

---

**manual de capacitación**

---

**1**

**Noviembre  
1990**

---

---

# **CURSO CORTO SOBRE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**



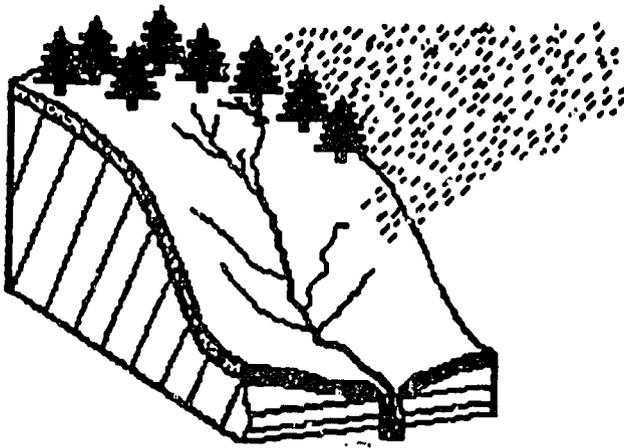
---

**Proyecto DGC/AID**

---

# Curso Corto

## Manejo de Cuencas Hidrográficas



Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales  
Con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del  
Medio Ambiente

Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente

# **CURSO CORTO SOBRE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Ing. Agrónomo Edelberto Teos Morales**  
Jefe Componente de Conservación de Medio Ambiente  
Dirección General de Caminos  
Guatemala, C.A.

**Ing. Gerald P. Bauer**  
Asesor Técnico de Medio Ambiente  
AID/DGC/Servicio Forestal de E.E.U.U.  
Guatemala, C.A.

**Dr. Sam Kunkle**  
Hidrólogo  
Programa de Bosques Tropicales  
Servicio Forestal de E.E.U.U.  
Washington, D.C.

**Ing. Mark Flora**  
Hidrólogo  
Sección de Recursos Hidráulicos  
Servicio de Parques Nacionales de E.E.U.U.  
Fort Collins, Colorado

**Dibujos por:**

**José Ricardo Vásquez**

Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.



## PRESENTACION

La cuenca hidrográfica es el área geográfica natural de dimensión variable, entendida como una unidad compleja cuyas interacciones (biofísicas, demográficas y socio-económicas) deben ser consideradas en la planificación de todo proyecto de desarrollo. El tamaño y complejidad de una cuenca es variable, pero, todas implican flujos de energía y materia con grados diferentes de eficiencia. Debido a su gran número se dificulta el estudio particular, no obstante, se pueden utilizar sus similitudes de comportamiento para generalizar y aplicar las experiencias acumuladas en otros sitios. Todo proyecto de desarrollo debe considerar estos flujos energéticos a fin de permitir que siempre contribuyan a mejorar la calidad de vida del hombre y no a disminuirla.

El Componente de Conservación del Medio Ambiente del Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra de la Dirección General de Caminos, plantea *que el manejo sustentable de los recursos naturales sólo es viable mediante la implementación de tareas que busquen la capacitación de funcionarios y técnicos responsables de la selección y construcción de los proyectos y la educación ambiental de los usuarios de los mismos*. En ese orden de ideas, se realizó el Primer Curso Corto sobre Manejo de Cuencas Hidrográficas, con el financiamiento de la Agencia para el Desarrollo Internacional AID, Misión Guatemala, en las instalaciones del Departamento de Capacitación de esta Dirección General durante los días comprendidos del 18 al 20 (primera fase) y del 24 al 26 de abril del presente año (segunda fase), con la participación activa del personal involucrado de manera directa en los diferentes niveles de priorización de proyectos.

Transcurridos algunos días de la realización del mismo, se han recibido muestras de interés por parte de personas que no participaron en el curso por obtener copias del material impreso utilizado, por lo que en esta oportunidad se presenta la edición del material elaborado. Para su reproducción, nuevamente se contó con el patrocinio de AID.

Este documento fue elaborado con financiamiento de la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), se autoriza su reproducción y distribución total o parcial, siempre que la fuente sea acreditada

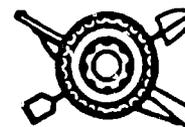
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Calendarización**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**

**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS  
19-20 Y 24-26 ABRIL 1990**

**CALENDARIZACION**

**Miércoles 18 abril**

- |              |   |
|--------------|---|
| 8:00-8:30 AM | Inaguración - Ing. David del Valle<br>Introducción al Curso - Ings. Jerry Bauer y<br>Edelberto Teos |
| 8:30-12:00   | Parte I - Información General Sobre Manejo de<br>Cuencas Hidrográficas e Hidrología - Ing. Bauer    |
| 12:00-13:00  | Almuerzo  |
| 13:00-16:30  | Parte II - Suelo, Erosión del Suelo y su Control -<br>Ing. Teos                                     |

**Jueves 19 abril**

- |             |  |
|-------------|--|
| 8:30-12:00  | Parte II - Continuación - Ing. Teos                  |
| 12:00-13:00 | Almuerzo   |
| 13:00-14:30 | Parte II - Continuación - Ing. Teos                  |
| 14:30-16:30 | Parte III - Aplicación y Planamiento - Ing.<br>Bauer |

**Viernes 20 abril**

- |             |  |
|-------------|--|
| 8:30-12:00  | Parte IV - El uso de los Mapas - Ing. Bauer  |
| 12:00-13:00 | Almuerzo   |
| 13:00-16:30 | Práctica, Preguntas, Resumen y Evaluación<br>(usar el tiempo necesario) - Ings. Bauer y Teos |

**Martes 24 abril**

- |             |  |
|-------------|--|
| 8:30-12:00  | Parte V - Hidrología y Monitoreo de Agua -<br>Dr. Sam Kunkle e Ing. Mark Flora |
| 12:00-13:00 | Almuerzo   |
| 13:00-16:30 | Parte V - Continuación - Dr. Kunkle e Ing. Flora                               |

**Miercoles 25 abril**

- |             |  |
|-------------|--|
| 8:30-12:00  | Parte V - Continuación- Dr. Kunkle e Ing. Flora          |
| 12:00-13:00 | Almuerzo   |
| 13:00-16:30 | Parte V - Práctica de Campo -<br>Dr. Kunkle e Ing. Flora |

**Jueves 26 abril**

- |             |  |
|-------------|--|
| 8:30-12:00  | Parte V - Práctica de Campo -<br>Dr. Kunkle e Ing. Flora |
| 12:00-13:00 | Almuerzo   |
| 13:00-16:30 | Parte V - Práctica de Campo -<br>Dr. Kunkle e Ing. Flora |

**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Lista de Participantes**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**

**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS  
18-20 Y 24-26 ABRIL 1990**

**LISTA DE PARTICIPANTES**

Nombre	Posición	Sede
<b><u>TRABAJADORES SOCIALES</u></b>		
Rosa Ercely Molina Urizar	Sub-coordinadora Area social	Central D.G.C. Técnico Profesional I
Gudelio Pérez Elías	Construcción	Región V-I Chimaltenango Técnico Profesional I
Maria Victoria Flores	Mantenimiento	Centro #1 Chimalt./Jalapa Chimaltenango Peón Ordinario
Jorge William Aragón P.	Construcción	Región VI-Q-SM Quetzaltenango Técnico Profesional I
Norma Liliana Paz Jimenez	Construcción	Región VII-EQ El Quiche Peón Ordinario
Alfredo Sac Escobar	Construcción	Region VI-TS Totonicapán Técnico profesional I
Odilio Abraham Brol	Construcción	Región IV-J-SR Santa Rosa Guardián I
Julio C. Rodriguez	Construcción	Región V-I Chimaltenango Promotor II

## LISTA DE PARTICIPANTES

Nombre	Posición	Sede
<b>TRABAJADORES SOCIALES</b>		
Maribel Saldivar Marroquin	Mantenimiento	Centro #4 Salamá Peón ordinario
Octavio Herrera González	Construcción	Región IV-J-SR Santa Rosa Técnico II
Baldomero Pérez	Construcción	Región IV-J-SR Santa Rosa Técnico II
Alfonso Palacios Vásquez	Construcción	Región IV-JA Jalapa Técnico II
Rosario Magdalena Ortiz Zapata	Construcción	Región IV-JA Jalapa Trab. operativo Esp. IV
Carlos Arnulfo Argueta	Construcción	Región V-I Chimaltenango Auxiliar de Campo
Matías Monzón Soto	Mantenimiento	Centro #1 Chimaltenango-Jalapa Técnico II
Blanca Zucely Pérez	Construcción	Región VI-TS Totonicapán Peón ordinario
Edgar David Martinez L.	Construcción	Región VI-TS Totonicapán Operativo Esp.
Carlos Mendoza Urrutia.	Construcción	Región VI-TS Totonicapán Auxiliar de Ingeniero

## **LISTA DE PARTICIPANTES**

Nombre	Posición	Sede
<b><u>TRABAJADORES SOCIALES</u></b>		
Luz Marina Hernández Ovalle	Mantenimiento	Centro #3 Huehuetenango Operativo Esp. III
Berna Ileana Tello	Construcción	Región VII-EQ Huehuetenango Apuntador de Materiales
Claudia Liseth Celada Maldonado	Construcción	Región VIII-H Huehuetenango Peón a Destajo
Patricia Maribel Villegas Pérez	Mantenimiento	Centro #1 Chimaltenango-Jalapa Peón a destajo
<b><u>AUXILIARES DE DELGADOS RESIDENTES</u></b>		
Gustavo Arnoldo Ara Arriola	Construcción	Región IV-JA Jalapa Trab. Esp. Jefe I
Franco Antonio Albi Chanona	Construcción	Región VI-Q-SM Quetzaltenango Auxiliar de campo
Israel Castro Valladares	Mantenimiento	Centro #4 Salamá Trab. Esp. Jefe I
Carlos Arturo Sazo	Construcción	Región V-I Chimaltenango Técnico II
Iván Macario Lemus	Construcción	Región V-I Chimaltenango Operativo Esp. III

## LISTA DE PARTICIPANTES

---

Nombre

Posición

Sede

---

### AUXILIARES DE DELGADOS RESIDENTES

Doris A. Castillo	Construcción	Región VII-H Huehuetenango Operativo Esp. III
-------------------	--------------	---

### DELGADOS RESIDENTES

Edgar Rodas	Mantenimiento	Centro #3 Huhuetenango Profesional I
-------------	---------------	--

Mario S. Santos	Mantenimiento	Región VII-H Huhuetenango Profesional II
-----------------	---------------	--

### OTROS PARTICIPANTES

Olga Leticia Mayorga	Pesos/Dim.	Central D.G.C. Secretaria Oficinista
----------------------	------------	---

José Ricardo Vásquez	Planeamiento	Central D.G.C. Técnico I
----------------------	--------------	-----------------------------

---

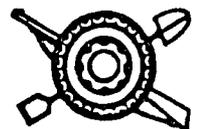
**Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Contenidos**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**

**CURSO COSTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS  
18-20 Y 24-26 ABRIL 1990**

**PARTE I - INFORMACION GENERAL SOBRE MANEJO DE  
CUENCAS HIDROGRAFICAS E HIDROLOGIA (Bauer)**

**I Introducción (Documento #1)**

**A. Definición**

- 1. Manejo de Cuencas Hidrográficas**
- 2. Manejo de Cuencas Hidrográficas en Areas con  
Cubierta Vegetal**

**B. Propósito del Manejo de Cuencas Hidrográficas  
(Documento #2)**

**II Fuentes de Agua Natural**

**A. Del Mundo (Documento #3)**

**III Descripción de una Cuenca Hidrográfica**

**A. Definición**

**B. Características (Documento #4)**

- 1. Area**
- 2. Longitud**
- 3. Ancho**
- 4. Profundidad**

**C. Otros Términos Significativos**

1. División Superficial
2. División Subterránea
3. Sub Cuenca Hidrográfica
4. Orden de Corrientes

**D. Generalidades**

**IV El Ciclo Hidrológico (Documento #5)**

**A. Definición**

**B. Componentes:**

1. Precipitación
2. Infiltración
3. Escurrimiento Superficial
4. Evaporación
5. Transpiración
6. Intercepción
7. Aguas Subterráneas

**V Factores Ambientales y su Relación con la Cuenca Hidrográfica**

**A. Clima**

**B. Vegetación**

**C. Topografía**

**D. Suelo**

**E. Geología Subyacente**

## **VI Cuencas Hidrográficas de Guatemala**

### **A. Vertientes (Documento #6)**

## **PARTE II - SUELO, EROSION DE SUELO Y SU CONTROL (Teos)**

### **I Suelos, Características, y Factores de Influencia de la Erosión (Documento #7)**

**A. ¿Que es Suelo?**

**B. Partículas Sólidas del Suelo (Documento #8)**

**C. Perfiles y Clasificación del Suelo (Documento #9)**

### **II Agrosistemas y Agroecosistemas (Documento #10)**

**A. Sistemas agrícolas**

**B. La Formación de los Suelos**

**C. Causas de la Erosión**

**D. Erosión Hídrica (Documento #11)**

**E. Erosión Eólica**

### **III Métodos para la Conservación de Suelos (Documento #12)**

**A. Prácticas Culturales**

**B. Prácticas Mecánicas**

**C. Utilización de los Recursos Naturales**

### **IV Prácticas de Conservación del Suelo y Agua**

**A. Prácticas Culturales**

**B. Prácticas Mecánicas**

## **PART III - APLICACION Y PLANAMIENTO (Bauer)**

- I Planificación y Aplicación de Manejo de Cuencas Hidrográficas**
  - A. ¿Qué es Planificación de Manejo de Cuencas Hidrográficas?**
  - B. Objetivos**
  - C. Información que se necesita para la Planificación de Manejo de Cuencas Hidrográficas**
  - D. Información Necesaria**
    - 1. Inventario de Cuencas Hidrográficas (Documento #13)**
    - 2. Dictamen de Mejoramiento de Cuencas Hidrográficas (Documento #14)**
    - 3. Monitoreo**

## **PART IV EL USO DE LOS MAPAS (Document #15) (Bauer)**

- I Mapas Topográficos**
  - A. Cómo leer un mapa**
    - 1. Líneas de Elevación**
    - 2. Drenajes, Ríos y Quebradas**
    - 3. Riscos y Montañas**
    - 4. Vegetación**
  - B. Cómo identificar una cuenca hidrográfico en el mapa**
  - C. Cómo calcular escalas y áreas en el mapa**
    - 1. Explicación de ejemplos #1,#2 y #3**
    - 2. Práctica de los cálculos, Ejercicios #1 y #2**

## II Dibujando Mapas

- A. Cómo hacer un mapa
- B. Ejercicio #3

## PARTE V- HIDROLOGIA Y MONITOREO DE AGUA (Kunkle y Flora))

### I Impactos (Programa de Slides)

- A. Agricultura
- B. Bosque
- C. Caminos
- D. Minería
- E. Otra

### II Cantidad (Documento #16)

- A. Principales
- B. Unidades
- C. Cómo Medir

### III Erosión y Sedimentación (Documento #17)

- A. Principales
- B. Unidades
- C. Cómo Medir y Evaluar

### IV Principios de Calidad de Agua (Documento #18)

- A. Definiciones
- B. Unidades
- C. Estándares

- V **Cómo Medir Cantidad y Calidad de Agua**  
**(Programa de Slides y Documento #19)**
  - A. Instrumentos
  - B. Parámetros
  - C. Técnicas Biológicas
  - D. Técnicas de Micro Biología
  
- VI **Monitoreo (Documento #20)**
  - A. Objetivos
  - B. Establecimiento del Programa
  - C. Plan de Monitoreo
  
- VII **Trabajo de Campo (Documento #21)**
  - A. Demostración de uso de equipo de monitoreo
  
- VIII **Conservación (Programa de Slides)**
  - A. Control de Erosión
  - B. Uso de la Tierra
  
- IX **Trabajo de Laboratorio (Documentos #23 & 23)**
  - A. Demostración y práctica de uso de equipo de monitoreo
  
- X **Conclusión y Discusión**

## LISTA DE DOCUMENTOS

- 1 Aspectos Hidrológicos Básicos
- 2 Influencia de la Vegetación en el Agua
- 3 Estimación de la Cantidad de Agua en el Mundo
- 4 Esquema de una Cuenca Hidrográfica
- 5 Ciclo Hidrológico
- 6 Las Vertientes de Guatemala
- 7 Origen y Formación del Suelo
- 8 Clasificación Textural del Suelo
- 9 Perfil del Suelo
- 10 Sistemas Agrícolas o Agroecosistemas
- 11 Constantes de Humedad
- 12 Métodos para la Conservación de Suelos
- 13 Inventario de Cuencas Hidrográficas
- 14 Disposición del Mejoramiento de Cuencas Hidrográficas
- 15 Ejercicios de Mapas
- 16 La Cantidad de Agua
- 17 Erosión y Sedimentación
- 18 Principios de Calidad de Agua
- 19 Instrucciones para el Uso del Equipo "Milipore"
- 20 Monitoreo de Agua
- 21 Ejercicio de Aforo de una Quebrada
- 22 Ejercicios de Conductividad Específica y pH
- 23 Definiciones de Términos de Calidad de Agua

**Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

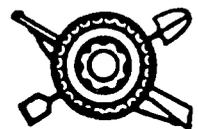
**Notas del Instructor:**

**Parte I - Información General sobre  
Manejo de Cuencas  
Hidrográficas**

**Parte III - Aplicación y Planeamiento**

**Parte IV - El Uso de los Mapas**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**

**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS  
18-20 Y 24-26 ABRIL 1990**

(Notas del Instructor)

**PARTE I - INFORMACION GENERAL SOBRE MANEJO DE  
CUENCAS HIDROGRAFICAS E HIDROLOGIA (Bauer)**

**I Introducción (Documento #1)**

**A. Definición**

1. Manejo de Cuencas Hidrográficas: - Es el manejo de todo los recursos naturales de un área de drenaje (cuenca) para proteger, mantener o mejorar el rendimiento del agua. El manejo de cuencas hidrográficas es un tipo de conservación de suelos.
2. Manejo de Cuencas Hidrográficas en Areas con Cubierta Vegetal: - Es manejo de tierra (cuencas hidrográficas) que no son urbanas y que no son cultivadas por el hombre. Esta tierra está cubierta principalmente con bosque o pasto. Estos terrenos son la fuente principal para el hombre de agua dulce en el mundo.

**B. Propósito del Manejo de Cuencas Hidrográficas**

1. El manejo de cuencas siempre tiene algunos objetivos específicos y es necesario desarrollar un programa para lograrlos.
2. Los objetivos pueden ser:
  - a. proteger al suelo
  - b. mejorar el producción de cultivos
  - c. mejorar la calidad del agua
  - d. mejorar o aumentar el rendimiento de agua

3. Los objetivos del manejo pueden ser influenciados por:
  - a. Vegetación
    1. Tipo: bosque vs. pasto vs. cultivos vs. área sin vegetación
    2. Prácticas de manejo: corte selectivo vs. corte completo
  - b. Tiempo de rotación
    1. de bosque
    2. de productos agrícolas
  - c. Prácticas de conservación
    1. Franja de protección al lado de quebradas
    2. Terrazas
  - d. Fuerzas de la naturaleza - esto es muy importante, porque el hombre no tiene control sobre ella -
    1. Clima
    2. Topografía
    3. Suelos
4. Ejemplo de la influencia de la vegetación en la cuenca (Documento #2)
  - a. Ver los gráficos:
    1. Disposición de la lluvia
    2. Disposición del agua en el suelo
    3. Abastecimiento de los ríos

## II Fuentes de Agua Natural

- A. Del Mundo (Documento #3)
  1. El agua es uno de los elementos más abundantes en el mundo
  2. El 97% de toda el agua en el mundo es agua salina

3. Del 3% restante, la mayoría consiste de hielo polar y glaciares. Este 3% es suficiente para cubrir la superficie del mundo a una profundidad de cien pies
4. En los ríos del mundo solamente hay 7,000 galones de agua, suficiente para el uso de cada persona

### III Descripción de una Cuenca Hidrográfica

#### A. Definición

1. Cuenca Hidrográfica - el total del área que es drenada por un río o riachuelo, aguas arriba de su desembocadura u otro punto de interés

#### B. Características (Documento #4)

1. Area
2. Longitud
3. Ancho
4. Profundidad - incluye el área de tope de la vegetación hasta la formación geológica abajo-

#### C. Otros Términos Significativos

1. División Superficial (o División Topográfica) - La colindancia que limita la cuenca. Esta colindancia define el límite del área de desagüe superficial
2. División Subterránea - Es el área de desagüe subterráneo. Puede ser el mismo de la división superficial
3. Sub Cuenca Hidrográfica - Una pequeña cuenca hidrográfica dentro de una cuenca más grande
4. Orden de Corrientes - Es un sistema usado para clasificar el tamaño de quebradas en relación a las otras quebradas del área

#### D. Generalidades

1. Toda la tierra es parte de una cuenca
2. Una cuenca hidrográfica puede ser tan pequeña como la impresión de un pie o tan grande como un continente

3. Casi siempre interesa el manejo de cuencas hidragráficas con áreas desde 0.5 hasta cien hectáreas
4. Entre más grande es la cuenca, es más compleja
5. Todas las cuencas son únicas, no hay dos que sean exactamente iguales.

#### IV El Ciclo Hidrológico (Documento #5)

##### A. Definición

1. El Ciclo Hidrológico - 1) La circulación de agua en una escala larga entre la atmósfera y la tierra; 2) Disposición de la lluvia desde el momento en que se precipita hasta que vuelve a reintegrarse a las masas de aire por reevaporación para servir de nuevo como una fuente de precipitación.

El ciclo hidrológico no tiene punto para comenzar, ni terminar

##### B. Los Componentes Mayores del Ciclo Hidrológico son:

a) Precipitación, b) Infiltración, c) Escurrimiento Superficial, d) Evaporación, e) Transpiración, f) Intercepción, g) Aguas Subterráneas

##### 1. Componentes de Precipitación

- a. Lluvia
- b. Nieve
- c. Granizo
- d. Niebla (Neblina)
- e. Rocío
- f. Cellisca (Granizo con agua)

Estas 6 formas de precipitación son las principales fuentes de agua en el mundo. Todo viene de la atmósfera donde la humedad existe como:

- a. un gas invisible - vapor de agua
- b. un líquido - lluvia

c. un sólido - nieve, granizo

## 2. Infiltración

1. Es el movimiento de agua de la superficie hacia adentro del suelo

## 3. Escurrimiento Superficial

1. Es la cantidad de agua que no es absorbida por la superficie de la tierra

2. Esto ocurre cuando la cantidad de precipitación es mayor que la cantidad de infiltración del suelo

## 4. Evaporación

1. Es el proceso de cambio de agua del estado líquido al estado gaseoso (o vapor)

2. Esto pasa cuando el agua en forma líquida es calentada por la energía solar

3. Esto ocurre sobre la tierra y el mar

## 5. Transpiración

1. Es el proceso de salida de vapor de agua de una planta a la atmósfera a través de los poros de las hojas o corteza

## 6. Intercepción

1. Es el proceso donde la precipitación (lluvia, nieve, etc.) es captada y guardada por la vegetación (por las hojas, las ramas y ramitas, la grama, etc.). Luego una cantidad de ésta cae al suelo y otra cantidad es evaporada al aire.

2. La intercepción resulta en menor precipitación que llega al suelo o superficie de la tierra

## 7. Aguas Subterráneas

1. Es la porción de precipitación que se infiltra en la tierra y que no es absorbida por el suelo, piedras, u otro material; es agua subterránea libre

2. Esta agua llega a la capa freática

3. Esta agua puede llegar hasta una quebrada o lago, después regresar a un cuerpo de agua superficial

## V Factores Ambientales y su Relación con la Cuenca Hidrográfica

- A. Clima - Conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región; el estado de la atmósfera en una localidad por un tiempo, es definida por la temperatura, humedad, velocidad y presión del viento

Para el manejador de tierra la humedad y temperatura son los parámetros más importantes

1. Lluvia -es la forma de precipitación más común en las áreas tropicales
2. Factores de lluvia muy importantes son:
  - a. Cantidades - expresadas en centímetros (cm) o milímetros (mm)
  - b. Duración - expresada en minutos, horas o días
  - c. Intensidad - expresada en cantidad por hora
3. ¿Porqué son importantes estos factores?
  - a. porque afectan la estabilidad de suelo, tipo de vegetación y desarrollo de las plantas
4. La precipitación se cambia a escurrimiento superficial, infiltración y evapotranspiración
5. Efectos de la precipitación:  

Más <u>cantidades</u> de precipitación =	-más escurrimiento superficial -más evapotranspiración -más infiltración
Precipitación más <u>intensa</u> =	-más escurrimiento superficial -menos evapotranspiración -menos infiltración

Precipitación de <u>duración</u> <u>más larga</u>	=	-menos escurrimiento superficial -más evapotranspiración -más infiltración
Más <u>área</u> de precipitación	=	-más escurrimiento superficial -más evapotranspiración -más infiltración
Más precipitación en la <u>época fría</u> (con temperatura arriba de 0°C)	=	-más escurrimiento superficial -más infiltración -menos evapotranspiración
Más precipitación en <u>época caliente</u>	=	-menos escurrimiento superficial -más evapotranspiración -más infiltración

## 6. Temperatura

a. Es muy importante porque influye en la germinación, desarrollo de las plantas y el tipo de vegetación

### B. Vegetación -

1. La parte más importante en el manejo de cuencas hidagráficas en cualquier clima donde hay suficiente humedad y calor para mantener vegetación
2. Es importante porque:
  - a. aumenta la productividad de la tierra
  - b. es la única forma práctica para proteger la tierra de erosión
  - c. el hombre puede manipularla
3. Influye en la cuenca hidrográfica por:
  - a. Intercepción
    1. aumenta cuando la densidad de vegetación es mayor
    2. hace la precipitación llegar más lenta, pues aumenta la cantidad de infiltración

**b. Protegiendo y sombreando a la superficie**

1. Hace el impacto de la lluvia menos fuerte, protege la estructura del suelo
2. Evita que la luz de sol llegue directamente a la tierra, reduciendo la evaporación

**c. Dá material orgánico al suelo**

1. Puede aumentar la fertilidad en el suelo
2. Ayuda en la protección de la "habitat" de microorganismos que son necesarios para el desarrollo del suelo

**C. Topografía**

**1. Influye a la cuenca hidrográfica por:**

- a. Influye en la velocidad de escurrimiento superficial
- b. Influye en la cantidad de infiltración

**D. Suelo**

1. Es el corazón de la cuenca; es el principal afectado tanto por las influencias naturales como las manejadas por el hombre
2. Suelo es un cuerpo natural que cubre la tierra y da apoyo mecánico y nutrientes a las plantas
3. Suelo consiste en:
  - a. minerales
  - b. materia orgánica
  - c. humedad
  - d. aire
4. Es muy complejo y variable. Tiene variación vertical y horizontal

5. Las propiedades de suelo que son muy importantes para el manejo de cuencas son:

- a. Profundidad
- b. Textura
- c. Estructura
- d. Porosidad

**E. Geología Subyacente**

1. Es el lecho rocoso
2. La geología afecta la hidrología de la cuenca en dos formas:
  - a. la forma de las rocas subyacentes determinan si las aguas subterráneas coinciden con los límites de la cuenca según la configuración del terreno
  - b. si la roca subyacente es impenetrable al paso descendente del agua

**VI Cuencas Hidrográficas de Guatemala**

**A. Vertientes (Documento #6)**

1. Vertiente - Es un declive por donde corre o puede correr el agua; división continental
2. Hay tres vertientes en Guatemala
  - a. Pacífico - de 24,000 kms. cuadrados
    - 18 cuencas
  - b. Mar de las Antillas - de 57, 000 kms. cuadrados
    - 7 cuencas
  - c. Golfo de México -51,000 kms. cuadrados
    - 10 cuencas

## **PARTE III -            APLICACION Y PLANEAMIENTO (Bauer)**

### **I Planificación y Aplicación del Manejo de Cuencas Hidrográficas**

#### **A. ¿Que es Planificación de Manejo de Cuencas Hidrográficas?**

- Es la identificación de los objetivos y políticas que corresponden al uso, protección, y conservación de los recursos del agua

#### **B. Objetivos - depende de la situación y tipo de manejo**

#### **C. Para manejar las cuencas se necesita información sobre:**

1. Cantidad
2. Calidad
3. Fuente
4. Frecuencias de duración
5. Formas del agua
6. Necesidades del población

#### **D. Información Necesaria**

##### **1. Inventario de Cuencas Hidrográficas (Documento #13)**

- a Es una colección de toda la información que puede afectar el agua, incluyendo los elementos humanos y naturales
- b Explica los índices del inventario
- c Identificación de problemas, información, objetivos de manejo, etc.
- d Cantidad de detalle en el inventario depende de los objetivos

##### **2. Dictamen de Mejoramiento de Cuencas Hidrográficas (Documento #14)**

- a Es un plan de acción para la implementación de tratamientos para alcanzar los objetivos

- b Es un plan en papel para decir porqué y cuando se van a hacer los tratamientos
- c Dá detalles sobre los objetivos, costos, reglamentos, tiempos de trabajo, etc.

### 3. Monitoreo

- a Se hace el monitoreo para saber los efectos de manejo y tratamiento de la tierra en la calidad y cantidad de agua
- b Dá un método para saber los efectos de manejo sobre el agua

## **PART IV EL USO DE LOS MAPAS (Documento # 15) (Bauer)**

### **I Mapas Topográficos**

#### **A. Como leer un mapa**

- 1 Líneas de Elevación
- 2 Drenajes, Ríos y Quebradas
- 3 Riscos y Montañas
- 4 Vegetación

#### **B. Como calcular escalas y áreas en el mapa**

- 1 Explicación de ejemplos #1 hasta #3
- 2 Práctica de los cálculos, Ejercicios #1 y #2

### **II Dibujando Mapas**

#### **A. Como hacer un mapa en papel blanco**

- 1 Ejercicio #3

**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #1: Aspectos Hidrológicos Básicos**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# ASPECTOS HIDROLOGICOS BASICOS<sup>1</sup>

## La Cuenca Hidrológica

Una cuenca hidrológica es toda el área de terreno que vierte sus aguas a un sistema de corrientes aguas arriba de su desembocadura o de otro lugar determinado de interés u otra medida. La cuenca de una corriente no solamente tiene área, longitud y anchura, sino también una tercera dimensión: profundidad. Con excepción de laderas rocosas y áridas, la profundidad de una cuenca se extiende desde la cima de la vegetación al límite del estrato inferior.

A la circunscripción de los linderos que rodean la cuenca se le llama la divisoria. Esta línea determina los límites del área que contribuye con escorrentía superficial. La divisoria que separa el área que vierte escorrentía de aguas subterráneas puede coincidir con la división superficial o puede ser completamente diferente.

De todas maneras, toda la tierra es parte de alguna cuenca. Una cuenca puede ser tan pequeña como la huella del pie o tan grande como un continente, como es el caso de cuencas de ríos como el Mississippi, el Amazonas, el Congo, el Nilo o el Ganges. En efecto, prácticamente la mayor parte del manejo de cuencas se refieren a cuencas que varían en tamaño de quizás un acre a varios miles de millas cuadradas. Las cuencas más grandes se vuelven más complejas en todos los aspectos y para propósitos de estudio y análisis se subdividen en subcuencas más pequeñas y homogéneas.

Cada cuenca del mundo es única como la huella dactilar. No existen dos que sean exactamente iguales. Es fácil imaginarse que la cuenca de un bosque a una altura mayor del límite de las nieves perpetuas sea diferente a la cuenca seca y polvorienta de un país árido. Hasta dos cuencas que se encuentren a la par y que se vean iguales, en detalle son realmente diferentes.

Sin embargo, la generalización es posible a determinado grado ya que las mismas leyes físicas se aplican en todos lados. Con la interpretación de estas leyes y con conocimientos profundos de la cuenca y de su medio ambiente, es posible predecir con bastante exactitud el comportamiento hidrológico. Esto sugiere que las dimensiones de la cuenca y todos los factores importantes son esenciales para una interpretación exacta del comporta-

---

<sup>1</sup>Adaptado de Manejo de Cuencas (Watershed Management). Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas, Roma, 1962. El colaborador principal de este capítulo fué William C. Ackerman, Profesor de Hidrología. Universidad de Illinois y Jefe de la División de Investigación de Aguas del Estado de Illinois, U. S. A. La traducción de éste documento de inglés a español fué realizada por la señora Silvia Ruiz de la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID).

miento de la cuenca. Cuencas de importancia especial pueden ameritar un estudio individual detallado y esto a veces se lleva a cabo. Sin embargo, no todas las cuencas del mundo pueden ser estudiadas hidrológicamente en detalle debido a que son innumerables. Más bien, la respuesta está en la investigación generalizada. Ultimamente, el hombre debe investigar cada territorio fisiográfico, cada región climática y cada clase de vegetal. Los resultados de dichas investigaciones pueden ser aplicados con confianza a otras cuencas dentro de límites razonables de homogeneidad.

### La Cuenca y el Ciclo Hidrológico

A la circulación indefinida de la humedad de la tierra se le llama ciclo Hidrológico. A pesar de que para muchos es familiar en un sentido general, aquí se describe a grandes rasgos y en una forma comprensible para ubicar el manejo de cuencas dentro del extenso patrón de la naturaleza y definir los términos que frecuentemente se repetirán durante todo este curso.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, sin embargo, podemos pensar en él como que se inicia de la humedad atmosférica que se compone de vapor de agua, nubes y neblina. El vapor de agua es el estado gaseoso del agua y está presente en la atmósfera debido al proceso de evaporación en superficies de tierra y agua. Las nubes y la neblina se forman debido al enfriamiento y a la condensación del vapor de agua en pequeños núcleos en la atmósfera, como partículas de sal o polvo. Cuando las gotitas resultantes de agua obtienen un tamaño suficiente, éstas caen en forma de lluvia. Si las gotas de lluvia pasan a través de zonas de temperaturas bajo cero, se vuelven granizo. Si la condensación ocurre a temperaturas bajo cero, se forma la nieve. Si la condensación del vapor de agua se forma directamente en una superficie más fría que el aire, se forma ya sea rocío o escarcha, dependiendo de si la temperatura está sobre o bajo cero cuando ocurre la condensación.

Una gran parte de la precipitación total cae directamente en los mares, en los grandes lagos y en otras extensiones de agua como ríos y estanques. Aquella que cae en el mar, junto al agua que regresa como escorrentía, mantienen el equilibrio que se demuestra por medio de la constante elevación del nivel del mar.

La lluvia o el desnieve primero humedece la superficie y luego penetra en los intersticios del suelo. A este proceso se le llama infiltración. Parte de la infiltración total penetra a las aguas subterráneas, parte es utilizada por la vegetación y transpirada de nuevo a la atmósfera y parte está sujeta a la evaporación como resultado de la elevación capilar. En terreno pendiente, con una capa delgada de tierra vegetal, el agua que se infiltra puede regresar a la superficie por medio del movimiento lateral.

Cuando la tasa de precipitación excede la cantidad de agua que puede infiltrarse en el suelo, generalmente ocurre lo que se llama escorrentía superficial. Después de llenar las depresiones de la superficie, este exceso de lluvia corre sobre la superficie de la tierra hasta llegar a una corriente determinada, a través de la cual corre para finalmente desembocar en el mar o en una extensión de agua interior.

Cuando el agua en su estado líquido es calentada por la energía solar o por otra forma, ésta pasa a su estado gaseoso por medio del fenómeno llamado evaporación. Este proceso de evaporación ocurre en el agua, en superficies mojadas como en la vegetación, en la tierra y nieve.

Una de las funciones básicas dentro del proceso de vida de la vegetación se llama transpiración e incluye el proceso de absorción de agua de la tierra por medio de las raíces, utilizándola para su desarrollo y para mantener la vida y expeliéndola a la atmósfera por medio de sus poros.

Una parte de la precipitación que penetra en la superficie de la tierra como infiltración se irá al suelo. Si ésta agua no es absorbida por tierra carente de humedad o por rocas porosas, eventualmente alcanzará un nivel completamente saturado, la capa freática. La ladera y estructura que limita la extensión del agua subterránea puede ser tal que impida su brote inmediato; o la extensión de agua subterránea pueda interceptar el lecho de una corriente por donde será regresada a una extensión de agua superficial. Las aguas subterráneas también pueden pasar a través de capas porosas y alcanzar un nivel en que sean aprisionadas por suelos más cerrados y por consiguiente estén sujetas a presión. Si un pozo penetra a este nivel, éste puede ser artesiano y el agua que liberará de igual manera formará parte del agua superficial. La misma zona de presión puede estar en contacto con un lecho marino y desembocar el agua al mar.

Además, la humedad atmosférica con la cual se inició esta descripción del ciclo pueden seguir trayectorias de diferente duración y complejidad antes de que pueda completarse el ciclo.

### Oportunidades y Restricciones

El manejo de cuencas está siempre dirigido hacia objetivos específicos y un programa ha sido diseñado para lograr estos objetivos. Los propósitos pueden estar completa o principalmente relacionados con la utilización de la tierra, como lo es la producción mejorada de cultivos o la reducción de la erosión. Hasta en dichos casos los factores hidrológicos son importantes ya que algunos elementos como la temperatura o la humedad disponible pueden realmente determinar si puede ser llevado a cabo el programa deseado. Además, aun cuando la utilización de la tierra sea el aspecto urgente, es importante conocer las consecuencias hidrológicas de cualquier cambio proyectado en el manejo de cuencas. Por ejemplo, los cultivos en fila en terrenos quebrados de áreas con intensas lluvias pueden provocar corrien-

tes de baja calidad, tasas pico de grandes escorrentías y como resultado inundaciones y una excesiva erosión que finalmente lavará la tierra.

En algunos casos, un cambio en el régimen hidrológico podría ser el objetivo principal del manejo de cuencas. Estos cambios podrían incluir una reducción de las inundaciones, el aumento en el caudal de pequeñas corrientes de agua, el aumento de la disponibilidad de tierra húmeda, el aumento de los niveles del agua subterránea o la mejora de la calidad de agua para su abastecimiento. Cualquiera de estos objetivos pueden ser logrados en determinado grado, sin embargo, no todos podrían ser mutuamente compatibles o estar de acuerdo con el programa deseado de utilización de la tierra.

Debe de recordarse que los factores más importantes que controlan el ciclo hidrológico son fuerzas y circunstancias de la naturaleza, para las cuales el hombre puede hacer muy poco. Estas incluyen la meteorología o clima que por siglos ha formado el terreno y ha determinado la clase y profundidad del suelo. Si el suelo es poco profundo, el hombre puede hacer muy poco para mejorar la capacidad de mantenimiento de humedad de la tierra. Si el terreno se congela en invierno, la infiltración de la humedad indudablemente será insignificante. Si el terreno es montañoso, el hombre no puede volverlo plano.

La precipitación probablemente es el factor más importante de la hidrología cotidiana y esto en gran parte permanece fuera del control del hombre, aún cuando es cierto que estudios recientes mencionan la posibilidad de lograr pequeños aumentos en la precipitación por medio del bombardeo de nubes con hielo seco en circunstancias favorables de regiones montañosas, las futuras actividades meteorológicas tendrán que cambiar esto, ya que la realidad actual es que la precipitación debe ser aceptada en la forma como la proporciona la naturaleza. Las lluvias no pueden moverse de una estación a otra, tampoco pueden aumentarse o disminuirse.

Sin embargo, mucho puede hacerse con factores que están sujetos a manejo. Existe una variedad de vegetación para escoger, las prácticas de utilización de tierra pueden ser cambiadas y el agua puede ser almacenada por medio de la ingeniería para posteriormente ser llevada a otros lugares o utilizada durante otras estaciones del año, cuando no se encuentre disponible. El hombre puede cubrir el terreno con un manto vegetal que ayude a la infiltración y proteja el suelo por medio de la ingeniería, se puede hacer trabajos que encierren o contengan inundaciones.

### La Función del Clima

El clima es un término muy amplio y de mucho alcance que es tema de una ciencia separada llamada meteorología. El clima en la atmósfera baja de la zona interfacial, entre el aire y la tierra, tiene repercusiones importantes para el manejo de cuencas.

Entre los elementos del clima, el más importante es la precipitación. Este es el insumo de humedad de una cuenca que debe ser manejada y utilizada en forma beneficiosa. A la vez, la precipitación ocurre en diferentes formas algunas pueden ser vistas aquí como secundarias. Estas incluyen el rocío, granizo y la escarcha. Por consiguiente, esto deja a la lluvia y nieve como las formas más importantes de la precipitación. Con relación a la lluvia es importante conocer las cantidades, expresadas en pulgadas u otra medida de capacidad. También debe conocerse la duración de la lluvia, expresada en minutos, horas o días y su intensidad, expresada en pulgadas por hora.

Las tasas de precipitación son bastante variables. Pueden ser tan bajas que no permitan ser medidas con el equipo regular, en cuyo caso tienen poco efecto en la hidrología de la cuenca. Las tasas mayores de una pulgada por hora se consideran intensas. Las tasas superiores a 10 pulgadas por hora son poco frecuentes y en contadas ocasiones duran más de unos cuantos minutos.

La cantidad de la precipitación es bastante variable de un lugar a otro de la tierra, algunas zonas reciben normalmente menos de 10 pulgadas al año y otras más de 100. Aún en una misma región, la precipitación debe ser considerada como bastante variable. En regiones húmedas y templadas la precipitación anual puede variar hasta el 50 por ciento de lo normal, mientras que en regiones áridas y semiáridas la variación frecuentemente es varios cientos por ciento de lo normal. La precipitación sigue el patrón estacional típico de la localidad que varía sobre y bajo el promedio, con una mayor variabilidad asociada a los climas más áridos.

La lluvia se mide con pluviómetros, de los cuales existe una gran variedad. De preferencia, todos los pluviómetros deberían ser pluviógrafos para medir no solamente la cantidad sino la duración e intensidad. Esto es necesario en raras ocasiones y lo usual es que uno o más pluviógrafos se complementan con una cantidad más numerosa de pluviómetros, respaldados por notas y comentarios de los observadores con relación a la duración e intensidad de las lluvias. Un pluviómetro estándar frecuentemente es de 8 pulgadas de diámetro e incluye un tubo interior de una décima parte del área del perfil transversal. Para mayor facilidad y precisión en la medida, las cantidades recolectadas son por consiguiente ampliadas 10 veces. Sin embargo, cualquier recipiente rígido, con lados verticales, puede ser utilizado con una mínima pérdida de exactitud. Pluviómetros con diámetros tan pequeños como una pulgada han sido utilizados satisfactoriamente.

Los pluviómetros se sitúan en el campo abierto para que la vegetación o los edificios no interfieran o intercepten cualquier caída de agua.

