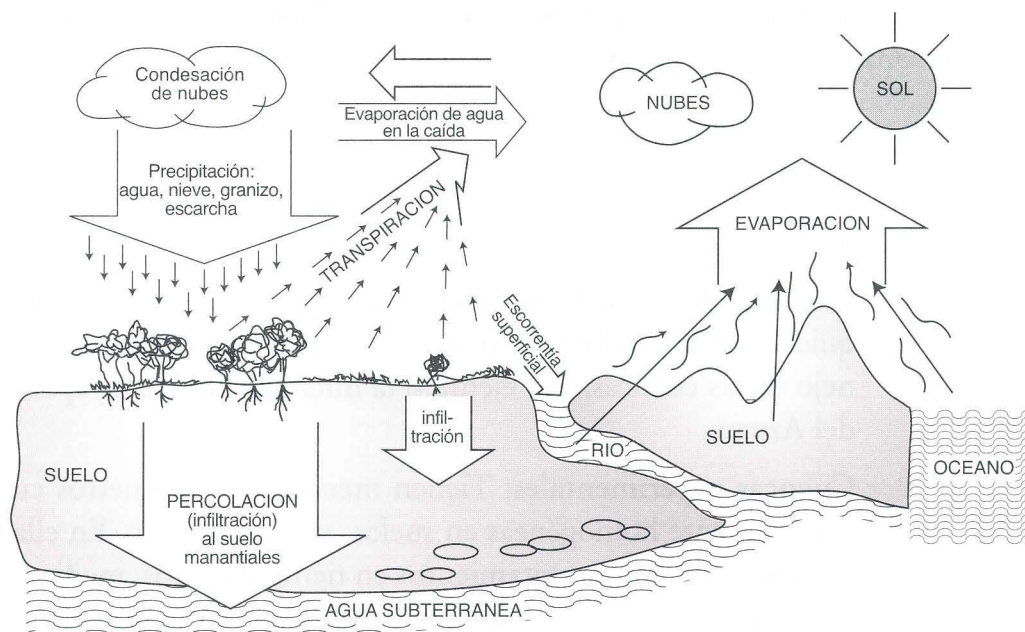


Figura 50 Esquematzación del ciclo hidrológico

4.5.2 EL REGISTRO DE CAUDALES

Entendemos por caudal, el volumen de agua que pasa por una sección dada, en una unidad de tiempo.



La unidad de medida del caudal, es el litro por segundo o su múltiplo, el metro cúbico por segundo.

La unidad de medida de volumen es el metro cúbico.

La lluvia y la evapotranspiración se expresan en términos de lámina, esto es, en unidades lineales, generalmente en mm. Debe mencionarse la duración del período bajo consideración: mm/día, mm/mes, mm/año.

El caudal de agua de un arroyo o en un río que se registra, en un determinado punto y en un momento dado, depende de:

- la extensión y las características físicas del área de la cuenca sobre ese punto,
- la precipitación,
- la evapotranspiración,
- la capacidad de regulación de la cuenca, y los usos actuales.

Existe una relación directa entre el volumen de agua por unidad de tiempo, en un sitio seleccionado de una quebrada o río, y la frecuencia, la intensidad y la duración de las lluvias en el área de la cuenca, sobre el punto en referencia (FAO, 1984).

La disponibilidad de agua en la cuenca es variable en el tiempo y en el espacio. Por eso es necesario estudiar tanto la ocurrencia de las crecidas y los caudales medios en los cursos de agua, en términos de magnitud y tiempo. De esta manera podemos relacionarlos, en forma adecuada, con los procesos de uso y control del agua:

- consumo humano y animal,
- riego,
- industria,
- generación de hidroenergía,
- control de inundaciones.

Entonces, es necesario disponer un registro de:

- los caudales mensuales,
- la distribución de caudales en el año, y
- las crecidas máximas.

Esta información nos permitirá:

- establecer la disponibilidad del agua, en sus diferentes usos,
- proponer obras que permitan disminuir los efectos de las crecidas violentas,
- mejorar las condiciones de escurrimiento y almacenaje en la cuenca.

En caso de ausencia de la información, los valores se generan indirectamente a partir de los registros de la precipitación, las características de la cuenca, las huellas má-

ximas, etc. En la actualidad existe una diversidad de métodos y hasta modelos computacionales para lograr tal propósito. Esta tarea que está a cargo de un hidrólogo o un ingeniero de riego, quienes deben propiciar la participación de la comunidad de los diferentes sectores de la cuenca, para analizar el historial hidrológico no registrado.

Para la medición del caudal existen varios métodos e instrumentos. Uno de ellos es el método *velocidad/área*. Donde el caudal está dado por la velocidad media del movimiento del agua hacia abajo y por el área de la sección que recorre:

$$\text{Caudal} = \text{velocidad promedio} \times \text{área}$$

Con el objeto de disponer de la información sobre caudales en un curso de agua, se requiere la instalación de estaciones de registro de caudales líquidos y sólidos en los sitios de mayor interés (estaciones limnimétricas y limnigráficas).

Para ello, se seleccionan los sitios de emplazamiento de la(s) estación(es) hidrométricas. Se instala (n) y se inicia una campaña intensa de aforos y mediciones de líquidos y sólidos, además de la calidad del agua para los diversos usos.

En las inspecciones de campo, se chequean los niveles de las huellas de crecidas, huellas de socavaciones, rugosidad del cauce, vegetación y pendiente longitudinal del río y bancos de sedimentación.

Con los datos obtenidos se preparan las curvas de descarga. Para ello, existen diferentes métodos. Las curvas de descarga dan la correspondencia entre las alturas limnimétricas (m) y los caudales (m^3/s).

4.5.3 LA RED HIDROGRÁFICA

Las aguas de precipitación, escorrentía y subterráneas, se descargan en los valles, quebradas, ríos y lagos -permanentes y temporales-. Cada río colecta las aguas de cierta superficie que se llama **cuenca receptora** o **cuenca hidrográfica**.

En el interior de una **cuenca hidrográfica** se encuentra una red de cursos de agua y valles de diferente tamaño y de mayor o menor desarrollo. La totalidad de los cursos de agua permanentes o temporales, naturales o artificiales, forman la *llamada red hidrográfica*.

La *densidad de la red hidrográfica* (D) depende de la naturaleza de las rocas, suelos, relieve, régimen de precipitación, usos actual del suelo, obras hidromejorativas, etc. y se expresa por la relación entre la longitud en km de todos los cursos de agua de la cuenca (ΣL) y la superficie (S) de la cuenca en km^2 :

$$D = \sum L/S \text{ (km/km}^2\text{)}$$

El curso de agua, en el perfil longitudinal presenta tres sectores convencionales: curso superior, medio e inferior.

El **curso superior** se caracteriza por pendientes pronunciadas y grandes velocidades del agua, el **curso medio** por pendientes y velocidades medias, y el **curso inferior** hasta la desembocadura, por pendientes y velocidades pequeñas (Valarezo,1996).

4.6.1 LA IMPORTANCIA DE CARACTERIZAR CADA CUENCA, SUBCUENCA O MICROCUENCA

La caracterización de una cuenca, subcuenca, microcuenca o fuente de agua -además de su tamaño-, presenta aspectos físicos (forma, relieve), climáticos, socioeconómicos y jurídico-institucionales que son **únicos**, para cada una de ellas.

Bajo esta premisa, **no hay dos unidades geográficas iguales**, por lo que siempre, es necesario realizar, en cada una, un inventario detallado de los recursos existentes. A partir del análisis de estos datos se puede proyectar el ordenamiento y manejo sustentable.

4.6.2. LOS PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR UNA MICROCUENCA

Para facilitar la descripción de una microcuenca, podemos atender a los siguientes aspectos:

Datos generales

Debe incluir el nombre de la microcuenca, su ubicación en el contexto local, regional y nacional, mapa y/o croquis, límites, vías de acceso, etc.