La cantidad de pluviómetros necesarios para que razonablemente se muestre el promedio de lluvia en un área, como una cuenca, ha sido tema de estudio. No se puede precisar una cantidad exacta ya que ésta varía de acuerdo con las condiciones meteorológicas locales, con la topografía, con la exactitud deseada y con las limitaciones, tanto financieras como de otra

índole. Sin embargo, cualquier cuenca que se esté estudiando o manejando debe contar por lo menos con un pluviómetro, de preferencia localizado en el centro geométrico del área. Una cuenca de 1,000 acres que esté bajo intenso estudio podría requerir para ser cubierta en forma adecuada aproximadamente tres pluviómetros. Grandes lechos de cuencas no requieren dicha cantidad de pluviómetros ya que las pequeñas variaciones en las lluvias se vuelven menos importantes, además de que un pluviómetro por 50 o 100 millas cuadradas podría estar indicado cuando uno conoce algo sobre los patrones de lluvia de la región. Por lo general es útil iniciar un proyecto con varios pluviómetros y reducir su número cuando se haya recolectado alguna información.

La precipitación pluvial se representa en gráficas y generalmente se publica por horas y días. Un período de 5 días, el "pente", se está comenzando a utilizar. Para propósitos de análisis, las cantidades generalmente se registran en mapas y se marcan líneas de igual valor. La intensidad pluvial durante períodos de minutos u horas puede ser representada como gráficas rayadas o la tasa puede ser marcada contra el reloj.

La unidad pluvial para el análisis hidrológico es la tempestad. Por lo que para muchos propósitos la lluvia y otros factores hidrológicos también se representan por días, semanas, meses, estaciones o años.

La precipitación finalmente está sujeta a la infiltración, a la escorrentía y a la evapotranspiración y como se tratará más adelante, durante estos procesos es afectada por muchos factores como son: la vegetación, el terreno, los suelos y la geología. Sin embargo, como se muestra a continuación, se puede generalizar en una forma cualitativa con relación a los efectos en las variaciones de la precipitación, en situaciones similares:

Mayores cantidades en la precipitación = Mayor escorrentía  
 Mayor evapotranspiración  
 Mayor infiltración

Mayor intensidad de la precipitación = Mayor escorrentía  
 Menor evapotranspiración  
 Menor infiltración

Mayor duración de la precipitación = Menor escorrentías  
 Mayor evapotranspiración  
 Mayor infiltración

Mayor precipitación en un área más grande = Mayor escorrentía  
 Mayor evapotranspiración  
 Mayor infiltración

Mayor precipitación en la estación fría (superior a la temperatura de congelación) = Mayor escorrentía  
Mayor infiltración  
Menor evapotranspiración

Mayor precipitación en la estación cálida = Menor escorrentía  
Menor evapotranspiración  
Mayor infiltración

Junto con la precipitación, la temperatura es el segundo elemento del clima de importancia para el manejo de cuencas. La temperatura regula la germinación y el crecimiento de la vegetación, lo que a la vez influye en la hidrología. La temperatura del aire determina la forma de la precipitación, la cantidad de desnieve y a través de su efecto en la viscosidad, afectan la infiltración y escorrentía de la lluvia.

La temperatura es un elemento más conservador que la precipitación, ya que no varía tanto en tiempo y espacio. Por consiguiente, se requieren menos instrumentos para representar en forma adecuada las variaciones de la región, por lo menos con la falta de características fuertes de presión en la cuenca. Es conveniente que se tengan termógrafos, sin embargo, estos no son esenciales para la mayoría de los análisis hidrológicos. En la mayoría de casos servirán los termómetros máximos y mínimos que se leen diariamente.

Otros elementos del clima pueden mencionarse y podrían ser observados y correlacionados cuando se lleven a cabo estudios detallados de investigación. Estos incluyen la humedad relativa, la dirección y velocidad del viento y la radiación solar.

### La Función de la Vegetación

Se asume que la vegetación es parte indispensable del manejo de cuencas en cualquier clima donde exista suficiente humedad y temperatura para el crecimiento de las plantas. Las únicas excepciones de esto serían las áreas pavimentadas que están dedicadas a la minería y las extensiones de agua. La vegetación es esencial, ya que es a través de las plantas la tierra se vuelve productiva. En segundo lugar, por medio de su acción de resguardo del suelo contra el impacto de la lluvia. La vegetación en la única forma práctica para proteger a la tierra de la erosión. Finalmente, la vegetación es importante para el manejo de cuencas ya que es uno de los factores principales que el hombre puede manipular para su ventaja. El hombre también puede manejar directamente los suelos, sin embargo, calidades deseables de suelos pueden lograrse más rápidamente y con menos esfuerzos al permitir que la vegetación establezca las condiciones convenientes en la superficie.

El primer efecto de la vegetación al inicio de una tempestad es interceptar una parte de la lluvia por medio del proceso del remojo de hojas y ramas, o una parte de la nieve por medio de su almacenaje. En vegetaciones densas como en bosques maduros, con un estrato superior compuesto de árboles y un estrato inferior de vegetación herbácea, esto podría significar media pulgada o más de precipitación por tempestad. Debido al movimiento del viento, una parte de esta humedad cae al suelo después de la precipitación. Esta precipitación atrasada, en realidad prolonga el período de lluvia en la superficie del suelo y tiende a aumentar la infiltración en la tierra. La humedad que permanece en las hojas se evapora normalmente en un día. Esta evaporación no debe necesariamente ser vista como una pérdida de la humedad ya que durante el período posterior a la lluvia, cuando el terreno está impregnado y la atmósfera baja también cuenta con mucha humedad, la radiación solar podría ser el factor limitante de la evaporación. Por consiguiente, la evaporación de las superficies de las hojas probablemente se compense con la evaporación reducida de la tierra y con la transpiración de la vegetación.

La protección a la tierra contra el impacto directo de la lluvia es importante para mantener la estructura conveniente de migas o de tierra suelta formada por partículas individuales. El impacto directo también suelta las partículas de tierra, el primer paso dentro del proceso de erosión. La segunda importancia de la vegetación es proteger y dar sombra a la tierra, además de que previene la excesiva evaporación, promueve el desarrollo de organismos en el suelo que están en juego para descomponer materias orgánicas y convertirlas en abono y en húmus.

La transpiración es la evaporación de la humedad de la superficie de las plantas, humedad que ha sido absorbida por medio de las raíces y utilizada dentro del proceso de desarrollo de la planta. Este proceso de la planta, el cual no se comprende completamente, raras veces representa menos de la tercera parte de la precipitación en áreas húmedas y realmente todo en áreas de pocas lluvias. Es muy poco lo que puede hacerse para modificar la transpiración de un tipo de vegetación en particular, sin embargo, existe la posibilidad de sustituir las plantas con otras de comportamiento diferente. La transpiración fluctúa dentro de un patrón estacional con tasas máximas que se logran durante la estación cálida de crecimiento cuando existe humedad abundante. Las tasas durante la estación fría podrían ser casi cero. Además del ciclo estacional, la transpiración varía según la profundidad del suelo y la humedad disponible. Cuando el nivel de humedad llega cerca del punto de marchitez de las plantas, el agua remanente es fuertemente mantenida por las partículas de tierra y no se encuentra fácilmente disponible para las raíces de la planta. Finalmente, la transpiración varía según las características de la raíz de la vegetación. Generalmente se considera que los bosques maduros tienen la mayor transpiración debido a que cuentan con grandes áreas de hojas y grandes sistemas de raíces que cada año extraen la humedad a grandes profundidades. Las plantas con raíces poco profundas, como algunas hierbas, cada año deben desarrollar nuevas raíces para extraer la humedad de regiones menos profundas que los ár-

boles. La vegetación con raíces que se extienden en la tierra, de 10-20 pies o más se consideran profundas; de 5-10 pies, intermedias y de 2-5 pies, poco profundas.

Con un manejo conveniente de cuencas, la transpiración se lleva a cabo conjuntamente y no puede ser debidamente separada de otra evaporación. Esto incluye la evaporación de la humedad remanente de lluvias, así como aquella del propio suelo. Los estudios han mostrado que la evaporación de la tierra no se extiende a grandes profundidades y usualmente se limita a las 12 o 18 pulgadas superiores. Por consiguiente, la evaporación se alimenta de la humedad de las capas superiores que es suministrada por las lluvias periódicas. Por otra parte, la transpiración tiende a extraer la humedad dentro de los límites de la raíz, que a su vez podría estar limitada por la profundidad total del suelo o por su humedad.

Normalmente a la evaporación y transpiración se les considera juntas como evapotranspiración. En algunas localidades existen pruebas de que la evapotranspiración podría estar limitada por la radiación solar y por consiguiente, si los procesos de las plantas están funcionando completamente, la evaporación del suelo podría ser poca. Por otra parte, durante la estación de inactividad, la transpiración podría ser insignificante y la evaporación podría estar limitada por la humedad disponible y por el calor.

Las tasas de evapotranspiración por lo general se miden diariamente en pulgadas, en condiciones óptimas, esto podría estar comprendido entre 0.2 a 0.3 pulgadas diarias, en zonas templadas y durante la estación de crecimiento cuando la transpiración es la característica dominante, alrededor de 0.15 pulgadas es normal, durante la estación de inactividad o en épocas cuando la tierra está cerca al punto de marchitez, la tasa podría ser casi cero.

La vegetación tiene un gran efecto en la infiltración. Esto fué definido al inicio del capítulo como la tasa a la cual la lluvia o el desnieve penetra en los intersticios del suelo. La influencia de la vegetación funciona en diferentes formas; al proteger la superficie del impacto, mantiene la importante estructura de migas o agregada que es esencial para una alta infiltración. En segundo lugar, las raíces abren canales en la tierra para la conducción del agua y su follaje forma una cubierta en la superficie de la tierra que retiene la humedad y es un factor importante dentro del proceso de formación de tierra vegetal. Finalmente, por medio del proceso de transpiración, la vegetación extrae la humedad de la tierra y establece un potencial de almacenamiento que se encuentra disponible cuando la humedad se infiltra. Obviamente, un suelo impregnado a cualquier nivel ya no puede absorber la humedad más rápido que el nivel de transmisibilidad en que se infiltran las aguas subterráneas.

Entre toda la vegetación natural, los bosques maduros tienen las tasas más altas de infiltración. Aún después de lluvias prolongadas de 0.30 a 0.50 pulgadas por hora, pueden mantenerse durante la etapa de creci-

miento en un lugar con suelos profundos. Estas altas tasas pueden aproximarse bastante a las tasas que se logran con un césped grueso que esté bien manejado y ligeramente comido por el ganado, aunque generalmente tienden a ser intermedias, entre 0.20 y 0.30 pulgadas por hora durante la etapa de crecimiento y más bajas en invierno. La cosecha de cultivos se asocia con tasas de infiltración más variables, debido a variaciones de la estación y a que no propician la mejor estructura de suelos y el mayor desarrollo de la capacidad de humedad de la tierra por medio del agotamiento. La tierra sin vegetación tiene la tasa más baja de infiltración debido al rápido cierre de la superficie y a la falta de capacidad de almacenaje de humedad. En la mayoría de los suelos estas tasas pueden ser generalmente de 0.10 pulgadas por hora o menos. Durante períodos cuando los suelos se congelan o están impregnados, todas las tasas de infiltración pueden aproximarse a cero, aún cuando existan pruebas de las ventajas que tienen los suelos de los bosques que se congelan en una forma de panal en lugar de en una forma sólida.

La infiltración y la escorrentía están estrechamente relacionadas y se complementan a un grado determinado. La escorrentía puede ser considerada como lluvia en exceso que permanece después de que se ha satisfecho la tasa de infiltración y/o la capacidad de almacenaje de humedad de la tierra. Los lugares con altas tasas de infiltración tienen escorrentías bajas y frecuentemente escorrentías totales reducidas. De hecho, conclusiones de investigaciones indican que en bosques bajo optimas condiciones se pueden eliminar las escorrentías superficiales. El mecanismo de producción de escorrentías será discutido más ampliamente en las secciones subsiguientes.

### La Función de la Topografía

El agua se acumula en el suelo como retención superficial cuando llueve en exceso a la capacidad de infiltración de la tierra. Inicialmente dicha lluvia en exceso llena las depresiones de la superficie. Conforme se acumula un mayor exceso, se forma suficiente cantidad para causar un movimiento ladera abajo llamado escurrimiento o escorrentía superficial. La retención de la superficie generalmente es de 0.10 pulgadas o menos, dependiendo de la aspereza de la superficie, del método de cultivo y de la cantidad de mantillo o paja acumulada en la superficie y en la ladera. En ocasiones cuando es práctico hacer surcos de contorno o cuando se construyen terrazas de nivel para mantener la humedad, la retención puede ser considerablemente mayor y alcanzar el equivalente a una pulgada o más en toda la superficie. Después del período de lluvias, parte del agua retenida en la superficie se infiltrará y parte se evaporará.

La inclinación del terreno tiene un gran efecto en la velocidad con que corre el agua en la superficie de la tierra, las laderas con mucha pendiente dan una mayor velocidad. La escorrentía en laderas empinadas tiende a concentrarse más rápidamente en los cauces de corrientes y es causa prin-

cial de inundación, es especialmente junto a pequeñas corrientes. Esta mayor velocidad del escurrimiento superficial es a la vez un factor determinante para la erosión de la tierra. Con una mayor velocidad, la capacidad de la corriente del agua para arrastrar partículas de tierra aumenta más que proporcionalmente. A esto se debe que los terrenos quebrados sean muy susceptibles a la erosión y es uno de los factores más importantes que limitan los cultivos.

A pesar que la velocidad del escurrimiento superficial y que el potencial de erosión varía dependiendo de la ladera, el volumen de la escorrentía no varía. En otras palabras, no ha podido ser demostrado que las laderas empinadas cuenten con un mayor volumen de escorrentía. Esto posiblemente se explique en base a que los terrenos empinados cuentan con más superficie para infiltrar la lluvia que lo que indican los planos cartográficos, ya que estos son proyecciones horizontales. También la precipitación se mide en base a un plano horizontal, sin embargo, realmente se extiende en toda la superficie de la ladera empinada.

### Suelos y Procesos Hidrológicos

El suelo es el verdadero corazón de la cuenca y el enfoque principal tanto de las influencias naturales como las manejadas por el hombre.

El suelo se puede considerar como pequeñas partículas de minerales, de materia orgánica, de humedad y de aire. La tierra se diferencia de la materia orgánica sin descomponer y de la materia original o roca madre en que mantiene las raíces de la vegetación. Las partículas de minerales provienen de las fuerzas físicas y químicas de la intemperización. La capa de materia orgánica y los elementos minerales son producto de la vida animal y vegetal que se ha entremezclado por medio de diferentes procesos, lo cual incluye la infiltración del agua. La humedad que es un elemento indispensable de la tierra, es suministrada por medio de la infiltración de la precipitación.

El suelo es una materia sumamente compleja y variable. Verticalmente varía de la superficie hacia abajo, también varía horizontalmente, ya que en unos cuantos pies de distancia existen diferencias. Los suelos a la vez varían con el tiempo, especialmente con relación a su contenido de humedad. Los siguientes párrafos describen las diferentes y más importantes características de los suelos que son de especial importancia para la hidrología y para el manejo de cuencas.

La profundidad total del suelo es de especial importancia ya que limita el volumen de la capacidad de almacenaje del agua. Los suelos poco profundos de menos de 12 pulgadas ofrecen oportunidades muy limitadas para el manejo efectivo de las cuencas.

Suelos completamente desarrollados como los que se encuentran en bosques maduros aún no explotados, están cubiertos por una capa de varias pulgadas de espesor de hojas y de otra materia de plantas sin descomponer. Debajo de esta se encuentra una capa de materia orgánica descompuesta o humus y de materia mineral. Este material es bastante liviano y muy permeable al paso del agua, llena de insectos y bacterias que descomponen los minerales, restos de vegetales y los vuelven tierra.

Bajo el manto de materia orgánica se encuentra el propio suelo, el cual consiste de capas distinguibles llamadas estratos. A estos estratos se les asignan letras del abecedario y cuando existen variaciones menores se les asignan números, por ejemplo A<sup>1</sup>, A<sup>2</sup>, B<sup>1</sup>, B<sup>2</sup>, C<sup>1</sup>, C<sup>2</sup>. El estrato A o suelo superior es normalmente el más fértil, flojo y permeable al paso del agua. En una dirección descendente, los estratos consecutivos por lo general se vuelven menos fértiles, contienen menos materia orgánica, son más compactos y cada vez son más impermeables al paso descendente del agua. Entre la última capa de suelo y la roca subyacente puede existir materia original que consista de partículas minerales desprovistas de materia orgánica. El Capítulo V describe en detalle la importancia de los diferentes suelos que son valiosos para el manejo de cuencas.

En áreas donde no existen bosques, generalmente no se encuentra presente la capa de la superficie de materia orgánica no descompuesta, sin embargo, si el suelo se formó en tierras de pastoreo, podría existir una capa profunda de alto contenido orgánico. Si la erosión hubiera estado activa, parte de la tierra vegetal superior pudo haberse perdido y parte del estrato B pudo haberse descubierto.

Al tamaño de las partículas de tierra se les llama textura. Estas partículas se dividen en tres amplias y muy reconocidas clases, siendo la arcilla la más fina, el limo la intermedia y la arena la más gruesa. Las tierras donde predominan las partículas finas tienen la mayor porosidad y capacidad de retención de agua, aunque mucha de esta humedad la mantienen fuertemente y no está fácilmente disponible. Dichas tierras son pesadas y compactas y no permiten fácilmente el paso del agua. Por otra parte, las tierras arenosas permiten el paso rápido del agua, sin embargo, tienen menos porosidad y menos capacidad de retención de agua.

Los valores generales de capacidad de retención de humedad en tierras con diferentes texturas, expresados en pulgadas de profundidad de agua por pie de profundidad de suelos, son los siguientes:

Arena fina	0.5 pulgada
Arcilla	4.5 pulgadas
Limo	2.5 pulgadas

A la forma y composición de las partículas de tierra se le llama estructura del suelo. Las partículas planas o redondas afectan mucho las características de paso y retención de la humedad. Otra característica de la

estructura de los suelos se relaciona con la forma como las partículas individuales de tierra se agrupan juntas en forma de agregados, estos agregados se forman con la materia orgánica que une a las partículas individuales. Desde un punto de vista agronómico se desea la agregación, ya que hasta tierras arcillosas pesadas pueden cultivarse muy bien y ser resistentes a la erosión. También es de importancia hidrológica, ya que las partículas agregadas pueden superar los efectos de una textura fina y funcionar como un limo arenoso que permite el paso de agua libre. Los suelos arcillosos se comportan en forma diferente, dependiendo de si están mojados o secos y cuando están secos, de su tasa de contracción. Los suelos arcillosos con una leve tasa de contracción no se agrietan y al secarse se vuelven menos permeables. Los suelos arcillosos que se vuelven impermeables con la sequía algunas veces ocasionan las peores inundaciones.

Al porcentaje por volumen de la masa del suelo que no está ocupada por partículas sólidas se le llama porosidad. Este es el espacio disponible para el paso y almacenaje del agua, aire y obviamente, una característica de mucha importancia para la hidrología de una cuenca, la porosidad total del suelo es generalmente alrededor del 50 por ciento del volumen total. En parte esto incluye una porosidad capilar cuyas partículas de tierra mantienen fuertemente la humedad contra la fuerza de gravedad. En los espacios mayores existe porosidad no capilar, que está inmediatamente disponible para el paso por gravedad del agua libre.

Al movimiento de agua descendente se le llama tasa de infiltración. Este término equivale a la tasa de penetración de humedad de la superficie. La tasa de filtración es una función de la textura y de las características de la estructura descritas anteriormente, así como del contenido de humedad en el momento. El contenido de humedad es un factor de especial importancia en suelos arcillosos que se dilatan, por consiguiente impiden el movimiento de la humedad cuando están mojados y cuando están secos se agrietan y permiten el paso inmediato del agua.

La disponibilidad de agua para las plantas se relaciona con la fuerza que las partículas de suelo guardan la humedad. La fuerza que requiere la raíz de una planta para extraer esta humedad puede ser expresada en libras por pulgada cuadrada o en unidades de presión atmosférica. Al nivel de humedad, cuando las plantas ya no la pueden extraer, se le llama punto de marchitez y ocurre aproximadamente a 15 unidades de presión atmosférica o 225 libras por pulgada cuadrada. A pesar de que la energía requerida al punto de marchitez es la misma para suelos de diferentes texturas, los suelos finos contienen mayor humedad residual que de otra manera no se encuentra disponible a las plantas. La humedad normal del suelo al punto de marchitez, como porcentaje del volumen, es de 2 a 5 por ciento para tierras arenosas y alrededor del 20 por ciento para tierras arcillosas.

Al máximo almacenamiento capilar que puede ser soportado contra la fuerza de la gravedad se le llama capacidad de retención de agua. A este nivel, las partículas de suelo mantienen la humedad con una fuerza de 1/3

de unidades atmosféricas o alrededor de cinco libras por pulgada cuadrada. La capacidad de retención de agua de un terreno arenoso puede ser alrededor del 10 por ciento de la humedad por volumen y de un terreno arcilloso aproximadamente el 40 por ciento. En esta forma puede verse que los terrenos arcillosos o de textura fina mantienen más humedad y también disponen de más humedad entre la capacidad de retención de agua y el punto de marchitez.

Cuando todos los poros en la tierra están completamente llenos de agua se dice que la tierra está saturada. La porción de agua en exceso y la capacidad de retención la misma que es soportada contra la fuerza de gravedad forma las corrientes de agua. Dependiendo de la carga hidráulica y de la porosidad del suelo, el agua en exceso se escurre después de estar temporalmente en depósito y se vuelve parte ya sea de escorrentías del subsuelo o subterráneas.

Durante o después de un período de lluvias o de desnieve, el agua penetra en la tierra por medio del proceso llamado infiltración. El agua continúa su filtración descendente detrás de un frente mojado u ola de humedad en superior a la capacidad de retención del agua. El movimiento descendente continúa mientras persista la humedad proporcionada desde arriba o hasta que alcance la capa freática, un suelo o capa de roca impenetrable. Sin embargo, no debe pensarse que este movimiento descendente sea completamente regular. Además de la variante de los suelos anteriormente mencionada, existen canales como grietas, cuevas de gusanos y roedores y conductos dejados por raíces podridas. Cuando en determinada capa la tasa de penetración es inferior a la tasa de infiltración superior, el agua tienden a acumularse en exceso a la capacidad de retención de agua. Esta acumulación se mueve lateralmente y en forma descendente para volverse caudal de aguas del subsuelo.

### Geología Subyacente

Un asunto final e importante para las cuencas que debe ser investigado como parte de su planificación es la geología. En lo que a manejo se refieren, la roca subyacente por lo general forma la base de la cuenca. La geología afecta a la hidrología de la cuenca en dos formas muy importantes. Primero, la forma de las rocas subyacentes determinan si las aguas subterráneas coinciden con los límites de la cuenca según la configuración del terreno. Para todos los propósitos prácticos, dicha coincidencia es excelente, sin embargo, la roca subyacente puede no estar relacionada con la forma de la superficie, por lo general coinciden cuando los suelos son delgados y son residuales de rocas locales. Si la topografía muestra bastante erosión geológica o reciente y los suelos son gruesos, es muy difícil que coincidan. El segundo aspecto importante es si la roca subyacente es impenetrable al paso descendente del agua. En los casos cuando la roca esté agrietada o tenga muchas ranuras, podría ser que no guardara el agua. Las conse-

cuencas son una falta de agua subterránea y falta de flujo de agua en la cuenca.

Un objetivo frecuente del manejo de cuencas es incrementar la infiltración de la precipitación para reducir la erosión y las inundaciones repentinas, mientras que se aumenta la humedad del suelo y se estabiliza el flujo de corrientes. Particularmente en dichos casos la geología asume importancia especial. Si la roca subyacente se inclina al contrario de la salida de la cuenca o si esta roca es penetrable, la escorrentía de la cuenca se reducirá seriamente y no se podrán incrementar las pequeñas corrientes. Esto se debe al hecho de que una escorrentía superficial reducida es resultado de una filtración más profunda, así como de una mayor humedad del suelo. Si la filtración profunda no forma parte de la escorrentía de la cuenca, el objetivo deseado no será alcanzado.

### Cauces de Corrientes y Escorrentía

Según se describió en la sección de topografía, el escurrimiento superficial podría continuar únicamente unos cuantos pies o tanto como cien pies o más antes de llegar a un cauce. Estos cauces río arriba son generalmente corrientes irregulares que únicamente fluyen durante tormentas y períodos cortos, después de lluvias o de desnieve. Dichos cauces pequeños llevan principalmente escorrentía que es producto del escurrimiento superficial. Como tales, estas corrientes son demasiado variables en flujo y muy sensibles a la intensidad de la lluvia, al manto vegetal y a las condiciones del suelo.

Los nacimientos irregulares de agua pueden ser utilizados por medio de la construcción de presas. Un buen ejemplo de estos son los estanques agrícolas donde se guarda agua para darle de beber al ganado y para la irrigación.

En una dirección descendente, las corrientes pequeñas e irregulares se juntan y forman ríos, drenando áreas mayores, conforme aumenta el área que contribuye, es probable que las corrientes fluyan continuamente. Una razón de esto es el mayor trayecto involucrado para el desagüe de la escorrentía superficial. Mientras que una corriente irregular podría fluir únicamente durante unos cuantos minutos o quizás una hora después de la lluvia, el período necesario para una escorrentía de un área de 1,000 millas cuadradas podría ser unos días o una semana. Lechos mayores de corrientes requieren varias semanas. Otra razón de la duración de flujos en corrientes mayores, especialmente en regiones húmedas, es que el agua del subsuelo y subterránea podrían también estar contribuyendo. Los flujos subterráneos brotan junto o sobre estratos de roca o zonas de suelos con materia bastante impenetrable. Dichos flujos también se encuentran bajo cuencas más pequeñas, sin embargo, no fluyen en cauces superficiales. Conforme las corrientes hagan más cauces descendentes, éstas tienden a interceptar tal cantidad de flujos subterráneos que posteriormente escapan

a la corriente superficial en forma de filtraciones o manantiales, ya que el flujo subterráneo brota a bajas velocidades, después de una lluvia podría continuar contribuyendo a una corriente de uno a tres meses. Este derrame constante llena la brecha entre los períodos de lluvias y tiende a establecer tasas de flujo continuo aunque variable.

Por lo general, en regiones áridas no existen zonas de aguas subterráneas subyacentes por lo que dichas contribuciones no existen. Por consiguiente, tenemos el fenómeno de lechos agotados con quizás miles de millas cuadradas de áreas que se secan si las lluvias que las complementan no son frecuentes. Además de esto, si el lecho de la corriente está formado por arena y grava penetrable, la corriente puede escaparse a su estrato o a una hondonada que colinde con una masa de agua y realmente el flujo disminuirá en una dirección aguas abajo.

La escorrentía es producto de la precipitación, sin embargo, también es un residuo que queda después de que se han satisfecho las necesidades de la vegetación y del suelo. Por consiguiente, todos estos factores influyen en la cantidad de la escorrentía y por lo general, la escorrentía muestra un patrón estacional con distintas irregularidades relacionadas con los períodos de lluvias o de desnieve. Anualmente la escorrentía varía en más de 40 pulgadas en áreas húmedas de alta precipitación a menos que una pulgada en regiones áridas. Dentro de estas tasas extremas, un área normal con 30 pulgadas de precipitación podría tener escorrentías de 8 a 10 pulgadas por año.

El flujo de la corriente o la escorrentía se muestra más comúnmente por medio del hidrograma, que es una gráfica continua del gasto de la corriente contra el tiempo. El hidrograma puede ser utilizado para representar el flujo total de una corriente o por medio de un análisis puede representar una porción del flujo como la escorrentía superficial, la escorrentía del subsuelo o la escorrentía subterránea. El hidrograma es aproximadamente de forma triangular, con un brazo fuertemente empinado ascendente y un brazo descendente o de recesión más plano. Cada corriente tiene sus propias características hidrográficas que reflejan las variables de drenaje del cauce que influyen y alteran la escorrentía. Es difícil generalizar una expresión matemática para el brazo ascendente del hidrograma, sin embargo, la parte descendente subsecuente a la cresta representa las aguas de drenaje almacenadas en el cauce de la corriente del depósito de aguas subterráneas. El brazo de recesión tiene una fórmula característica que sigue la siguiente ecuación general:

$$Q = Q_0 K^{-t}$$

En la cual  $Q$  es la descarga de un instante;  $Q_0$  es la descarga en el momento inicial;  $t$  es el intervalo de tiempo entre  $Q_0$  y  $Q$ ;  $K$  es un constante. La ecuación anterior es de suma utilidad para predecir los flujos futuros de la corriente durante los períodos de recesión, así como para calcular las características de almacenaje del cauce del río.

El flujo de la corriente es la única fase del ciclo hidrológico cuando el agua está guardada de tal manera que hace posible que su volumen sea medido en una forma bastante precisa. En el mejor de los casos, todas las demás medidas del ciclo hidrológico son únicamente muestras representativas. La medida del flujo de la corriente incluye dos pasos. Primero la medida de la altura del río, que es la altura del agua sobre algún nivel arbitrario pero determinado y segundo, la correlación de esta altura del río con la descarga. La medida de la descarga del río utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = A V$$

En la cual Q es la descarga en pies cúbicos por segundo, A es el área de la sección transversal del flujo de la corriente en pies cuadrados y V es la velocidad media de la corriente en pies por segundo. Los lugares de descarga se determinan con la medida de la velocidad con un metro común, así como el área de la sección transversal del flujo de la corriente. El resultado de esto es la descarga del río, valor que se representa gráficamente contra la altura actual del río. Los lugares gráficamente representados de dichas medidas de altura y descarga en toda su extensión definen una relación parabólica que es la curva de gastos en la estación. Con esta curva de gastos y con registros periódicos o continuos de la altura del río, es posible desarrollar un registro continuo del gasto de descarga del río. La descarga del río durante períodos de tiempo representa el volumen de la esorrentía.

**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #2: Influencia de la Vegetación en el Agua**

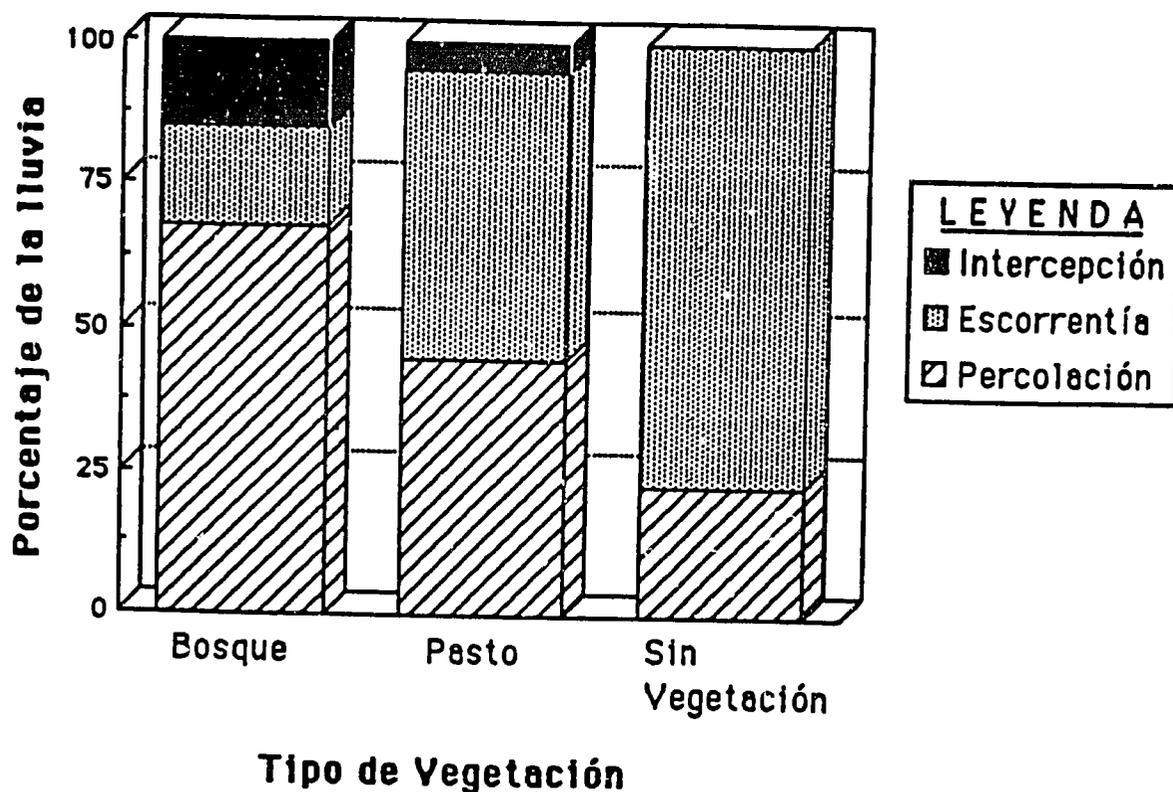
**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN EL AGUA

FIGURA 2-1

## DISPOSICION DE LA LLUVIA<sup>1</sup>

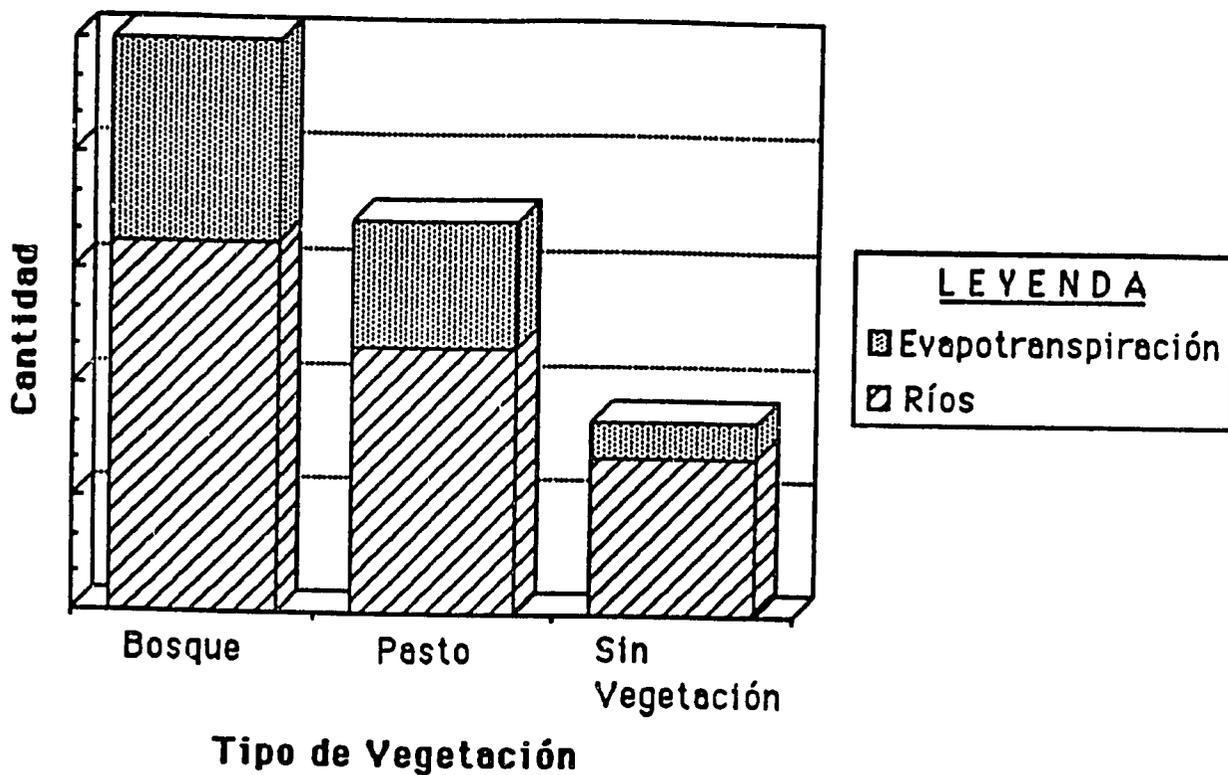


<sup>1</sup>Fuente: U.S. Forest Service. 1982. Manual para el técnico forestal del Caribe. Miscellaneous Report SA-MR 5

# INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN EL AGUA

FIGURA 2-2

## DISPOSICION DEL AGUA EN EL SUELO<sup>1</sup>



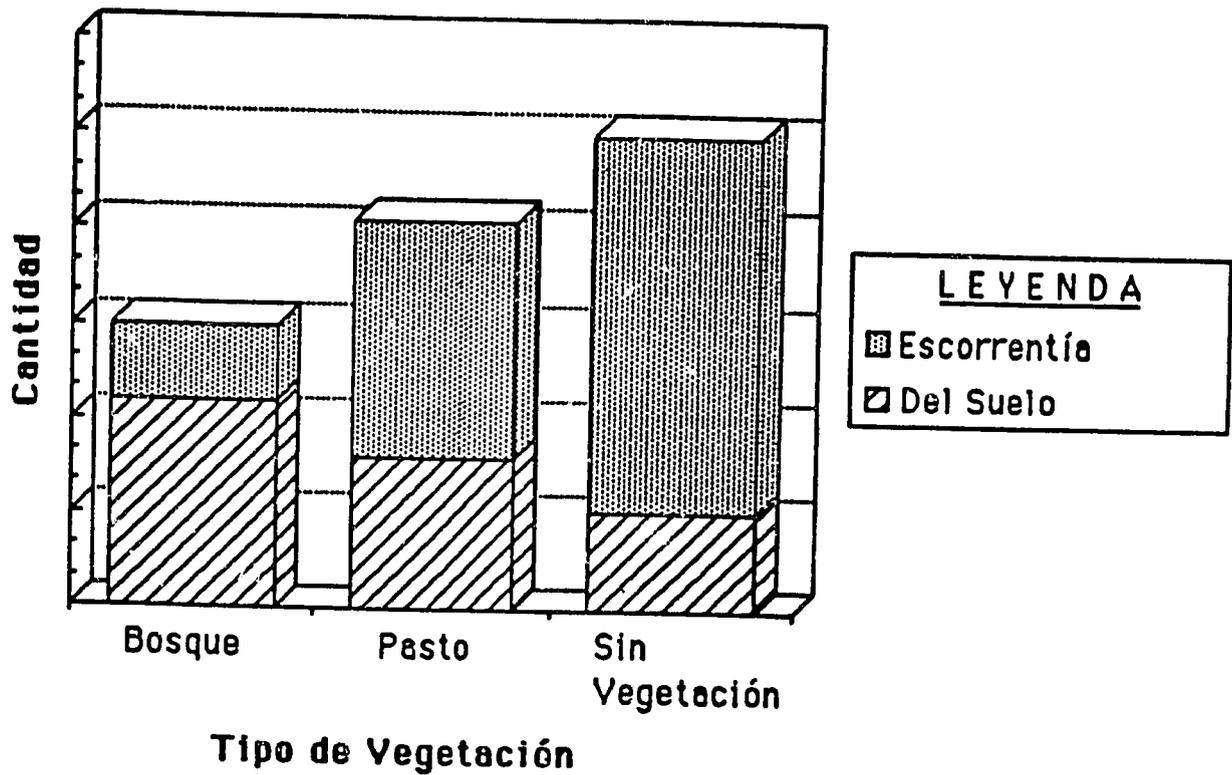
<sup>1</sup>Fuente: U.S. Forest Service. 1982. Manual para el técnico forestal del Caribe. Miscellaneous Report SA-MR 5

52

# INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN EL AGUA

FIGURA 2-3

## ABASTECIMIENTO DE LOS RIOS<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Fuente: U.S. Forest Service. 1982. Manual para el técnico forestal del Caribe. Miscellaneous Report SA-MR 5

**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #3: Estimación de la Cantidad de Agua en el  
Mundo**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



## ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE AGUA EN EL MUNDO<sup>1</sup>

**CUADRO 3-1**

Elemento	Millones de acres-pié <sup>2</sup>	Porcentaje de agua dulce total
Mar	1,060,000,000	---
Total de agua dulce, hielo, vapor	33,016,084	100.000
Hielo polar y glaciares	24,668,000	74.72
Aguas subterráneas, poco profundas (a 2,500 pies)	3,648,000	11.05
Aguas subterráneas, profundas (2,500 - 12,500 pies)	4,565,000	13.83
Lagos	101,000	0.31
Humedad de suelo	20,400	0.062
Atmósfera (vapor y nubes)	11,500	0.035
Ríos	933	0.003
Plantas y animales	915	0.003
Minerales hidratados	336	0.001

<sup>1</sup>Fuente: Ackerman and Lof, 1959.