Análisis morfométricos

El análisis morfométrico de una cuenca es el estudio de un conjunto de variables lineales de superficies y de relieves, que son de utilidad para determinar las características físicas de una cuenca.

Se pueden comparar varias cuencas, como ayuda para:

- la interpretación de la funcionalidad hidrológica(cantidad y calidad del caudal) y
- la definición de la estrategia para su manejo.

Existen métodos para medir las diferentes dimensiones de una cuenca. Los parámetros más relevantes son:

Área: Es la medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la divisoria topográfica.

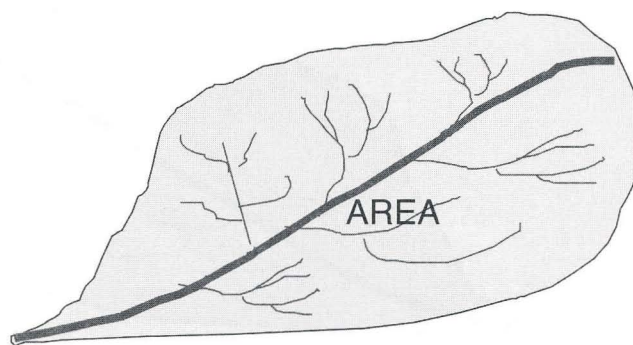


Figura 51 Área de una cuenca

El área de la cuenca se relaciona con la esorrentía superficial. Cuanto más grande es el área de la cuenca, mayor es la cantidad de agua que recolecta.

Para determinar el área de una unidad geográfica, cualquiera sea su tamaño, existen varios métodos, como el uso de: la cuadrícula, el planímetro, el cálculo de las figuras geométricas, etc. Gran parte de estos procedimientos, se apoyan en los mapas topográficos.

Uno de los métodos más sencillos es “la cuadrícula”. Para usarla hay que:

- Delimitar la microcuenca hidrográfica en el mapa cartográfico, cortando las curvas de nivel.
- Dividir la carta topográfica, de la región a estudiar, con líneas de un centímetro de distancia entre si, hasta que quede toda la microcuenca cuadrículada.
- Calcular el área de un **centímetro cuadrado**, tomando como referencia la escala de la carta topográfica, (unidad para calcular la superficie de la microcuenca).
- Multiplicar esa unidad de cálculo (centímetro cuadrado) por la cantidad de cuadrados que “caben” en la microcuenca. El resultado será la superficie estimada de la microcuenca.

Perímetro: El perímetro es la medida de la línea envolvente del área, que corresponde a los límites de la cuenca, subcuenca, microcuenca o fuente de agua.

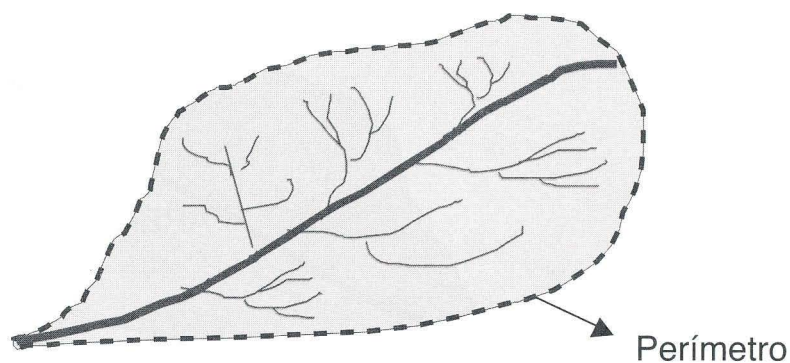


Figura 52 **Perímetro de una cuenca**

Conocer el perímetro de una microcuenca es importante cuando se piensa, por ejemplo, en el cierre, total o parcial de áreas de mayor vulnerabilidad, que pueden ser destruidas por el pastoreo de los animales.

Para determinar el perímetro, existen varios métodos. El más simple es usar un hilo la siguiente manera:

- Delimitar la microcuenca hidrográfica en el mapa cartográfico, cortando las curvas de nivel.
- En el mapa, sostenemos la punta del hilo en el desagüe de la microcuenca.
- Hacemos recorrer el hilo por los límites de la microcuenca, hasta llegar a su punto de partida.
- Medimos la longitud de hilo usada para recorrer los límites de la microcuenca.
- Para obtener la medida real del perímetro, transformamos la longitud del hilo, en centímetros, a valores reales, usando la escala del mapa topográfico.

Por ejemplo si nuestro hilo mide 5 cm. Y la escala del mapa topográfico es 1: 20 000. Calculamos como una regla de tres simple.

1 cm	20.000
5cm	X

$$X = \frac{5 \text{ cm.} \times 20.000}{1} = 100.000 \text{ cm.}$$

El perímetro de esta microcuenca es de 100.000 cm o 1.000 m.s.n.m.

Longitud axial: Es la distancia existente entre la desembocadura del río y el punto más lejano de la cuenca. Es el **eje de la cuenca**.

Este parámetro es importante para conocer el tiempo que puede demorar una escoorrentía, en el caso de que se presenten precipitaciones en la parte más alejada de la microcuenca. Además, facilita el cálculo de otros parámetros que se describen más

adelante, como el ancho promedio.

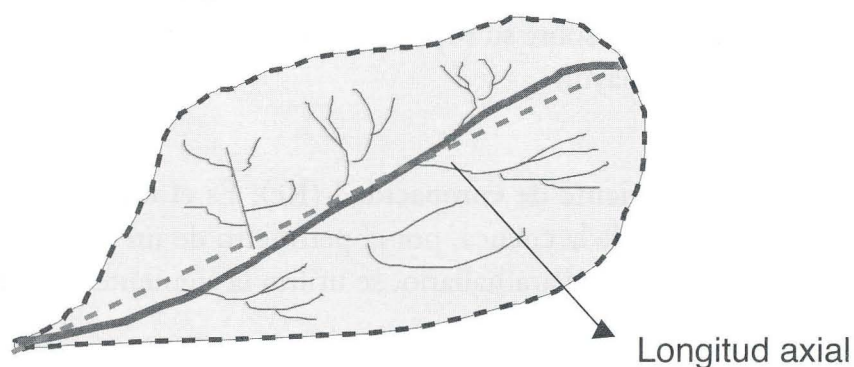


Figura 53 Longitud Axial

Ancho promedio: Se calcula dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial.

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud axial}}$$

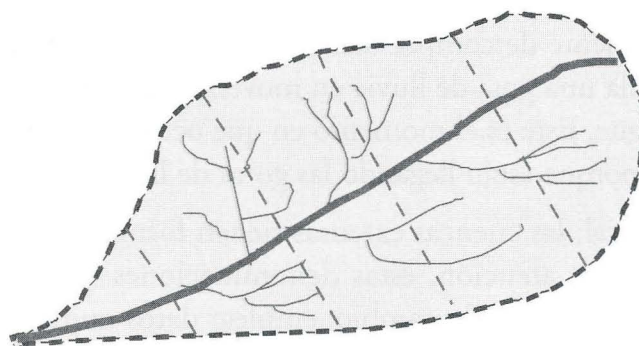


Figura 54 Ancho promedio

Forma de la cuenca: La forma de la cuenca controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal, durante su curso, desde el origen hasta la desembocadura. Su forma, difícilmente se puede expresar por medio de un índice numérico.

Sin embargo, algunos autores han propuesto varios coeficientes que muestran, en gran parte, la organización del drenaje dentro de la cuenca y otros factores que afectan la hidrología de la corriente. Además, ofrecen la posibilidad de comparar las cuencas que tienen tamaño, localización y características geológicas similares.

Entre los índices sugeridos se encuentran:

- **Factor forma:** Este índice morfométrico (Ff) expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca.

$$Ff = \frac{\text{Ancho promedio}}{\text{Longitud axial}}$$

Y permite tener algún indicio sobre la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Así, las cuencas con factores de forma baja, **son menos propensas** a tener crecidas intensas y simultáneas sobre su superficie, que un área, de igual tamaño, pero con un factor de forma mayor.

- **Coefficiente de compacidad (Kc):** Es el valor resultante de **dividir** el perímetro de la cuenca, por el perímetro de un círculo que tiene igual área que la cuenca. Para hallarlo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:

Kc: Es el coeficiente de compacidad.

P: Perímetro de la cuenca.

π : El signo "PI" que es igual a 3.1416.

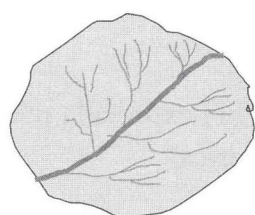
A: Área de la cuenca.

El coeficiente de compacidad está muy relacionado con el tiempo de concentración que tarda una gota de lluvia en moverse, desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe. Este es el momento en que ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, porque están llegando las gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca.

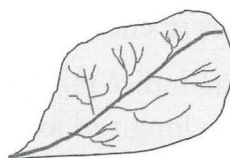
En general, las cuencas extensas tienen forma tipo canelón y las pequeñas tipo embudo. Pero, atención, estas denominaciones "descriptivas" no permiten comparar distintas cuencas. En cambio, emplear datos numéricos que ofrecen mayor facilidad y seguridad para la comparación, sobre la base de la cuantificación. Se distinguen tres clases de formas: Kc1, Kc2 y Kc3

Clase de forma	Kc rangos de clase(%)	Forma de la cuenca
Clase Kc1	de 1,0 a 1,25	Casi redonda o oval-redonda
Clase Kc2	de 1,25 a 1,50	Oval redonda a oval-oblonga
Clase Kc3	de 1,50 a 1,75	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente elaboración del autor



Kc1



Kc2



Kc3

Figura 55 Clases de forma

A medida que el coeficiente (K_c) tiende a 1.0, (tendencia redonda), aumenta la peligrosidad de la cuenca para las crecidas. Porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria de aguas, con respecto a un punto central, no representan diferencias mayores, y el tiempo de concentración se hace menor. Por lo tanto, será mayor la posibilidad de que las ondas de crecida, sean continuas.

La forma de la cuenca que va de oval-oblonga a rectangular-oblonga, permite que el tiempo de concentración del agua sea mayor, es decir, que se retarda la acumulación de las aguas para llegar al punto de desagüe.

Elevaciones o altitud de la cuenca: Uno de los factores físicos que facilita el análisis del movimiento del agua en una cuenca, es el estudio de la distribución de elevaciones.

Estas altitudes están directamente relacionadas con la precipitación y la temperatura. Pero es la temperatura, la que ejerce mayor influencia en la evaporación; pues aumenta o disminuye la pérdida del agua.

Uno de los métodos para determinar el valor de las altitudes es **la altitud media**. Que la podemos calcular de la siguiente manera:

- Se mide en un mapa topográfico, el área abarcada de pares sucesivos de curvas de nivel, para lograr un análisis más completo de las características de la elevación media en una cuenca.
- Se determina el área entre una curva de nivel y la siguiente, (con un planímetro.). Una vez medidas todas las superficies, entre las diversas curvas de nivel, se emplea la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\sum a \times e}{A}$$

Siendo:

$E =$ Elevación media

$\sum =$ Sumatoria

$a =$ Área entre un par de curvas de nivel dado

$e =$ Altitud media (rango entre las curvas de nivel)

$A =$ Área de la Cuenca

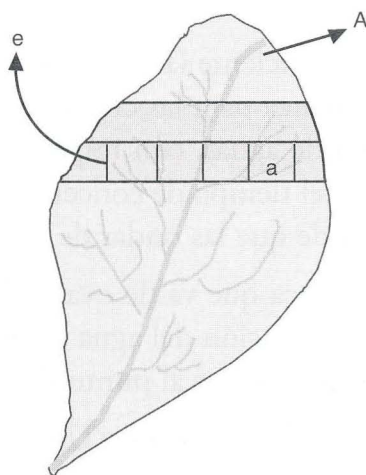


Figura 56 Elevaciones o altitud de la cuenca

Orientación de la cuenca: Es importante conocer la orientación de la cuenca, porque determina la cantidad de sol que recibe durante el día y el ángulo de los rayos solares.

Las cuencas con orientación N-S es decir, aquellas cuyo cauce principal corre hacia el norte o hacia el sur, no reciben insolación uniforme en las dos vertientes durante todo el día. En cambio, las cuencas con orientación E-O es decir, aquellas en las cuales el cauce principal corre hacia el Este o el Oeste, reciben insolación en las dos vertientes durante todo el día, lo que influye en la evaporación, la transpiración, etc., en forma diferente.

Es importante considerar que de los parámetros morfométricos anteriormente mencionados el área, el perímetro y la forma son los útiles para la planificación y ordenamiento de las microcuencas

Ahora, analicemos nuestra práctica...

Elegiremos una microcuenca de la zona sobre la que trabajaremos y calcularemos:

1. - El área.
2. - El perímetro con hilo.
3. - El factor de forma.

A partir de estos cálculos responda:

¿Cuántos metros de alambre de púas se necesitarían para cercar, con tres hilos, el 40% la microcuenca?

Se ha pronosticado una gran tormenta en el sector de la microcuenca. Usted podría decirnos¿cuánto tiempo se necesita para evacuar a los pobladores?

¿Qué interpretaciones nos permite hacer el análisis morfométrico?

En función de las variables morfométricas, podemos interpretar:

- Cuando una cuenca hidrográfica presenta una forma oblonga, redondeada o circular mayor es el riesgo de crecidas.
- Cuando en una cuenca alargada la tormenta se mueve en dirección aguas abajo, el riesgo de crecidas aumenta.
- La magnitud de las crecidas es mayor, a medida que la pendiente media es mayor.
- A mayor pendiente de la cuenca, el flujo superficial, la velocidad de la escorrentía y la capacidad de arrastre son mayores. Mientras que la infiltración y la recarga de agua subterráneas son menores.
- Cuando los drenajes son numerosos y bien distribuidos en la cuenca, el tiempo de concertación de las aguas es corto.
- En suelos de poca permeabilidad, la densidad de drenaje es alta.
- En cuencas grandes, el caudal mínimo de estiaje (seca) es mayor que en las pequeñas cuencas.
- Cuando mayor es la superficie de la cuenca, mayor es el pico de crecida.
- El caudal total de una cuenca, con relación al área, disminuye a medida que el área aumenta. Por eso es menor la probabilidad de que toda la cuenca sea cubierta en una sola tormenta.

Aspectos físicos

Los factores o aspectos físicos tienen que ver con:

el relieve,

la corteza terrestre, y

los elementos naturales que la modifican.

El relieve: La forma del terreno, sus elevaciones y desigualdades tienen gran importancia cuando se refieren al manejo de cuencas hidrográficas, por estar íntimamente ligadas con la formación de los suelos, el drenaje superficial, la erosión, etc. Sobre esta base, se determina la clase de cultivo o la utilización pecuaria que conviene dar.

La topografía: Estrechamente ligada al relieve, está la topografía, ya que **las diferencias de elevación y de pendiente**, aún cuando sean demasiado pequeñas, se relacionan estrictamente con las diferencias de drenaje, que a su vez, tienen influencia en la formación del suelo y en las formas cómo se lo usa.

En una cuenca habrá variaciones de terreno que comprenderán desde lo plano has-

ta lo escarpado.