<sup>2</sup>Un acre-pie es igual a un acre cubierto con agua a una profundidad de un pie o 43,560 pies cuadrados o 325,851 galones (U.S.) de agua

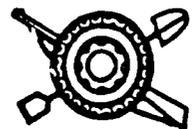
**Dirección General de Caminos**  
**Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra**  
**Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE**  
**MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

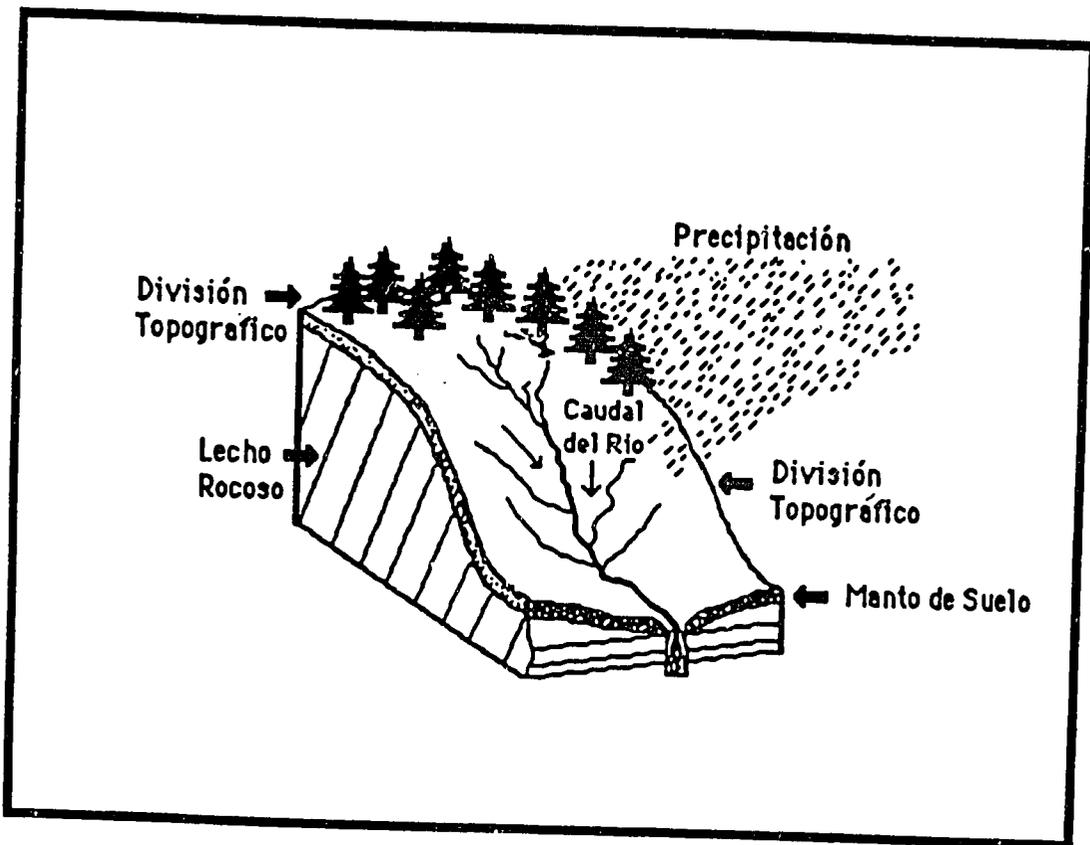
**Documento #4: Esquema de una Cuenca Hidrográfica**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado**  
**Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332**  
**Guatemala, C.A.**



# ESQUEMA DE UNA CUENCA HIDROGRAFICA

CUADRO 4-1



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

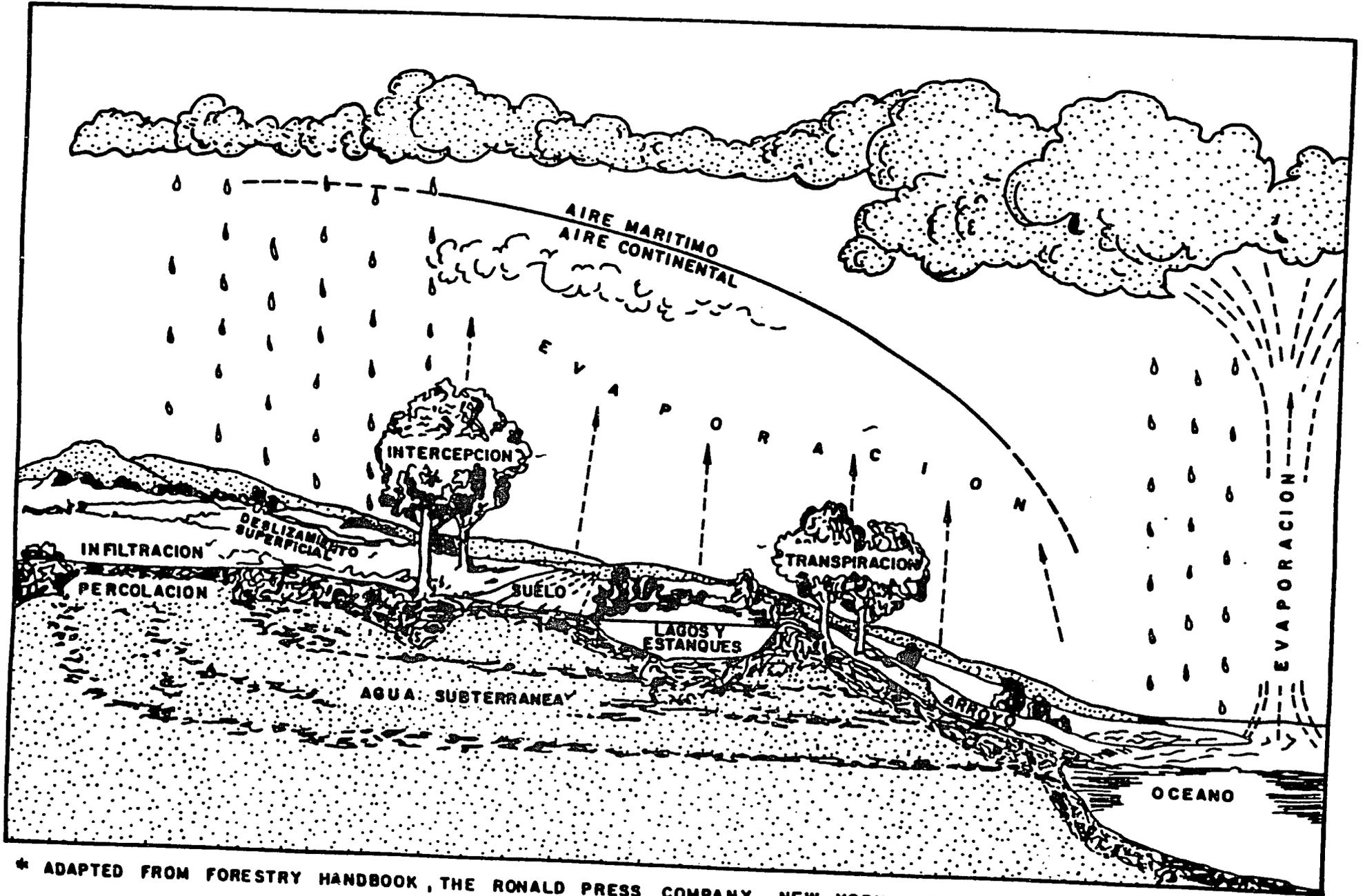
**Documento #5: Ciclo Hidrológico**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# CICLO HIDROLOGICO

FIGURA 5-1



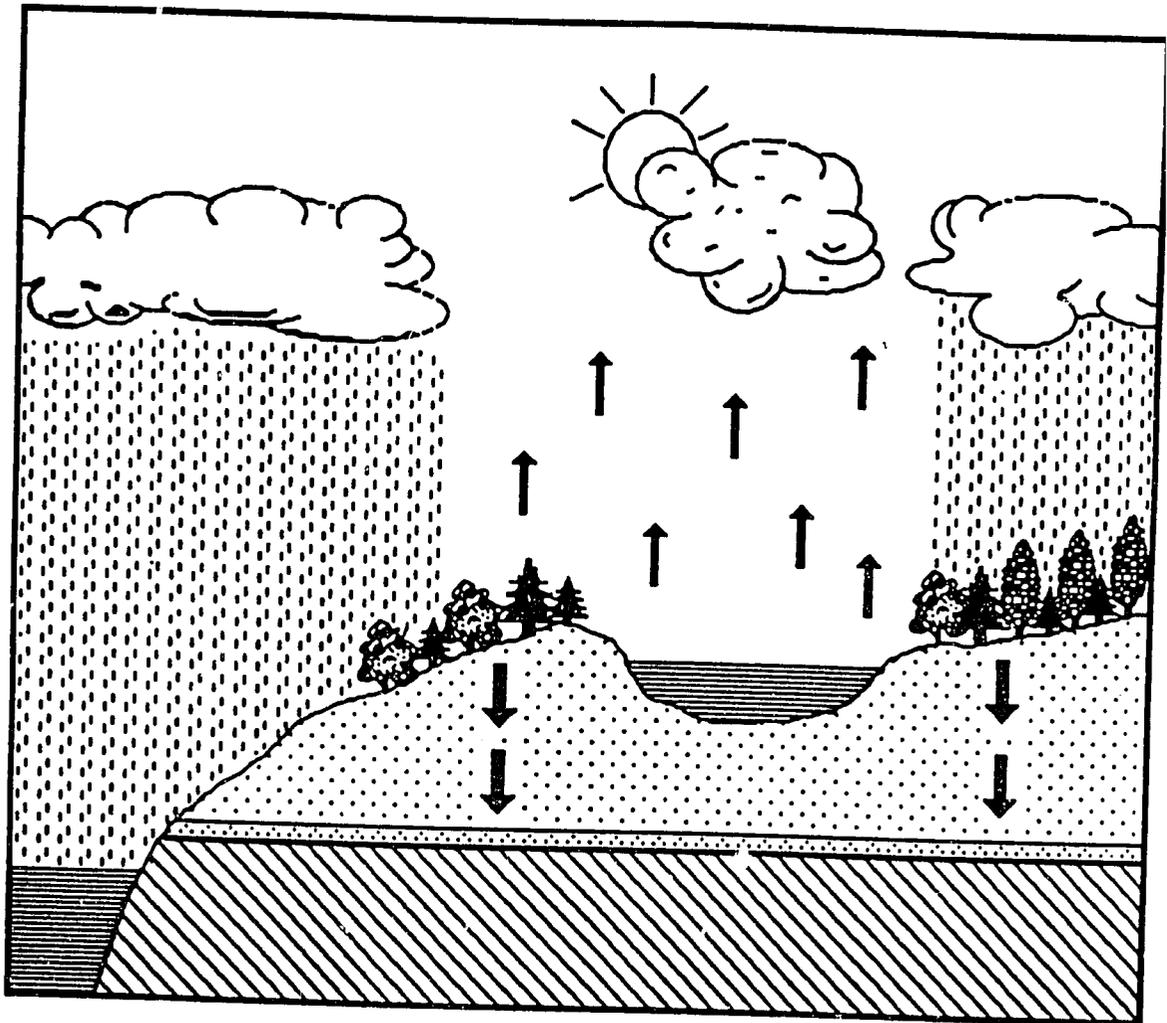
\* ADAPTED FROM FORESTRY HANDBOOK, THE RONALD PRESS COMPANY, NEW YORK, 1961

59

# CICLO HIDROLOGICO

FIGURA 5-2

## CICLO HIDROLOGICO SIMPLIFICADO



**Dirección General de Caminos**  
**Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra**  
**Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE**  
**MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

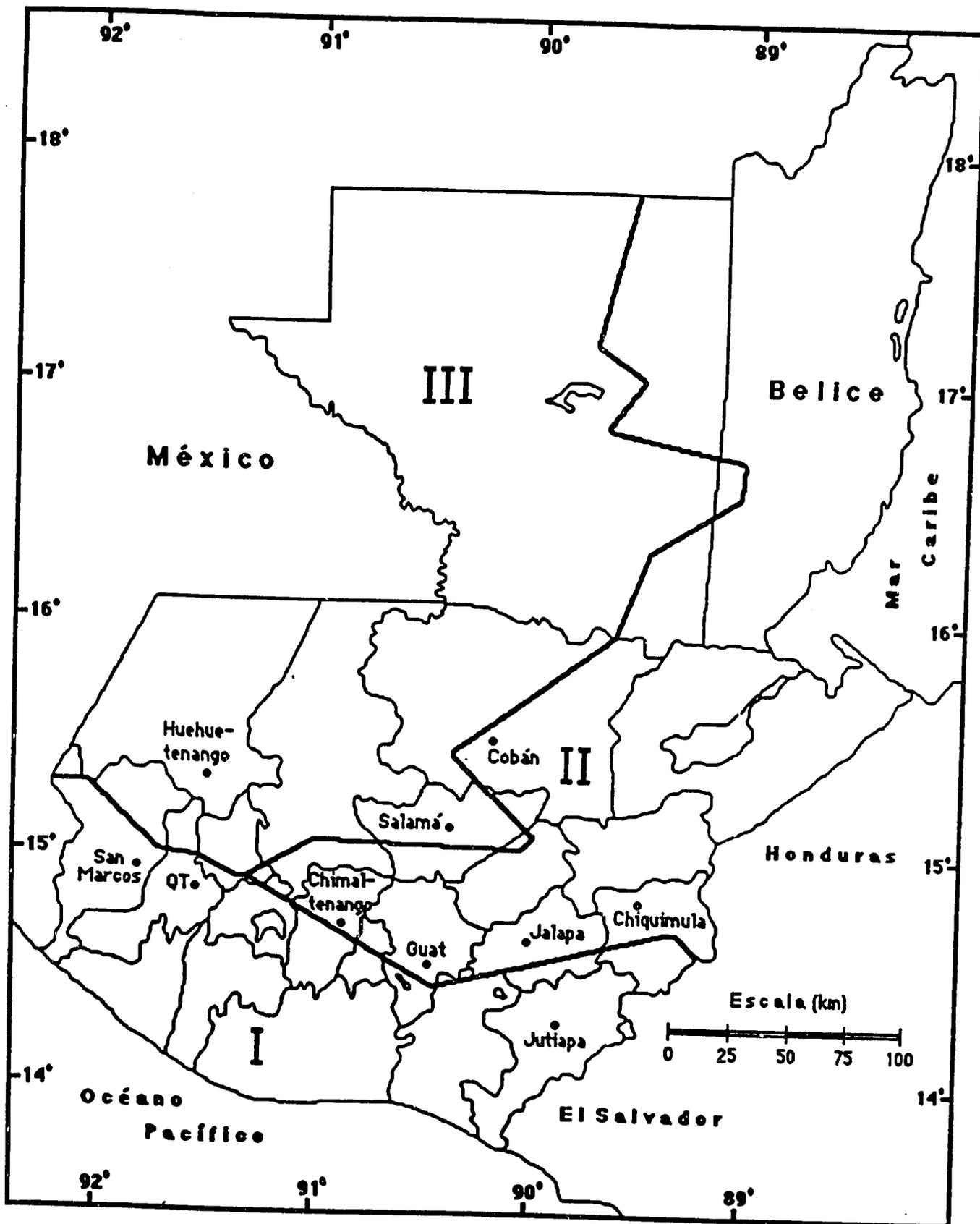
**Documento #6: Vertientes de Guatemala**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado**  
**Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332**  
**Guatemala, C.A.**



# VERTIENTES DE GUATEMALA

FIGURA 6-1



## VERTIENTE

I - Pacífico    II - Mar De Las Antillas    III - Golfo De México

62'

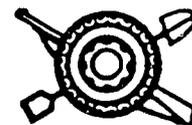
**Dirección General de Caminos**  
**Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra**  
**Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE**  
**MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #7: Origen y Formación del Suelo**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado**  
**Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332**  
**Guatemala, C.A.**



**Fuente:** Teuscher, H. y Adler, R. 1965. El suelo y su fertilidad. Compañía Editorial Continental, S.A.; México. p. 19-21; 87-92; 217-220.

EL SUELO  
Y SU  
FERTILIDAD

Por

**HENRY TEUSCHER**

Horticultor y Preparador del Jardín Botánico  
de Montreal, Canadá

y

**RUDOLPH ADLER**

Anachemic Company, Montreal, Canada

En colaboración con

**JEROME P. SEATON**

Profesor Asociado de Suelos  
en la Universidad de Purdue, E.U.A.

**COMPANIA EDITORIAL CONTINENTAL, S. A.**

**CALZADA DE TLALPAM NÚM. 4620**

**México 22, D. F.**

# 1. Origen y Formación del Suelo Fértil

El suelo es inmensamente complejo; de hecho es la sustancia más compleja que existe sobre la faz de la tierra. Esta es la primera verdad que debe ser comprendida en nuestro estudio, sobre todo cuando uno se pregunta cómo ha llegado el suelo a ser lo que es.

## Rocas descompuestas

El suelo, en principio, consiste de rocas descompuestas; todos los tipos de rocas conteniendo la totalidad de los minerales existen en la tierra. La descomposición de las rocas se produce por la acción simultánea de ciertas fuerzas que podemos agrupar en (i) *fuerzas mecánicas*, como la acción del agua, los cambios de temperatura, la acción pulverizadora del hielo etc., y (ii) *fuerzas químicas*, como las reacciones químicas de una sustancia con otra(s). La acción combinada de estos dos tipos de fuerzas es doble: origina un rompimiento progresivo y forma sustancias completamente nuevas que en principio no se encontraban en las rocas; la arcilla, por ejemplo, uno de los componentes más importantes de cualquier suelo fértil, se produce de esta manera, a través de procesos químicos complejos. El hecho de que durante esta misma serie de reacciones, ciertos minerales como el calcio, magnesio, potasio, manganeso y hierro, sean liberados de las rocas y convertidos en sales solubles, no deja ninguna duda acerca de la importancia de estas fuerzas de descomposición.

## Materia orgánica descompuesta: humus

Las plantas superiores no pueden vivir a base de la mezcla puramente mineral descrita en el párrafo anterior, porque falta todavía un "componente vital" que es la materia orgánica, mejor conocida

\* En conjunto podemos llamar a esto "intemperización". El tipo más común de la intemperización física es el producido por los cambios de temperatura. En la intemperización química se distinguen (a) desaparición de ciertos minerales y (b) formación de productos secundarios. La intemperización química de las rocas afecta principalmente a los minerales silíceos como son los feldespatos, las micas, los minerales ferromagnesianos, etc. (N. del T.)

com: humus, necesario como fuente de energía para todos los microorganismos del suelo, aparte de otras funciones importantes que desempeña y que describiremos en el Cap. 3.

Derivado en un principio de somas muertas de algas y bacterias, el humus dio primeramente a las plantas acuáticas y luego a las terrestres su oportunidad para comenzar a ser. Aun en la actualidad, las algas, bacterias, musgos y líquenes son los primeros formadores de humus en un suelo mineral, preparando así el camino para las plantas superiores. Los términos "humus" y "materia orgánica", sin embargo, comprenden una gran variedad de sustancias derivadas de los somas muertos y descompuestos de toda clase de animales, así como de los residuos de plantas muertas, incluyendo los grandes árboles, las pequeñas algas y toda la gama de tamaños intermedios entre estos dos extremos. Esta descripción nos indica que un suelo que contenga materia orgánica puede incluir, aparte de los tipos conocidos de minerales, cualquier compuesto orgánico que pueda encontrarse sobre la tierra.

#### Complejidad de la mezcla del suelo

Cuando pensamos en que los sollevamientos volcánicos, tan comunes al principio de la formación de la tierra, cubrieron extensas zonas con cenizas volcánicas, así como en que la acción combinada del agua, el viento y el hielo que durante los tiempos geológicos han pulverizado, transportado y mezclado todo este material edáfico, llevándolo cientos o miles de kilómetros más adelante y depositándolo donde lo permite la casualidad, entonces uno se explica la gran diversidad de suelos, diferentes en su composición y comportamiento, los cuales pueden encontrarse en lugares también muy diferentes. Las condiciones climáticas, muchas veces de efecto íntegramente local, han contribuido todavía más a esta diferenciación. Evidentemente, el desarrollo ulterior de un suelo depende también de la cubierta vegetal, es decir, si fue un bosque o una pradera lo que le cubrió quizá por miles de años, si la capa freática era alta o baja, o si la precipitación pluvial fue abundante o escasa.

#### Clasificación de los suelos

Tal como veremos en el Cap. 16, muchos tipos de suelos se han clasificado y localizado con ayuda de mapas preparados exprofeso, pero éstos sólo representan una ayuda preliminar para el agricultor práctico y para el hortelano. De lo precedente se infiere que los diferentes suelos podrían definirse tan sólo en grandes grupos; a medida

que las subdivisiones se vuelven más pequeñas, menos definidas serán, puesto que inevitablemente unas emergen de otras.\*

Conviene hacer una distinción primordial entre suelos minerales y suelos orgánicos de acuerdo con su contenido de materia orgánica. Una división rigurosa entre ambos grupos no podría darse, porque lo usual son las transiciones graduales de un tipo a otro, dondequiera que el suelo sustente el crecimiento de los vegetales. En general, se dice que un suelo es *orgánico* cuando contiene el 20% o más de materia orgánica.

Cualquier estudio del suelo, orientado a saber *qué es y cómo actúa*, debe comenzar necesariamente con el conocimiento de sus componentes individuales; y puesto que en la secuencia evolutiva, los minerales precedieron a las plantas y animales de los cuales provino el humus, nos ocuparemos primeramente de los constituyentes minerales del suelo.

---

\* Desde otro punto de vista, preferiríamos contar con un mapa de fertilidad de los suelos. (N. del T.)

68.

## 5. Las Partículas Sólidas del Suelo

### EL ESPACIO DE PORO \*

Los líquidos, gases y vapores están contenidos en los espacios existentes entre las partículas sólidas de suelo, y puesto que son indispensables para la nutrición vegetal, los espacios que quedan entre las partículas (los llamados espacios de poro), son tan importantes como el suelo mismo. Solamente los espacios de poro hacen posible que las raíces de las plantas penetren al suelo y "busquen" su sustento; esta es la razón por la cual ni las algas, musgos o líquenes podrían vivir sobre una superficie rocosa homogénea y sólida. Por otra parte, un espacio de poro muy grande, como los de la arena gruesa, no es mejor para el desarrollo de las plantas que un espacio muy pequeño como en el caso de la arcilla pesada. La razón: el tamaño del espacio de poro es determinante de la capilaridad del agua del suelo.

### CAPILARIDAD

El término "capilaridad" se refiere al comportamiento de los líquidos en los tubos capilares † que pueden subir en contra de la acción de la gravedad que los atrae hacia abajo. La energía responsable de esta elevación de los líquidos se denomina *tensión superficial* y no es necesario que la expliquemos aquí. Convendrá tan sólo tener presente que, mientras más pequeño sea el diámetro del tubo (espacio de poro más fino) mayor será la altura a que ascienda el líquido y será retenido más tenazmente a causa de la tensión superficial. Esto explica por qué los suelos arcillosos formados por partículas con muy finos espacios de poro entre ellas, tienen la tendencia a retener agua por imbibición, en tanto que los suelos arenosos, con espacios de poro mucho mayores, permiten un escurrimiento más rápido.

\* Algunos llaman a esto "porosidad del suelo", es decir, la razón entre el volumen no ocupado por las partículas sólidas y el volumen total de suelo. (N. del T.)

† En nuestro caso, están representados por los espacios de poro.

El fenómeno de la capilaridad es de considerable importancia, puesto que el agua con los diversos solutos que contiene, retenida en esta forma, impide que escurran hacia abajo hasta la capa freática, y representa una de las fuentes principales de aprovisionamiento para las plantas superiores. La misma capa freática, en la mayor parte de los casos, está muy lejos de poder elevarse desde su nivel hasta la superficie del suelo tan sólo por capilaridad; tampoco sería esto conveniente porque el suelo que resultara, sería o estaría constantemente húmedo. En las condiciones normales, favorables para la generalidad de los cultivos, la fuente principal es el agua de lluvia, la nieve en fusión o el riego, y es llevada al suelo por gravedad y retenida en los espacios de poro por capilaridad. Esta agua capilar no mantiene al suelo permanentemente húmedo, sino que más bien le ayuda a conservarse friable y, por lo tanto, más fácil de cultivar. En el Cap. 7 se encontrarán más detalles de la acción del agua capilar y del agua en general.

### TEXTURA Y ESTRUCTURA DEL SUELO

El tamaño de las partículas del suelo, grandes o pequeñas,\* determina su textura, siendo muy poco lo que puede hacerse para cambiar dicha textura, como no sea añadir al propio suelo, arena o arcilla. La estructura de migajón de un suelo, ya es una cosa diferente. Cada terrón representa un "compuesto" o agregado de muchas partículas individuales de suelo, condición que se denomina *agregación* o *granulación*. La agregación del suelo es una condición necesaria para el desarrollo vegetal porque el aire y el agua pueden circular libremente por los espacios de poro, que son del tamaño indicado para evitar que escurra el exceso de agua y poder retener así reservas suficientes de este líquido. Las raíces de las plantas penetran entonces sin ninguna dificultad. La estructura compuesta y floja de los terrones o migajones permite el libre intercambio iónico entre las partículas y los agregados (véase la Pág. 44); los microorganismos encuentran condiciones de lo más favorable para su desarrollo en un suelo bien agregado.

Los factores responsables del desarrollo de la agregación del suelo, y los medios para modificarla se discutirán detalladamente en el Cap. 11, Pág. 152.

#### Análisis del tamaño o distribución de las partículas del suelo

Un método rudimentario para separar las partículas del suelo conforme a sus tamaños relativos y determinar a continuación su

\* Los casos extremos serían la arena gruesa y la arcilla pesada.

textura, consiste en tamizar primeramente las partículas de mayor diámetro y luego hacer una suspensión de suelo en agua. Esta suspensión se deja en reposo con el fin de que las partículas más grandes y pesadas sedimenten primero, y que las demás permanezcan en capas conforme a sus tamaños.

Este procedimiento basto e inexacto es la base de otro más exacto denominado "método del hidrómetro, de Bouyoucos" que se emplea profusamente en los laboratorios de suelos de los Estados Unidos. El equipo consiste de una probeta de capacidad previamente establecida que sirve para colocar la suspensión de suelo, en la cual se introduce un hidrómetro (densímetro) que se mantiene en posición vertical mediante una masa de plomo pegada en el interior de su extremo inferior o bulbo.\*

Los principios generales del procedimiento son los siguientes:

(1) Mientras más densa sea la suspensión más alto flotará el hidrómetro. A medida que las partículas sedimentan y disminuye la densidad, el hidrómetro se sumerge más en la suspensión. La numeración del tubo del hidrómetro permite leer gramos de material por litro de suspensión. Esta lectura, dividida por el peso del suelo y multiplicada por 100, da el porcentaje de material en suspensión.

(2) Puesto que las partículas de suelo tienden a adherirse una con otra, deberán separarse primeramente y luego dispersarse lo más completamente posible, para lo cual se añaden 5 ml de solución acuosa de hexametáfosfato de sodio normal a 50 g de suelo fino (o 100 g de arena). Se añade agua destilada y el material se deflocula agitándolo en una máquina dispersora. El tiempo de agitación depende del tipo de suelo pero, en general, oscila entre 6 y 25 minutos.

(3) Como las partículas de mayor diámetro son las que sedimentan primero por tener una superficie menor en proporción a su peso, sedimentarán primeramente las arenas, luego el limo y finalmente las arcillas. Pasados 40 segundos, según el Sistema Americano, o 4 minutos según el Sistema Internacional, se supone que toda la arena ha sedimentado y en este momento se toma la primera

\* Las probetas especiales usadas en el procedimiento de Bouyoucos tienen dos marcas: 1130 y 1205 ml. El hidrómetro fue calibrado originalmente en una suspensión de suelo franco. Mide la densidad en un tiempo dado. Nuestra experiencia personal sobre el particular, nos permite recomendar el "método de la pipeta" como procedimiento de elección para determinar la textura del suelo. Que sepamos, no existe ningún otro procedimiento que avante en exactitud al de la pipeta que, por otra parte, es el recomendado oficialmente por el U. S. Soil Survey Staff 7th Approximation, 1960. Si el lector lo desea puede consultar a: Olmstead, Alexander y Middleton, U. S. Dep. Agric. Tech. Bul. 170; 1930. Kilmer y Alexander, *Soil Sci.* 68: 15-24; 1949. Kilmer y Mullins, *Soil Sci.* 77: 437-443; 1954. (N. del T.)

lectura del hidrómetro. Después de 2 horas, cuando se ha hecho la segunda lectura, únicamente la arcilla estará en suspensión.

(4) Puesto que la temperatura influye en la densidad del agua (véase el Cap. 7), y en consecuencia, en la altura a la cual flota el hidrómetro deberá aplicarse una corrección por temperatura: por cada grado arriba de 20°C se añaden 0.2 a la lectura del hidrómetro y por cada grado por debajo de 20°C, se restan 0.2 a la lectura.

Muchos laboratorios europeos de suelos emplean, para el análisis mecánico, el llamado "aparato de elutriación" (del latín, *elucere*, lavar). Mediante este dispositivo se lavan las partículas con una corriente de agua de fuerza conocida, que pasa por la suspensión de suelo de abajo hacia arriba, llevándose las partículas de suelo y depositándolas en un recipiente adjunto. Es evidente que mientras más pequeñas y livianas sean las partículas de suelo, más baja será la velocidad del agua para lavarlas, y así, éstas son eliminadas primeramente a una velocidad conocida. Cuando ya no pasa más suelo al vaso de medida, se aumenta la velocidad del agua un poco más para eliminar las partículas que siguen en tamaño y así sucesivamente. El método se basa en la relación que existe entre el tamaño de la partícula y la fuerza necesaria de agua para arrastrarla por lavado.\*

#### Denominación de las partículas del suelo conforme a su tamaño

El análisis mecánico a que nos venimos refiriendo determina los porcentajes de las partículas del suelo dentro de ciertos límites. La gradación de tamaños se distingue según términos generalmente aceptados, y que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha arreglado en la forma que se muestra en la Tabla 1, partiendo de la más grande.

TABLA 1. LAS PARTICULAS DEL SUELO ARREGLADAS POR TAMAÑOS

Nombre de la partícula del suelo	Díámetro en mm
Grava fina o arena muy gruesa .....	2.0 a 1.0
Arena gruesa .....	1.0 a 0.5
Arena mediana .....	0.5 a 0.25
Arena fina .....	0.25 a 0.1
Arena muy fina .....	0.1 a 0.05
Limo .....	0.05 a 0.002
Arcilla .....	menos de 0.002

\* El método de elutriación emplea el "elutriador simple", ideado por Schöbe, en 1887, o bien, la modificación del "tubo múltiple", debido a Kopecky, en 1930. Nosotros seguimos prefiriendo el método de la pipeta para el análisis mecánico de los suelos. (N. del T.)

12

La Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo ha revisado y simplificado esta clasificación de las partículas del suelo (basada en el trabajo de A. Atterberg, 1912), como sigue:

Separado	Diámetro en mm
Arena gruesa .....	2.00 a 0.20
Arena fina .....	0.20 a 0.02
Limo .....	0.02 a 0.002
Arcilla .....	menos de 0.002

**Suelos francos.** Los fértiles suelos del Valle del Nilo, famosos en todo el mundo, son de origen sedimentario y consisten en mezclas casi perfectas de arena, limo y arcilla. Esta mezcla favorable, al igual que los depósitos renovados cada año, es lo que los hace tan productivos. Semejantes mezclas de arena-limo-arcilla, cualquiera que sea su origen, se denominan "suelos francos" y entre ellos se pueden distinguir las siguientes clases, según sea la proporción en que se encuentran las diferentes partículas: (1) migajón arenoso gravoso, (2) migajón arenoso grueso, (3) migajón arenoso mediano, (4) migajón arenoso fino, (5) migajón arenoso muy fino, (6) migajón limoso, (7) migajón arcillo-limoso, (8) migajón arcilloso, y (9) migajón arcilloso pedregoso.

La mayoría de los suelos agrícolas pertenecen a cualquiera de estos grupos, pero no son raras otras clases de suelos de textura más fina. La designación de "arena", "limo" y "arcilla" se refiere únicamente al tamaño de las partículas, mas no a la composición química. Aun la arcilla, no necesariamente tiene que ser sílice; y si su origen es granítico, fácilmente encontraremos en ella partículas sólidas de diferentes minerales.

### Coloides inorgánicos

Las pequeñas partículas de limo y arcilla tienen un origen mineral y una composición química extremadamente variables. Este hecho debe tenerse presente para nuestras discusiones futuras, pues de otra manera no se podrán entender. Por causa de esta diferencia en la composición química, usaremos la denominación de "coloides inorgánicos" (en lugar de arcilla), aun cuando si nos apegamos estrictamente al tamaño de la partícula, el material en cuestión es una arcilla.

Nos interesan los coloides inorgánicos por el gran número de reacciones importantes en que intervienen, las cuales se deben principalmente al tamaño extraordinariamente pequeño de las partícu-

las. En la Tabla 1 se expresa simplemente el diámetro menor de 0.002 mm, pero no se da ninguna indicación acerca del tamaño inferior límite de dichas partículas.

**Diámetro de los coloides minerales.** Realmente es muy difícil establecer este límite mínimo. Anteriormente se creía que las partículas arcillosas tenían una forma más o menos esférica, pero el examen, primero con el microscopio de campo oscuro y luego con el electrónico, ha establecido, en definitiva, que se trata de láminas infinitamente delgadas o bien de "escamas" que varían de forma y tamaño. Esto hace punto menos que imposible asignar dimensiones a los diámetros. Para dar, cuando menos, una idea de lo pequeño de estas partículas, y considerando solamente el diámetro mayor de cada laminilla, podemos decir que dicho diámetro se ha valuado en aproximadamente 0.0005 mm (0.5  $\mu$ , o bien, 1/50 000 de plg.).

Las peculiares propiedades físicas que poseen estas partículas, las sitúan en una rama separada de la química, denominada *química coloidal*. Las partículas de esta naturaleza se denominan *coloides del suelo*.

Las propiedades de los coloides del suelo les confieren importancia singular en los procesos dinámicos del propio suelo (Parte III), así como en el examen, conservación y mejoramiento del mismo (Parte VII).

## 16. Perfiles y Clasificación de Suelos

De lo dicho hasta aquí, convendrá recordar que el agua está íntimamente ligada a las manifestaciones de las fuerzas físicas, químicas y bióticas, y que su presencia o ausencia y su abundancia, casi siempre influyen en las reacciones que se realizan. También la temperatura ejerce una influencia importante, porque al aumentar intensifica proporcionalmente la acción de los procesos dinámicos. Se ha calculado que por cada incremento de 10°C se duplica la velocidad a que se realizan la hidrólisis, carbonatación y oxidación en el suelo y al mismo tiempo se acelera en igual proporción el desarrollo de los microorganismos.

Esto quiere decir que bajo las mismas condiciones climatológicas, tiene que variar la forma en que se intemperizan las rocas y la clase de suelos que se originan de dicha intemperización. En las regiones áridas o boreales, donde las temperaturas nocturnas varían notablemente con respecto a las del día o las del verano con relación a las del invierno, las reacciones químicas son comparativamente lentas, unas veces por la falta de agua y otras porque la temperatura es demasiado baja. A consecuencia de estas variaciones las rocas se transforman en grava, de modo que el material edáfico resultante estará constituido por partículas gruesas. Por otra parte, en las regiones tropicales húmedas o en las subtropicales, cuyo clima es uniformemente caliente y cuya precipitación es abundante, se producen suelos de textura fina y son muy comunes los suelos arcillosos.

### LOS HORIZONTES Y EL PERFIL DE LOS SUELOS

#### Formación de los horizontes del suelo

Por las mismas razones, es obvio que al aumentar la profundidad habrá diferencias notables en la forma en que las diversas fuerzas dinámicas influyen en el desarrollo del suelo. La parte superior de éste se denomina *capa arable* o *capa labrantía* y por estar en íntimo

12

contacto con el aire, tiene libre acceso al oxígeno necesario para la realización de las reacciones químicas y biológicas; además, está directamente expuesta a la insolación y al viento y, en consecuencia, sujeta más que ninguna otra parte de la masa del suelo a los cambios frecuentes de temperatura. Durante el verano la capa labrantía es más caliente y durante el invierno más fría que las capas inferiores, y como la materia orgánica bruta se concentra mayormente en ella, se origina aquí una profusa vida microbiana y una abundancia de bióxido de carbono. Las reacciones químicas que ocurren en las capas más profundas del suelo, donde los compuestos orgánicos e inorgánicos llevados por las aguas de drenaje reaccionan uno con otro, y también con los minerales existentes deben, por necesidad, ser muy diferentes a las que se realizan en la superficie.

Este cambio en las condiciones, al aumentar la profundidad, hace que se produzcan con cierta frecuencia capas claramente distinguibles que difieren en su color, textura y composición y que se denominan generalmente *horizontes*. Un corte vertical del suelo, comenzando en la superficie hasta encontrar a la roca madre, se llama perfil del suelo.

#### Importancia de los horizontes inferiores

Siendo la capa arable más rica en elementos nutritivos aprovechables, su estudio es de gran interés para el agricultor y el horticultor. A causa de su contenido de humus, la capa labrantía tiene un color casi siempre más oscuro que el de los horizontes inferiores, característica que lo hace fácilmente identificable, y convendrá siempre delimitar exactamente la capa arable antes de introducir al cultivo una parcela de tierra virgen o inculta. No deben subestimarse los horizontes inferiores, porque de ellos dependen el drenaje y la fertilidad del suelo como tal. Si los horizontes inferiores carecen de los elementos nutritivos de reserva que deben estar presentes para permitir que el suelo pueda ser cultivado durante mucho tiempo, la capa laborable se agotará rápidamente. La historia de la agricultura en los Estados Unidos abunda en ejemplos donde los bosques fueron derribados para introducirlos a cultivos de escarda, y que por su rica capa arable rindieron excelentes cosechas al principio, pero que por tener un subsuelo arenoso y pobre en nutrimentos, se inutilizaron en menos de 10 años.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Véase, por ejemplo, a: Hedrick, U. P. "The Land of the Crooked Tree". Oxford University Press, New York, 1944.

**Factores que influyen en la modificación del suelo**

Evidentemente, la diferenciación de los diversos tipos de suelos debe comenzar con la composición de la mezcla original de sustancias, que depende sobre todo de las deposiciones al azar debidas al agua y al viento (Pág. 171). La roca sobre la cual descansa el suelo, aun cuando influye en la reacción y comportamiento de éste y puede contribuir a su contenido, no es la única responsable de la composición del suelo, y el término *material madre*, con que frecuentemente se le denomina, podría llegar a ser totalmente injustificado.

El tipo de horizonte formado en la mezcla original depende más que nada de la influencia de ciertos factores como la clase de cubierta vegetal y las condiciones climatológicas predominantes. Otros factores que intervienen son la altura de la capa freática, la frecuencia y distribución de la precipitación y las temperaturas media, máxima y mínima registradas en el verano y el invierno, así como también la presencia o ausencia de nevadas copiosas; todo esto influye en el suelo y lo modifica.

**TERMINOLOGIA EMPLEADA PARA DESIGNAR LOS TIPOS DE SUELOS**

Los especialistas han asignado nombres científicos a los cambios producidos en el suelo por la acción combinada de los factores ya mencionados. Algunos de esos términos técnicos se dan a continuación.

**Melanización\***

La melanización (del griego *melanos*, negro) significa la incorporación de humus al suelo, con lo cual adquiere un color más oscuro.

**Podsolización\*\***

La podsolización (Pág. 221) se refiere al desarrollo peculiar de un suelo que ha estado expuesto a intenso lavado por el agua que percola desde la capa superficial de humus bruto o ácido y que drena hacia el subsuelo.

\* En la melanización el humus está totalmente incorporado al suelo y no necesariamente se confina al horizonte A, sino que puede estar disperso y volver a coagular en el horizonte B de los suelos podsoles, vley y otros suelos hidromorfs. (N. del T.)

\*\* Los podsoles se desarrollan típicamente bajo bosques de coníferas y en suelos cuya vegetación es de chaparral. (N. del T.)

M

**Gleización**

La gleización se refiere a la influencia de una capa freática fluctuante. Se denomina "gley" a un subhorizonte azulado o verdoso, saturado con agua y que frecuentemente se encuentra asentado sobre una alta o baja turbera; se origina a consecuencia del lavado del hierro, calcio, aluminio y magnesio de las capas superiores y consiste principalmente de coloides minerales, pero suele ser igualmente rico en nitratos y potasio. Contiene muy poco o casi nada de humus y es un suelo biológicamente muerto.

**Latosolización**

El término latosolización (Pág. 224) se refiere a la influencia de un tipo especial de lixiviación del suelo, muy común en los climas tropicales húmedos.

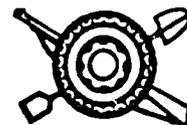
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #8: Clasificación Textural del Suelo**

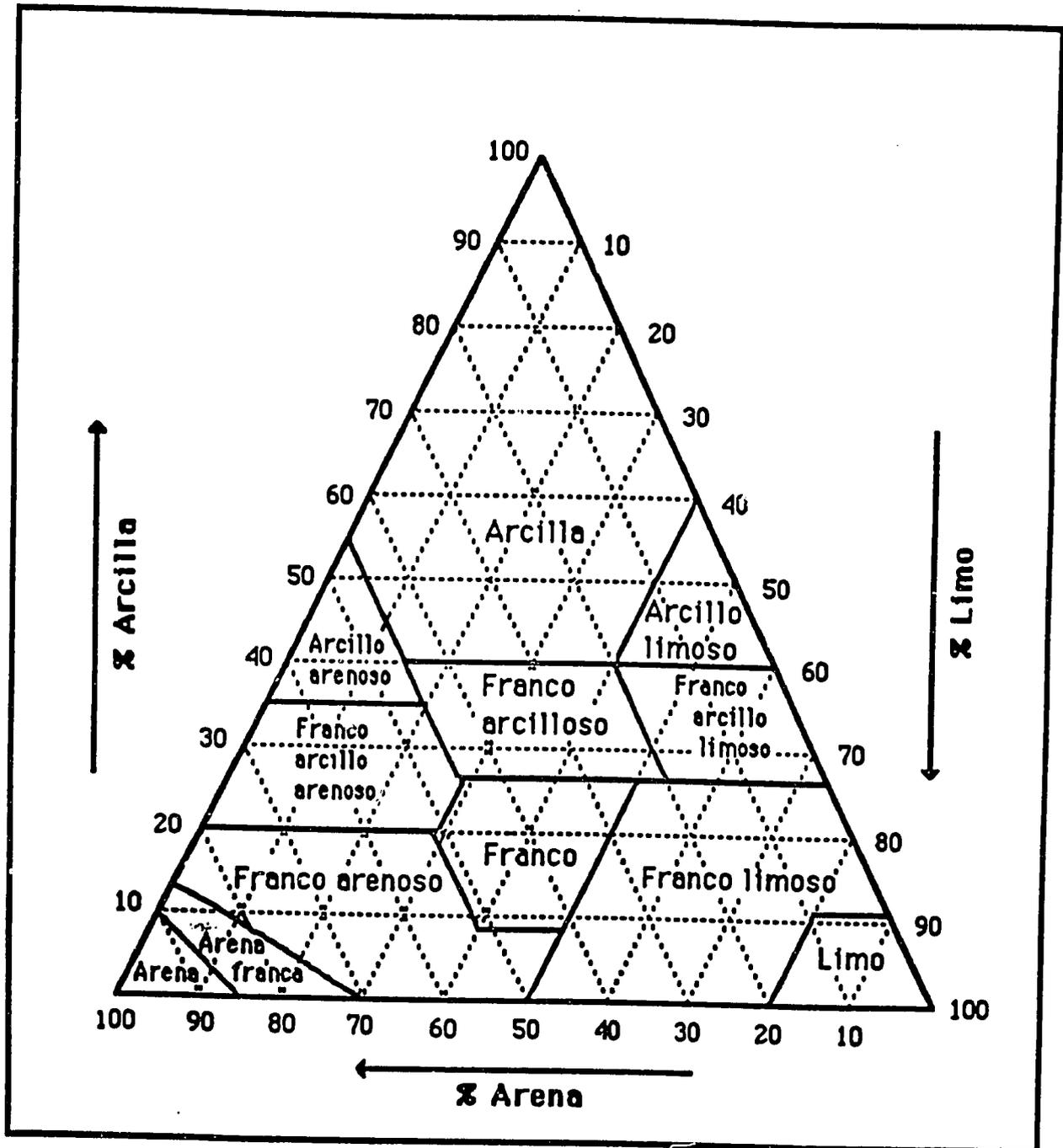
**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# CLASIFICACION TEXTURAL DE SUELO

FIGURA 8-1

TRIANGULO TEXTURAL DEL SUELO<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Fuente: Forestry Handbook. 1984. p 84

# CLASIFICACION TEXTURAL DE SUELO

CUADRO 8-1

## LAS CUATRO CLASES MAYORES DE PARTICULAS INORGANICAS Y SUS PROPIEDADES GENERALES<sup>1</sup>

Tamaño	Nombre Común	Se puede ver con	Composición Dominante
Muy gruesa	Piedra, grava	Ojo desnudo	Piedras fragmentada
Gruesa	Arena	Ojo desnudo	Minerales primarios <sup>2</sup>
Fina	Limo	Microscopio	Minerales primarios y secundarios <sup>2</sup>
Muy fina	Arcilla	Microscopio electrónico	Minerales secundarios <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fuente: The Nature and Properties of Soils. The Macmillian Company, 1969. Page 11.