En las cartas topográficas, la topografía está marcada por **las curvas de nivel o cotas**. La topografía determina una serie de unidades tales como los valles, las colinas, las mesetas, y las montañas, que definen el relieve, en una forma más concreta.

Esto agrega un elemento más de juicio, para el uso adecuado que pueda darse a un área. No es lo mismo establecer cultivos con poca cobertura vegetal en las laderas o vertientes que en los valles.

Se han establecido diversas clasificaciones de pendientes, siendo agrupadas de la siguiente manera:

Clase	Rango de pendiente en %
I _____	0 – 12 ¹ / ₂
II _____	12 ¹ / ₂ – 25
III _____	25 – 50
IV _____	50 – 100
V _____	mayores de 100

De acuerdo a las diferentes pendientes que tengamos en una microcuenca podremos planificar el manejo de sus recursos: tipos de cultivos, actividades agropecuarias y forestales.

La hidrología: Este factor se refiere al régimen de caudales, es decir, al volumen de la esorrentía, sedimentación y clasificación de corrientes

La hidrografía: Se refiere a las subcuencas, (que son parte de la cuenca) sus sectores, la forma de la cuenca y en general al análisis morfométrico del área de captación de la cuenca y su red de drenaje.

Un **sistema de drenaje**, es el arreglo o distribución de los ríos, quebradas o arroyos, que se han venido formando a través de los años, en la corteza terrestre.

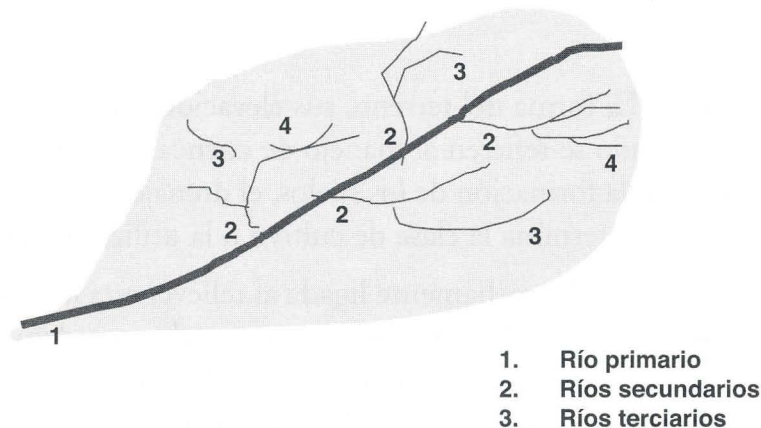


Figura 57 Sistema de drenaje

La geología: Determina la red hidrográfica y el tipo de roca y suelo que predominan en una región. Para realizar prácticas de conservación y **restauración de suelos** se deberá conocer su material de origen.

La geomorfología: Trata la forma que tiene la corteza terrestre y que se relaciona mucho, con algunos factores que forman el suelo (clima, relieve, material parental, tiempo de formación del suelo).

La geomorfología suministra datos de carácter práctico tales como: condiciones de drenaje, peligro de erosión o derrumbamiento, presencia de materiales de construcción, etc.

El clima: Condiciona los usos que se le pueden dar al suelo de una región determinada y es uno de los agentes que provoca su erosión y degradación

Del clima hay que tener en cuenta, básicamente:

- precipitación,
- temperatura,
- vientos,
- humedad relativa, y
- nubosidad.

Datos que fácilmente se pueden obtener en las estaciones meteorológicas del INAMHI.

Erosión: La erosión es una importante preocupación en la mayoría de las microcuencas. La recolección de datos es primordial en el diagnóstico inicial de la microcuenca. En primera instancia, hay que determinar **las causas de la erosión**, que pueden incluir muchas actividades humanas como el manejo de los cultivos, pastoreo, aprovechamiento maderero, minería, construcción de caminos, viviendas, incendios e incluso, actividades recreativas.

Factores biológicos

Son los que tienen vida en la cuenca:

El suelo Es necesario estudiar **todas** las características de los suelos: su material de origen, relieve, pendiente, erosión, fertilidad, etc. La información sobre el uso actual y el uso potencial, por ejemplo, permitirá indicar la clase de cultivos más adecuados, según las características específicas de cada suelo.

La vegetación: Incluye los bosques naturales, artificiales, las clases de cultivos existentes, praderas naturales (pastos) y otro tipo de cubierta vegetal (vegetación de páramo).

La fauna: En el manejo de cuencas, no hay que olvidar el estudio de la fauna silvestre, porque cumple un papel importante como integrante activo de los ecosiste-

mas. La fauna participa en el ciclo de formación de nutrientes -cadenas tróficas- contribuyendo a estructurar el medio biológico para el ser humano. Tienen además, valor científico, estético, recreativo y constituye fuente de alimento, abrigo, sustancias medicinales, etc.

La ecología: En el manejo de cuencas, también es necesario estudiar el medio, desde el punto de vista ecológico, tanto de áreas en estado natural, como de aquellas que han sido intervenidas. Es decir, estudiar la comunidad, con los organismos que viven e interactúan en su medio (ecosistemas).

Aspectos socio - económicos e infraestructura

Entre la información más relevante que debemos recabar, tenemos:

La situación social: Para elaborar un buen plan de manejo, los planificadores y ejecutores, deben recoger una serie de datos sociales. Destacamos algunos, que consideramos importantes y útiles:

- *Tendencia demográfica en la microcuenca:* su tasa de crecimiento poblacional, estructura por edades, posibilidades de migración y otros factores demográficos que afectan la tasa de utilización de los recursos.
- *Posibles barreras para una tecnología innovadora:* pobreza, nivel educativo, malos servicios de extensión, tradiciones, falta de visión, falta de incentivos y motivación.
- *Factores sociales que coartan, en la microcuenca, el desarrollo y la ordenación de las fincas agrícolas:* tenencia de la tierra, normas oficiales, sistemas agrícolas tradicionales, etc.
- *Influencia de las estructuras sociales:* sistemas o jerarquías existentes en el desarrollo individual o colectivo.
- *Necesidades inmediatas de las familias agricultoras:* relacionadas con las necesidades básicas insatisfechas, (educación, salud, vivienda, participación en la sociedad civil, alimentación, economía familiar, medio ambiente)
- *Nivel socio-organizativo de la población:* existencia de organizaciones de segundo grado, cooperativas, grupos de interés, junta de regantes, juntas administradoras de agua potable, clubes, etc.
- *Situación de las mujeres en la localidad:* Sus responsabilidades, acceso, control, gestión sobre los recursos naturales, nivel de participación en su hogar y de la comunidad; condiciones de las jóvenes incluyendo las tasas de desempleo; y tendencias migratorias.
- *Concientización de la población:* sobre las causas y problemas que afectan a la microcuenca.

- *Opinión de la población:* sobre la protección y desarrollo de la microcuenca en su totalidad.
- *Mecanismos para incrementar la producción:* agropecuaria forestal que podrían emplearse.

La situación económica: La recolección de los datos económicos puede realizarse, en muchos casos, al mismo tiempo que el estudio sociológico. En la práctica, varios datos sociales y económicos están mezclados y son difíciles de separar. No obstante, consideramos que los principales temas a incluir en un estudio sobre la situación económica de una cuenca son:

- **Las actividades económicas actuales en la microcuenca:** incluyendo la producción e ingresos, formas de uso de la tierra, empleo, oferta y demanda de mano de obra, empresas rurales, comercialización, etc.
- **El potencial de mejora del desarrollo económico:** incluyendo la capacidad de los agricultores (mano de obra, recursos y tecnología), oportunidades de empleo fuera de la agricultura, necesidades de infraestructura, disponibilidad de crédito o ayuda financiera y posibilidades de desarrollo agroindustrial.
- **Las limitaciones y problemas de desarrollo desde el punto de vista económico:** incluyendo la tenencia de la tierra, el arrendamiento, tamaño y parcelación de las fincas agrícolas, capital, conocimientos, mano de obra, precios, mercados, transporte, etc.
- **El grado de aceptación de la población:** respecto de las medidas propuestas para el progreso económico, incluyendo crédito y subvenciones, servicios de extensión, reducciones de impuestos, arrendamientos, equipos y materiales agrícolas, mejores dispositivos de comercialización, etc.
- **Cifras económicas:** relacionadas con: diversos costos y rendimientos de las actividades agropecuarias y forestales, costo y beneficio del trabajo de conservación de cuencas y otras.