<sup>2</sup> Minerales primarios: Un mineral que no esta alterado químicamente desde su erupción hasta su deposición y cristalización

<sup>3</sup> Minerales secundarios: Un mineral secundario resulta de la descomposición de un mineral primario o de su reciclaje

# CLASIFICACION TEXTURAL DE SUELO

CUADRO 8-2

## COMPARACION DE DOS SISTEMAS PARA CLASIFICAR LAS DIVISIONES DE LOS SUELOS<sup>1</sup>

Divisiones del suelo	Sistema del Departamento de Agricultura de Estados Unidos	Sistema Internacional
	Margen de diámetro (mm)	Margen de diámetro (mm)
1 Arena muy gruesa	2.00-1.00	--
2 Arena gruesa	1.00-0.50	2.00-0.20
3 Areana mediana	0.50-0.25	--
4 Arena fina	0.25-0.10	0.20-0.02
5 Arena muy fina	0.10-0.05	--
6 Limo	0.05-0.002	0.02-0.002
7 Arcilla	menos de 0.002	menos de 0.002

<sup>1</sup>Fuente: Soil Survey Manual - U.S. Department of Agriculture Handbook Number 18, 1951. Page 207.

# CLASIFICACION TEXTURAL DE SUELO

CUADRO 8-3

## REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LOS TIPOS DE ESTRUCTURAS DEL SUELO<sup>1</sup>

Nombre de estructura		Características	Localización en el perfil <sup>2</sup>
De Planchas		Hojas Escamas	Se puede encontrar en cualquier parte del perfil
Prismáticas		La parte superior es plana	Usualmente se encuentra en el sub-suelo. Es común en suelos áridos y semi-áridos
		La parte superior redondeada	
En bloques		Cúbico	Son comunes en sub-suelos pesados, particularmente en regiones húmedas
		Sub-angular	
Esférica		Granular (poroso)	Característica de los surcos del arado. Cambian su forma rápidamente
		Migajón (muy poroso)	

<sup>1</sup> Fuente: The Nature and Properties of Soils. The Macmillian Company. 1969. Page 58.

<sup>2</sup> Su localización en el perfil no es rígida

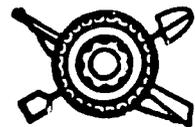
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #9: Perfil del Suelo**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



84

**HOJA DE CAMPO**

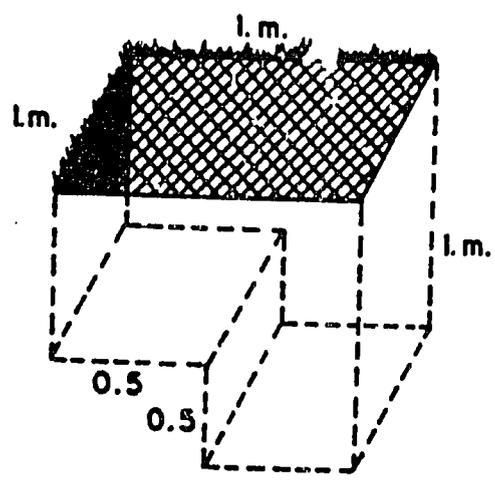
**COMUNIDAD:** \_\_\_\_\_

Calicata No.: \_\_\_\_\_

**PROYECTO:** \_\_\_\_\_

Area: \_\_\_\_\_

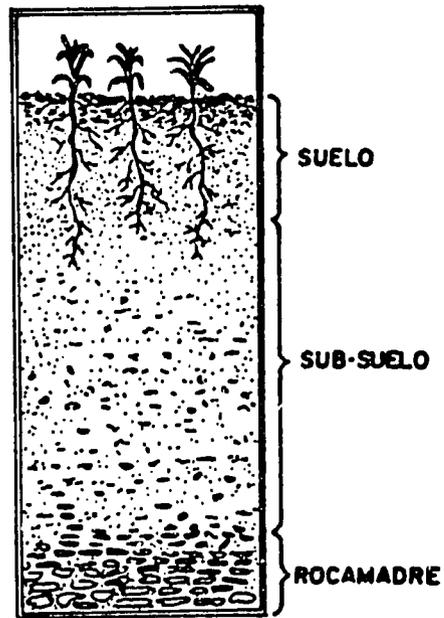
Prof. (cm)	PERFIL OBSERVADO		
	COLOR	TEXTURA	RAICES
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			
75			
80			
85			
90			
95			



OBSERVACIONES ADICIONALES:

**Técnicos:** \_\_\_\_\_

# REPRESENTACION DEL PERFIL DEL SUELO



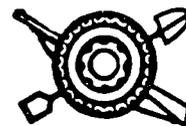
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #10: Sistemas Agrícolas o Agroecosistemas**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



**Fuente:** Mendoza, Rolando. 1989. Conservación ambiental y desarrollo sostenido. Documentos de la Comisión Iglesia y Sociedad, No. 7. Ediguas C. LTDA; Quito, Ecuador. p. 44-59.

# Sistemas agrícolas o agroecosistemas

El ser humano es parte integrante de la biosfera. Se diferencia de los demás miembros de la biocenosis por su desarrollo cerebral, que le permite modificar, voluntariamente, el medio que le rodea.

Desde los albores de la humanidad, el hombre ejerce un impacto sobre su medio. En un primer momento, cuando las poblaciones humanas eran pequeñas, este impacto no era tan sensible. Las primeras actividades del *Homo sapiens* fueron de recolector y cazador. Recogía frutas, semillas, hierbas y larvas de insectos. Sucesivamente aprendió a capturar animales grandes y a descubrir formas para cultivar plantas útiles cerca de su morada. Esta última actividad, era llevada a cabo por la mujer, que se quedaba en la casa, mientras que el hombre se dedicaba a la cacería y a la protección del grupo. Posteriormente, el hombre aprende a domesticar a algunos de los animales, con los que ya se había familiarizado, lo que le permitió, junto con la incipiente agricultura, mejorar sus condiciones de vida. La existencia comunitaria, en estado sedentario y, generalmente, cerca de algún río, le dio apoyo y seguridad.

El impacto negativo de la actividad humana sobre el ambiente se hace por los incendios que el hombre provoca, para ganarle terreno al bosque. En tiempos históricos, tres siglos antes de nuestra era, el sabio Platón denunciaba, con gran claridad, las transformaciones ambientales de su país, a causa de la deforestación (vea página 40).

La destrucción que provoca el hombre sobre el medio natural se convierte en un problema alarmante, especialmente en los últimos dos siglos, como consecuencia de la Revolución Industrial, por el uso de la máquina de vapor, de la energía eléctrica y de los combustibles fósiles. En las últimas décadas, tanto el aprovechamiento de la energía nuclear como el de la ingeniería genética, incrementan los efectos del impacto.

La tecnología es entonces un instrumento con doble filo: por una parte, permite mejoras en la calidad de vida del hombre, pero, al mismo tiempo, si es mal utilizada, puede destruir el medio humano.

Establezcamos algunas diferencias entre un ecosistema, con poca o ninguna intervención del hombre, y un sistema agrícola, en el que la actividad humana se hace presente por medio



de la tecnología a su disposición. A los ecosistemas manejados con fines productivos, los denominamos "agroecosistemas".

Un ecosistema natural es "autoperpetuable" y el logro del equilibrio es el "clímax". Un agroecosistema, por su parte, tiene una duración limitada, pues cada vez que el agricultor limpia el terreno y lo ara para la siguiente siembra, interrumpe la sucesión natural.

La vegetación presente en un ecosistema es el resultado de la selección natural y, por lo tanto, está adaptada a las condiciones del suelo y del clima del lugar que ocupa. En cambio, en un agroecosistema predominan aquellas plantas seleccionadas por el agricultor que, generalmente, son más productivas, pero que a la vez requieren mayores cuidados.

Un ecosistema en el bosque tropical húmedo, se caracteriza por la rica diversidad de especies. En un agroecosistema hay gran uniformidad, pues se propicia únicamente el cultivo que interesa al productor. Los monocultivos son la máxima reducción de la diversidad biológica.

El ecosistema, en general, presenta gran diversidad de especies y de edades. Es decir, en un momento dado, tenemos plantas de diferentes especies y tamaños. Además, las distin-

tas especies tienen ciclos reproductivos diversos. En cambio, en un monocultivo se programa la producción de acuerdo con las exigencias del mercado, por lo que se propicia la uniformidad de edad y, consecuentemente, la homogeneidad de floración y fructificación.

El agroecosistema requiere la incorporación de fertilizantes, pesticidas, riego, etc. A diferencia de un ecosistema, el nivel de nutrientes se mantiene en equilibrio dinámico, entre la vegetación y su medio.

En un ecosistema tropical no existen plagas; la diversidad de especies y su distribución inhibe la acción de los enemigos naturales. En un agroecosistema se dan las condiciones ideales para la multiplicación exponencial (geométrica) de poblaciones que causan daños económicos.

### **Sistemas agrícolas**

Los sistemas agrícolas, en el sentido más amplio de la expresión, incluyen la agricultura, la ganadería, la silvicultura y sus posibles combinaciones (sistemas agroforestales).

Todo sistema natural y particularmente los sistemas agrícolas dependen en gran medida del suelo.

En la biósfera, la distribución de los suelos no es equitativa. Gran parte de la superficie terrestre está cubierta por glaciales, desiertos y otras áreas improductivas. Hay muchas zonas que han llegado a ser estériles a causa del mal manejo por parte del hombre. En muchos casos, la capa de suelo es tan delgada o el terreno tiene tanta pendiente, que no puede ser utilizada, en forma permanente, para sistemas agrícolas.

De acuerdo con datos suministrados por la F.A.O. tan sólo el 11 % de la superficie mundial posee vocación agrícola; es decir, aptitud para implantar sistemas agrícolas permanentes. El 25 % del territorio nacional posee vocación agrícola. Esta es una condición de especial privilegio, sobre todo si se considera este momento histórico en el que la escasez de alimentos es el mayor problema que tienen que enfrentar los países en vías de desarrollo.

El suelo es el recurso más importante que sirve como sustrato de sistemas naturales, como el bosque, o artificiales, como los sistemas agrícolas. De la fertilidad de los suelos depende también la fertilidad de los sistemas acuáticos. El recurso suelo no puede verse como un bien infinito. Las malas prácticas agrícolas y la deforestación pueden acabar con él. Antes de que entremos a analizar las causas de la destrucción de los suelos, veamos algunas generalidades sobre su origen.

### **La formación de los suelos**

En la formación de los suelos intervienen factores físicos, químicos y biológicos. Estos factores interactúan en un proceso muy complejo, que requiere un gran período de tiempo.

La fragmentación o meteorización de las rocas, es uno de los primeros fenómenos. Las diferencias de temperatura y humedad, sumadas a las presiones que se ejercen sobre las rocas, facilitan la transformación en partículas cada vez más pequeñas. A estos cambios físicos se suman otros que afectan la composición de la materia, mediante reacciones de oxidación-reducción e hidratación de los componentes del suelo.

La presencia de seres vivos provoca un aceleramiento en la sucesión hacia un suelo. Su efecto puede ser mecánico, como la acción de las raíces sobre las rocas, y también bioquímico, como los procesos de transformación de los desechos orgánicos de los autótrofos y los heterótrofos, por efecto de los descomponedores.

En la formación de los suelos también intervienen fuerzas que se generan en las entrañas de la tierra. Así, las erupciones volcánicas han sido agentes de enriquecimiento de los suelos que hoy, en diferentes partes de Centroamérica, se dedican al cultivo del café.

El relieve de la superficie terrestre es otro factor que tenemos que considerar, pues de éste depende el movimiento del agua y su retención. Así, las más fértiles llanuras son producto del arrastre de nutrientes por medio de las corrientes que descienden desde las montañas hasta el mar.

En Costa Rica, los fértiles suelos de Parrita, San Carlos, Guápiles, Guanacaste y otros, son el resultado de la acción de



los ríos que han arrastrado, a lo largo de miles de años, cantidades de sedimentos que han llegado a conformar suelos aluviales, hoy explotados ventajosamente por el hombre.

Existe un contraste entre la formación de suelos y su destrucción, mediante la intervención humana. Utilizaremos el término erosión para indicar la pérdida de suelo. Para subrayar los efectos de la erosión se la ha llamado "cáncer de la tierra".

Las actividades humanas que contribuyen, mayormente, a este proceso son:

- prácticas agrícolas en los suelos (no aptos)
- ganadería
- deforestación
- construcción de carreteras

Los efectos de la erosión son:

- pérdida irreparable de los suelos
- sedimentación de embalses hidroeléctricos
- contaminación de sistemas acuáticos
- derrumbes sobre carreteras y poblados
- pobreza, hambre, inestabilidad social

Dorst,<sup>1</sup> con base en cálculos realizados en Zaire, un país tropical africano, afirma que se requieren 40.000 años para eliminar un horizonte de 15 cm de suelo cultivable bajo un manto forestal; 10.000 años cuando se trata de un suelo cubierto de pastos y de 10 a 28 años, cuando se encuentra descubierto. El mismo autor afirma que para formar 3 cm de suelo se requieren de 300 a 1.000 años, o sea de 2.000 a 7.000 años para constituir una capa arable de tan sólo 20 cm de profundidad.

#### **Causas de la erosión**

Un antiguo proverbio chino afirma que "la ignorancia del bien es causa del mal". Probablemente muchos agricultores, grandes y pequeños, desconocen las consecuencias funestas de la erosión. A menudo, se repiten prácticas agrícolas que llegan a ser parte de la tradición y se les considera nocivas, aun cuando no lo sean. En todo caso, la causa primordial de la erosión consiste en el mal uso de la tierra: aquel que ignora la vocación de los suelos y practica la agricultura en terrenos no aptos. Esta situación obedece a causas socio-económicas relacionadas con la distribución de la tierra. En efecto, las fincas con mejores suelos y verdadero potencial agrícola están en manos de pocos terratenientes.

---

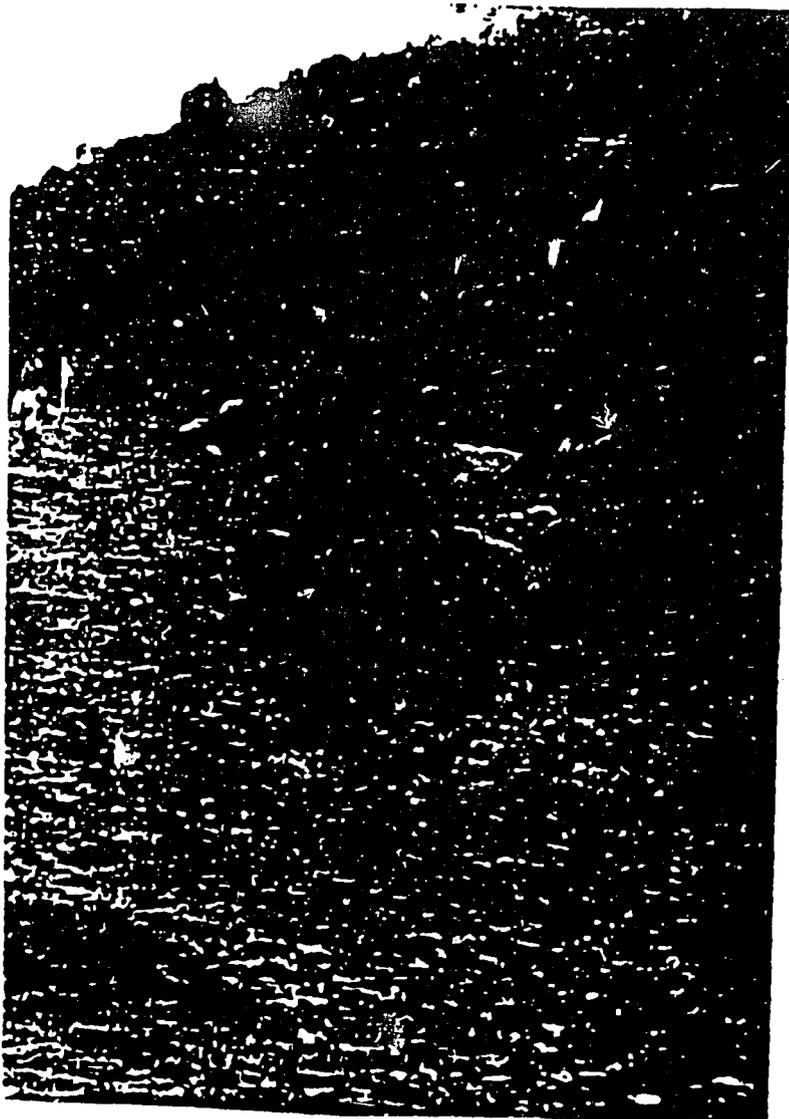
<sup>1</sup> Dorst, *Antes que la naturaleza muera*, Ediciones Omega, España.

### **Erosión Hídrica**

Cuando los montes han perdido su protección natural o tapiz vegetal, a causa de la actividad humana, el agua de lluvia al caer, golpea fuertemente el suelo, rompe su estructura y corre rápidamente arrastrando sus componentes. Se da una erosión de capas delgadas y uniformes del suelo, a lo largo del tiempo; por tal razón, sus efectos se hacen visibles al cabo de varios años. Esta forma de erosión, una de las más insidiosas, se denomina "erosión laminar".

En terrenos inclinados, es frecuente la formación de surcos que forma el paso de las corrientes de agua. Estos, cada año, aumentan su profundidad hasta convertirse en canales, por donde corre el agua.

Las cárcavas son otra manifestación de erosión. Tienen el aspecto de gradas, esparcidas en las colinas dedicadas a la ganadería. El pisoteo constante de los semovientes contribuye a esta forma de erosión.



### **Erosión Eólica**

Es la erosión que provoca el viento cuando sopla con fuerza sobre los terrenos despojados de protección vegetal. Su efecto se hace sentir durante la estación seca cuando levanta, de los terrenos arados, miles de toneladas de suelo que, en casos extremos, llegan a oscurecer el cielo causando molestias a las comunidades que azota. Esta pérdida de suelo es irrecuperable, además, la acción de las partículas de polvo calientes, empujadas por el viento, puede afectar las pequeñas plantas en desarrollo de un sistema agrícola.

### **Métodos para la conservación de suelos**

Siendo los suelos un recurso natural de incalculable valor, debemos propiciar prácticas que permitan su uso en forma permanente. Es fundamental que, a la hora de decidir sobre el uso de un suelo, se establezca, con datos confiables, si posee vocación agrícola y qué tipo de cultivos son los más apropiados.

La literatura y la experiencia campesina recogen un sinnúmero de recomendaciones sobre la conservación de los suelos, que se refieren a dos aspectos:

- a. prácticas culturales y agronómicas y
- b. prácticas mecánicas.

Las primeras son las más económicas y de aplicación más sencilla; si bien es cierto, en muchos casos se tendrá que combinar con prácticas mecánicas, cuando así se requiera.

#### **Prácticas culturales**

##### **1. Cultivos apropiados:**

Es muy importante realizar la más adecuada selección de los cultivos, con base en el criterio de que deben cultivarse los que mejor se adaptan a las condiciones del suelo y del clima local. En general, hay que evitar el monocultivo y propiciar los cultivos mixtos, imitando el ecosistema natural. Como es sabido, los cultivos homogéneos (monocultivos) requieren grandes inversiones para la compra de semillas genéticamente mejoradas, fertilizantes, pesticidas y capacitación especializada de los trabajadores para el uso de estos insumos.

El uso de especies originarias del lugar y que sean un recurso alimenticio, debe propiciarse. A manera de ejemplo: "alegría, chaya y arracache" son los pintorescos nombres populares de tres plantas utilizadas por los americanos, desde tiempos antiguos. De las tres, se utilizan las hojas como alimento; las semillas de alegría son ricas en proteína y los tubérculos de arracache son ricos en carbohidratos.

Alegría y chaya tienen su origen en México y Centroamérica. El arracache proviene de los Andes suramericanos. Las tres

comparten el ser nativas del trópico americano, por lo que se encuentran perfectamente adaptadas al medio; son resistentes a plagas y enfermedades y forman parte de los hábitos alimenticios de algunos pueblos.

### **Siembra en contorno**

Es una práctica sencilla, aplicada en sistemas agrícolas que se desarrollan sobre terrenos inclinados. Consiste en realizar siembras de acuerdo con las curvas de nivel, perpendicularmente al sentido de la pendiente. De esta manera, las hileras de cultivos actúan como una barrera que frena la fuerza del agua en su descenso.

### **Siembra en fajas**

Los cultivos de la finca se disponen en fajas, a contorno, de anchura variable, de tal manera que se permita, cada año, la alternancia entre plantas que protegen poco el suelo y otras, de crecimiento denso, que sí lo protegen. Estas últimas actúan como barreras en contra de la fuerza de las aguas o para disminuir la velocidad del viento; en este caso las franjas se establecen en sentido contrario a la dirección del viento.



### **Rotaciones**

En una misma finca no es recomendable perpetuar la siembra de un mismo cultivo. La rotación de cultivos es una buena manera para disminuir los peligros de las plagas, enfermedades y empobrecimiento del suelo. Conviene, por tanto, establecer planes de rotación que contemplen el tipo de plantas, períodos, incorporación de materia orgánica al suelo y utilización de nutrientes agregados en forma artificial. Cada agricultor, con la asesoría debida, puede establecer un plan de manejo adecuado para su finca que le permita una producción permanente sin que se afecte la productividad del suelo explotado con cultivos y pastos adecuados.

### **Plantas de cobertura y abonos verdes**

Las plantas de cobertura se cultivan para proteger el suelo contra la acción directa del agua de lluvia, del viento y del sol. Al enterrarlas se convierten en abono verde. Las plantas que más se utilizan son las leguminosas. También el resultado se obtiene con las malas hierbas enterradas, sin ser estas éstas las plantas más adecuadas. Sin embargo, esta práctica deberá hacerse antes de que las plantas alcancen su madurez, con el propósito de evitar su multiplicación.

El abono vegetal mejora las condiciones físicas y químicas del suelo. Las plantas, al descomponerse, aumentan la cantidad de materia orgánica en el suelo; las poblaciones de lombrices y otros invertebrados también crecen y se ven favorecidos los ciclos de los nutrientes.

Nuestros agricultores tienen la costumbre de enterrar los rastrojos del frijol, con lo que se enriquece el suelo, y en los cafetales tradicionales hacen huecos ("gavetas") en los que se deposita la vegetación muerta.

### **Barreras vivas**

Consiste en sembrar plantas de crecimiento denso, rápido y permanente en hileras a contorno. Existen muchas especies vegetativas que se utilizan; a manera de ejemplo: itavo, colpachí y trueno. La barrera se logra por medio de árboles permanentes que forman fajas de vegetación (bosquecillos), que protegen los cultivos de los vientos y la erosión hídrica. Su presencia garantiza la retención del agua y su permanencia durante los meses secos.

Se aplican en fincas de grandes extensiones, en las que se dejan fajas del bosque original o bien se permite la sucesión natural.

### **Cercos vivos**

Esta es otra práctica bastante difundida en nuestro medio. Consiste en utilizar, en las cercas, postes de árboles que se reproducen vegetativamente y que aceptan en su tallo la acción

del alambre de púas. Dan beneficios anuales en forma de flores (itavo, madero negro y poró), frutos (jocote, níspero y anonas), forraje (madero negro, poró), leña y otros beneficios, incluyendo el abono verde de sus hojas.

### **Prácticas mecánicas**

Estas prácticas funcionan como obras para la defensa de suelo y tienen como propósito encauzar las aguas. Se aplican durante los períodos de lluvias intensas, cuando escurre la mayor cantidad de agua.

### **Canales de desviación**

Permiten desviar el flujo de agua, que escurre de las zonas altas, hacia un desagüe bien protegido. De esta manera se evita que las aguas causen daño en las áreas vecinas, más abajo.

### **Terrazas de absorción y desagüe**

Son canales construidos en dirección contraria a la pendiente con el propósito de cortar la corriente que escurre. Se caracterizan por tener una sección transversal, de gran anchura y poca profundidad, que permite que el mismo canal pueda ser cultivado en forma similar al resto de la finca. Se recomiendan cuando la pendiente es inferior al 15%.

### **Bancales**

Son plataformas o escalones construidos en series, a lo largo de la pendiente, separados entre sí por paredes casi verticales, protegidas por la vegetación. Su uso está limitado a las regiones, con gran densidad de población y con escasas tierras planas. Su práctica se restringe a cultivos de alto valor, ya que la construcción de bancales requiere una gran inversión de mano de obra, por lo que resulta una práctica cara. Se recomienda para pendientes superiores al 20%.

### **Acequias de ladera**

Son canales de 30 cm de ancho, con profundidades variables. A unos 15 cm de su borde se siembra una barrera viva, que permite filtrar el agua del canal y de esta manera se disminuye la cantidad de material que se deposita. Se utilizan en regiones de gran precipitación y en terrenos con pendientes entre un 10 y un 30 %. Cumplen adecuadamente su función en suelos pesados (arcillosos) y poco permeables.

### **Terrazas individuales**

Se refieren, en general, a un terraplén circular u ovalado que se construye alrededor de un árbol, con el propósito de protegerlo de la erosión y permitir un aprovechamiento óptimo de los fertilizantes. Se recomiendan para cultivos arbustivos, en regiones de baja precipitación, en terrenos con una pendiente de un 10 hasta un 15 %.



### **Agroquímicos y ecosistemas**

La agricultura es una simplificación de los ecosistemas donde se intensifica la reproducción de una o pocas especies de interés comercial. Esta situación favorece la presencia de ciertas poblaciones que se convierten en plagas y esto hace necesario, entonces, el empleo de plaguicidas que no sólo eliminan las plagas, sino que también afectan a otras poblaciones que podrían ser enemigos naturales de las especies nocivas. Por lo tanto, el agroecosistema, por ser muy homogéneo, es menos estable y está sujeto a cambios rápidos.

Las poblaciones de insectos reaccionan de diferentes maneras ante los plaguicidas. Lo más débiles, sucumben; mientras que otros, resisten. Sucesivamente, se multiplican aceleradamente y obligan al agricultor a aumentar las dosis de las aplicaciones o a emplear otros venenos más tóxicos.

Otro de los efectos nocivos del monocultivo consiste en el empobrecimiento del suelo, a causa de la sustracción continuada de los mismos nutrientes. Además, el monocultivo, sobre todo si es anual, deja el suelo más propenso a los procesos de erosión.

### **Efectos negativos de los pesticidas sobre el medio natural**

Todo ser vivo juega un papel importante en el equilibrio de la naturaleza. Los insectos realizan el 80% de las polinizaciones. Cuando se hacen aplicaciones masivas de plaguicidas, se

eliminan poblaciones de insectos y otros animales que cumplen papeles importantes en la reproducción de las plantas y en el equilibrio de la naturaleza.

A lo largo de las cadenas alimentarias se da una concentración creciente de los biocidas. En la serie: plantas-peces-aves marinas, se calcula que el DDT alcanza concentraciones de hasta 100.000 partes por millón. En otras cadenas sometidas al efecto del DDT, se midieron concentraciones 70.000 veces mayores a la del medio circundante.

Las concentraciones de pesticidas en los seres vivos alteran sus procesos bioquímicos y tienen consecuencias importantes en la supervivencia de las especies. El potencial reproductivo de las aves marinas ha sido afectado. De hecho, los pesticidas interfieren en el metabolismo del calcio, lo que hace que las cáscaras de los huevos resulten muy frágiles y no soporten el peso de las madres que los incuban, por lo que se ve interrumpido el ciclo reproductivo.

La interacción de dos o más sustancias químicas ajenas al ecosistema puede producir una sustancia nueva, con efectos tóxicos mayores a los que causarían las sustancias originales, si actuasen independientemente. Este refuerzo del efecto se conoce con el nombre de sinergismo.

Los plaguicidas no quedan localizados en el lugar de su aplicación. Son llevados por los ríos, hasta el mar, y los seres vivos los acumulan y llevan hasta sitios muy distantes. Los pingüinos y las focas del Artico tienen DDT en sus tejidos adiposos (grasa). También el viento se encarga de transportarlos a otros sitios.

Muchos plaguicidas no se degradan, especialmente los clorados como el DDT. Esto los hace muy peligrosos pues, eventualmente, los ecosistemas pueden presentar respuestas tardías inesperadas.

Experimentos realizados prueban que la presencia de pesticidas en cantidades de una parte por millón del tipo organoclorados, reducen entre un 70 y un 94% la actividad fotosintética en las plantas.

Todavía no hay estudios exhaustivos sobre los efectos de los pesticidas en los seres humanos. Sin embargo, ya son conocidos los cuadros de intoxicación grave que conduce a la muerte, o formas de intoxicación crónica, que provocan anemias plásticas. Cada año hay decenas de casos de trabajadores intoxicados por falta de precauciones adecuadas.

Aun menos conocidos y estudiados son los efectos teratogénicos y mutagénicos de los pesticidas. ¿Qué relaciones existirán entre los pesticidas, los agricultores y las malformaciones de los niños al nacer, los abortos y otras anomalías?

### **El cultivo del algodón en Centroamérica**

A partir de la década de los cincuenta, en el Pacífico Seco Centroamericano, se intensificó el cultivo del algodón.

En primer lugar, se dio paso a una deforestación masiva del bosque tropical seco para permitir el desarrollo del monocultivo. Esta radical simplificación del ecosistema ocasionó la pérdida de numerosas especies animales y vegetales. Como consecuencia, algunas especies de insectos y nemátodos se propagaron en forma explosiva: prodenia, gusano negro, falso medidor y otras.

Esta situación obligó a los productores a realizar aplicaciones cada vez más abundantes de insecticidas y nematocidas. Con estos, en un primer momento, se controló el efecto de las plagas, aunque se acabó con los enemigos naturales que todavía quedaban en el agroecosistema. El impacto sobre predadores, aves, lagartijas, insectos, fue muy negativo, pues se rompieron drásticamente los equilibrios naturales establecidos. Cada año se fueron aplicando fórmulas más potentes y en dosis cada vez mayores. Era necesario combatir las plagas, cada día más resistentes y, además, la aparición de otras, antes desconocidas.

Paralelamente al costo económico que tuvieron que afrontar los algodonereros para el control de las plagas, la comunidad,

en general, sufrió otras consecuencias:

1. El mosquito transmisor de la malaria, que ya se había logrado controlar, adquirió resistencia a los pesticidas. Hubo brotes de paludismo en lugares donde, precedentemente, se había erradicado.
2. Disminuyó sensiblemente la fauna (mamíferos, aves, peces) que los campesinos estaban acostumbrados a incluir en sus dietas.
3. La salud del hombre se vio afectada. Se produjeron intoxicaciones crónicas y aun mortales entre los trabajadores del campo.
4. Los suelos preparados para el cultivo del algodón (cultivo anual) fueron arrasados por la erosión eólica y la erosión hídrica.

### **Utilización de los recursos naturales, con base en el conocimiento de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas: Ecodesarrollo.**

En las últimas décadas, hemos escuchado y sufrido las consecuencias de la crisis energética. En el presente y futuro cercano, se hablará cada vez más de la escasez de alimentos, de desnutrición y de muerte por hambre.

¿Cuál es, entonces, el mejor uso de la tierra en un país con características tropicales?

Siendo que las consecuencias del mal uso de los pesticidas es tan nefasto, ¿debemos prescindir de ellos?

¿Habrá que abandonar los cultivos homogéneos, dejar que la naturaleza actúe y volver a la etapa de recolectores de frutos de la selva?

Naturalmente, no existen soluciones sencillas. En todo caso, los países en vías de desarrollo deberán ser muy cautelosos al adoptar soluciones tecnológicas provenientes de países desarrollados.

Muchas de las tecnologías, que son válidas para los países de clima templado, han fracasado en los países tropicales. Ya nos hemos referido a las consecuencias del mal uso de los pesticidas en el manejo de los cultivos homogéneos. Recordaremos, más adelante, las consecuencias negativas de la extracción masiva de madera y la destrucción de los bosques.

Con base en los datos emanados de las ciencias, los ingenieros y los tecnólogos deben brindar su aporte en la ejecución de los planes trazados.

La administración de los recursos naturales, deberá tomar muy en cuenta las leyes que rigen los ecosistemas que se dese-

an utilizar. Sólo así, se puede asegurar un uso sostenido que evite desastres al ambiente. Teniendo en cuenta que la meta del desarrollo debe ser alcanzar la más alta calidad de vida para el hombre, resulta fundamental tomar en cuenta las leyes que rigen la organización social y sus estructuras.

Los conocimientos derivados de la ciencia deberán ser utilizados junto con las tecnologías más apropiadas. Algunas de ellas han sido generadas fuera de nuestro contexto cultural y requieren una adaptación a nuestro medio. En ciertos casos, será necesario descubrir esas tecnologías y, en muchos otros, será más conveniente rescatar aquellas soluciones que forman parte del patrimonio cultural de nuestro pueblo. Se habla de tecnología apropiada para referirse a aquella que contribuye a lograr nuestra independencia económica y un mejor desarrollo.

#### **Ecodesarrollo o desarrollo sostenido**

Con este nombre se designa todo desarrollo humano que garantice el mejor aprovechamiento de los recursos naturales sin menoscabo del ambiente. Ha sido llamado por algunos co-



mo "desarrollo sin destrucción" y, recientemente, "desarrollo sostenido".

Las siguientes afirmaciones pueden servir como base para discutir el tema:

1. Ecodesarrollo se basa en la utilización combinada de varios ecosistemas, naturales o modificados por el hombre.
2. El ecodesarrollo conlleva la obtención de varios beneficios a la vez: productos animales y vegetales, recursos hídricos, recreativos y otros.
3. Los asentamientos humanos están en equilibrio con el medio natural. Se localizan en áreas que permiten la mejor utilización de los recursos que brindan diferentes ecosistemas. Podrían ser zonas cercanas al bosque, con suelos agrícolas y lugares apropiados para el pastoreo.
4. Los integrantes de la comunidad humana deben diversificar sus actividades. Esto significa, que no debe haber especialistas que se dediquen a una sola actividad productiva.
5. El ecodesarrollo promueve la satisfacción de las necesidades de la comunidad; busca el autoabastecimiento de los productos y servicios esenciales (dieta básica, agua, energía, madera, medicinas, recreación).
6. El ecodesarrollo promueve los cultivos apropiados, tanto los originarios como los que se adaptan a las condiciones del lugar. Esto disminuye la necesidad de utilizar mucho agroquímico.
7. Se fomenta la tecnología apropiada, tanto la que se aplica a labores agropecuarias y silvícolas, como la que se relaciona con la pequeña industria.

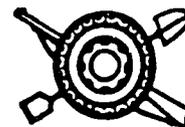
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

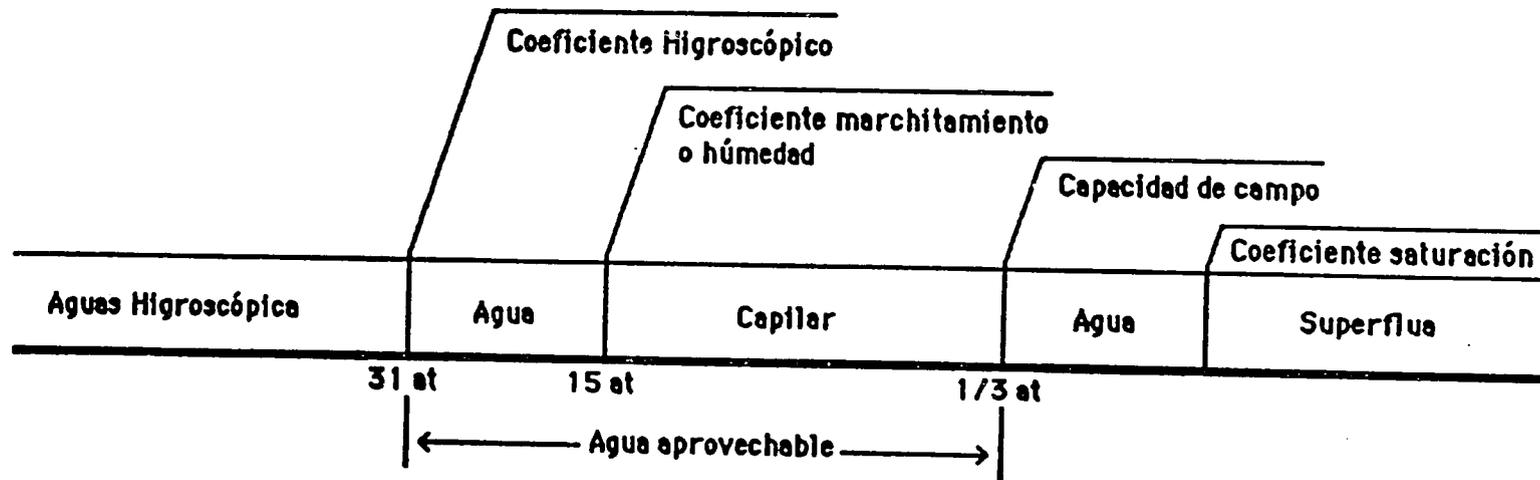
**Documento #11: Constantes de Humedad**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



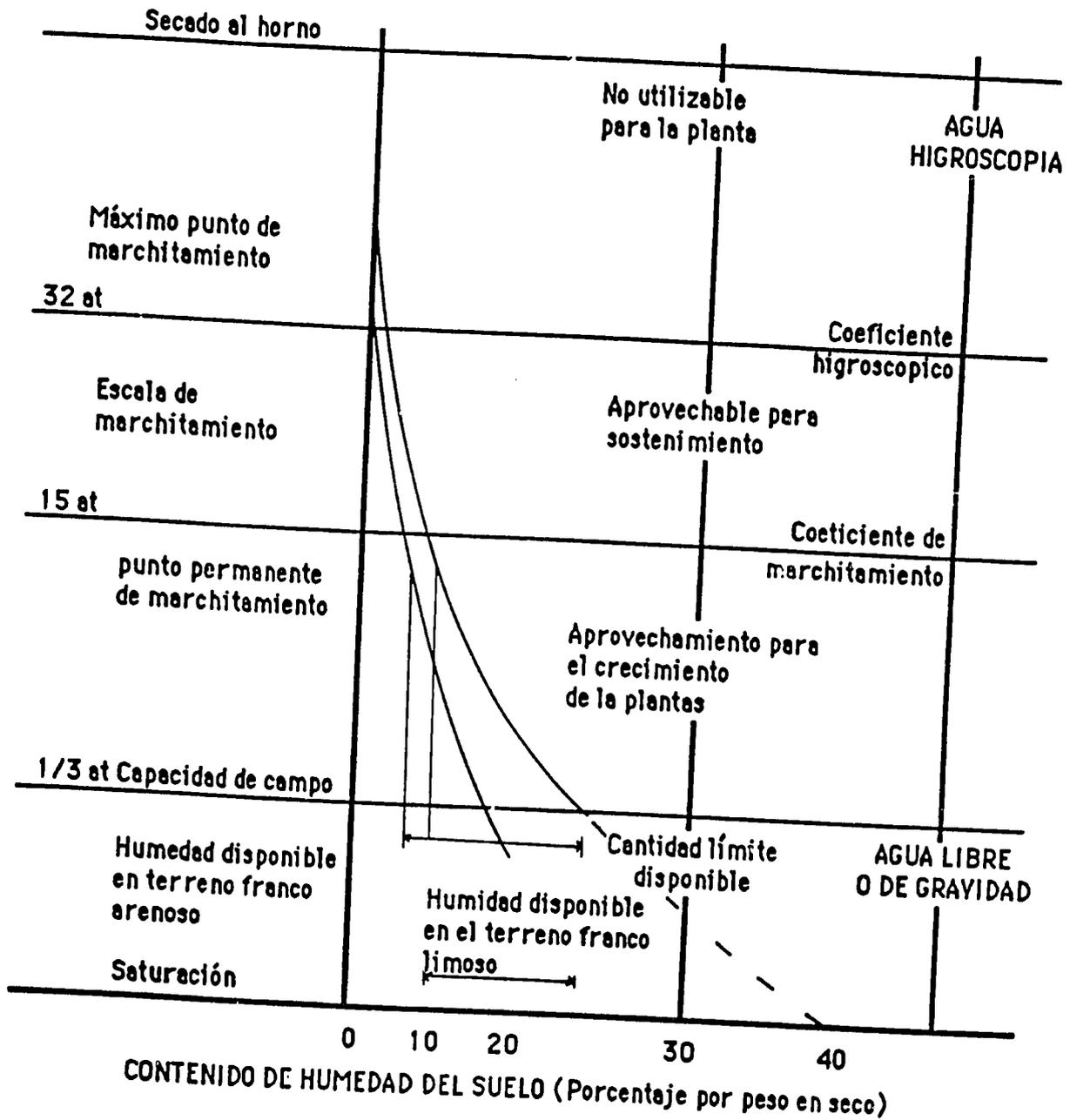
## CONSTANTES DE HUMEDAD DEL SUELO

FIGURA 11-2



# CONSTANTES DE HUMEDAD DEL SUELO

FIGURA 11-1



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #12: Métodos par la Conservación de Suelos**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



## CURVAS DE NIVEL

### INTRODUCCION:

Una curva de nivel es aquella cuyos puntos están todos a la misma altura.

El sistema de curvas de nivel se puede utilizar no sólo para sembrar sino también para labrar el suelo. Cualquiera que sea el uso que se le dé a su trazo, se puede decir que se trata de trabajar el suelo en forma transversal a la pendiente, en vez de hacerlo pendiente abajo, es decir, en su misma dirección.

El sistema de cultivo en contorno o de curvas a nivel, ayuda a conservar el agua y suelo porque cada hilera de plantas y cada señal de aradura alrededor de una ladera, actúan como obstáculos o pequeñas presas para retener el agua y para reducir la velocidad del escurrimiento. La reducción de la velocidad de la escorrentía superficial hace que el agua deposite las partículas de suelo y, a la vez, le da más tiempo a la última para infiltrarse en el suelo.

De lo anteriormente expuesto, es fácil deducir que uno de los objetivos más importantes que se persiguen en la implantación de ésta práctica es el de evitar la erosión del suelo y favorecer el almacenamiento de humedad.

### NECESIDAD DE CONTRARRESTAR LA EROSION

#### 1) Para Conservar el Suelo:

Se ha indicado con anterioridad que la naturaleza necesita generalmente muchos siglos para producir un suelo capaz de sostener una agricultura altamente económica. El hombre es capaz de reintegrarle al mismo los principales nutrientes vegetales extraídos por las cosechas o perdidos por lixiviación, mediante una serie de prácticas agronómicas, pero es totalmente incapaz para reponer una sola pulgada de suelo perdido por efectos de erosión.

#### 2) Para Conservar las Tierras de Cultivos:

La erosión elimina la fertilidad de las tierras altas por el arrastre de su suelo. Este último se deposita en el lecho de los desagüaderos y causes de las corrientes de agua. Esto trae como consecuencia el mal drenaje de las tierras bajas que por lo demás son fértiles y productivas. Como puede estimarse, en ésta forma se limitan muchas extensiones de tierras aptas para la producción de cosechas.

### 3) Para Conservar los Nutrientes Vegetales:

La pérdida del suelo o capa arable por efectos de la erosión, automáticamente involucra la pérdida de los elementos nutrientes para las plantas. Son mayores las cantidades perdidas por erosión que la que puedan retener los cultivos cosechados. En éstas condiciones, es decir, sin control efectivo sobre la erosión, es prácticamente imposible mantener económicamente la fertilidad de los suelos agrícolas.

### 4) Para Conservar la Humedad:

Se explicó arriba que por medio del cultivo en curvas de nivel, los surcos sirven como obstáculos o diques que disminuyen la velocidad del agua de escorrentía. En ésta forma, el agua tiene más tiempo para infiltrarse dentro del suelo y saturarlo. Esto permite un abasto suficiente de humedad para ser aprovechada por el cultivo en crecimiento, sobre todo durante los períodos secos.

## AUMENTO DE LA EFICIENCIA MECANICA

El cultivo en contorno permite al tractor agrícola tirar de una carga uniforme a velocidades también uniformes. En éstas condiciones, estará automáticamente rindiendo más trabajo por galón de combustible, lo que significará una mayor economía y menor desgaste del equipo agrícola. Con éste sistema de cultivo se evitarán las sobrecargas pendiente arriba y falta de carga cuando la labor se efectúa pendiente abajo. Estas dos condiciones son las que resultan en un desperdicio de combustible y, por lo tanto, en mayores costos de producción.

## CONSIDERACIONES GENERALES

El cultivo en curvas de nivel es una práctica sencilla y de poco costo y, a la vez, fundamental. Generalmente constituye el primer paso para desarrollar un programa encaminado al buen manejo de suelo y agua. Sin embargo, ésta práctica por si sola no resuelve todos los problemas de la erosión. Debe de combinarse con otras, como rotaciones de cultivos, labranza apropiada, cantidades y clases de fertilizantes adecuadas y algunas otras prácticas de manejo de suelos.

La labranza en curvas de nivel por si sola es efectiva para contrarrestar la escorrentía y el consiguiente arrastre del suelo, en terrenos con pendientes hasta del 5% y con longitudes no mayores o que no excedan los 60 metros, o en pendientes hasta del 4% con longitudes máximas de 90 metros.

Lógicamente, éstas proporciones son afectadas en un sentido de aumento cuando se trate de cultivos como pastos y algunas leguminosas densas. Como regla general, cuando el valor de los desniveles o pendientes sobrepasan los límites ya citados, la aradura siguiendo las curvas de nivel, debe necesariamente combinarse con otras prácticas, tales como: barreras vivas, terrazas, cultivo en fajas, etc. En terrenos cuyos desniveles no sean mayores del 2%, no necesitan cultivarse en contorno como una defensa contra la erosión, pero la aplicación del mismo puede resultar muy conveniente para la conservación de la humedad.

Como una aclaración, hasta aquí se ha hecho referencia fundamentalmente a terrenos con pendientes tales que permiten la mecanización agrícola; en éstas condiciones podrán ser trabajados y sembrados con maquinaria siguiendo el contorno, con todos los beneficios que ésta práctica involucra. Ahora bien, en terrenos con pendientes pronunciadas o fuertes donde el equipo agrícola mecánico no puede funcionar, el trazo de las curvas de nivel servirá para el establecimiento de cultivos permanentes y otras prácticas que brinden protección del suelo. Siempre debe de tomarse muy en cuenta la capacidad agrológica de los terrenos.

Los cauces, zanjas y drenes empastados deben utilizarse siempre con el sistema de cultivo en contorno. En ésta forma los excesos de agua de los surcos son eliminados y conducidos fuera de los campos. El objeto de que los desagüaderos se encuentren recubiertos por vegetación es para impedir que los mismos se transformen en cárcavas o barrancos.

Los campos en curvas de nivel cuya pendiente es uniforme en una o dos direcciones son los más fáciles de trazar y cultivar. Sin embargo, algunas veces, se cultivan ciertos campos que tienen una topografía muy irregular; en éste caso el trazo en contorno puede ser impráctico y es necesario controlar la erosión principalmente por medio del empleo de grandes cantidades de cultivos para heno o pastos, dentro del sistema de cosechas que se adopte.

## TRAZO DE LAS CURVAS DE NIVEL

Hay varios instrumentos que se utilizan para éste fin, entre los cuales tenemos:

### a) NIVELADORES DE LECTURA DIRECTA

1.- Caballete.

### b) NIVELADORES DE LECTURA INDIRECTA

- 1.- Nivel de Mano
- 2.- Nivel de Abney
- 3.- Nivel de precisión.

Para el objeto del presente curso se tratará únicamente el nivel de lectura directa.

### 1.- CABALLETE

Es un instrumento de nivelación sumamente sencillo. Consiste fundamentalmente en una regla horizontal con patas de igual altura en sus extremos que la sostienen. En el centro de la regla se encuentra instalado un nivel. En el momento que la burbuja de éste último está fija en el centro, ambos puntos, sobre los cuales se están apoyando las patas, estarán a igual altura. Por consiguiente, si marcamos estos puntos convenientemente y desplazamos el caballete una serie de veces podremos marcar una curva cuyos puntos integrantes estén a la misma altura (Curva de Nivel)

A algunas veces resulta conveniente construir el caballete con una de sus patas ajustables, con el objeto de poder imprimirles a las curvas un cierto desnivel que facilite el drenaje de las aguas de lluvia.

El único cuidado que debe observarse en la construcción del caballete, es la plena seguridad que cuando la burbuja del nivel está en el Centro, las patas del mismo estén apoyándose sobre puntos de igual altura. Por lo tanto, debe de chequearse ésto y realizar los ajustes necesarios hasta tener la seguridad de que se cumple la anterior condición. Nunca deben iniciarse los trazos si el caballete no ha sido comprobado en éste sentido.

## PROCEDIMIENTO GENERAL

El primer paso para trazar las líneas guías de contorno, consiste en localizar o determinar la posición de la primera, para lo cual bastará con trazar una línea recta en la parte más pronunciada de la pendiente y, a continuación, caminar hacia abajo a través de la misma hasta que el punto alto en el terreno esté al nivel de la visual del operador. Este punto se marca y constituirá el origen de la primera curva. La distancia apropiada que se determina en ésta forma variará con la inclinación de la pendiente y con el área de lomas y prominencias.

En pendientes suaves la distancia será de 45 a 60 metros, y en pendientes desde moderadas a fuertes variará de 15 a 30 metros.

Sin embargo, cuando el área de la cima del terreno sea ancha y plana, la primera línea guía del contorno debe localizarse a no más de 15 metros abajo del punto en el que la pendiente cambie.

Si hay una hondonada en la parte superior del terreno, la primera curva de nivel debe localizarse empezando por el punto alto de la misma y luego caminando pendiente abajo hasta el nivel de la visual.

Este proceso puede necesitar otras líneas en las áreas del punto alto, arriba de la hondonada.

Estos puntos así organizados, constituyen el inicio de las curvas de nivel, las cuales se procede a trazar para que posteriormente sirvan de referencia o guías en la labranza y siembra del terreno en forma paralela a ellos.

Al ser utilizado el caballete se procederá de la manera siguiente:

En la estaca que marca la iniciación de la curva de nivel, se coloca la pata trasera del caballete y se mueve la delantera hasta que se determine un punto sobre el cual la burbuja del nivel ocupe el centro del mismo. Nuevamente se mueve la pata delantera del caballete hasta encontrar otro punto sobre el terreno de igual altura, el que quedará determinado en el momento en que la burbuja del nivel ocupe la posición central del mismo. En ésta forma se determinan una serie de puntos, todos de igual altura, y el caballete se moverá tantas veces como sea necesario hasta llegar al final del terreno. La serie de estacas enterradas marcarán la curva de nivel, en éste caso la primera.

Seguidamente se procederá a trazar la segunda curva de nivel en la misma forma que la primera, es decir, su origen

sobre la línea de la pendiente trazada inicialmente; la cuál guardará una separación, con relación a la anterior, determinada por la misma pendiente; es decir, en pendientes suaves y uniformes, éstas líneas guías podrán tener una separación hasta de 30 o 45 metros. En las pendientes más fuertes, lógicamente, deberán acortarse a distancias tales que posteriormente no dificulten las labores agrícolas. En ésta forma se trazan tantas líneas guías de contorno como sean necesarias.

Finalmente se procede a corregir las líneas guías con el objeto de eliminar curvas o ángulos muy forzados y a marcarlas por medio del arado (si es posible). Al arar, debe hacerse un contrasurco en cada línea haciendo bordos prominentes, volteando el primer surco ladera arriba y encimando al surco de regreso aproximadamente en una mitad de la tajada de dicho surco. Esta última operación forma un lomo o camellón que marca las curvas guías en forma permanente.

Muchas veces se acostumbra también, dejar un ligero desnivel en los últimos 30 metros de la curva, con el objeto de drenar los excesos de lluvia hacia desagüaderos empastados, enderezar la curva de nivel y eliminar o suprimir algunas curvas interrumpidas.

## PRACTICAS MECANICAS DE CONSERVACION DE SUELOS

- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1.- Cultivo en contorno | 4.- Surcado lister        |
| 2.- Terrazas            | 5.- Labores subsoleo      |
| 3.- Acequías de ladera  | 6.- Canales de desviación |

-Concepto de prácticas Mecánicas:

Son aquellas actividades que se realizan con implementos agrícolas o aditamentos especiales y que consisten en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en terrenos con pendiente.

Objetivo:

Mostrar criterios a seguir para la construcción de obras, con el fin de manejar el agua de lluvia, evitar la erosión e incrementar la productividad.

### 1.1 CULTIVO EN CONTORNO:

Esta práctica siempre es recomendable para la conservación del suelo, y consiste en el trazado de surcos en forma

perpendicular a la pendiente natural del terreno, siguiendo curvas de nivel. Los surcos constituyen un obstáculo al escurrimiento y permite que se acumule el agua a lo largo de los surcos, lo cual permite su infiltración en el suelo.

Cuando la intensidad de las lluvias es excesiva, el agua acumulada puede rebasar la capacidad de almacenamiento de los surcos probocandose el desbordamiento, por escurrimiento y erosión. En éstas situaciones el cultivo en contorno debe combinarse con otras prácticas mecánicas como Acequías de ladera o terrazas.

Objetivos:

- a) Reducir el escurrimiento superficial, probocar mayor infiltración del agua en el suelo y aumentar la humedad disponible para las planta.
- b) Disminuir la erosión laminar de los suelos.
- c) Evitar la formación de carcavas en terreno con pendiente

#### USO DEL CULTIVO EN CONTORNO

Se usa en terrenos con pendientes mayores del 5%; cuando ésta es mayor del 5% es conveniente combinar ésta práctica con otras prácticas mecánicas como terrazas y/o acequías de ladera.

Como ya se dijo esta práctica tiene limitaciones en regiones con altas precipitaciones y donde los suelos sean arcillosos (muy pesados) o que tengan sub-suelo impermeable.

Cuando se tiene éstas condiciones del medio se puede modificar el trazado de surcos para darles un desnivel al 1 al 3 por mil (0.1 a 0.3%).

Para desalojar excesos de agua hacia drenajes naturales u otros sitios de descarga previamente protegidos con pastos.

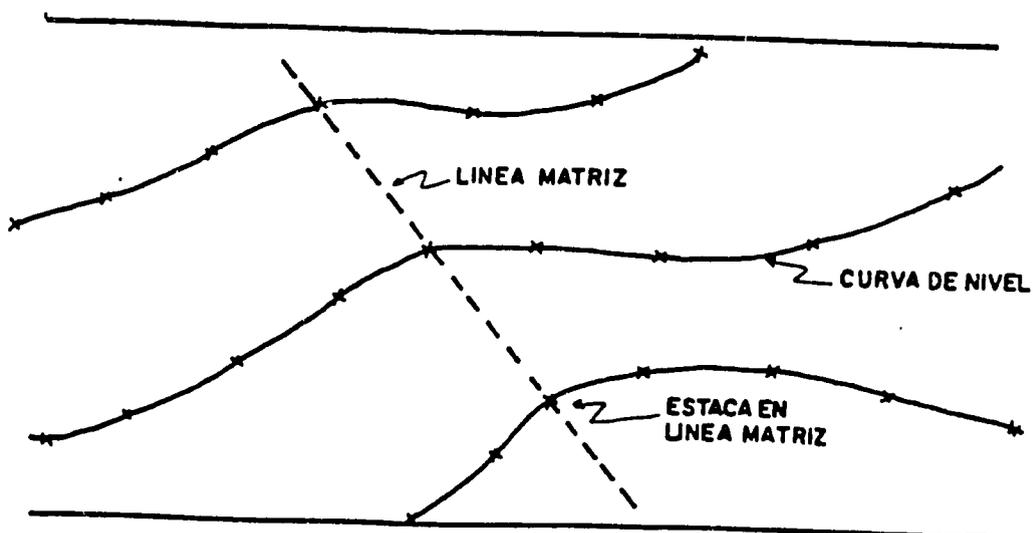
Para el establecimiento del cultivo en contorno es necesario el trazo de "curvas de nivel", los cuales servirán de guía para las siembras y/o establecimiento del cultivo.

## TRAZO DE CURVAS DE NIVEL

El trazo de nivel se efectúa en terrenos en los cuales se quiere implantar el cultivo en contorno, en fajas implementación de barreras vegetativas o para la implementación de cualquier otra práctica mecánica como acequias de ladera, terrazas, etc. La diferencia del trazo para aplicar cualquiera de éstas prácticas lo constituye el distanciamiento entre curva y curva o bien el intervalo vertical entre las mismas.

### Procedimiento:

- a) Determinar la máxima pendiente homogénea del área; para esto se determinan diferentes pendientes existentes en el área, localizando las que visualmente aparentan ser las mayores para seleccionar la línea con mayor pendiente. En caso de terrenos muy ondulados se recomienda dividir el terreno en sub-áreas para determinar en cada sub-área la mayor pendiente. (ver hoja siguiente).
- b) Trazo de línea matriz. En el lugar de mayor pendiente se traza una línea guía en dirección de la pendiente, poniendo estacas en cada uno de los puntos en donde se ubicará el inicio del trazo de cada curva; es decir de acuerdo al distanciamiento de curva (Intervalo vertical).
- c) Trazo de Curva: Una vez determinada la línea matriz se traza la curva de nivel, partiendo del nivel de cada estaca de la línea matriz, utilizando para el efecto un nivel de mano, clinómetro, nivel rústico o nivel de precisión; colocando estacas en los puntos los cuales se encuentran al mismo nivel del de la estaca de partida (ver esquema).



a.1. Determinación de distanciamiento. Dependiendo del uso que tendrá el trazo de curvas de nivel así será el criterio para determinar su distanciamiento.

En el caso de cultivo en contorno, un procedimiento práctico es determinar el "Intervalo vertical" (IV) que separará cada curva mediante la aplicación de las siguientes formulas:

1) IV (en pies)  $sp/2 + 2$  (para pendientes menores de 6%).

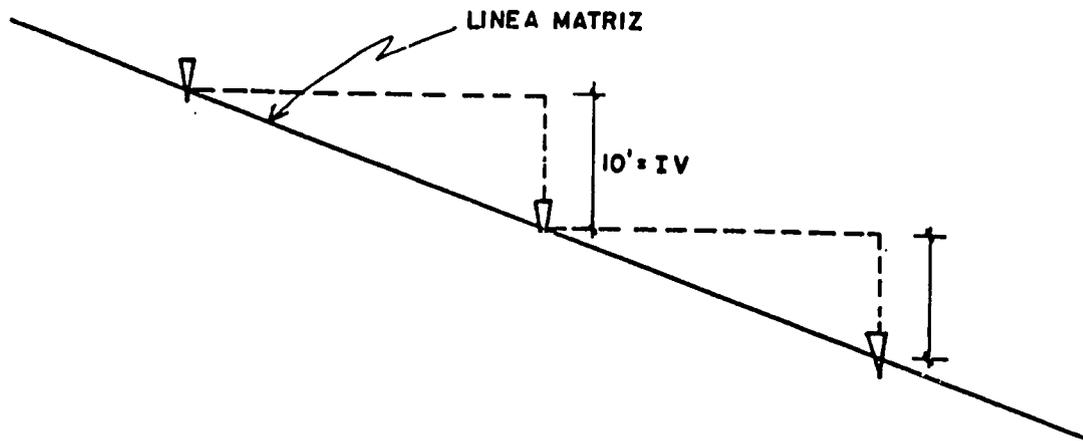
2) IV (en pies)  $sp/3 + 6$  (para pendientes mayores de 6%).

%p = porcentaje de máxima pendiente en el terreno o su-área del terreno.

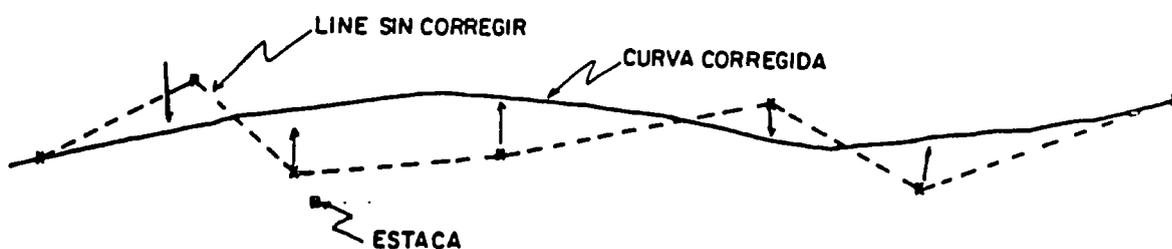
**EJEMPLO:**

Determinar el espaciamiento vertical (IV) de las curvas de nivel en un terreno que tiene el 12% de pendiente máxima.

$$\text{IV en pies} = 12/3 + 6 = 10 \text{ pies}$$



- d) Corrección de la Curva de Nivel: Una vez trazada la curva se debe observar que esta quede más o menos uniforme, es decir que no existan quiebres muy pronunciados. Si este es el caso deberá corregirse la curva, tomando como criterio que si se baja una estaca de la línea deberá compensarse con la siguiente:



- e). Marcado de la curva: Si la curva de nivel está en un terreno que es mecanizado en su preparación y cultivo, la curva se puede marcar utilizando un surqueador o arado de vertedera. En caso de que esto no se pueda realizar, o sea que el terreno no es apto para ser mecanizado, el marcado de la curva se puede hacer a mano, o bien sembrando una barrera vegetativa (pasto) o cualquier material brotón para que quede de señal de la curva. Esto puede hacerse en forma de línea continua o bien en puntos que sirvan de referencia.

Generalmente se prefiere una línea continua ya que de una vez se estaría estableciendo una barrera vegetativa. En el caso que las curvas de nivel sean utilizadas para la construcción de otras estructuras como terrazas o acequias de ladera, el marcado se quedara unicamente con estacas o una distancia de 10 mts. entre estaca y estaca sobre la curva.

## 1.2 TERRAZAS

DEFINICION: Son bordos de tierra o combinación de bordos y canales construidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno.

### OBJETIVOS:

- a) Reducir la erosión del suelo.
- b) Aumentar la infiltración del agua en el suelo.
- c) Desalojar la escorrentía superficial a velocidad controlada.
- d) Mejorar la superficie de terrenos acondicionadola para las labores agrícolas.
- e) Reducir el contenido de sedimentos en las aguas de escorrentía
- f) Disminuir escurrimientos máximos para proteger áreas bajas.

Para que un sistema de terrazas sea efectivo debe combinarse con otras prácticas tales como:

1. Cultivo en contorno
2. Cultivo en fajas
3. Uso del suelo de acuerdo a su capacidad
4. Causes de drenaje natural empastado
5. Estructuras de desviación de escorrentía

## Factores de Adaptación de terrazas

Clima: Se adaptan a condiciones variadas del clima lo que difiere son los tipos de terraza a utilizar, dependiendo de la función. Se pueden usar terrazas para almacenar agua en áreas de baja precipitación y terrazas para desalojar excesos de agua en zonas con alta precipitación.

### Erosión:

Cuando se usan para recuperar terrenos erosionados su construcción es costosa, mantenimiento constante y operaciones de labranza difíciles.

### Topografía:

Al aumentar la pendiente, aumenta el costo de construcción y mantenimiento.

No hay rangos de pendiente definidos, sino esto es en función de costos de construcción y de prácticas adicionales por aplicar.

### Pedregosidad:

Suelos muy pedregosos no permiten la construcción de terrazas en forma práctica y económica.

### Suelos:

El suelo determina si se usará la terraza para almacenamiento o para desague.

Suelos profundos implican terrazas para almacenar agua. Si son suelos poco profundos e impermeables implican terrazas para desague.

De acuerdo a la profundidad estará también los cortes permisibles que pueden hacerse.

## CLASIFICACION DE LAS TERRAZAS.

### 1.- SEGUN CONDICION DE ESCORRENTIA

- a) Terrazas con declive o de drenaje
- b) Terrazas a nivel

### 2.- De acuerdo al tipo de sección transversal.

- a) Terrazas de base ancha
- b) Terrazas de contrapendiente abrupta
- c) Terrazas de base angosta o formación sucesiva

d) Terrazas de canal ancho o de Zingg

e) Terrazas de banca

3.- De acuerdo al tipo de desague

a) Terrazas con desague a un cauce empastado

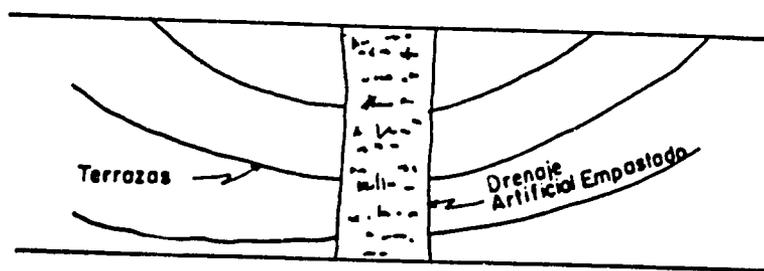
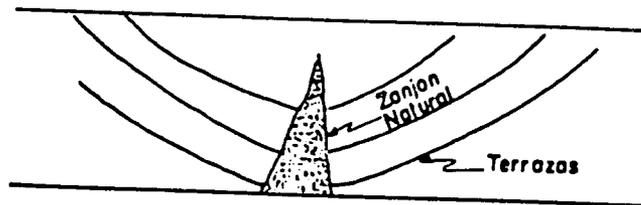
b) Terrazas con desague a un sistema de drenaje superficial

c) Terrazas de absorción

1. De acuerdo a condición de esorrentía.

### TERRAZAS CON DECLIVE O DE DRENAJE.

Este tipo se usa en áreas donde la precipitación es abundante o las características de permeabilidad y profundidad de los suelos propician la acumulación de excesos de agua que es necesario desalojar hacia una salida natural o artificial.



### TERRAZAS A NIVEL

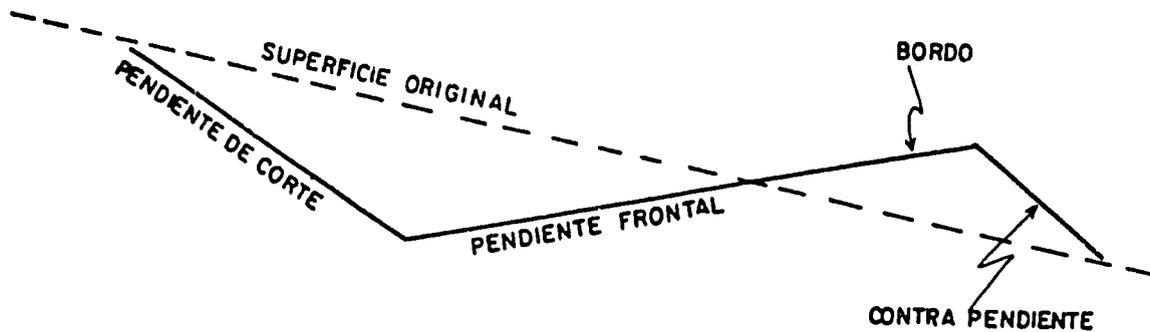
Se recomiendan en áreas con precipitaciones bajas a moderadas, donde los suelos son profundos con buena permeabilidad y capaces de absorber toda el agua de lluvia. Este tipo se construye con un bordo y canal amplio de manera que el agua se almacene a lo largo de la terraza. Algunas veces se cierran los extremos de las terrazas para almacenar y que se infiltre el agua.

2. De acuerdo a tipo de sección transversal.

La sección transversal de las terrazas esta formada por un bordo y de un canal.

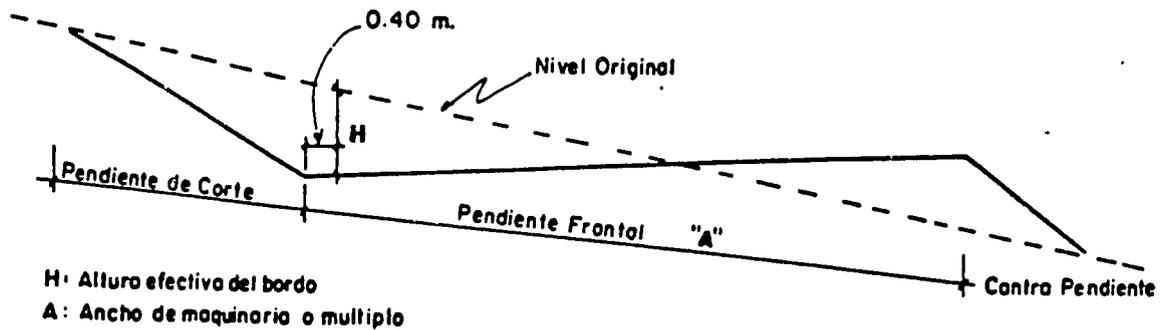
Dicha sección consta de 3 pendientes laterales conocidas como:

- Pendiente de corte
- Pendiente mortal
- Contrapendiente



a) Terrazas de base ancha.

Se constuyen de manera que se pueda laborar en toda su sección transversal. Las pendientes del bordo y el canal se proyectan para permitir el paso de la maquinaria y cubrir los requerimientos de ancho de la misma.



Terrazas de contrapendiente

Se construye con una contrapendiente abrupta la cual generalmente se protege de vegetación permanente. Se usa para mejorar la configuración del terreno.

Terrazas de base angosta: Bordo sembrado o protegido con pasto.

Terrazas de Zinnq o de canal amplio.

Se diseña para la utilización máxima del agua. El ancho del canal varía en función de:

- La pendiente
- Ancho de maquinaria

- profundidad

- Tipo de cultivo y  
Precipitación

Terraza de banco: Aprovecha eficientemente el agua de lluvia o de riego.

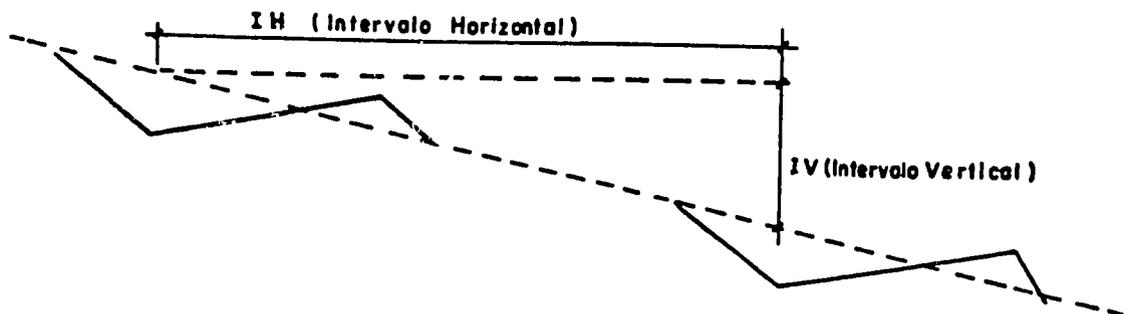
### CRITERIOS DE DISEÑO

Se debe considerar:

- Espaciamiento entre terrazas
- Características del canal
- Forma de sección transversal

#### 1. Espaciamiento:

- De acuerdo al Intervalo vertical IV
- De acuerdo al Intervalo Horizontal IH  
(IH=intervalo horizontal)



A) Calculo: de acuerdo a pendiente

$$IV = (\%p/364+2) 0.305$$

IV = Intervalo vertical en m.

p = % pendiente

3 = Factor para areas con  $P < 1,200$  mm.

4 = Factor para areas con  $P > 1,200$  mm.

0.305 = Factor de conversión de pies a (m)

B) Calculo de acuerdo a la precipitación, pendiente y tipo de suelo.

$$IV = a \times b + b$$

IV = Intervalo vertical

a = variable en función de la intensidad de la precipitación 0.09 a 0.18

p = pendiente del terreno (%)

b = variable que depende de la erodabilidad del suelo. métodos de cultivo y prácticas de manejo.

- Para determinar el valor de "a" se deben tener registros y mapas.

- Valores de "b"

0.30	Drenaje lento.	Cubierta Veg. escasa
0.45	lento rápido	abundante escasa
0.60	rápido	abundante

$$IH = IV/p \times 100$$

1.3 ACEQUIAS DE LADERA:

Consisten en zanjas de 30 centímetros de fondo y taludes de 1:1, con profundidad y pendiente variable.

La profundidad estará de acuerdo al volumen de escurrimiento. La pendiente de acuerdo a su función, es decir, es construida para almacenar y absorber agua en el perfil del suelo, si su función es drenar el exeso de escurrimiento de agua hacia un drenaje natural o empastado. Para la absorción se utiliza el suelo de textura mediana a gruesa y como drenaje el de textura arcillosa y con abundante precipitación.

Generalmente se construyen en terrenos que se inician con cultivos y que tienen peligro de erosión hídrica o bien en terrenos que no tienen ninguna protección o que estén siendo afectados por erosión.

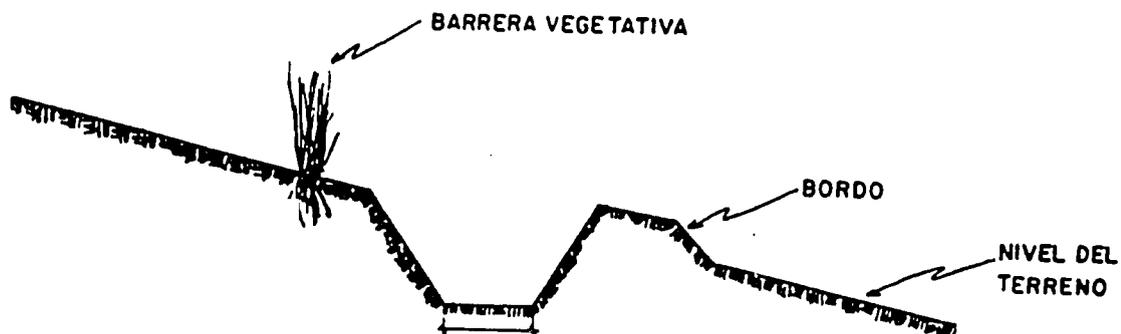
#### OBJETIVOS DE SU USO:

En resumen los objetivos son:

- a.- Provocar protección del suelo contra escorrentía en regiones con precipitaciones altas.
- b.- Evaluar y controlar exesos de agua de escorrentía hacia arcos de drenaje natural o empastado.
- c.- Proveer almacenamiento por absorción al perfil del suelo.

#### ADAPTACION:

Se adaptan en suelos de textura mediana y fina, en pendientes del 10 al 30%. El distanciamiento depende de otras practicas acompañantes al momento de su aplicación.



#### ESPACIAMIENTO ENTRE TERRAZAS DE BANCAL.

Para este tipo de terrazas no se recomienda el uso de formulas anteriores.

#### PRACTICAS AGRONOMICAS O VEGETATIVAS:

Son las que consideran el desarrollo de plantas o cultivos, la vegetación impide el efecto erosivo por medio del follaje el cual amortigua la fuerza del impacto de las

gotas sobre la superficie del suelo y las raíces que evitan que el suelo sea arrastrado, por el escurrimiento superficial.

#### OBJETIVOS:

1. Establecer una cubierta vegetal en áreas específicas
2. Evitar o disminuir la erosión
3. Dar mejor uso de los terrenos al mejorar sus características físicas y químicas.

#### PRACTICAS PRINCIPALES:

- |                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| a. Rotación de cultivos  | f. Huertos en terrenos inclinados |
| b. Cultivo en fajas      | g. Surcado Lister                 |
| c. Abonos verdes         | h. Cortinas rompevientos          |
| d. Cultivos de cobertura | i. Reforestaciones.               |
| e. Barreras vegetativas  |                                   |

#### a) ROTACION DE CULTIVOS

Es la sucesión de cultivos diferentes en ciclos continuos sobre un área de terreno determinada. Debe programarse en base a las condiciones ecológicas y económicas de la región, siendo conveniente incluir al menos una leguminosa dentro de la misma.

#### OBJETIVOS:

- a. Mejorar o mantener la fertilidad de los suelos
- b. Prevenir la incidencia de plagas, maleza y enfermedades.
- c. Controlar la erosión del suelo.
- d. Asegurar un programa balanceado de trabajo en áreas de riego y en las de temporal mantener cubierto el suelo.
- e. Prevenir o limitar los períodos críticos de requerimientos de agua de riego.
- f. Conservar la humedad del suelo de una estación a la próxima.

#### PRINCIPIOS AGRONOMICOS:

Para la planificación de una rotación se deben tomar en cuenta los siguientes principios:

- a. Crecimiento alternado de cultivos son sistemas radiculares que se desarrollen a diferentes profundidades.
- b. Alternar cosechas susceptibles a enfermedades con resistentes
- c. Alternar cultivos agotadores del suelo con aquellos mejoradores de la fertilidad.
- d. Tomar en cuenta las posibilidades de mercado.
- e. Alternar cultivos con diferentes requerimientos críticos de labranza, agua, mano de obra, etc.

**USOS:**

La rotación de cultivos se recomienda usarla en:

- a. Terrenos de clase II, III y IV que presenten problemas como:
  - Deficiencia de humedad
  - Erosión
  - Topografía
  - Textura gruesa o fina
  - Permeabilidades bajas o altas
- b. Terrenos de clase I. (aunque no presenten factores limitantes. No es imprescindible).

**TIPOS DE ROTACION:**

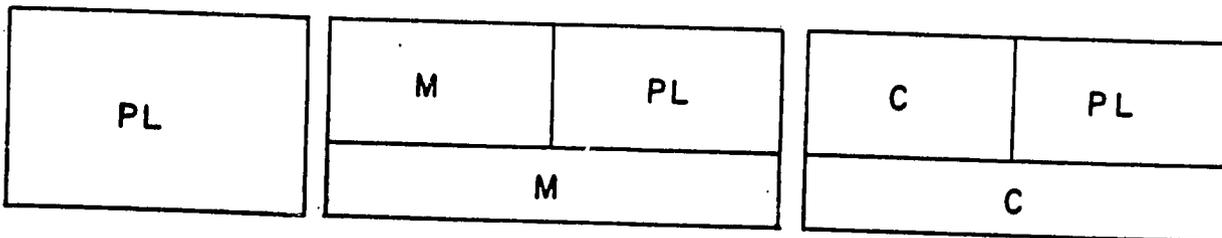
De acuerdo con la sucesión de cultivos y su distribución hay dos tipos:

- a. Rotación por fracciones
- b. Rotación por áreas únicas

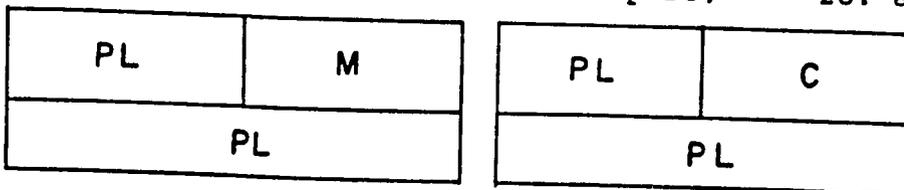
**a. ROTACION POR FRACCIONES:**

Este tipo consiste en dividir el área o terreno en lotes sembrados con los diferentes cultivos que forman el ciclo. Al dividir el terreno se debe tomar en cuenta su capacidad de uso y deben agruparse de ser posible de acuerdo a su clase.

EJEMPLO: Rotación de: - pastos y leguminosas (PL)  
- Maíz (M)  
- Cereales (C)  
Tiempo: 4 años



al inicio      1er. año (1er. paso)      2o. año (2o. paso)



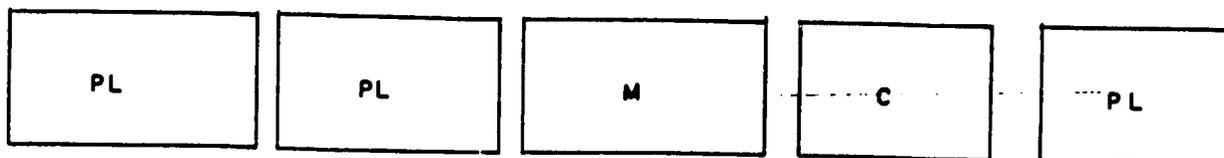
3er. año (3er. paso)      4o. año (4. paso)

y se inicia de nuevo paso 1.

### ROTACION EN AREAS UNICAS:

Consiste en sembrar un lote el primer año con cierto cultivo y en años subsecuentes los cultivos que forman el ciclo.

Ejemplo. Tiempo 4 años con pastos y leguminosas, maíz y cereales.



1er. año      2do. año      3er. año      4 año      1er año  
o se cambia el ciclo de  
acuerdo a necesidades.

### Conceptos:

Composición: Son el tipo de cultivos que constituirán el ciclo, especie o clase.

Duración: Es el tiempo en que debe estar sembrado con la serie de cultivos del ciclo.

### Respecto a cultivos:

- Cultivo denso ó tupido: Son aquellos que cubren totalmente el terreno mientras están en desarrollo: Ejem. trigo, cebada, alfalfa, arroz.
- Cultivos limpios o de escarda: Son los que se siembran en surcos. Ejem. Maíz, algodón, tabaco, frijoles etc.

Factores a tomar en cuenta para seleccionar los cultivos para una rotación.

#### a. Precipitación de la zona:

Se analizan en relación con el proceso erosivo de tal manera de definir las exigencias de protección.

b. Velocidad y frecuencia de los vientos:

Determinar la época cuando los vientos son más fuertes.

c. Grado de erosión de los suelos:

Esto indicará la duración del ciclo rotacional y el destino de cultivos.

d. Facilidades de mercado.

e. Condiciones ecológicas.

f. Condiciones socio - económicas del agricultor.

REQUISITOS QUE DEBE LLENAR UN BUEN CICLO ROTACIONAL.

a. Incluir al menos una leguminosa.

b. Si es posible establecer praderas de pastos + leguminosas para pastoreo.

c. El número de orden y espaciamiento de los cultivos limpios y densos debe estar acorde con la erosión actual de los suelos. Suelos más erosionados deben preferirse cultivos densos y/o praderas.

d. Debe procurarse que el terreno permanezca la mayor parte cubierta con vegetación, cultivada o espontánea.

e. En época lluviosa los terrenos deben estar protegidos con cultivos o cualquier cubierta vegetal.

Ejemplo:

	40 Has	-	clase I - II
Finca con 90 Has.	30 Has	-	clase III
	20 Has	-	clase IV

Condición:

Extensiones iguales a la producción de forrajes, trigo y maíz.

Cual sería la rotación suponiendo que todos los terrenos producen cosechas rentables en los 3 tipos de cultivo.

Posible Solución:

De acuerdo a las clases agrológicas de uso potencial:

- a). En terrenos de clase I y II se puede sembrar mayor proporción de maíz; en clase III mayor proporción de trigo y en los de clase IV mayor cantidad de forrajes.
- b). Clases I y II (40 has) se pueden dividir en 4 lotes de 10 Has. c/u y establecer maíz, maíz, maíz, y trigo: Para tener todos los años: 30 Has maíz + 10 Has trigo.
- c). Clase III (30 Has) dividiendo en lotes de 10 Has. para rotación de trigo, trigo, forrajes para tener todos los año: 20 Has de trigo + 10 de forraje.
- d). Clase IV (20 Has ) se dedicarán solo a forrajes:

20 Has de forraje

Total 30 Has Maíz clase I y II

30 Has trigo, 20 clase III y 10 clase I y II

30 Has forraje clase III y clase IV.

Total de lotes - 9. de 10 Has c/u

RESUMEN:

LOTES	AREA (Has)	CULTIVO 1r. año	CULTIVO 2o. año	CULTIVO 3r. año	CULTIVO 4o. año	CLASE AGROLOGICA
1	10	M	T	M	M	I y II
2	10	M	M	T	M	
3	10	M	M	M	T	
4	10	T	M	M	M	
5	10	T	E	T	T	III
6	10	T	T	E	T	
7	10	E	T	T	E	
8	10	E	E	E	E	
9	10	E	E	E	E	

### CULTIVO EN FAJAS:

"Es un sistema utilizado en la conservación de suelos que consiste en cultivar los terrenos de pendiente moderada en fajas de ancho variable, con cultivos limpios o de escarda y cultivos densos los que generalmente siguen proceso de rotación".

### VENTAJAS:

a. Protege a los terrenos de la erosión porque:

- Le disminuye el impacto de las gotas de lluvia y aumenta la oportunidad de infiltración del agua, reduciendo al escurrimiento: en las fajas con cultivo denso, disminuyendo la erosión.