Infraestructura: Es necesario hacer un estudio de la infraestructura existente en la microcuenca para que, en el caso de que existan proyectos que incluyan desarrollo integral en estas unidades territoriales, realizar investigaciones sobre vialidad, viviendas, suministros de agua y energía etc.

Aspectos institucionales y organizativos

Información institucional y de legislación: Es importante tener una información general sobre instituciones y organizaciones que actúan en la microcuenca, en térmi-

nos de misión, visión, estrategias, metodología de intervención, etc.

Otros aspectos institucionales importantes, a considerar en el manejo de las microcuencas son:

- El **apoyo político, administrativo y financiero** por parte de los representantes de las instituciones que se encuentran inmersas o trabajando en el área de la microcuenca.
- La **presencia de instituciones nacionales o internacionales** que realizan actividades afines.
- Las **posibilidades de coordinación entre las diferentes instituciones** que realizan actividades afines, con el propósito de no duplicar acciones y optimizar recursos.
- La **disponibilidad de:**
 - *personal capacitado* para realizar actividades de planificación, diseño, capacitación, ejecución, seguimiento, evaluación y procesos de retroalimentación,
 - *materiales y equipos* que contribuyan al desarrollo del manejo de la microcuenca,
 - *base de datos*,
 - *la capacidad y experiencia institucional* en planificación integral y trabajo multisectorial.
- En lo que se refiere a **política y legislación**, es necesario que los planificadores revisen las leyes que tienen relación con los proyectos o componentes a tratar. Por ejemplo:
 - Ley de áreas naturales y vida silvestre
 - Ley forestal
 - Ley de minería
 - Ley y/o legislación de aguas, tenencia de la tierra, desarrollo rural, etc.

Consideraciones de carácter socio - cultural y socio – organizativo: Para rescatar y valorar la identidad cultural de la población que habita en la microcuenca y conocer los mecanismos de organización es necesario conocer:

- las prácticas tradicionales en agricultura:
 - uso del fuego,
 - pastoreos,
 - uso de agroquímicos, etc.

- las actividades culturales:
 - fiestas de mayor importancia,
 - influencias religiosas,
 - deportes preferidos,
 - costumbres.
 - relación de género,
 - relaciones entre población urbana y rural.

Esta información resulta siempre importante, porque nos permite desarrollar planes de manejo efectivos, rescatando y valorando la identidad cultural, como parte del proceso de participación.

Otro aspecto importante, es poder conocer los diferentes niveles de organización que existen en la población de la microcuenca, para fortalecer su capacidad de gestión (asociaciones, organizaciones de base, de segundo grado, asociaciones, cooperativas, grupos de interés común)

4.6.3

RECOMENDACIONES PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de datos, es el primer paso para el estudio y planificación integral de una microcuenca.

En esta etapa, es necesario tomar en cuenta algunas recomendaciones para mejorar la eficiencia y lograr los mejores resultados:

- **Utilizar la información existente o secundaria**, en muchos casos puede que ya se hayan realizado algunos estudios (geológicos, inventarios forestales, estudios hidrometeorológicos, socio culturales etc.) por lo que no hará falta volver a hacerlos. Además, existen informes estadísticos y mapas, que pueden ser de gran ayuda para el estudio y planificación de la cuenca.
- **Complementación de la información existente, en forma coordinada con otras instituciones**, existen organismos gubernamentales y no gubernamentales, que pueden disponer de información (mapas, fotografías aéreas, datos sobre infraestructura, etc.) por lo que es importante definir mecanismos de coordinación, que faciliten y complementen la información.
- **Tomar información directamente de la fuente**, dedicar tiempo a buscar la información complementaria, evitará duplicar esfuerzos y permitirá ahorrar tiempo y dinero. Sin embargo, la información relacionada con datos históricos, precipitaciones, caudales, uso de las tierras y de los planes de desarrollo, **hay que extraerla directamente de los archivos de los organismos com-**

petentes, para mayor seguridad.

- **Planificar con anticipación la búsqueda de la información que se requiere**, habrá que pensar en una lista de datos y establecer contacto con las organizaciones locales correspondientes, antes de realizar la toma de datos directamente en el campo, para evitar conflictos y doble trabajo.
- **Recoger solo la información necesaria**, la recolección de datos demasiado minuciosos, puede traducirse en un derroche de tiempo y dinero; causando incomodidad en la población. La forma de evitarlo es contar con una planificación cuidadosa al inicio del estudio. Hay que prestar atención a los datos que **realmente** se requieren para proyectar el manejo en función de los objetivos.
- **Usar instrumentos sencillos y prácticos**, los formatos, cuadros y herramientas a utilizar en el campo, deben ser de fácil comprensión para facilitar la toma de información.
- **Validar los instrumentos en el campo**, antes de utilizarlos, para garantizar su comprensión y que recogen la información que necesitamos.
- **Uniformar unidades de medida**, escalas de mapas, etc. con el propósito de facilitar el procesamiento de la información.
- **Organizar los estudios de campo** de tal modo que puedan realizarse en forma ordenada y dentro del período de tiempo adecuado y oportuno. Por ejemplo, si hablamos de medición de caudales, habrá que tener cuidado de no tomarlos en una época de invierno o de verano, sino en distintos momentos del año y promediarlos ya que los resultados pueden alterar la media.

Con respecto al tamaño de las muestras y/o profundización de la información, depende de los indicadores a considerar y de los objetivos planteados para el manejo de la microcuenca.

Por ejemplo, si el objetivo principal es reducir la sedimentación de un embalse, el estudio debe concentrarse en la determinación de las áreas erosionadas, o las que son causa de sedimentos.

Si el principal objetivo es el desarrollo de la microcuenca, el estudio debe dar prioridad al inventario de los recursos, su distribución y usos, estado de productividad de las tierras, etc.

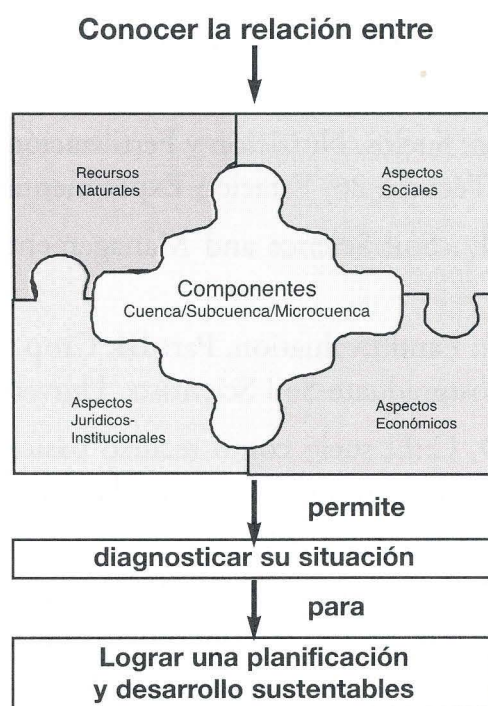
TEMA 4.7 LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS DE LA SIERRA ECUATORIANA

Dadas las características geofísicas del Ecuador, en el área andina encontramos cuencas de montaña con las siguientes características:

- Tienen un **relieve muy accidentado** con fuertes pendientes.
- Son **sensibles a la erosión** (hídrica y eólica), por la fragilidad de sus suelos afectados por la sobreexplotación.
- Son las **fuentes iniciales de un sistema hidrológico** y corresponden a las áreas críticas de las cuencas grandes. En zonas húmedas, estas cuencas tienen valores altos de rendimiento hídrico, por lo que son muy importantes para las zonas bajas.
- La **densidad de la población** en las cuencas de montaña del Ecuador, es **alta** y con influencia directa en sus vertientes.
- Algunos pisos altitudinales, en función de las condiciones climáticas, tienen **gran potencial agrícola para cultivos** de alta rentabilidad, como: flores, tomate de árbol, tomate riñón y babaco (bajo invernadero), mora, frutilla, papas, arveja, fréjol. También, para ganadería mayor.
- En cuanto a tecnología se presentan dos situaciones:
 - Hay unidades de producción mecanizadas, con uso intensivo de tecnología moderna.
 - En los valles interandinos y parcelas pequeñas localizadas en las vertientes, el cultivo es tratado en forma manual y con ayuda de tracción animal.

El manejo de estas cuencas es complejo, pero se puede simplificar subdividiéndolas en **pisos altitudinales** y en **zonas ecológicamente homogéneas**.

Para sintetizar lo trabajado en esta unidad plantemos el siguiente esquema.



BIBLIOGRAFÍA

Unidad 1: El suelo características físicas, mineralógicas, químicas, de fertilidad y biológicas.

1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

BEAR FIRMAN, E.: Los suelos. Trad. por José Abejin loso. Barcelona, pág. 362. 1969.

BLEC, C.: Planta y suelo. Trad. Errconde, E. Moscú, pág 7 - 23 1968.

BUCKMAN, H. y BRADY, N.: Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. por Salord Barcelo. Barcelona, pág.69-70. 1977.

BUOL, S.. HOLE, T.D. y McCRAIKEN, R.J.: Genesis y clasificación de los suelos, México, Trillas, 1991

BURBANO ORJUELA, H.: El suelo. Universidad de Nariño.. Serie investigaciones N°1, pág. 2 - 14. Pasto, 1989.

FAO.: Guía para la descripción de perfiles de suelos, pág. 33.1990.

1.2, 1.3 y 1.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS, QUÍMICAS Y DE FERTILIDAD DE LOS SUELOS.

BUOL, S.W. F.D. HOLE, and R. J. McCracken: Soil Genesis and Classification. Second Edition, The Iowa University Press. Iowa, 1980.

CARE. Las propiedades químicas y de fertilidad de los suelos. Texto de estudio del Primer Curso modular de Manejo y Conservación de Suelos del sistema de capacitación CAMAREN. Quito. 1998.

ILACO, B.V. Agricultural Compendium for Rural Development in the Tropics and Subtropics. Elsevier-Amsterdam. 1981.

INIAP. Como Tomar Muestras de Suelo Para su Análisis Químico. Boletín Divulgativo 54, Estación Experimental Santa Catalina, Ecuador, 1973.

INIAP. Clima, Suelos, Nutrición y Fertilización de Cultivos en el Litoral Ecuatoriano. Manual Técnico 26, Estación Experimental Pichilingue, Ecuador, 1992.

PLASTER, E.. Soil Science and Management. 2nd ed. Delmar Publishers, New York, 1992.

SYS, C. et al.: Land Evaluation, Part III, Crop requirements. International Training Centre for Postgraduate Soil Scientists, University of Ghent, Belgium, 1993.

VALAREZO, C.:El suelo como recurso básico para el crecimiento de las plantas: características físico-químicas y fertilidad. Texto de estudio PRICA, Universidad Nacional de Loja. Loja, 1998.

VALAREZO, C. e INIGUEZ, M: Diagnóstico de la fertilidad del suelo y práctica de la fertilización. Texto de estudio del Módulo de Producción de Cultivos. FCA, Universidad Nacional de Loja. Loja, 1993.

1.5 BIOLOGÍA DE LOS SUELOS

ALEXANDER, M.: Introducción a la Microbiología del suelo. Traducido por Juan J. Peña C. 2da. Edición. AGT. Editor, S.A. México D.F. México. 1980

AMES, N. R. and BETHENFALVAY GABOR, J.: Mycorrhizal fungi and the integration of plant and soil nutrient dynamics. Journal of plant nutrition.. 1987. pág. 1313 - 1321

BERTA, G.: Apical meristems in Micorrhizal and uninfected roots of *Calluna vulgaris* L. Hull. Plant and soil. 71: 285 - 291. 1983

BETHENFALVAY, G.J. and NEWTON, W.E.: The Rhizosphere and plant growth; Beltsville symposium XIV, Beltsville Agricultural Research Service U.S. Department of Agriculture, Beltsville, Maryland. 1989.

COLEMAN, D.C. and CROSSLEY, D.A. Jr.: Fundamentals of Soil Ecology, Academic Press, Inc. San Diego, California. 1996.

DEACON, J.W.: Introducción a la Micología moderna, LIMUSA, México D.F., México. 1983

FORTIN, J.A. et. Al.: Methods for synthetizing ectomycorrhizal development. Plant and soil, 71: 275 - 284. 1983.

GONZALES, Ch.M. y HERRERA, C.R.: Efecto del Captán y la endomicorriza (VA) sobre el desarrollo de fresa proveniente de cultivo in vitro, Sección de Microbiología, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 1987.

HACSKAYLO, E.: Researching the potencial of forest tree Mycorrhizae. Plant and soil. 71: 1 - 8. 1983.

HUNT, M.E., FLOYD, G.L., and STOUT, B.B.: Soil algae in field Forest Environments, Ecology, 60: 362 - 375. 1979

LAST, F.T., MASON, F.A., and WILSON, J. Fine roots and sheathing Mycorrhiza, Their formation function and dynamics. Plant and soil, 71: 9 - 12. 1983.

MARSHALL, D. W.: Algal Biology, a Physiological approach, Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1987.

MASSICOTTE, H.b., et. Al.: The root-fungus interface as an indicator of symbiont interaction in ectomycorrhizae, Can. Journal Forest Research, 17: 846 - 854. 1987.

MOSS, B.: The influence of environmental Factors on the distribution of freshwater algae. An experimental study. F. Ecology. 61: 193 -211. 1973.

PARK, D. Phylloplane fungi. Tolerance of Hyphal tips to drying. Transactions of the British mycological Society. 79: 174 - 178. 1982.

VALVERDE, F. CORDOVA, J. y PARRA, R.: Fertilización del cultivo de papa.

INIAP, Quito, Ecuador. 1998 pág.42

WARMBRODT, D.R. and ESCHRICH, W.: Studies on the Mycorrhizas of *Pinus sylvestris* L. produced in vitro with the Basidiomycetes *Suillus variegatus*. New Phytol. 100: 215 - 223. 1985

Unidad 2: Clima y Cobertura Vegetal

BURGMEIJER, J.: Agrometeorología. Texto de Estudio. Programa de Especialidad en Riego Comunitario Andino –PRICA, Universidad Nacional de Loja. Loja, 1998.

CAÑADAS, L.: El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. MAG-PRONAREG Quito,. 1983.

FAO Proteger y producir. Conservación del suelo para el desarrollo. Roma, 1984.

HERNÁNDEZ, T. y RIVADENEIRA, V.: Manual de Agricultura y Ganadería. Desde El Surco. 3ra. ed. Quito, 1998

ILACO, B.V.: Agricultural Compendium for Rural Development in the Tropics and Subtropics. Elsevier-Amsterdam, 1981.