- Disminuye el efecto del escurrimiento en las fajas con cultivos limpios.

b. Evitan hasta un 60% la erosión en terrenos con pendiente moderada y cuando se combina con algún tipo de terraza hasta el 90%.

c. Permite aprovechar terrenos clase II, III, y IV donde la pendiente puede llegar hasta 16%.

### Tipo de cultivo en fajas

Se tiene dos tipos de Fajas dependiendo del problema: Cuando la erosión o el peligro de que ocurra es provocada por escurrimiento de agua superficial se utiliza el Tipo de Faja en contorno o sea transversales a la pendiente.

Si el problema es ocasionado por el viento se usa el Tipo Transversales al viento, o sea a la dirección del viento, generalmente en terrenos planos.

### ADAPTACION:

Especialmente son apropiados para terrenos de clase II, se pueden usar también en clase III y IV para combinados con Acequias de ladera o terrazas.

## DIMENSIONES:

Pendiente	Ancho de Faja Horizontal
2 - 4	27 metros
4 - 3	24 metros
8 - 16	2. metros

## C. INCORPORACION DE MATERIA ORGANICA

La incorporación de Materia orgánica tiene las siguientes ventajas:

1. Mejora las condiciones físicas del suelo (estructura permeabilidad).
2. Mejora la CRH y CRF.
3. Estimula los procesos químicos y biológicos en el suelo.
4. Suministra nitrógeno al suelo a través de su descomposición por parte de microorganismos.

Se considera el contenido de Materia Orgánica adecuado en un suelo cuando está entre 5 y 10 %.

La incorporación de Materia Orgánica se puede efectuar a través de:

- a) Incorporación de Abonos Verdes (Leguminosos)
- b) Compost (Aboneras)
- c) Incorporación de desechos de cosecha

## INCORPORACION DE ABONOS VERDES

Estas son plantas leguminosas que tienen la característica de fijar nitrógeno del aire, en las raíces (nodos) por acción de bacterias. Deben ser incorporados cuando se encuentran en plena floración (50%) ya que es la época en que más cantidad de nitrógeno contiene en los nodulos de las raíces.

## Algunas Plantas utilizadas en nuestro medio:

Frijol luna	(Phaseolus lunatus)
Frijol terciopelo	(Stizolobium deerimgienam)
Kudzú tropical	(Pueraria javanica)
Frijol Vaca (Cow pea)	(Vigna sinensis)
Gandul	(Caianus indicus)
Frijol arroz	(Phaseolus calgaratus)
Choreque	

### Factores Limitantes en su uso:

- a) Costo de semillas
- b) Diseminación de enfermedades o plagas que después pueden causar problema (poner cuidado).
- c) En zonas secas o baja precipitación pueden competir con el cultivo, en el consumo de agua ya que necesita para su descomposición. Si se tiene riego no hay problema.

### COMPOST:

Se efectua a traves de la elaboracion de aboneros donde se descompone la materia organica. Se deben usar de 30 - 80 toneladas/Ha.

### DESECHOS DE COSECHA:

Incorporación de desechos de cosecha en forma mecánica, picando previamente el desecho e incorporándola al momento de preparar el suelo.

### d) CULTIVO DE COBERTURA:

Práctica vegetativa que tiene como finalidad formar y establecer una cubierta vegetal en el terreno para conservarlo y mejorarlo.

Algunos involucran en esta práctica todos los cultivos densos y otras veces los abonos verdes.

### OBJETIVOS:

- a. Desarrollar una cubierta vegetal densa para disminuir las pérdidas del suelo por erosión.
- b. Reducir el escurrimiento superficial.
- c. Incrementar la infiltración.
- d. Se pueden usar algunas veces como abono verde.

### DESVENTAJAS:

- a. Costo de semillas para algunas especies elevado.
- b. Costo del establecimiento de la cobertura.
- c. Posibilidad que la cobertura sea hospedera de plagas o enfermedades.
- d. Competencia entre cobertura y cultivo base.

## USO DE LA PRACTICA:

Clases de la IV y VI que presentan problemas o factores limitantes de topográficos y/o erosión.

En clase I su función básica es reponer materia orgánica.

En clases II - IV, su función además de proporcionar materia orgánica, disminuir escurrimiento superficial.

En clase VI, cuando se hace cultivo limpio a mediados del cultivo se puede sembrar pastos para que quede definitivo.

En suelos de textura gruesa donde hay fuertes lluvias, o terrenos livianos con fuertes vientos también es recomendable.

## CARACTERISTICAS DESEABLES EN PLANTAS COBERTERAS.

- a. Que se adapte a las condiciones ecológicas
- b. Que sea de habito rastrero.
- c. La cobertera debe tolerar las condiciones propias de la asociación. La sombra no limite su crecimiento.
- d. De preferencia la cobertura debe ser una leguminosa que se pueda usar como abono verde.

### 1. CULTIVO DE COBERTURA EN PLANTACIONES DE ARBOLES:

Se usa entre los espacios de una plantación de árboles, y puede utilizarse como forrajes, heno, grano o abono verde.

- a. Cobertura completa: Cuando se cubre toda el área que deja el cultivo base.
  1. permanente (alfalfa, pastos) 2 o 3 años.
  2. periódicas (crotalaria) una parte del año.

- b. Cobertura Parcial: Cuando no se cubre todo el espacio libre y deja espacio para el paso de maquinaria.

### 2. CULTIVOS DE COBERTURA EN COSECHAS ANUALES:

Cuando se desarrollan cultivos limpios (maíz, tabaco, algodón, etc.) se puede implantar cultivo de cobertura en un momento tal que la competencia sea mínima. (Esto casi no se usa en nuestro medio).

La variante es cuando se quiere instalar una pradera, se siembra el cultivo limpio y luego la pradera o pasto, al cosechar, ya queda la pradera.

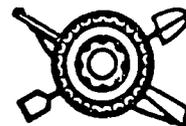
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #13: Inventario de Cuencas Hidrográficas**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# INVENTARIO DE CUENCA HIDROGRAFICA<sup>1</sup>

Nombre de Cuenca la Hidrográfica: \_\_\_\_\_  
Localización: \_\_\_\_\_  
Tributaria a: \_\_\_\_\_  
Area: \_\_\_\_\_

## 1 Elementos Humanos

### 1.1 Propietario, uso y desarrollo de terreno

- 1.1.1 Propietario - mapas
- 1.1.2 Propietario - descripción y estadística

#### 1.1.2.1 Público

- 1.1.2.1.1 Area por Agencia
- 1.1.2.1.2 Uso; demandas

#### 1.1.2.2 Privado

##### 1.1.2.2.1 Areas por clases de propietario

- 1.1.2.2.1.1 Corporación
- 1.1.2.2.1.2 Privado, grande
- 1.1.2.2.1.3 Privado, mediano
- 1.1.2.2.1.4 Privado, pequeña

### 1.1.3 Características Culturales (Descripción y mapas)

- 1.1.3.1 Areas Urbanas (Ciudades, Pueblos, Aldeas, etc.)
- 1.1.3.2 Rutas de Transporte y Comunicación (Carreteras, Caminos, Ferrocarril, etc.)
- 1.1.3.3 Reservas de Agua, Represas, Canales
- 1.1.3.4 Areas Arqueológicas

---

<sup>1</sup>Fuente: Satterund, Donald R. 1972. Wildland Watershed Management. The Ronald Press Company, New York. pp 340-343.

## **1.2 Población - descripción y estadísticas**

### **1.2.1 Cantidad**

**1.2.1.1 Dentro la cuenca**

**1.2.1.2 Afuera de la Cuenca, pero usando servicios de la cuenca**

### **1.2.2 Fuentes de trabajo y el uso de recursos de la cuenca**

**1.2.2.1 Madera (cantidad, tipo de actividad, valor, problemas)**

**1.2.2.2 Pasto o Forraje (cantidad, tipo de actividad, valor, problemas)**

**1.2.2.3 Vida Silvestre (cantidad, tipo de actividad, valor, problemas)**

**1.2.2.4 Recreación (cantidad, tipo de actividad, valor, problemas)**

**1.2.2.5 Minerales (cantidad, tipo de actividad, valor, problemas)**

**1.2.2.6 Agua**

**1.2.2.6.1 Leyes, tipo, derechos**

**1.2.2.6.2 Usos, doméstico y municipal (quién, cuanto, donde, valor)**

**1.2.2.6.2.1 Agricultura**

**1.2.2.6.2.2 Industria**

**1.2.2.6.2.3 Recreación y Vida Silvestre**

**1.2.2.6.3 Problemas (quién, cantidad, donde, valor)**

**1.2.2.6.3.1 Cantidad**

**1.2.2.6.3.2 Régimen**

**1.2.2.6.3.3 Calidad**

### **1.2.3 Condiciones Sociales**

**1.2.3.1 Historia y tradiciones**

**1.2.3.2 Organizaciones - sociales, políticas, etc.**

**1.2.3.3 Estado técnico y educacional**

- 1.2.3.4 Liderazgo humano, sus características y actitud mental
- 1.2.3.5 Desarrollo planificado

## **2 La Cuenca Hidrográfica**

### **2.1 El Ambiente Físico (mapas, datos descriptivos y estadísticos)**

- 2.1.1 Topografía y sistema de drenaje
- 2.1.2 Forma de tierra y geología
- 2.1.3 Suelos

- 2.1.3.1 Profundidad hidrológica (características de almacenamiento)
- 2.1.3.2 Permeabilidad y drenaje interno
- 2.1.3.3 Características de superficie (infiltración y erosionabilidad)
- 2.1.3.4 Estabilidad
- 2.1.3.5 Mecánica de suelos y otras características de ingeniería

### **2.2 Clima (mapas, datos descriptivos y estadísticos)**

#### **2.2.1 Precipitación**

##### **2.2.1.1 Lluvia**

- 2.2.1.1.1 Cantidad, distribución por época, intensidad/duración, frecuencia, sequía
- 2.2.1.1.2 Otros factores

- 2.2.1.1.2.1 Dirección del viento, barlovento, ruta de tormentas

#### **2.2.2 Fuentes de energía**

- 2.2.2.1 Distribución de irradiación (estacional y regional)
- 2.2.2.2 Patrones en los movimientos de masas de aire
- 2.2.2.3 Temperatura - distribución estacional y regional, incluyendo promedios, extremos, etc.
- 2.2.2.4 Perdidas potenciales de agua - evaporación

## **2.3 Esguerrimiento de Agua**

### **2.3.1 Cantidad - total y estacional**

### **2.3.2 Régimes**

**2.3.2.1 Período de alto caudal - volúmenes, frecuencias, tiempo de concentraciones por localidad y causa**

**2.3.2.2 Período de bajo caudal - cantidades, frecuencias, tiempo, localidades**

### **2.3.3 Calidad**

**2.3.3.1 Turbiedad y sedimento**

**2.3.3.2 Otras Impurezas (excluyendo sedimentación)**

**2.3.3.3 Temperatura**

**2.3.3.4 Otras características físicas, químicas y bióticas que pueden ser importantes (nivel de oxígeno, nutrientes, alga, peces, pH)**

## **2.4 Características de lecho (incluyendo áreas inundables)**

**2.4.1 Densidad**

**2.4.2 Forma de red de drenaje**

**2.4.3 Pendiente**

**2.4.5 Orden de afluentes**

**2.4.6 Capacidades - de lechos y áreas inundables**

**2.4.7 Forma de cauce y material**

**2.4.8 Condición (tipo o clases de erosión)**

**2.4.9 Area de afluente ó afluentes**

## **2.5 Vegetación**

### **2.5.1 Bosque**

#### **2.5.1.1 Sobrebosque**

**2.5.1.1.1 Tipo**

**2.5.1.1.2 Densidad**

**2.5.1.1.3 Edad**

**2.5.1.1.4 Calidad de sitio**

**2.5.1.1.5 Riesgos (plagas, enfermedades, fuego, etc.)**

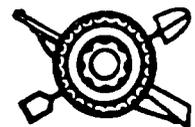
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #14: Disposición de Mejoramiento de Cuencas  
Hidrográficas**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



## **DISPOSICION DE MEJORAMIENTO DE CUENCA HIDROGRAFICA**

- A. Propósito y objetivos del mejoramiento de cuencas hidrográficas**
- B. Descripción del área**
  - 1. Localización general
  - 2. Principales drenajes y fuentes de agua (tributarios mayores)
  - 3. Topografía, incluyendo pendiente y aspecto
  - 4. Vegetación y hojarasca, que incluya el porcentaje del manto vegetal y el tipo de vegetación
  - 5. Información sobre suelos, que incluya profundidad y textura, porcentaje de material, susceptibilidad a la erosión, y potencial de productividad
  - 6. Clima
  - 7. Mejoramientos aguas abajo y usos
- C. Descripción del Problema**
  - 1. Causas de deterioro de la cuenca hidrográfica
  - 2. Clases de problemas
- D. Diseño del proyecto**
  - 1. Diseño para resolver el problema (puede incluir fotografías y dibujos)
- E. Necesidades de equipo y personal**
- F. Monitoreo**
  - 1. Durante el proyecto de mejoramiento
  - 2. Después del proyecto de mejoramiento

## **G. Fotografías**

- 1. Fotografías que muestran las condiciones actuales del área**
- 2. Establezca y describa puntos fijos, haga en ellos fotografías para hacer comparaciones de antes y después del proyecto**

## **II. Mapas**

- 1. Mapa de localización (a pequeña escala)**
- 2. Mapa del área del proyecto (a gran escala) que muestre la localización de controles específicos, cercos y otras actividades**

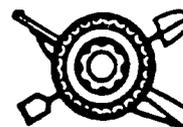
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #15: Ejercicios de Mapas**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# EJERCICIOS DE MAPAS

## EJEMPLOS DEL MAPAS

**Objetivo:** Aprender a calcular la escalas de mapas y usar la "Cuadrícula de Area" (Area Grid) para determinar el tamaño de un área.

### Ejemplo #1 - Sistema Americano

- Tiene un mapa con escala 1:24,000 o  $\frac{1}{24,000}$ .
- Esta quiere decir que 1 unidad en el mapa es igual a 24,000 unidades sobre la tierra (ejemplo: 1 pulgada en el mapa = 24,000 pulgadas sobre la tierra o un centímetro en el mapa es igual a 24,000 centímetros sobre la tierra)

#### A. Para calcular el número de pies por pulgada

Formula:  $x = (\text{escala de mapa}) + (12)$

donde  $x$  = número de pies por pulgada;  
la división es entre 12 porque hay 12 pulgadas en un pie

1.  $24,000 + 12 = 2,000$  pies por pulgada

entonces, 1 pulgada = 2,000 pies

#### B. Para calcular pulgadas por milla

Formula:  $\frac{1}{\text{escala de mapa}} = \frac{x}{5,280}$  (o número de pies en una milla)

donde:  $x$  = pulgadas por milla

1. cambiar 5,280 pies a pulgadas

$$5,280 \times 12 = 63,360$$

2 Calcular:  $\frac{1}{24,000} = \frac{x}{63,360}$

$$2.64 = x$$

entonces, 2.64 pulgadas = 1 milla

**C. Para calcular el tamaño de un área usando la Cuadrícula de Área**

Dado: 1 milla cuadrada = 640 acres  
Cada cuadro grande = 1 pulgada cuadrada (1 pulgada<sup>2</sup>)  
Cada cuadro tiene 64 puntitos

1. Calcular el área (en acres) por pulgada cuadrada

Fórmula:  $x = \frac{640 \text{ acres}}{(\text{pulgadas/mila})^2}$

donde  $x$  = área (en acres) por pulgada cuadrada

$$x = \frac{640 \text{ acres}}{(2.64)^2}$$

$$x = 91.827 \text{ acres}$$

entonces, cada cuadro grande es igual a 91.827 acres

2. Calcular el factor de conversión (cada puntito es igual a:)

Fórmula:  $x = \frac{\text{área por pulgada cuadrada en acres}}{\text{número de puntitos en el cuadro}}$

$$x = \frac{91.827 \text{ acres}}{64 \text{ puntitos}}$$

$$x = 1.435 \text{ acres}$$

entonces, cada puntito es igual a 1.435 acres

## Ejemplo #2 - Sistema Americano

Se tiene un mapa con la escala de 1:50,000 o  $\frac{1}{50,000}$

Esto quiere decir que 1 unidad en el mapa es igual a 50,000 unidades sobre la tierra (ejemplo: 1 pulgada en el mapa = 50,000 pulgadas sobre la tierra o un centímetro en el mapa es igual a 50,000 centímetros sobre la tierra)

### A. Para calcular el número de pies por pulgada

Fórmula:  $x = (\text{escala de mapa}) + (12)$

donde  $x$  = número de pies por pulgada;  
la división es por 12 porque hay 12 pulgadas en un pie

1.  $50,000 + 12 = 4,167$  pies por pulgada

entonces, 1 pulgada = 4,167 pies

### B. Para calcular pulgadas por milla

Formula:  $\frac{1}{\text{escala de mapa}} = \frac{x}{5,280}$  (o número de pies en una milla)

en donde:  $x$  = pulgadas por milla

1. cambiar 5,280 pies a pulgadas

$$5,280 \times 12 = 63,360$$

2 Calcular:  $\frac{1}{50,000} = \frac{x}{63,360}$

$$1.267 = x$$

entonces, 1.267 pulgadas = 1 milla

**C. Para calcular la tamaño de un área usando la cuadrícula de Area**

Dado: 1 milla cuadrada = 640 acres  
Cada cuadro grande = 1 pulgada cuadrada (1 pulgada<sup>2</sup>)  
Cada cuadro tiene 64 puntitos

1. Calcular el área (en acres) por pulgada cuadrada

$$\text{Fórmula: } x = \frac{640 \text{ acres}}{(\text{pulgadas/milla})^2}$$

donde x = área (en acres) por pulgada cuadrada

$$x = \frac{640 \text{ acres}}{(1.267)^2}$$

$$x = 398.682 \text{ acres}$$

entonces, cada cuadrado grande es igual de 398.682 acres

2. Calcular el factor de conversión (cada puntito es igual a:)

$$\text{Fórmula: } x = \frac{\text{área por pulgada cuadrada}}{\text{número de puntitos en el cuadrado}}$$

$$x = \frac{398.682 \text{ acres}}{64 \text{ puntitos}}$$

$$x = 6.229 \text{ acres}$$

entonces, cada puntito es igual de 6.229 acres

### Ejemplo #3 - Sistema Métrico

- Se tiene un mapa con la escala de 1:50,000 o  $\frac{1}{50,000}$
- Esto quiere decir que 1 unidad en el mapa es igual a 50,000 unidades sobre la tierra (ejemplo: 1 pulgada en el mapa = 50,000 pulgadas sobre la tierra o un centímetro en el mapa es igual a 50,000 centímetros sobre la tierra))

#### A. Para calcular el número de metros por centímetro

Fórmula:  $x = (\text{escala de mapa}) + 100$

donde  $x$  = número de metros por centímetro;  
la división es por 100 porque hay 100 centímetros por metro

1.  $50,000 + 100 = 500$  metros por centímetro

entonces, 1 centímetro = 500 metros

#### B. Para calcular centímetros por kilómetro

Fórmula:  $\frac{1}{\text{escala de mapa}} = \frac{x}{100,000}$  (o número de centímetros en un kilómetro)

donde:  $x$  = centímetros por kilómetro

1. Calcular:  $\frac{1}{50,000} = \frac{x}{100,000}$

$$2 = x$$

entonces, 2.0 centímetros = 1 kilómetro

**C. Para calcular la tamaño de un área usando la Cuadrícula de Área**

Dado: 1 kilómetro cuadrado = 100 hectáreas  
Cada cuadro grande = 6.4516 cm<sup>2</sup>  
Cada cuadro tiene 64 puntitos

1. Calcular el área (en hectáreas) por cada cuadro grande (o 6.4516 cm<sup>2</sup>)

Fórmula:  $x = \frac{100 \text{ ha}}{(\text{cm/km})^2} \times \text{Área de cuadro grande}$

donde x = área (en hectáreas) por cada cuadro grande

$$x = \frac{100 \text{ ha} \times 6.4516}{(2)^2}$$

$$x = 161.29 \text{ ha}$$

entonces, cada cuadro grande es igual de 161.29 hectáreas

2. Calcular el factor de conversión (cada puntito es igual a:)

Fórmula:  $x = \frac{\text{área por cada cuadro grande en hectáreas}}{\text{número de puntitos en el cuadro}}$

$$x = \frac{161.29 \text{ hectáreas}}{64 \text{ puntitos}}$$

$$x = 2.52$$

entonces, cada puntito es igual de 2.52 hectáreas

## **EJERCICIOS DEL MAPA**

### **Ejercicio #1**

**Objetivo: Hacer cálculos para determinar medidas del mapa.**

1. Usando el sistema métrico. Use un mapa con la escala de 1:12000 y calcule lo siguiente:
  - a. El número de metros en la tierra por cada centímetro en el mapa
  - b. El número de centímetros (en el mapa) por kilómetro (de superficie)
  - c. El área (en hectáreas) de cada cuadro grande en la cuadrícula de área y el área que cada puntito representa

### **Ejercicio #2**

(en grupos de 5 personas)

**Objetivo: Calcular el área de diferentes usos de la tierra dentro de una zona de influencia.**

1. Con el mapa adjunto haga lo siguiente:
  - a. Calcule el área del zona de influencia con: pasto, cultivos, urbano, y bosque. (expreselo en Has)
  - b. Discutir cualquier diferencia entre los grupos

**Ejercicio #3**  
(en grupos de 5 personas)

**Objetivo:** Aprender como hacer un mapa a escala, en papel en blanco

Para este ejercicio no tenemos un mapa. Es necesario hacerlo. Suponga que el Delegado Residente le pidió elaborar un croquis a escala para el Primer Nivel de Selección con la zona de influencia de un camino nuevo. Hay que estimar el área de los diferentes usos de la tierra.

Haga un croquis con los siguiente elementos:

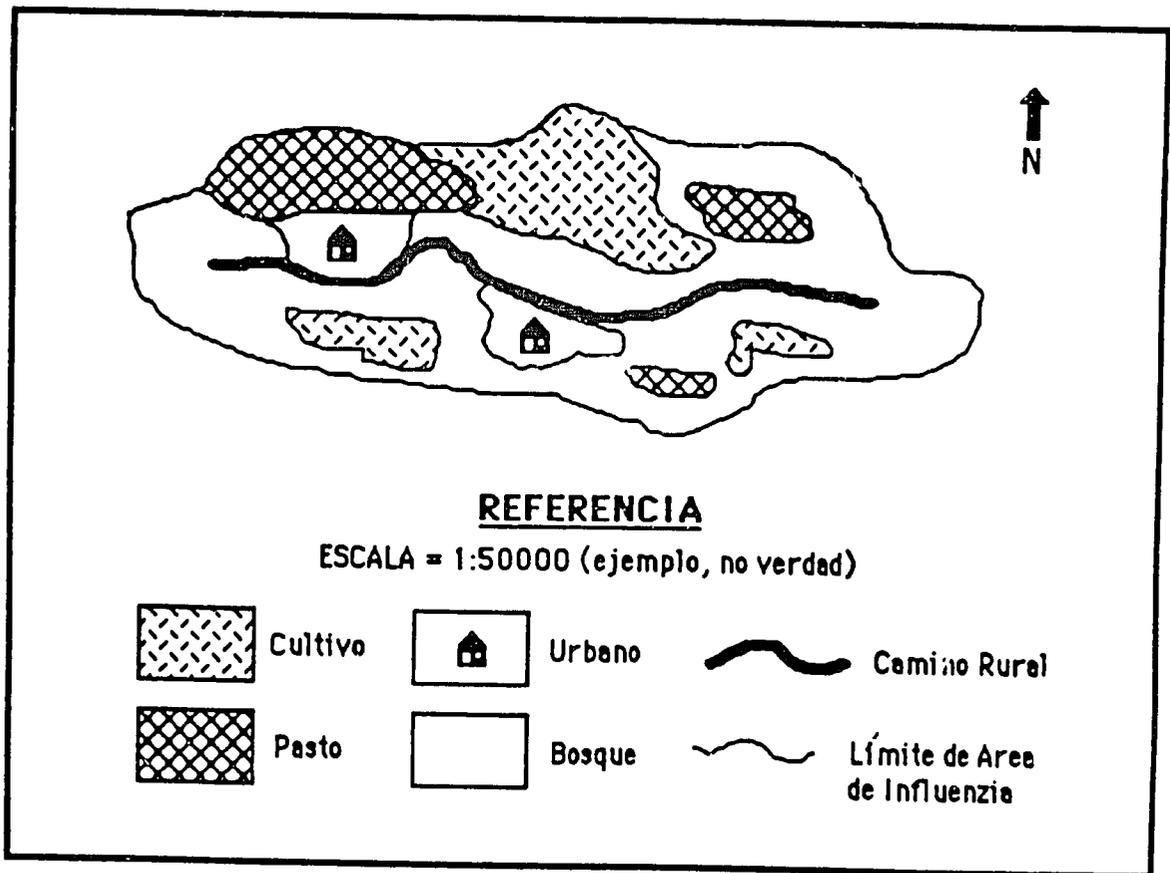
- La escala será 1:50000
  - El camino será de 3 kilómetros de largo
  - La zona de influencia será de 2 kilómetros a cada lado del camino
1. En una hoja de papel en blanco hacer un cuadrículado (es recomendable hacer cuadros de 1 cm<sup>2</sup> o sea 1 centímetro de cada lado.[en éste ejercicio puede usar el ejemplo adjunto])
  2. Calcular el número de metros por centímetro y el número de centímetros por kilómetro (recuerde la escala del mapa)
  3. Localizar en el croquis el sitio donde va comenzar el camino (o punto A).
  4. Dibujar el camino (3 kilómetros de largo)
  5. Localizar el fin del camino (o punto B)
  6. Calcular los límites de la zona de influencia y dibujarla en el mapa
  7. Calcular el área total dentro la zona de influencia (puede usar la cuadrícula de área)
  8. Dibujar los diferentes usos de la tierra dentro de la zona de influencia (como áreas de cultivos, pastos, bosques, etc.). Para esta práctica vea el Mapa .
- A finalizar este ejercicio ya habrán hecho un croquis a escala y tendrán calculados los diferentes usos de la tierra dentro de la zona de influencia.

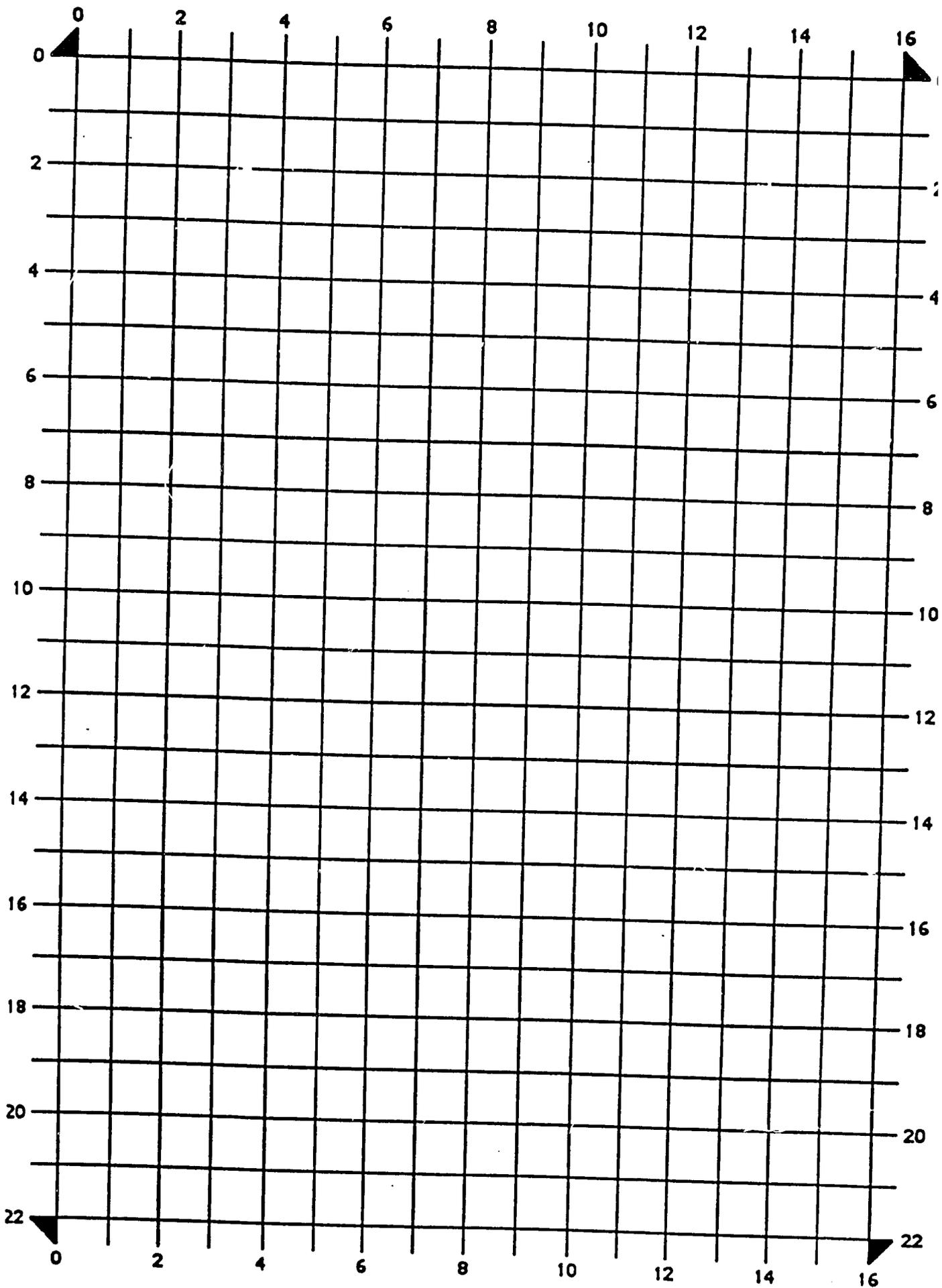
**Ejercicio #4**

1. Discutir como pueden usar ustedes estas metodologías en su trabajo

### EJERCICIO DE MAPAS #3

## ESQUEMA DE UNA ZONA DE INFLUENCIA

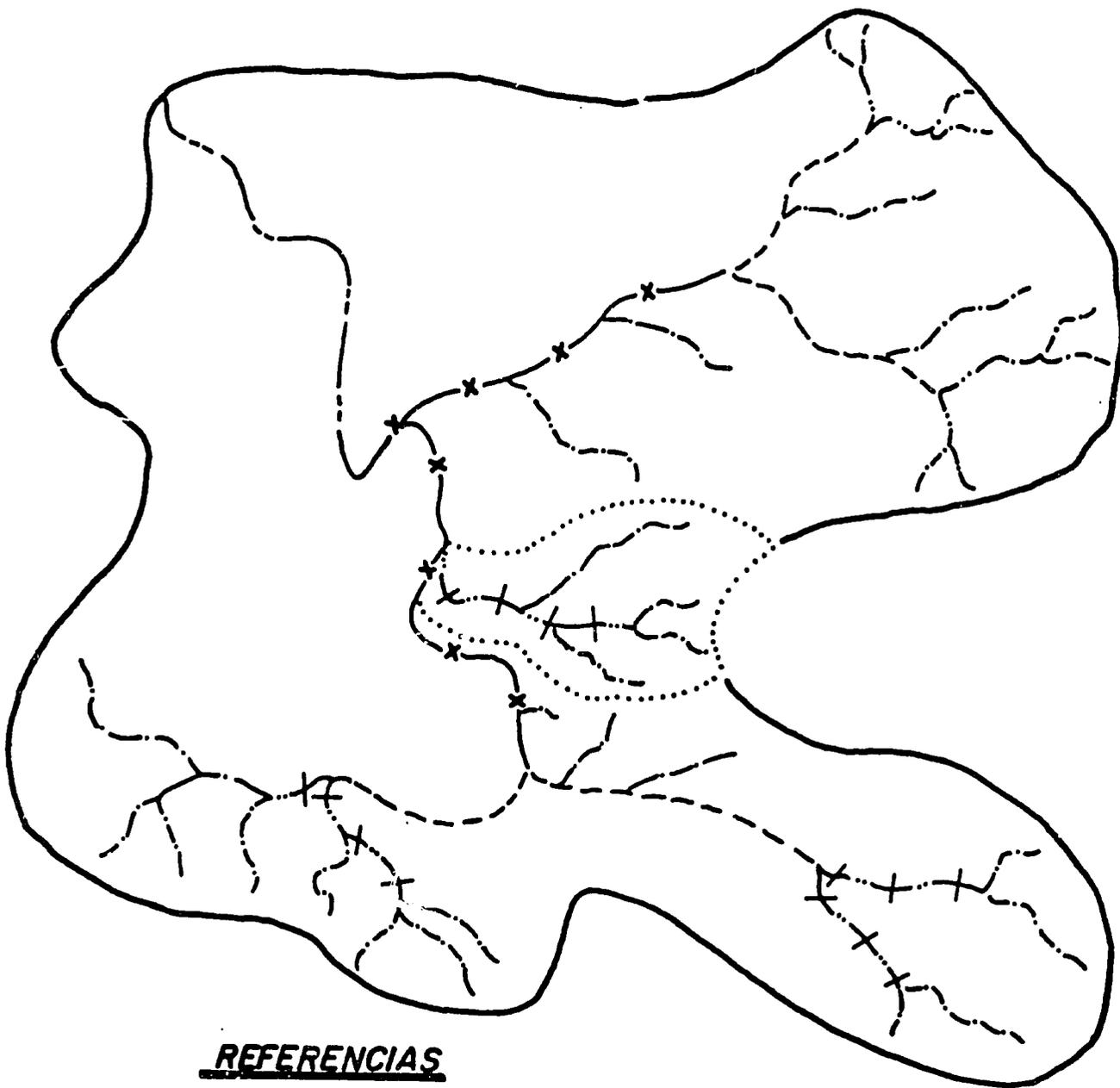




Cada cuadro = 1 cm<sup>2</sup>

# MAPA 15-1

## EJEMPLO DE CUENCA HIDROGRAFICA



### REFERENCIAS

MAPA SIN ESCALA

LIMITE DE CUENCA 

LIMITE DE SUB-CUENCA 

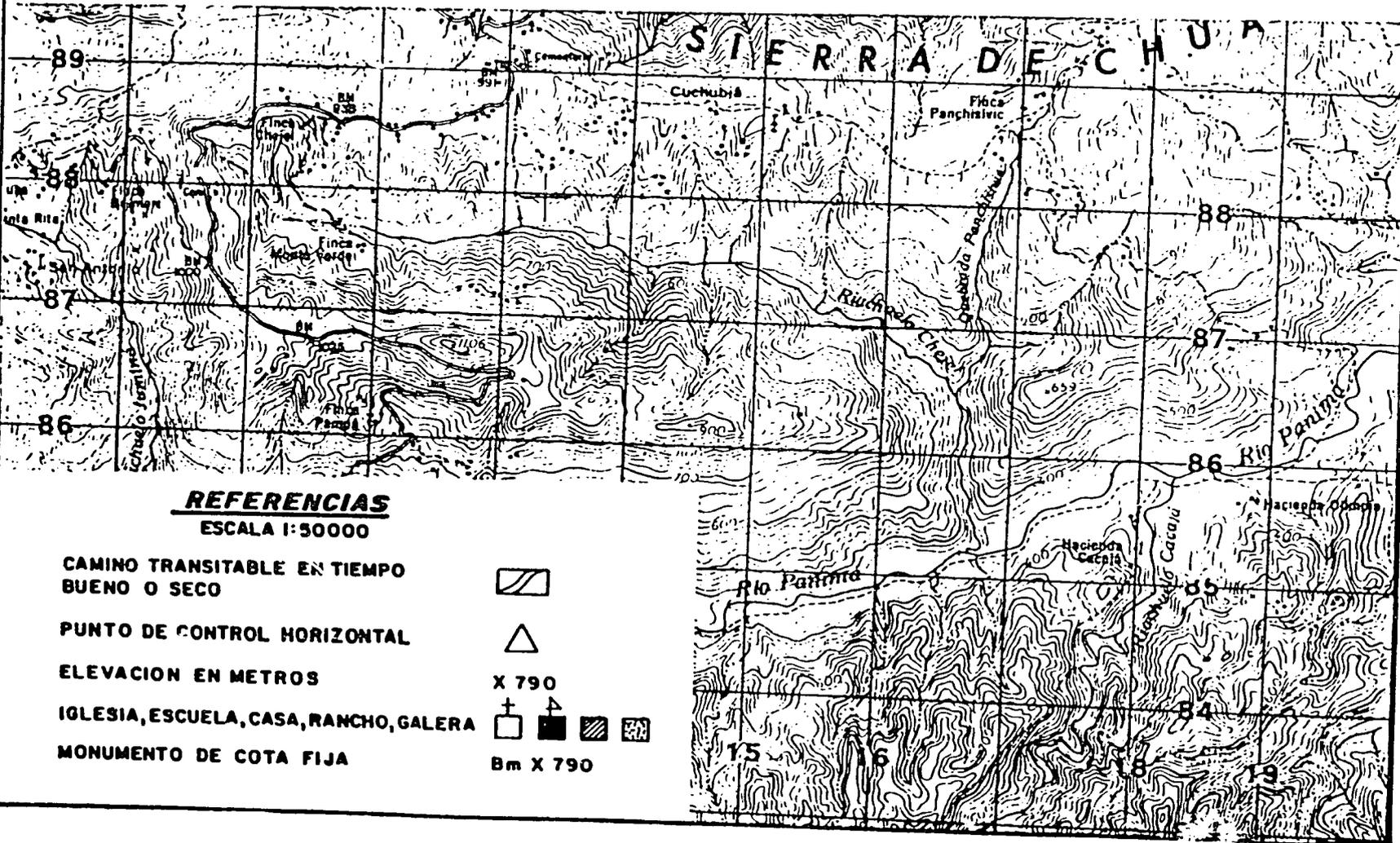
### ORDEN DE AFLUENTES

1- NO PERENNE	
2- NO PERENNE	
PERENNE	
3- PERENNE	
4- PERENNE	
5- PERENNE	

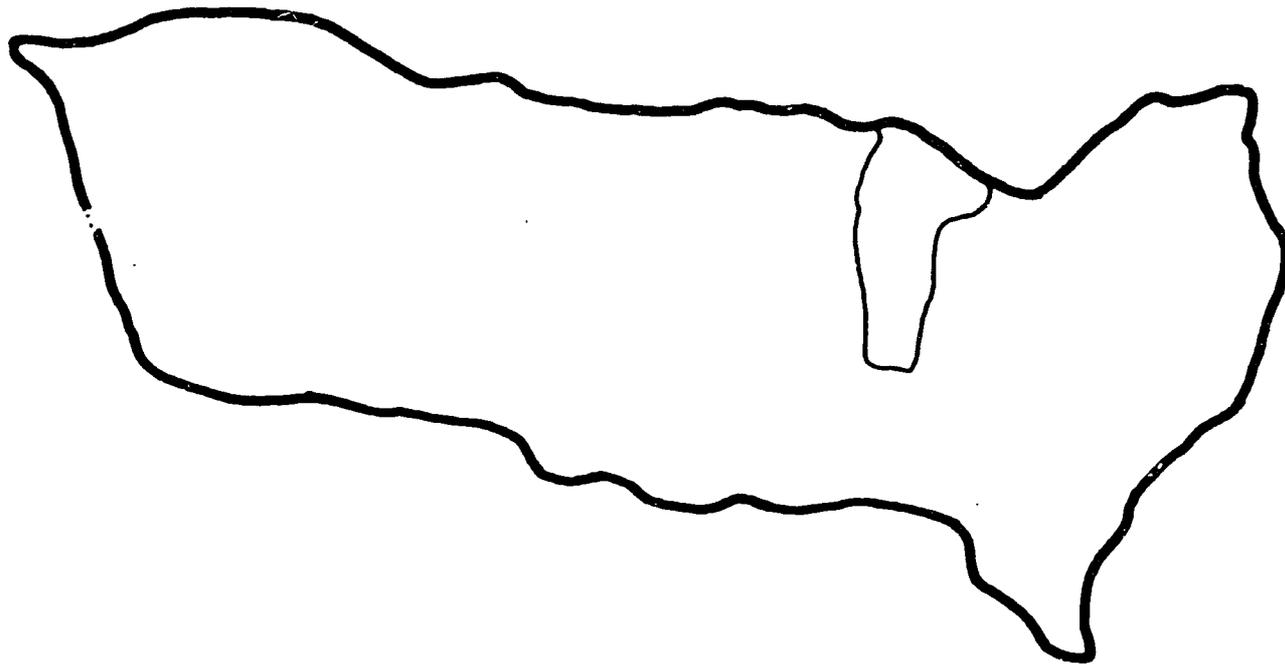
FECHA : MARZO DE 1990

DIBUJO: JOSE R. VASQUEZ

**MAPA 15-2**  
**CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIACHUELO CHEJEL**  
**CUADRANGULO TUCURU, HOJA 2161 I**



**MAPA 15-3 TRANSPARENCIA**  
***CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIACHUELO CHEJEL***



**REFERENCIAS**  
**MAPA 1:50,000**

**LIMITE DE CUENCA**

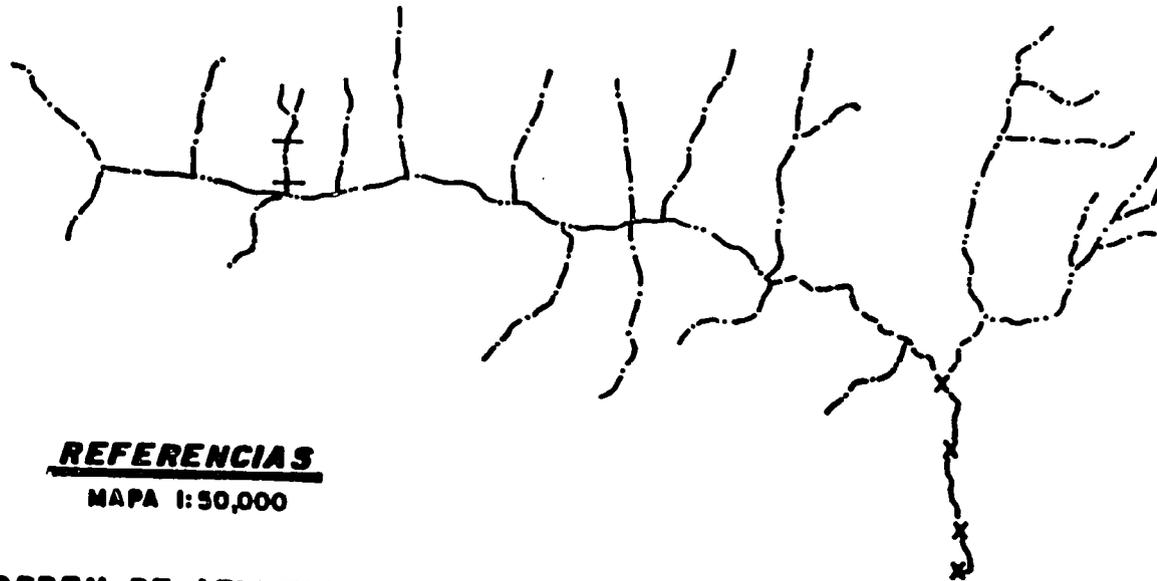


**LIMITE DE SUB-CUENCA**



**DIBUJO: JOSE R. VASQUEZ**  
**FECHA: MARZO DE 1990**

**MAPA 15-4**  
**RED DE QUEBRADAS EN LA CUENCA HIDROGRAFICA**  
**DEL RIACHUELO CHEJEL**



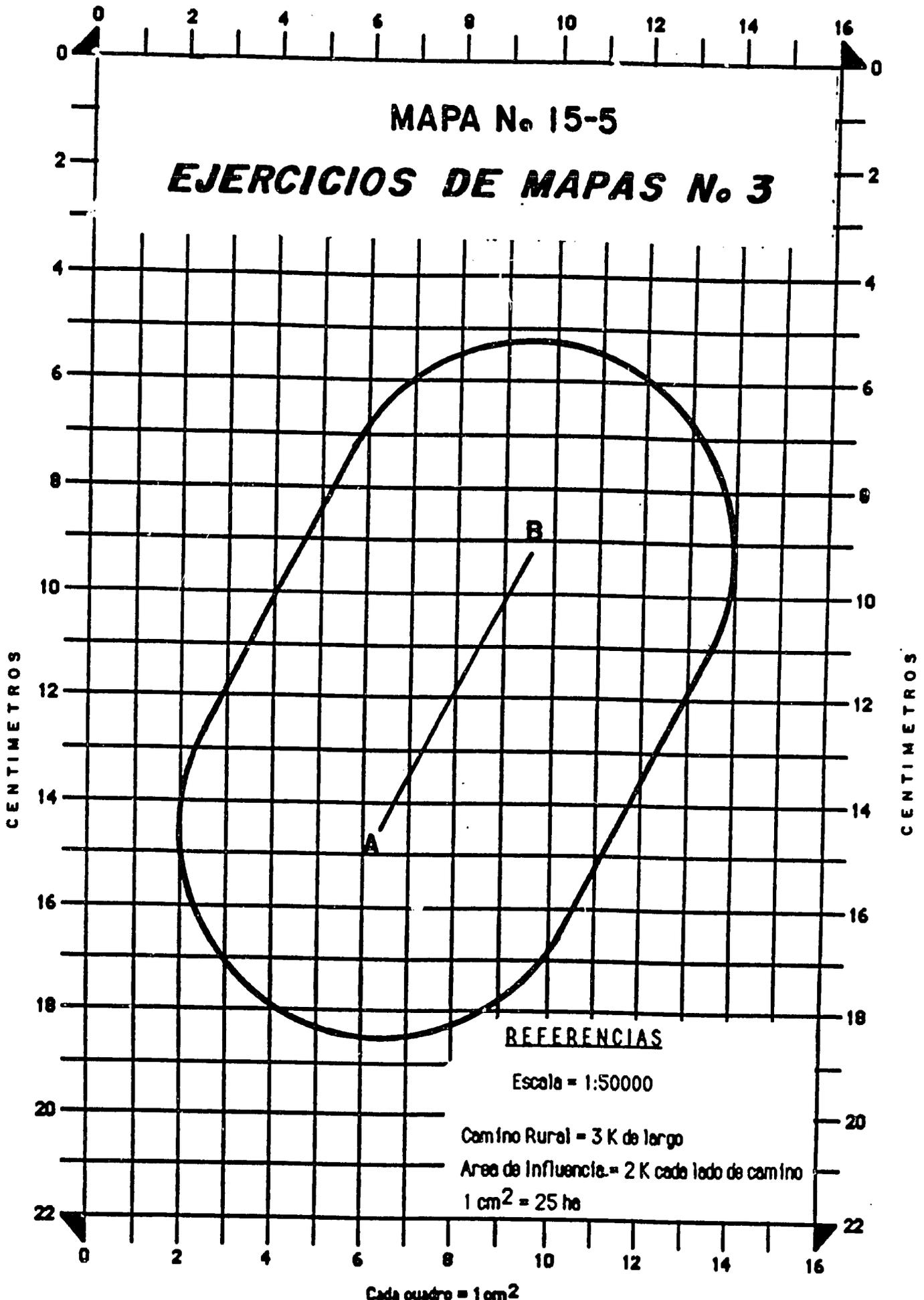
**REFERENCIAS**

MAPA 1: 50,000

**ORDEN DE AFLUENTES**

1- NO PERENNE	.....
2- NO PERENNE	+...+...+...+
PERENNE	.....
3- PERENNE	-----
4- PERENNE	X—X—X—X
5- PERENNE	-----

DIBUJO: JOSE R. VASQUEZ  
FECHA: ABRIL DE 1990



MAPA No 15-5

**EJERCICIOS DE MAPAS No 3**

CENTIMETROS

CENTIMETROS

REFERENCIAS

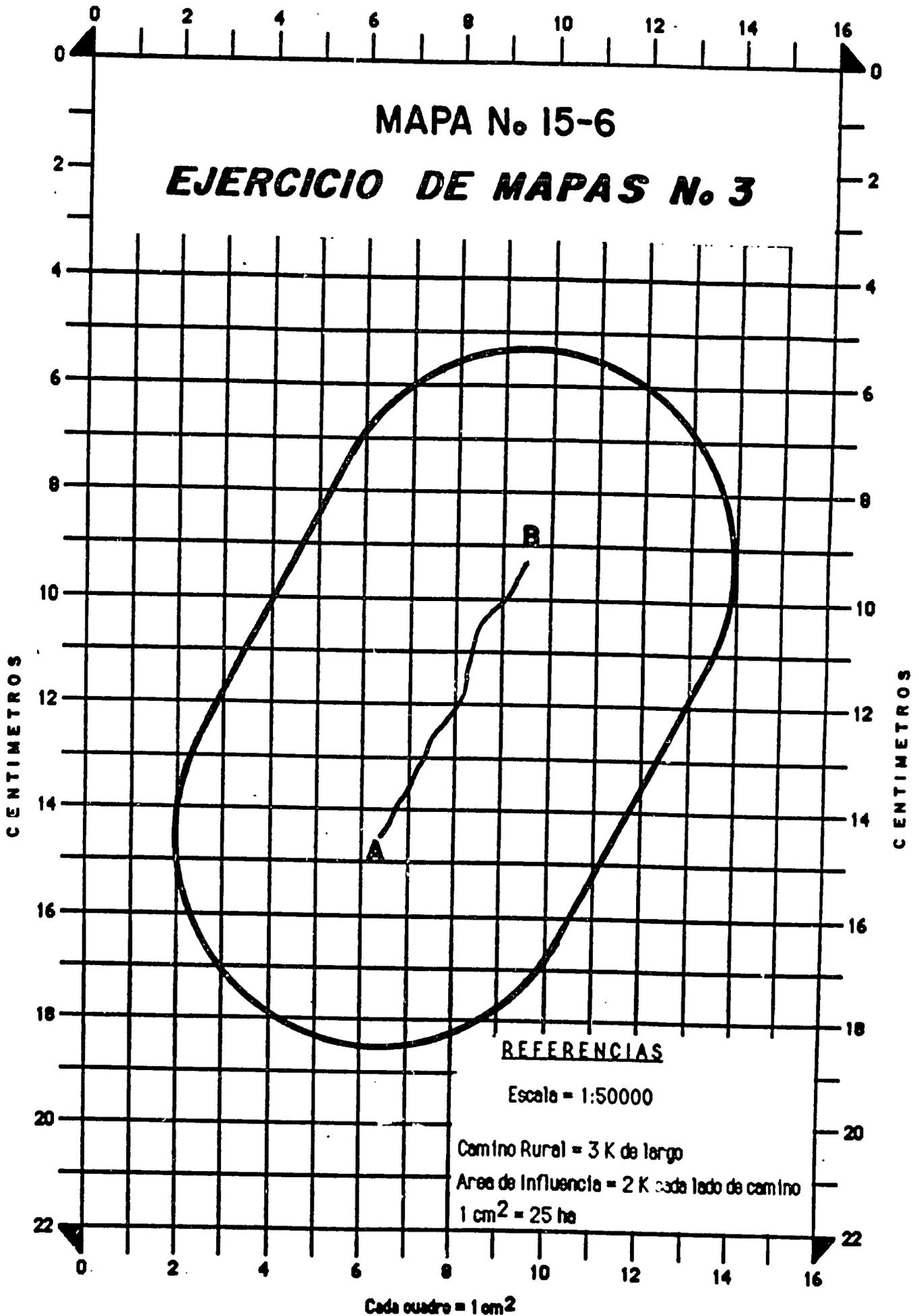
Escala = 1:50000

Camino Rural = 3 K de largo

Area de influencia = 2 K cada lado de camino

1 cm<sup>2</sup> = 25 ha

Cada cuadro = 1 cm<sup>2</sup>



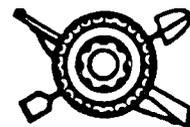
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

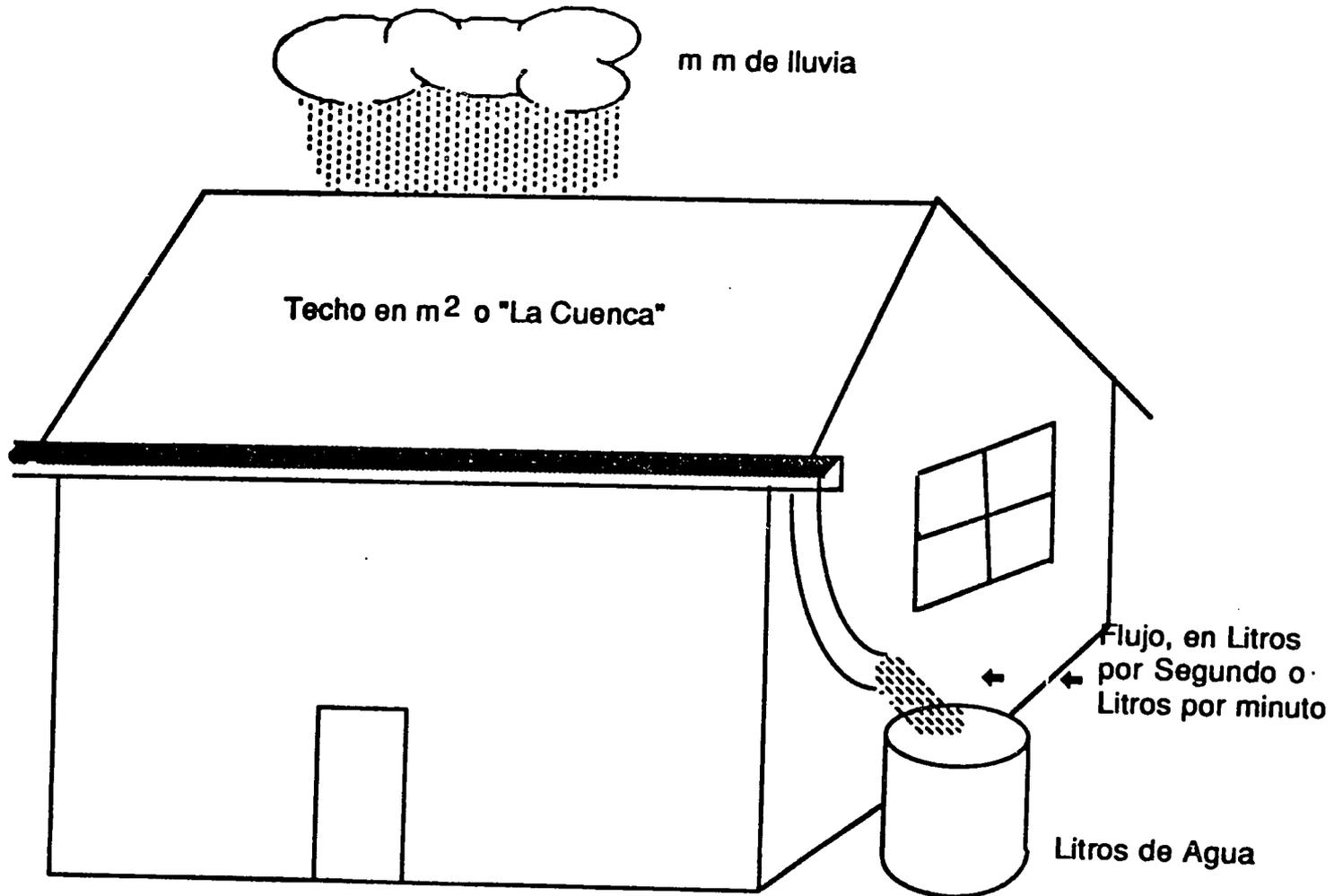
**Documento #16: La Cantidad de Agua**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



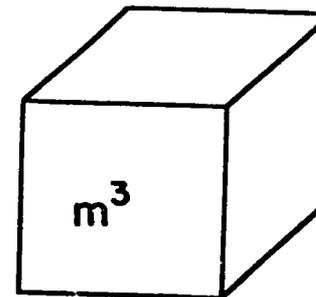
# UNIDADES DE CANTIDAD DE AGUA

## FIGURA 16-1A EN LA CUENCA



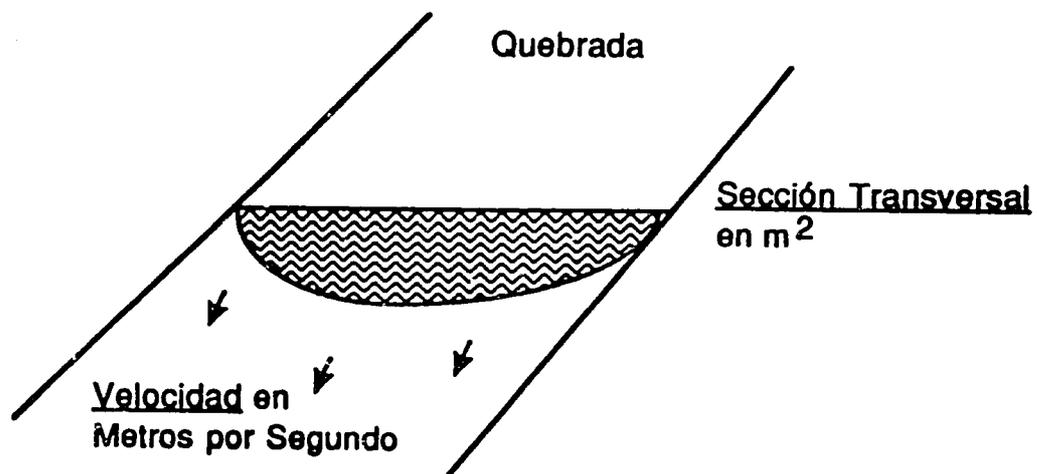
**NOTA:** m m de Lluvia x m<sup>2</sup> de la Cuenca = Litros

1 metro cúbico = 1,000 litros



# UNIDADES DE CANTIDAD DE AGUA

FIGURA 16-1B  
EN LA QUEBRADA



**NOTA:**  $m^2$  "sección transversal" x m/segundo "velocidad" =  $m^3$ /segundo

**RECUERDO:**  $1 m^3 = 1,000$  Litros

FIGURA 16-2

EL HIDROGRAMA DE UNA TORMENTA  
(STORM HYDROGRAPH)

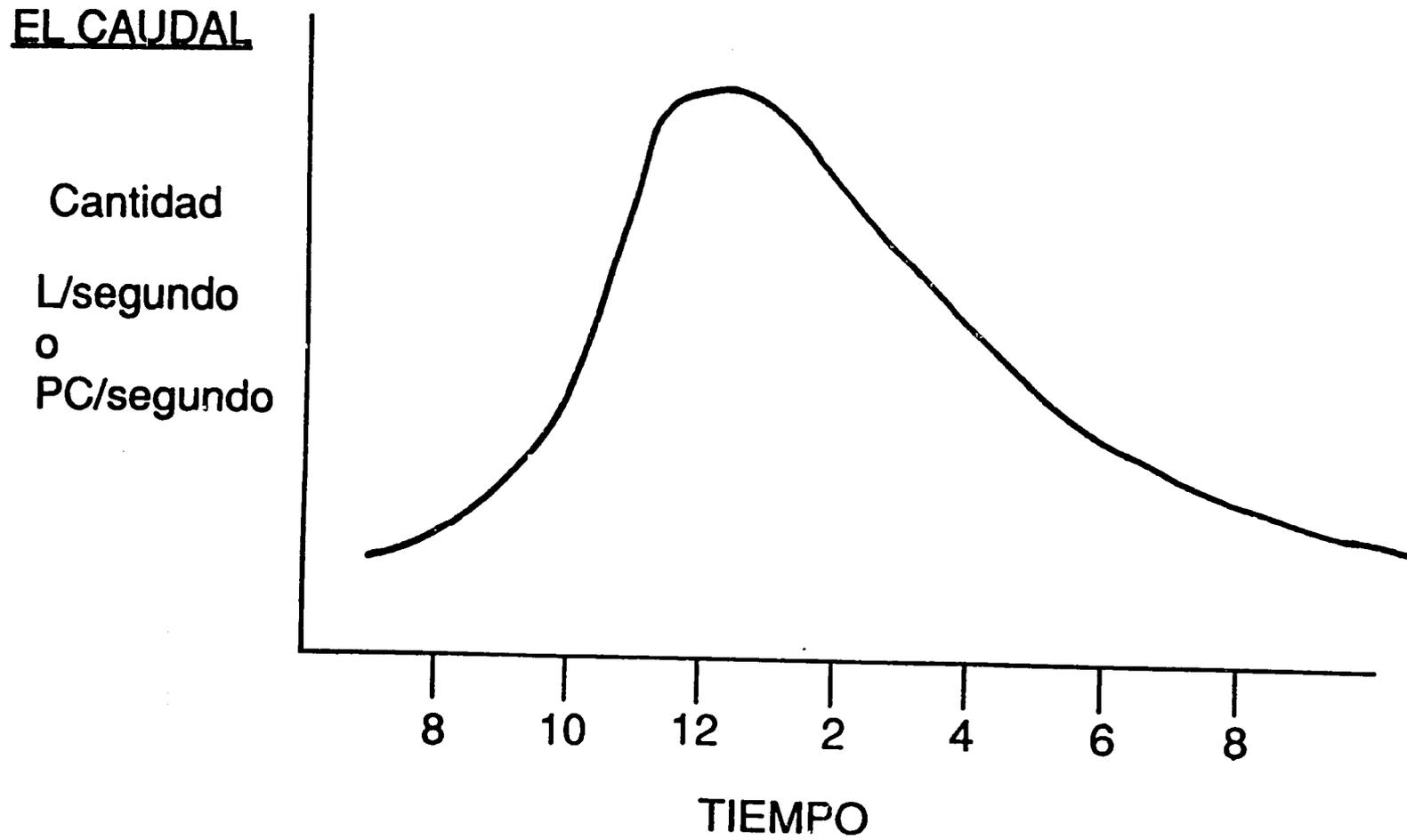
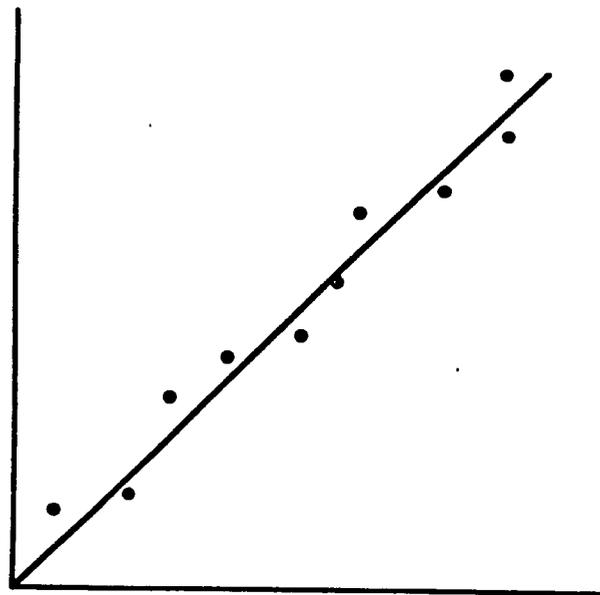


FIGURA 16-3

LA CALIBRACION DE UN CORTE TRANSVERSAL DEL ARROYO  
(LA CALIBRACION PARA LA DESCARGA)

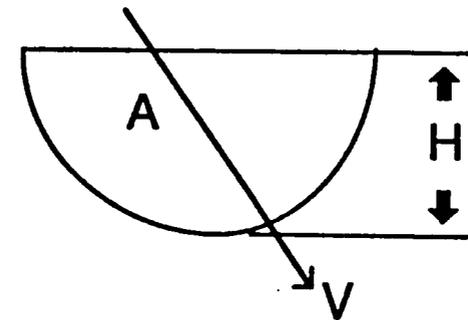
LAS LECTURAS DEL  
MEDIDOR DE LA  
CORRIENTE

$\ln Q$   
L/segundo,  
CF/segundo,  
etc.



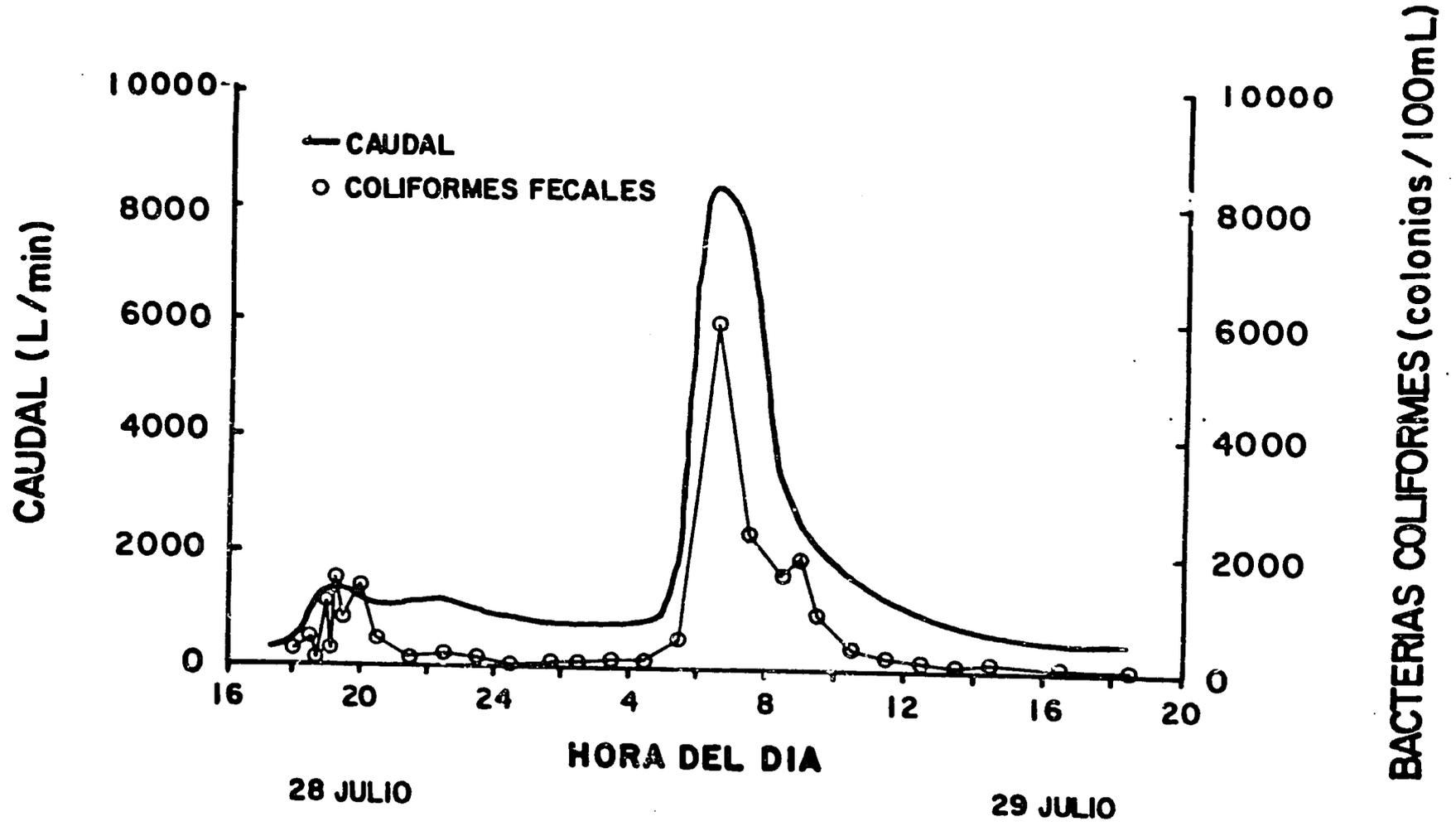
$\ln H$  (metros, pie, etc.)

EL NIVEL DEL AGUA (H) METROS



$$Q = VA$$

FIGURA 16-4



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #17: Erosión y Sedimentación**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**

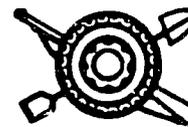


FIGURA 17-1

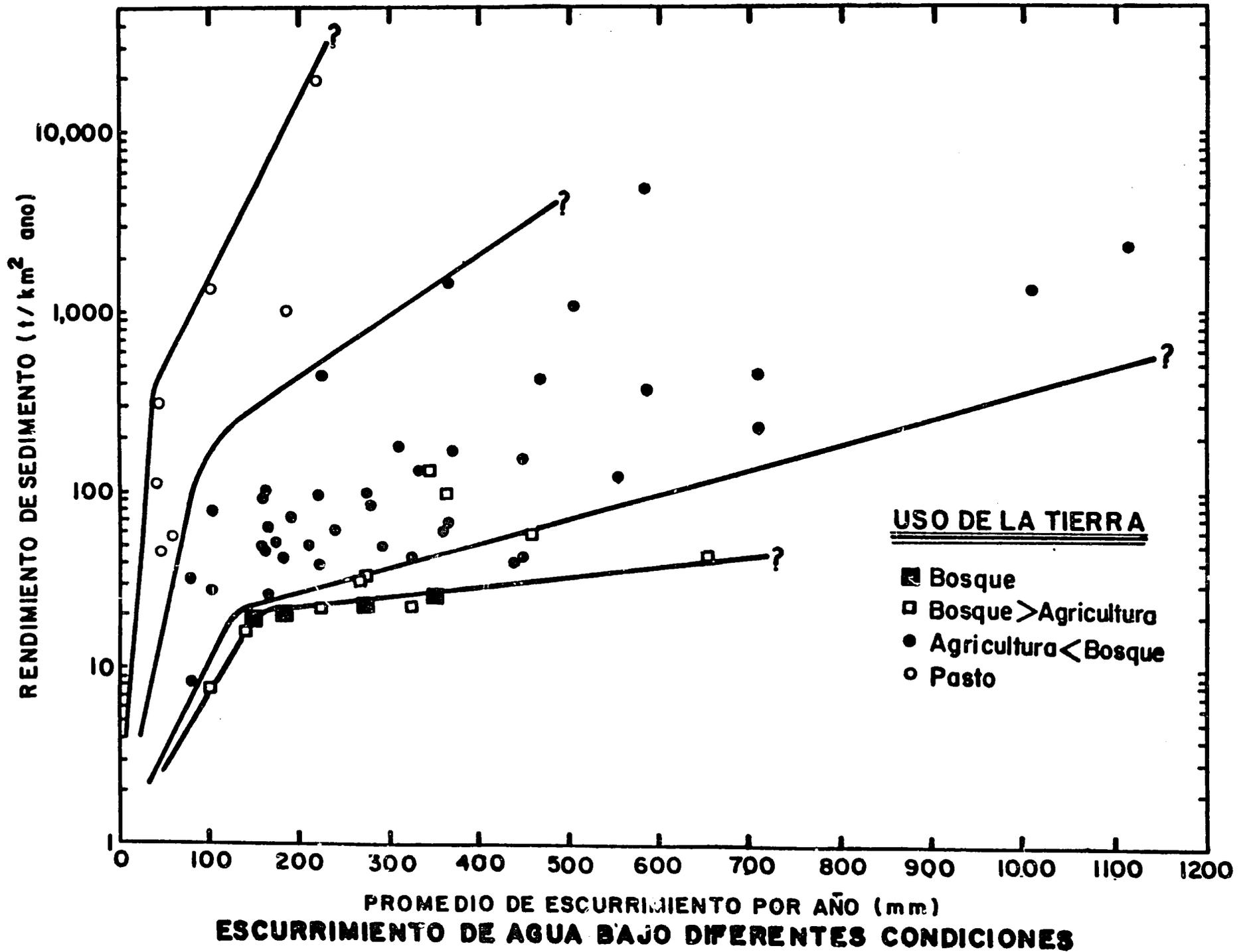
**MG/L = MILIGRAMOS POR LITROS = PPM**

**μGL = MICROGRAMOS POR LITRO = PPB**

**EJEMPLO:**

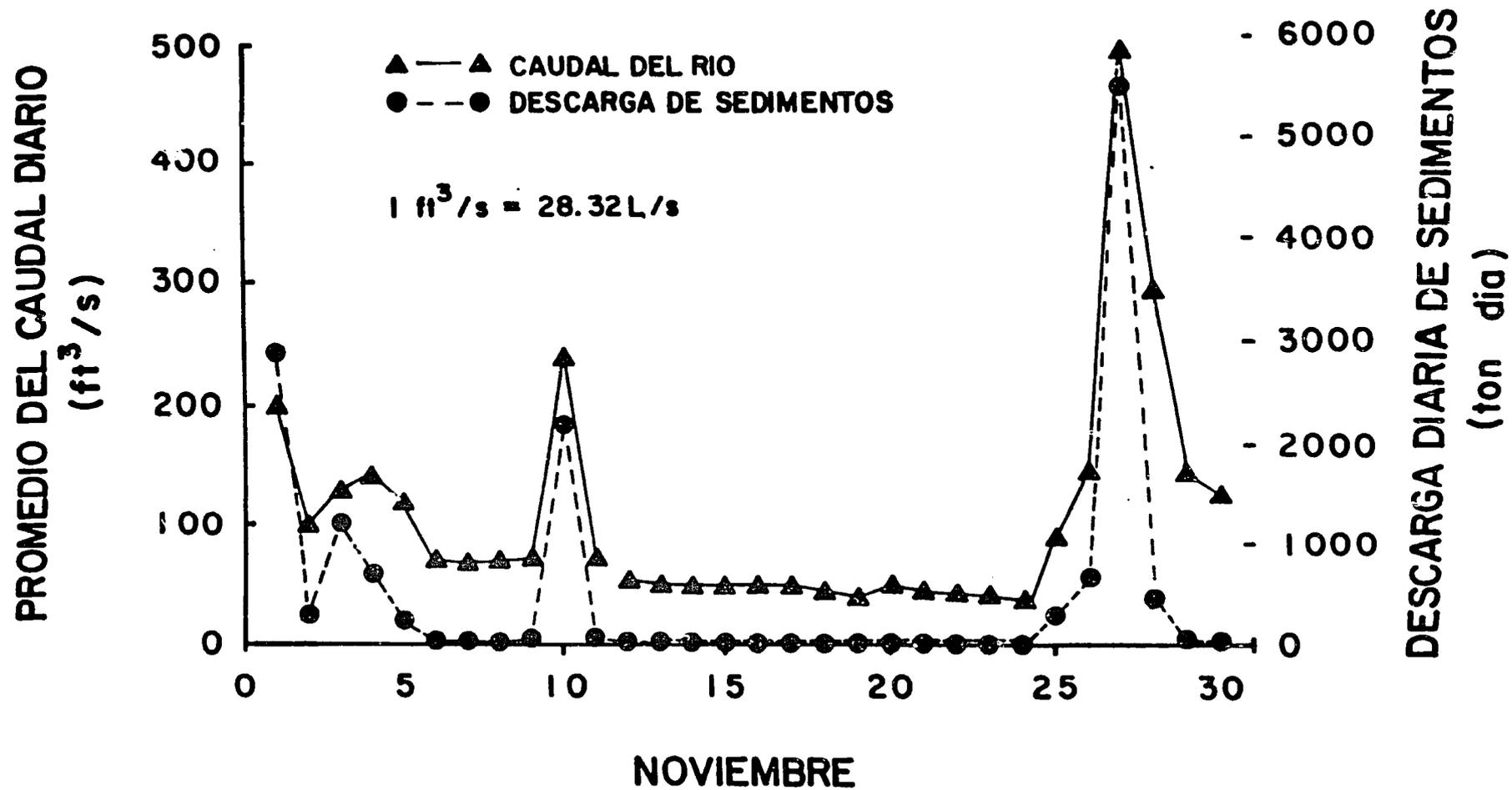
$$\text{Mg}^{++} = 24.3 \div 2 =$$

$$\text{ENTONCES, MG/L DE Mg}^{++} + 12,15 \frac{\text{MG}}{\text{ME}} = \text{ME/L Mg}^{++}$$



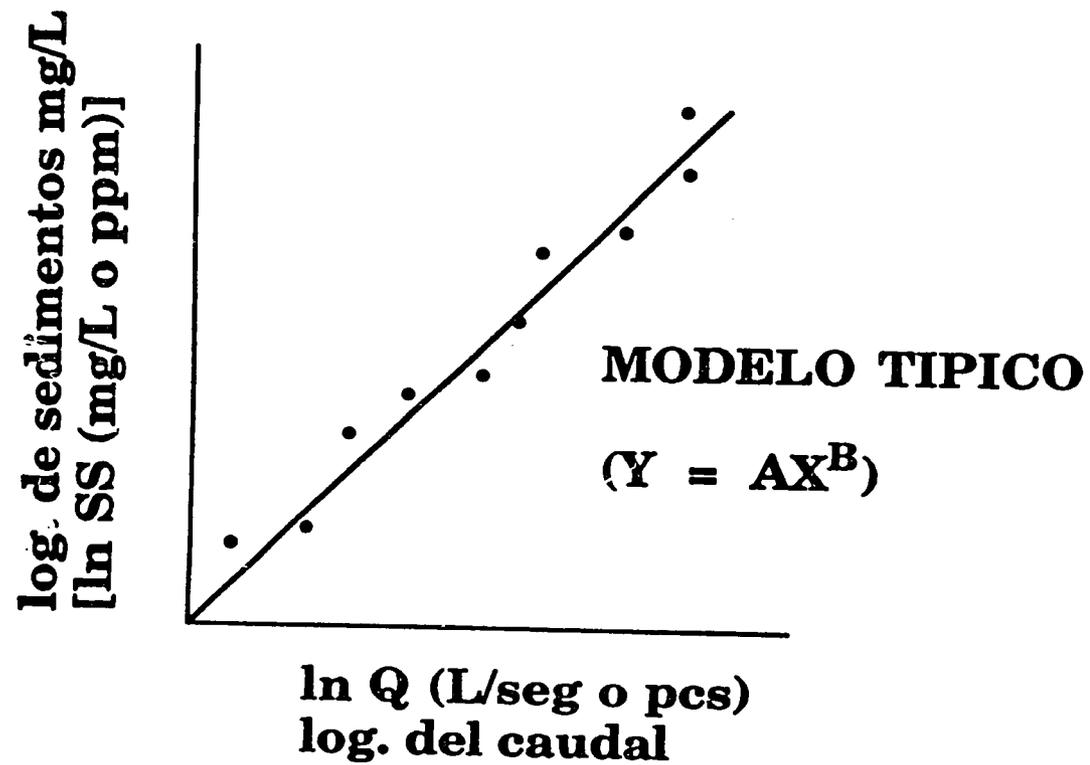
# CURVA DE SEDIMENTACION

FIGURA 17-3



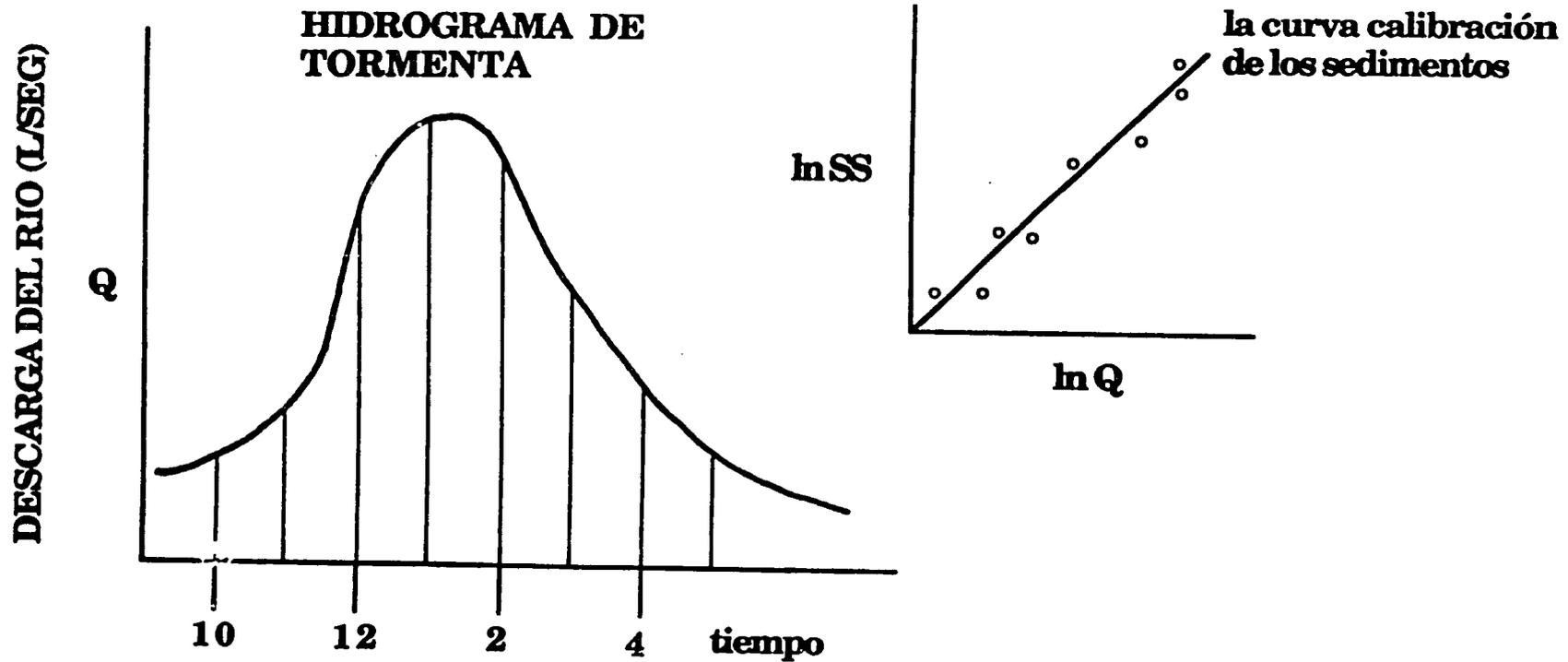
**LA CURVA DE CALIBRACION DE LOS SEDIMENTOS DE UN RIO  
(SEDIMENT RATING CURVE FOR A STREAM)**

**FIGURA 17-4**



## LA TASA DE TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS (DELIVERY RATE)

FIGURA 17-5



Para cada segmento podemos calcular mg/L de sedimentos suspendidos:

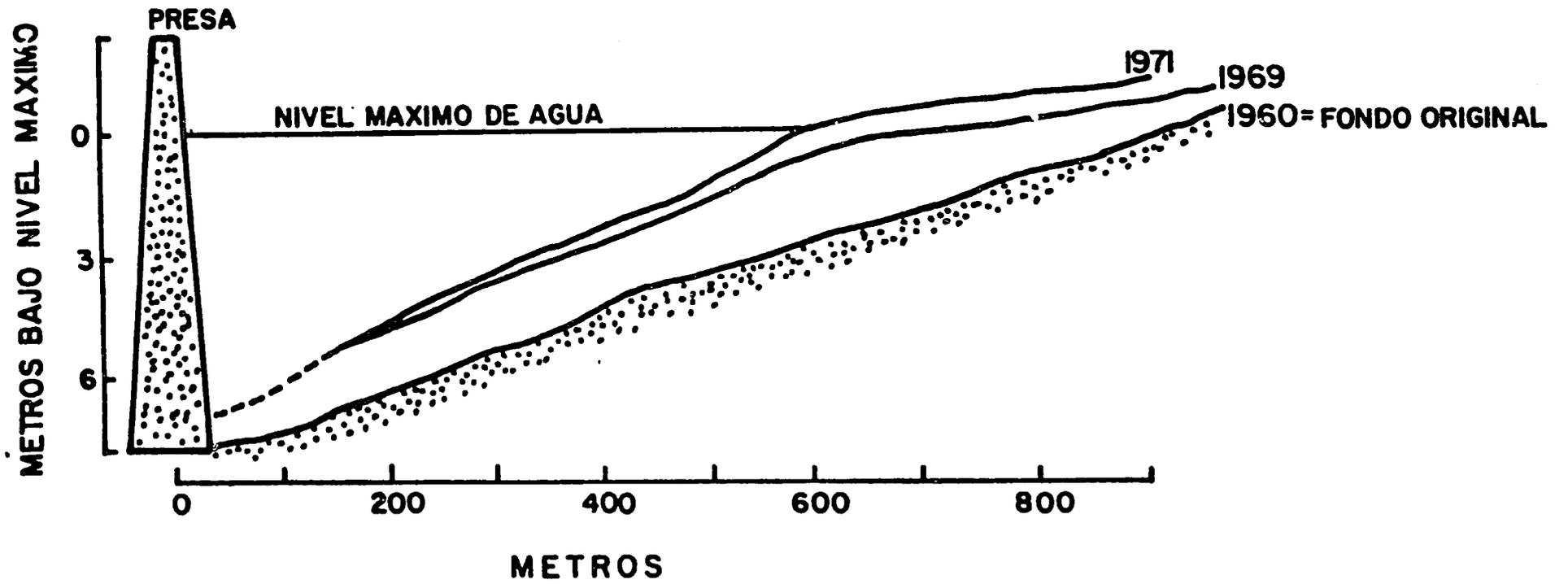
$$\frac{L}{\text{seg}} \times \frac{\text{mg}}{L} \times \text{segundos} = \text{mg de sedimentos}$$