KIBLER, J.F.: Diagnóstico Agrario. Universidad Nacional de Loja, Centro Andino de Tecnología Rural –CATER, s/n. 1997

MALDONADO, N.: Elementos de Agroclimatología e Hidrometeorología. Texto de Estudio, Programa de Maestría en Desarrollo Rural (PROMADER), Universidad Nacional de Loja. 1991.

MALDONADO, N.: (borrador). Meteorología agrícola y forestal. Universidad Nacional de Loja, Facultad de Ciencias Agrícolas. Loja, 1995.

PHILANDER, S.G.H.: El Niño Southern Oscillation phenomena. Nature vol. 302, 24 March 1983, 295-301.1983.

PRONAREG-ORSTOM.: Mapa de uso actual del suelo y formaciones vegetales. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, 1983..

SUAREZ DE CASTRO, F.: Conservación de suelos. IICA, San José, Costa Rica, 1979..

VALAREZO, C.: Vicisitudes y avances en el plan de ordenamiento de la cuenca binacional Catamayo-Chira. IV Encuentro de la REDNAMAC. Piura-Per.,1996.

Unidad 3: Los ecosistemas y los agrosistemas

3.1 LOS ECOSISTEMAS

ACOSTA-SOLÍS : Ecología y Fitoecología. Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito, 1977.

- AUDESIRK, T. y AUDESIRK, G.: *Biología, la vida en la tierra*. 4a. ed. Prentice-Hall Hispanoamericana. S.A. México, 1997.
- BEGON, M.: Harper Y C. Townsend.: 2nd. ed. Blackwell Scientific Publications. Massachusetts, 1990.
- BRANDBYGE, J.: Planting of local woody species in the páramo. Pp. 265-274. En: H. Balslev y J. Luteyn (eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press. London, 1992
- CAÑADAS, L.: *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Banco Central. Quito, 1979.
- DAJOZ, R.: *Tratado de Ecología*. 2da. ed. Mundi-Prensa. Madrid, 1983.
- DERCONT, G., et al.: *La Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano*. U ediciones. Universidad de Cuenca. Cuenca, 1998.
- ESPINOSA, R.: *Estudios Botánicos en el Sur del Ecuador*. 2a. ed. Loja, 1997.
- HALL, M.: *El volcanismo en el Ecuador*. Biblioteca Ecuador. Quito, 1977.
- HARLING, G.: The vegetation types of Ecuador - A brief survey. Pp. 165-174. En: K. Larsen y L.B. Holm Nielsen (eds.). *Tropical Botany*. Academic Press. Londres, 1979.
- HOFSTEDE, R., J. LIPS, W. JONGMAN Y J. SEVIN.: *Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador*. Revisión de literatura. Abya Yala. Quito, 1998.
- JOSSE, C. y ANHALZER, V.: *Guía para los páramos del Sistema Nacional de Areas Protegidas del Ecuador*. Instituto Ecuatoriano Forestal de Areas Naturales y Vida Silvestre - INEFAN. Quito, 1996.
- JØRGENSEN, P. y ULLOA, C.: Seed Plants of the High Andes of Ecuador - a checklist. AAU Rep. 34: 1-443. 1994.
- LÆGAARD, S.: Influence of fire in the grass páramo vegetation of Ecuador. Pp. 151-170. En: H. Balslev y J. Luteyn (eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press. London, 1992.
- LUTEYN, J.L.: PÁRAMOS: why study the. Pp. 1-14. En: H. Balslev y J. Luteyn (eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press. London. 1992.
- ODUM, E. y SARMIENTO F.: *Ecología*. McGraw-Hill. México, D.F. 1998.
- ROMOLEROUX, K. y ROSACEA E. En: G. Harling y L. Andersson (eds.). *Flora del Ecuador* 56. Estocolmo. Pp. 1-151 1996.
- SODIRO, L.: Ojeada general sobre la vegetación Ecuatoriana. *Anales de la Universidad de Quito*. 1: 74-84, 122-130. 1974.
- ULLOA, C. Y P. JØRGENSEN.: *Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador*.

AAU Rep. 30: 1-264. 1993.

VAN DER HAMMEN: The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America, in: J. Biogeogr. 1: 3-26. 1974.

WINCKELL. A., ZEBROWSKI, C.y SOURDAT, M.: Los Paisajes Naturales del Ecuador. Las Regiones y Paisajes del Ecuador . T. 4 (2). IPGH. Quito, 1997.

3.2 LOS AGROECOSISTEMAS

ACOSTA SOLIS, M.: Divisiones fotogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador. Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito, 1968.

ALTIERI, M.: Enfoque agroecológico para el desarrollo de sistemas de producción sostenible de los andes. CIED. Lima, 1996.

ALTIERI, M.: Bases agroecológicas para una producción sustentable. En: Reader en agroecología: conceptos y práctica. Berkeley. California, 1995.

ALTIERI, M.: El agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. En: Tercer curso de agroecología a distancia. Módulo N°2. CLADES-CIED. Lima, 1996.

BLANCO, O: Bases científicas de la tecnología andina. En: Tercer curso de agroecología a distancia. Módulo N°1. CLADES-CIED. Lima, 1996

CETAP Agroecología: Proposta de desenvolvimento sustentavel. Ed. CETAP, Passo Fundo. 1991

CIBT.: Manual de introducción al diseño permacultural. Abya Yala. Quito, 1993.

CIPAV.: Diversidad biológica y diálogo de saberes. Ed Zoraida Calle. Universidad Javeriana. Cali, 1994.

FIELD, L.: Sistemas agrícolas campesinos en la sierra norte. CAAP. Quito, 1991.

GUAZELLY, M. J.: Algunos principios básicos para el manejo del suelo en Agricultura Ecológica. En: Agroecología en Paraguay. CECTEC. Asunción, 1993.

MARTINEZ, P.: Pautas para la evaluación de los sistemas agrícolas campesinos del canton Sig Sig. (mimeografía) SENDAS. Cuenca, 1996.

RAMON, G. y LOPÉZ, M.: La agricultura en los andes ecuatorianos. En: Comunidad andina: alternativas políticas de desarrollo. CAAP. Quito, 1981.

Unidad 4: Las cuencas hidrográficas

BOCHET, J.: Ordenación de las cuencas hidrográficas: Participación de las poblaciones de montaña, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, Roma, 1983.

CARE Ecuador: Metodología de extensión participativa con enfoque de género pa-

ra el manejo de los recursos naturales, Quito, 1998.

CARE-Ecuador: Proyecto de protección y manejo de microcuencas abastecedoras de agua potable en la sierra andina del Ecuador – manejo de microcuenca comunitarias en la sierra andina - CUENCOMUN. Documento de trabajo, Cuenca, 1996.

CARE-PROMUSTA: Proyecto d manejo del Uso Sostenible de Tierras Andinas, Manejo comunitario de Microcuencas, fase de masificación del enfoque comunitario participativo, Quito, 1997.

CONAPCHIA. Comisión Nacional Permanente para la protección del y manejo del Medio Ambiente y de las cuencas Hidrográficas: Criterios de jerarquización de las cuencas hidrográficas que requieren la adopción de medidas de conservación y rehabilitación. Quito, 1983.

DUQUE PINEDA, J. L.: Plan de ordenamiento y manejo de la microcuenca Barbacoas, Municipio de Marinillas, Corporación Autónoma Regional “Rionegro–Nare”, 1996.

ENCALADA, O. y NUÑEZ, G.: Manejo participativo de microcuencas comunitarias abastecedoras de agua potable, documento de trabajo, CARE–PROMUSTA, Cuenca, 1996.

ESCOBAR CÁRDENAS, R.: Apuntes de cuencas hidrográficas, Instituto Ecuatoriano Forestal de Areas naturales y Vida Silvestre INEFAN, Dirección Nacional Forestal, Departamento de cuencas hidrográficas, Quito, 1995.

HENAO SARMIENTO, J.: Introducción al manejo de cuencas hidrográficas, Universidad Santo Tomas, Centro de Enseñanza Desescolarizada, Bogotá, 1988.

INECEL Unidad de Manejo de la Cuenca del Río Paute: Proyecto de manejo y conservación de la cuenca del Río Paute, Cuenca, 1988.

JADÁN, S. V.: Plan de manejo de la microcuenca Zamora Huayco proveedora de agua potable para la ciudad de Loja, Instituto Ecuatoriano Forestal de Áreas Naturales y Vida Silvestre INEFAN, Convenio INEFAN - EMAAL, Quito, 1996.

Memorias seminario taller regional sierra norte ecuatoriana, Manejo de cuencas hidrograficas, Otavalo, 1995

NUÑEZ, G. y BAYANCELA E.: PROMUSTA, convenio CARE – MAG – HCPL. Subcomisión Ecuatoriana PREDESUR, COLLAHUAZO, A. y CAMBA, L: Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del Río Casacay, Memoria ejecutiva, Machala, 1994.

Subcomisión Ecuatoriana PREDESUR: Plan de ordenamiento y manejo de la subcuenca del Río Trapichillo cantón Catamayo, provincia de Loja “Diagnóstico”, Tomo I: Aspectos Biofísicos, Loja, 1995

Subcomisión Ecuatoriana PREDESUR: Plan de ordenamiento y manejo de la subcuenca del Río Trapichillo cantón Catamayo, provincia de Loja “Propuesta”, Tomo II, Loja, 1995.

GLOSARIO PARA FACILITAR LA LECTURA

Acuífero subterráneo: agua subterráneas.

Aeróbicos: con presencia de oxígeno.

Alófana: silicato de aluminio hidratado no cristalizado (amorfo), producto de la meteorización de minerales volcánicos, caracterizado por su gran afinidad con el agua y la materia orgánica.

Aluvial: sedimentos depositados por corrientes de agua con partículas de tamaño muy variable. Los fragmentos generalmente presentan formas redondeadas o subredondeadas.

Anaeróbicos: en ausencia de oxígeno.

Arcilla: material mineral menor de 2 micras.

Arena: fragmentos minerales cuyos diámetros varían de 2 a 0,02 mm

Atmósfera edáfica: es el aire que se encuentra en el suelo.

Biomasa: masa total de los componentes biológicos de un ecosistema.

Biota: presencia de seres vivos en el suelo.

Cangahua: término que se refiere a una capa u horizonte de cenizas cementada.

Chaparro: conjunto de arbustos que crece naturalmente en un terreno que no se cultiva.

Comunidad: conjunto homogéneo de organismos que conviven en un mismo hábitat.

Comunidades modelo: comunidades que mantienen vigente sus saberes.

Corpus cognoscitivo: cuerpo de conocimientos.

Déficit hídrico: falta de agua.

Diálogo de saberes: metodología de formación de adultos, que se basa en el encuentro de conocimientos científicos, ancestrales y experiencias personales.

Divisoria topográfica: constituyen las cumbres de los cerros, que desvían las aguas a una u otra cuenca hidrográfica.

Drenaje: medio por el cual se evacua las aguas.

Eólico: perteneciente o formado por la acción del viento

Epífitas: son aquellas plantas que viven sobre otras sin aprovecharse de sus nutrientes, sino de su soporte.

Erodable: posibilidad de erosionarse.

Escurrentía: el agua que se infiltra al suelo y que fluye sobre la superficie del terreno inclinado.

Esquistos grafíticos: un tipo de roca metamórfica.

Etnografía: ciencia que estudia describe y clasifica las culturas.

Exudados: secreciones de las raíces.

Fluvial: perteneciente o relativo a los ríos.

Fotosíntesis: proceso mediante el cual las plantas verdes sintetizan sustancias complejas, ricas en energía, a partir del dióxido de carbono, agua y pequeñas cantidades de minerales, aprovechando la energía de la luz solar.

Fracción coloidal: sólidos orgánicos (humus) y minerales (arcilla) del suelo, con carga eléctrica.

Fracción mecánica: grupo de partículas de igual tamaño.

Friable: término aplicado a suelos que cuando están húmedos o secos se desmoronan fácilmente entre los dedos.

Hidrólogo: persona que estudia el agua en su estado natural, entre sus actividades está medir caudales, calidad y frecuencias de las crecidas, etc.

Material parental: material a partir del cual se forma el suelo.

Meteorización: todos los procesos físicos, químicos y biológicos que causan la desintegración de las rocas.

Micelios: expansiones de hongos en forma de red.

Mineral primario: minerales presentes en las rocas ígneas.

Nivel freático: napa freática, nivel superior del agua subterránea.

Permeabilidad: capacidad del suelo para transmitir el agua.

pH del suelo: el grado de acidez o de alcalinidad en el suelo.

Piroclastos: material volcánico proyectado por erupciones explosivas.

Régimen hídrico: está definido por el ingreso, almacenamiento y egreso del agua al suelo.

Rocas ígneas: resultan del enfriamiento del magma.

Rocas metamórficas: resultan de la transformación de las rocas ígneas y las sedimentarias principalmente por acción de la temperatura y la presión.

Rocas sedimentarias: se originan por la meteorización de cualquier otro tipo de rocas por procesos físico-químicos.

Sólidos inorgánicos: son los minerales que se hallan en el suelo.

Sólidos orgánicos: materia orgánica o humus.

QUÉ ES EL CAMAREN

El CAMAREN es un sistema de capacitación ecuatoriano en el manejo sostenible de los recursos naturales renovables. Se ejecuta a través de un Consorcio de entidades públicas y privadas. Asegura su sostenibilidad por medio del apoyo al fortalecimiento de las instituciones participantes.

EL SISTEMA DE CAPACITACIÓN CAMAREN

El sistema de capacitación CAMAREN se fundamenta en la recuperación de las experiencias institucionales, de técnicos y campesinos. Su punto de partida es esa práctica, sumada al conocimiento científico-tecnológico.

La capacitación es concebida como un proceso permanente y, en ella, la sistematización y capitalización de experiencias juegan un rol protagónico: facilitan escenarios de capacitación y aportan constantemente insumos de capacitación.

FINALIDAD, OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS DEL CAMAREN

La finalidad del proyecto es contribuir al manejo sostenible de los recursos naturales renovables en la Sierra en términos socio-económicos y ecológicos.

El objetivo central del proyecto es poner en funcionamiento un sistema de capacitación para extensionistas y técnicos y el fortalecimiento de las capacidades institucionales.

El proyecto prioriza tres ejes estratégicos:

- i. La cooperación interinstitucional para la construcción y ejecución de los programas de capacitación.
- ii. La elaboración de contenidos de capacitación a partir de la integración de la sistematización de las experiencias y el conocimiento científico.
- iii. El establecimiento del Consorcio CAMAREN como el instrumento impulsor del sistema de capacitación.

LOS MIEMBROS DEL CONSORCIO

- Centro Andino de Acción Popular (CAAP)
- Centro de Capacitación del Campesinado del Azuay (CECCA)
- Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA)
- Centro de Reconversión del Austro (CREA)
- Cooperativa de Asistencia y Recursos al Exterior (CARE)
- Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP)
- Instituto de Ecología y Desarrollo de las Comunidades Andinas (IEDECA)
- Ministerio del Ambiente
- Red Agroforestal Ecuatoriana (RAFE)
- Universidad de Cuenca
- Universidad Nacional de Loja

AUSPICIO



COSUDE



EMBAJADA REAL
DE LOS PAISES BAJOS

ORGANISMO ASESOR



INTERCOOPERATION

ENTIDAD LÍDER