6

segmentos = cargo total

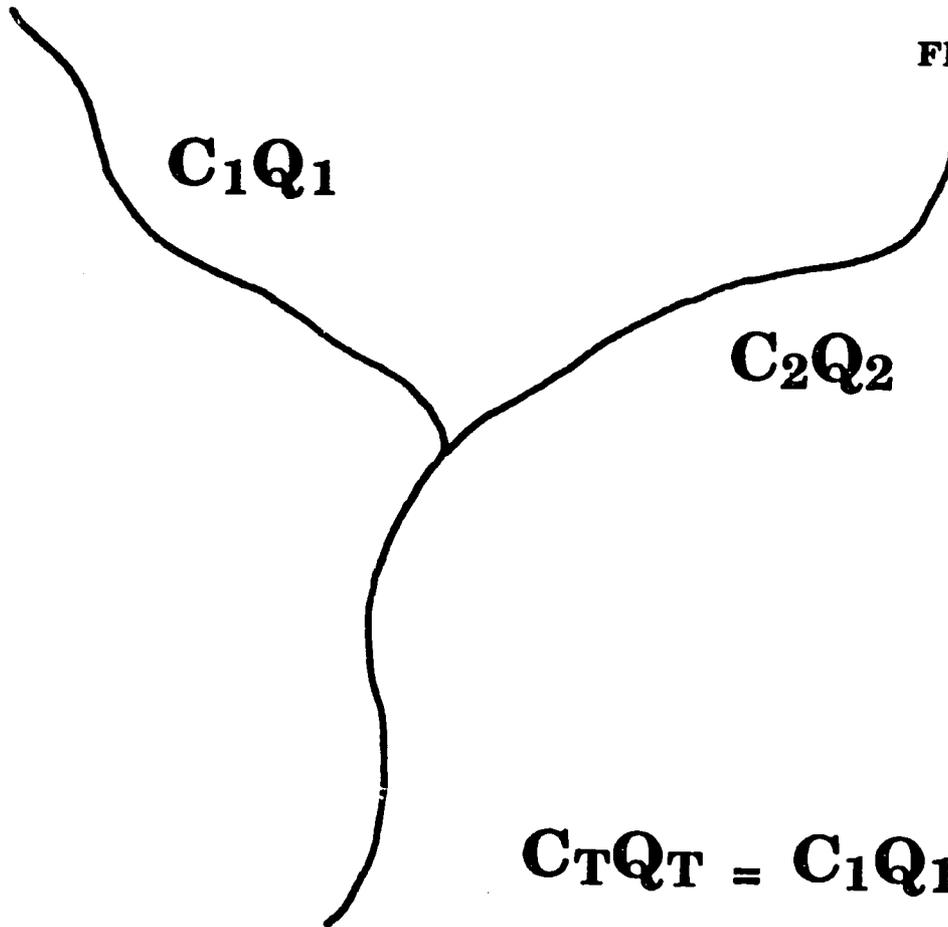
# SEDIMENTACION DE UN LAGO

FIGURA 17-6



# TABULACION DE LOS COMPONENTES DE LA CONTAMINACION DE LOS ARROYOS

FIGURA 17-7



$C$  = CONCENTRACION (MG/L)  
 $Q$  = FLUJO (L/SEC)  
 $CQ = \frac{mg}{L} \times \frac{L}{sec} = \frac{mg}{sec}$

$$C_TQ_T = C_1Q_1 + C_2Q_2$$

**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

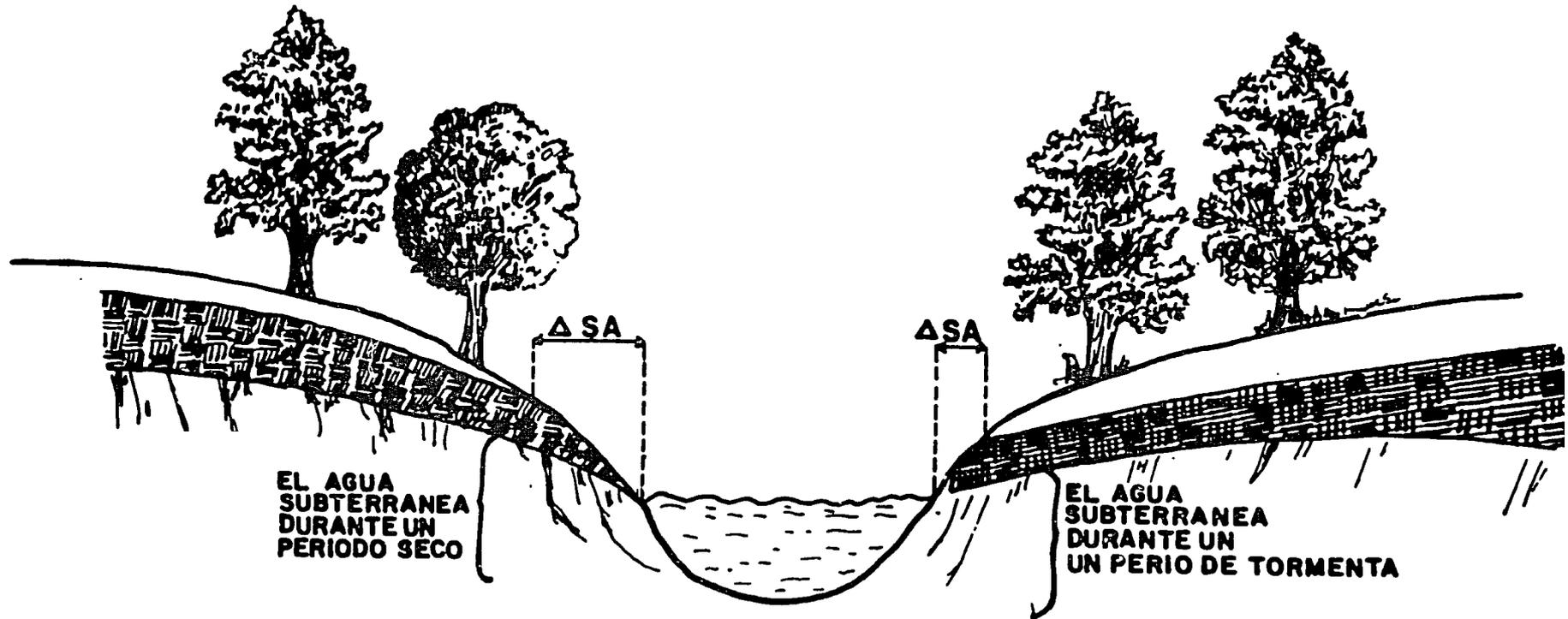
**Documento #18: Principios de Calidad de Agua**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# CONCEPTO DE LA ESCORRENTIA EN AREAS HUMEDAS

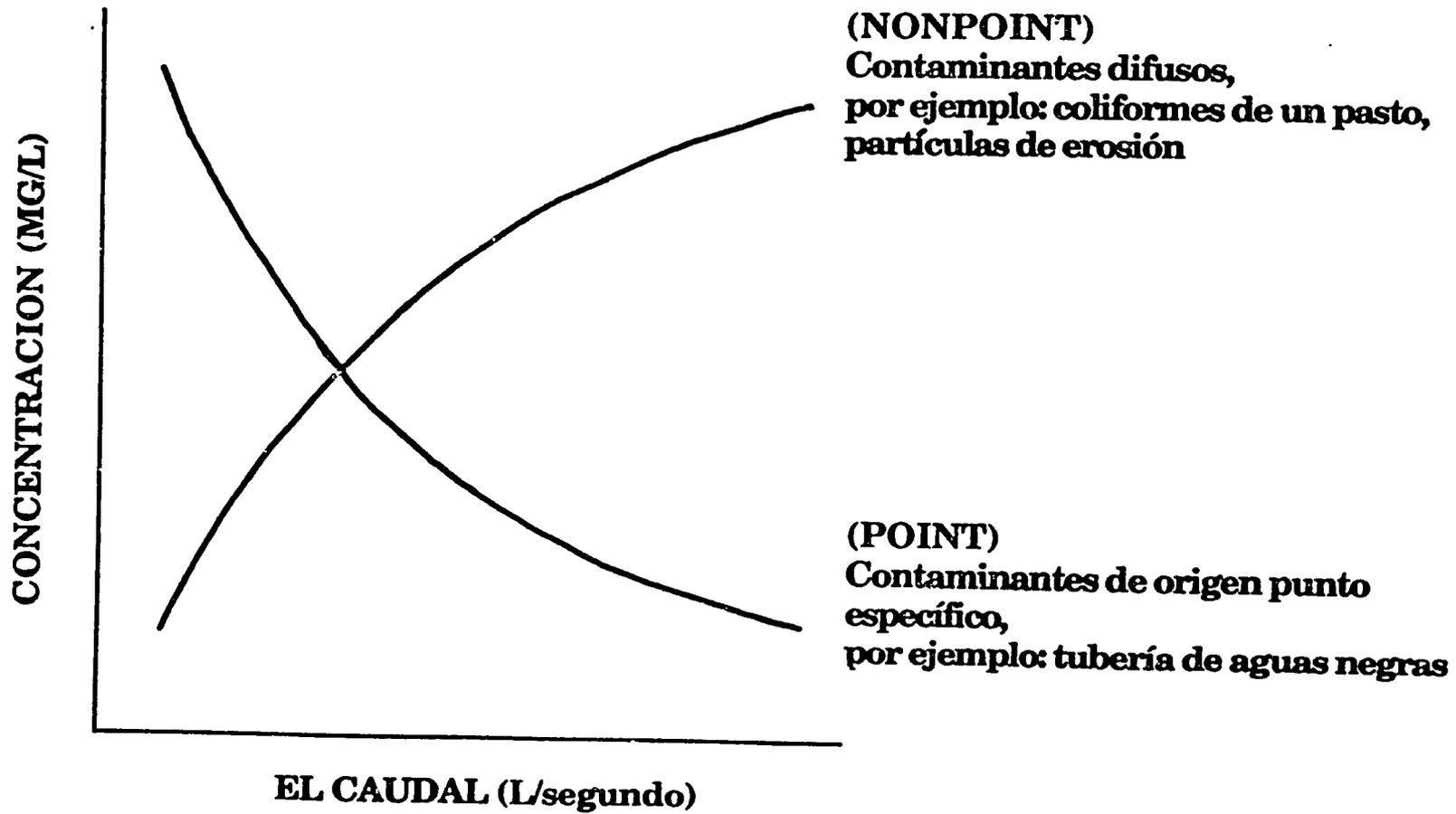
FIGURA 18-1



EL AREA DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA  
CRECE DURANTE LAS TORMENTAS

## EL PROCESO DE LA ESCORRENTIA DE LOS CONTAMINANTES

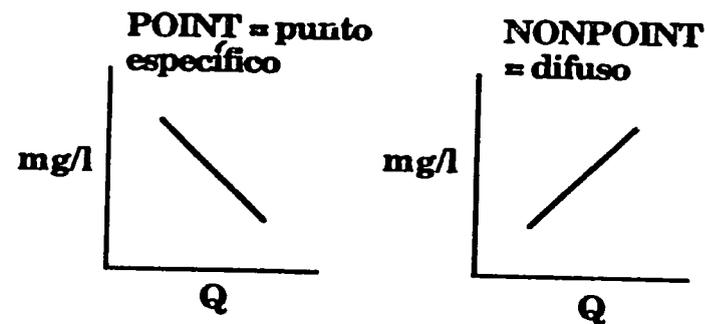
FIGURA 18-2



## PUNTOS PARA TOMAR EN CUENTA: RECOLECIÓN DE MUESTRAS

FIGURA 18-3

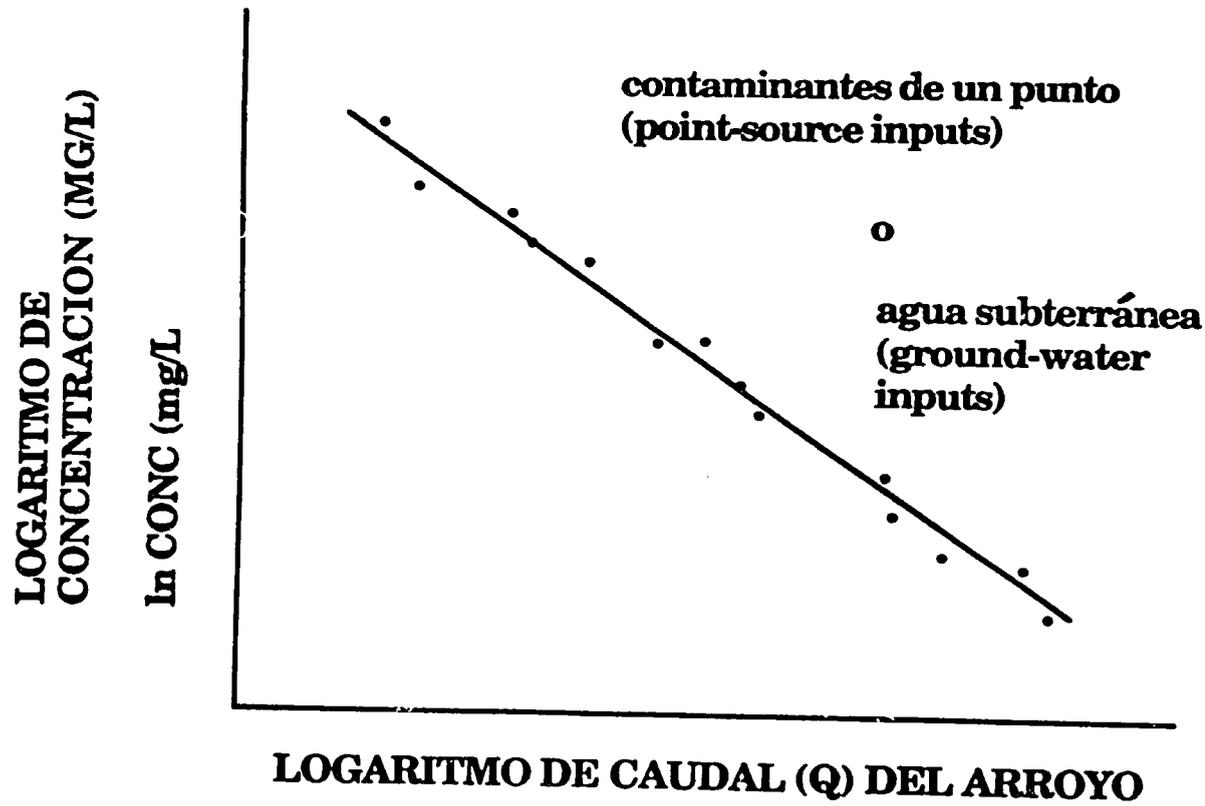
- **la fuente de contaminación**



- **variaciones naturales, por ejemplo: las bacterias son muy variables, pH es poco variable**
- **variaciones por estaciones, tormentas, otros procesos hidrológicos**
- **la entrada instantánea, por ejemplo: un derramamiento**

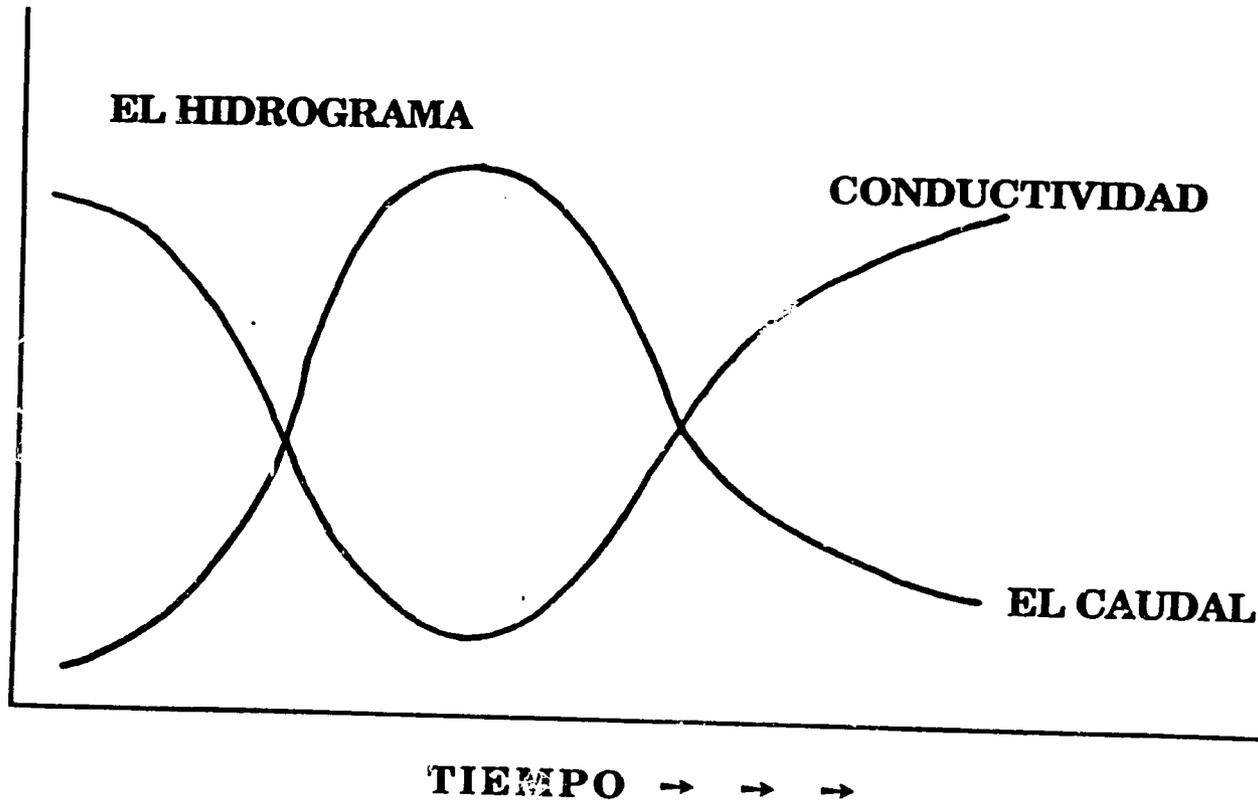
**CONCENTRACION VS. CAUDAL (TIPICO)  
(CONCENTRATION VS. DISCHARGE)**

**FIGURA 18-4**



**CONDUCTIVIDAD  
(CONDUCTIVITY)**

**FIGURA 18-5**

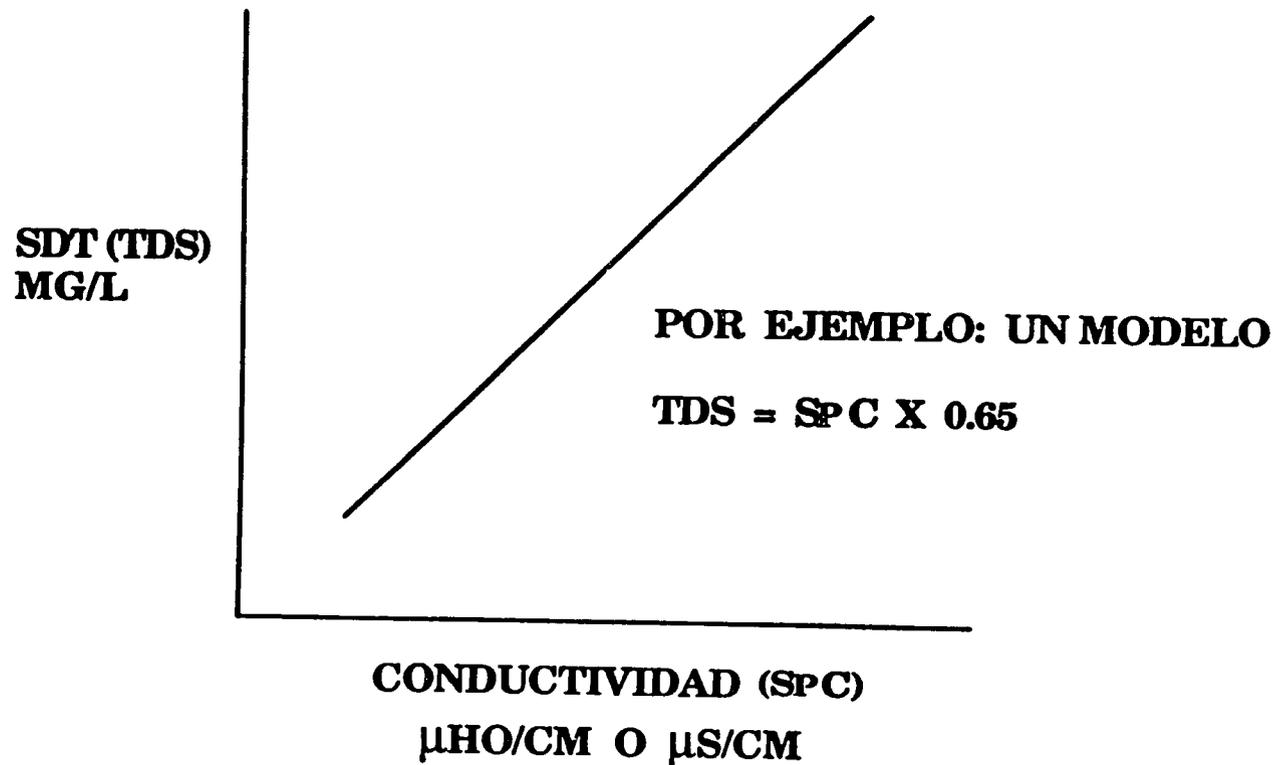


**LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA COMO UN INDICE DE SUSTANCIAS INORGANICAS Y IONIZADAS**

**SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT):  
ESTIMADO DE 'SDT' PARA LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (SPC)**

**TOTAL DISSOLVED SOLIDS (TDS):  
AS ESTIMATED FROM SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTANCE (SPC)**

**FIGURA 18-6**



## **LA DUREZA**

**FIGURA 18-7**

**LA DUREZA = CAPACIDAD PARA PRECIPITAR EL JABON**

- **TÍPICAMENTE CA Y MG**
- **SIMBOLIZANDO COMO CARBONATOS DE CALCIO ( $\text{CaCO}_3$ )**
- **"DUREZA DE CARBONATOS" = CA Y MG**
- **LA DETERMINACION ES POR EDTA**

## **LA ACIDEZ**

**FIGURA 18-8**

**LA ACIDEZ SE DEBE A LA PRESENCIA DE ACIDOS MINEIALES,  
GASES, ACIDOS ORGANICOS**

**LA ACIDEZ TIENE UNA RELACION CON EL PH PERO NO ES PRECISA**

**LA DETERMINACION DE LA ACIDEZ ES POR TITULACION CON UNA  
BASE FUERTE**

## LA ALCALINIDAD

FIGURA 18-9

**ALCALINIDAD = CAPACIDAD PARA NEUTRALIZAR ACIDOS**

**PRINCIPALMENTE:**      **CARBONATOS  $\text{CO}_3^{=}$**   
                                 **BICARBONATOS Y  $\text{HCO}_3^{-}$**   
                                 **HIDROXIDOS  $\text{OH}^{-}$**

**LA DETERMINACION ES POR TITULACION CON UN ACIDO FUERTE**

**FIGURA 18-10**

**DBO<sub>5</sub> (BOD<sub>5</sub>) = LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO**

**DCO (COD) = LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO**

**COT (TOC) = EL CARBONO ORGANICO TOTAL**

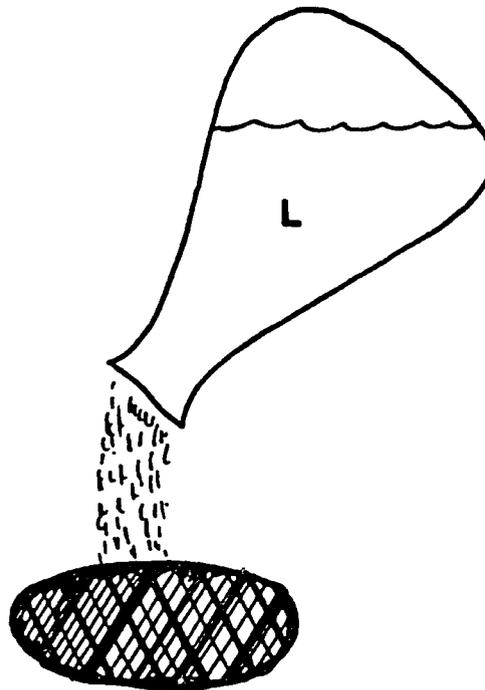
**COD (DOC) = EL CARBONO ORGANICO DISUELTO**

**MG/L SEDIMENTOS SUSPENDIDOS  
(MG/L SUSPEDED SOLIDS (SEDIMENT))**

**FIGURA 18-11**

**EL VOLUME  
EN LITROS**

**UN FILTRO DE  
MEMBRANA DE CIRCA  
1.0 MICRON**



**MG DE SEDIMENTOS  
ENTRAPADO**

FIGURA 18-12

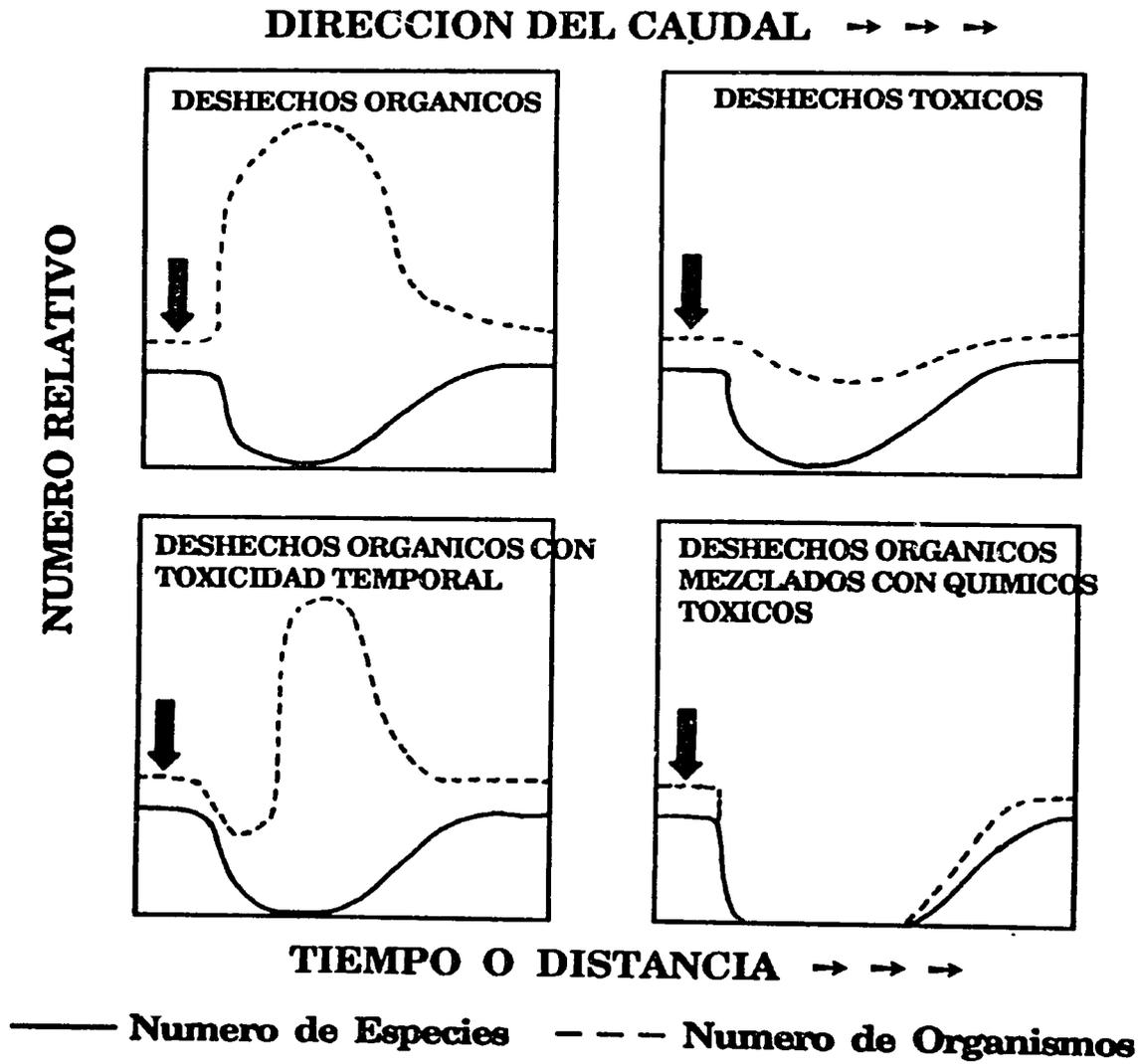


FIGURA 18-13

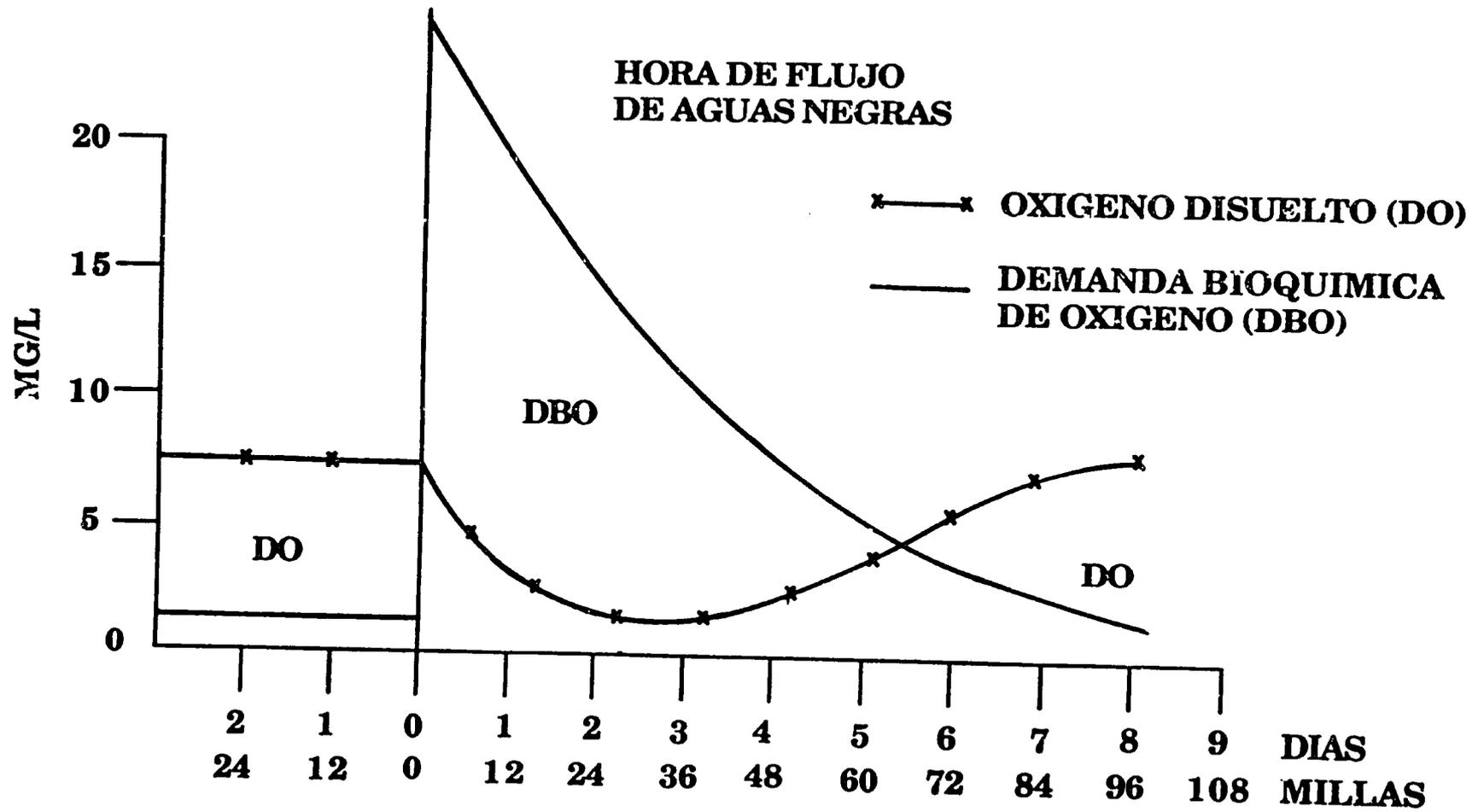
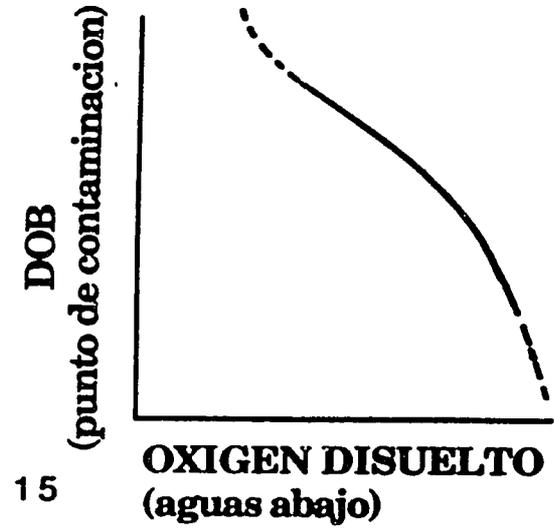
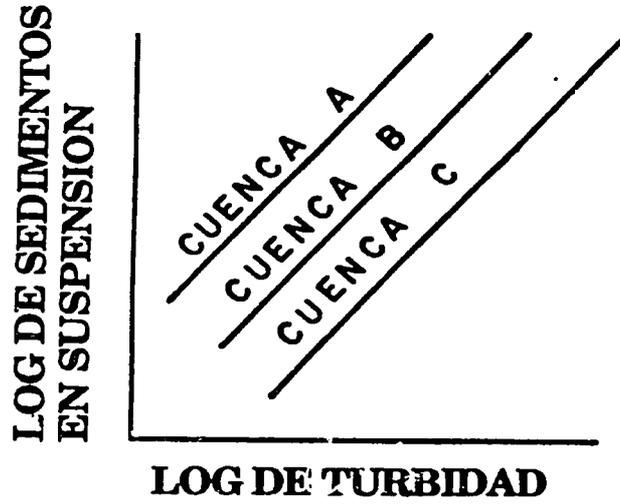
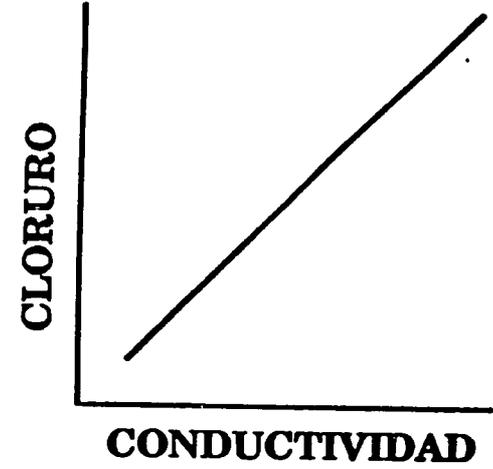
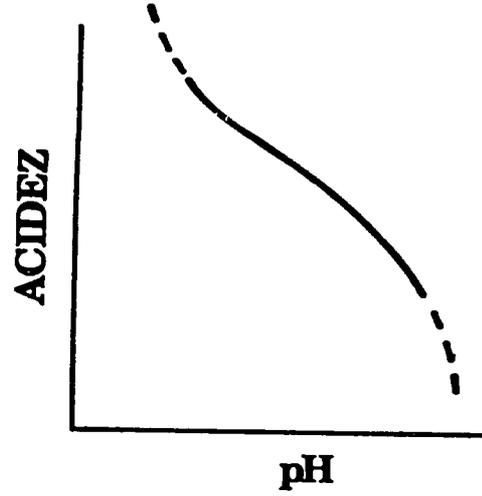
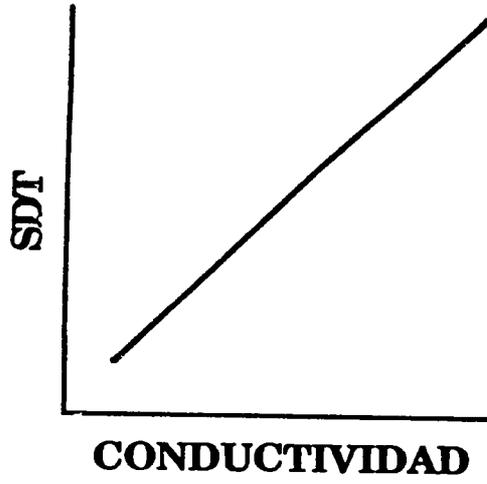


FIGURA 18-14



**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #19: Instrucciones para el Uso del Equipo 'Millipore'**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



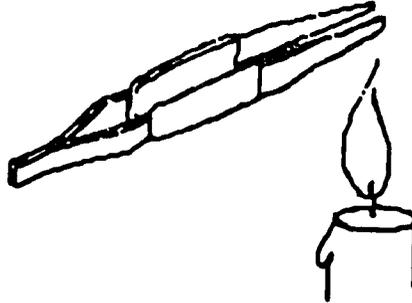
# **INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL EQUIPO “MILLIPORE”**

**Equipo para la duplicación en el campo de las pruebas de  
laboratorio para totales de bacterias coliformes**

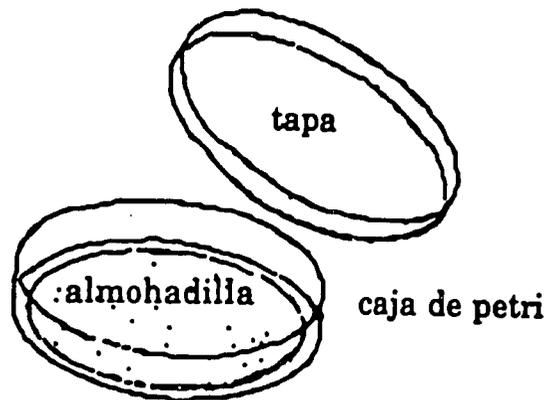
**Adaptado por Sam Kunkle y George Wallace**

# BACTERIA COLIFORM TOTAL

1. Use la pinzas (póngales al fuego primero) para coger una almohadilla blanca del sobre "PRE ESTERILIZADO".

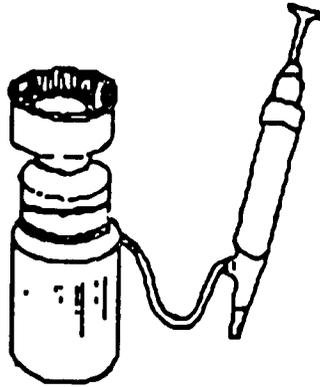


2. Prepare una caja de petri para cada una de las muestras que se van a analizar. Ponga una almohadilla en cada caja de petri.

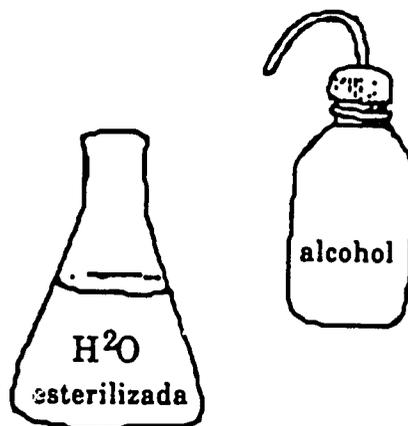


3. Añada los nutrientes de la ampolla, siga las instrucciones de la caja (recomiendo el "procedimiento alternado" que ellos dan).

4. Arme la base con el embudo y el émbolo (bomba-jeringa).

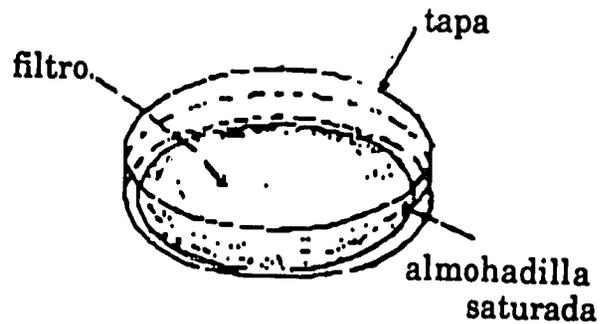


5. Enjuague el embudo con alcohol (botella de rociar), seguidamente enjuague todas las gotas de alcohol con agua esterilizada.

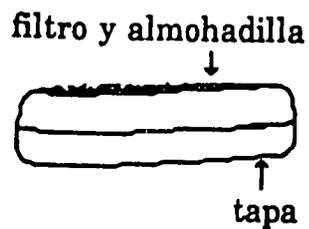


6. Con las pinzas, previamente esterilizadas, coja un filtro delgado esterilizado y póngalo en la base (la rejilla hacia arriba). Luego coloque el embudo encima.
7. Vierta en el embudo el agua que está analizando (vea tabla en las notas para saber que cantidad de agua se debe pasar por el filtro). Bombeé el agua por el filtro. Al terminar, quite el filtro y enjuague el embudo con agua esterilizada.

8. Coloque el filtro sobre la almohadilla anteriormente preparada en la caja de petri (rejilla hacia arriba). El filtro se pegará a la almohadilla y la almohadilla se pegará al fondo de la caja petri.



9. Coloque la caja de petri cerrada, hacia abajo en el incubador. La almohadilla y el filtro se pegarán bien, no se caerán.



10. Para hacer más muestras repita pasos 5 a 9.

11. Incube 24 horas. Cuente las colonias.

## NOTAS

1. Procesar primero las muestras limpias (e.j. manantial) y cualquier muestra sucia (e.j. río) de último, como un hábito.
2. Agua potable: Visualmente use 100 ml. Los ríos son más difíciles para adivinar el volumen, por lo tanto procesamos 2 concentraciones.

Sugiero lo siguiente:

• Fuentes (manantiales)		100 ml
• Pequeños riachuelos con bosques con apariencia limpia	e.j. o	(50 ml y 10 ml 100 ml y 10 ml)
• Cauces con algunos vacas y otros impactos cerca	o	1 ml y 10 ml 5 ml y 25 ml
• Ríos probablemente contaminados		1 ml o 5 ml
• Río altamente contaminado		1/10 ml y 1 ml

El objetivo es obtener cerca de 20 a 60 colonias en una caja petri (puede tener demasiadas colonias, así que necesita usar muestras más pequeñas)

3. Para procesar cantidades pequeñas como 1 ml de muestra, primero añada 2 a 25 ml de agua esterilizada al embudo, de otra manera las colonias se amontonarán y será difícil leerlas.
4. Los desechos o aguas negras pueden ser analizados haciendo una botella de 99 ml de agua esterilizada con 1 ml del desecho, moverla bien, luego coja 1 ml de muestra de la botella de dilución la cual dará 1/100 ml (necesitará experimentar con volúmenes apropiados dependiendo del desecho en particular). Todos los resultados se reportan siempre con per 100 ml.

**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

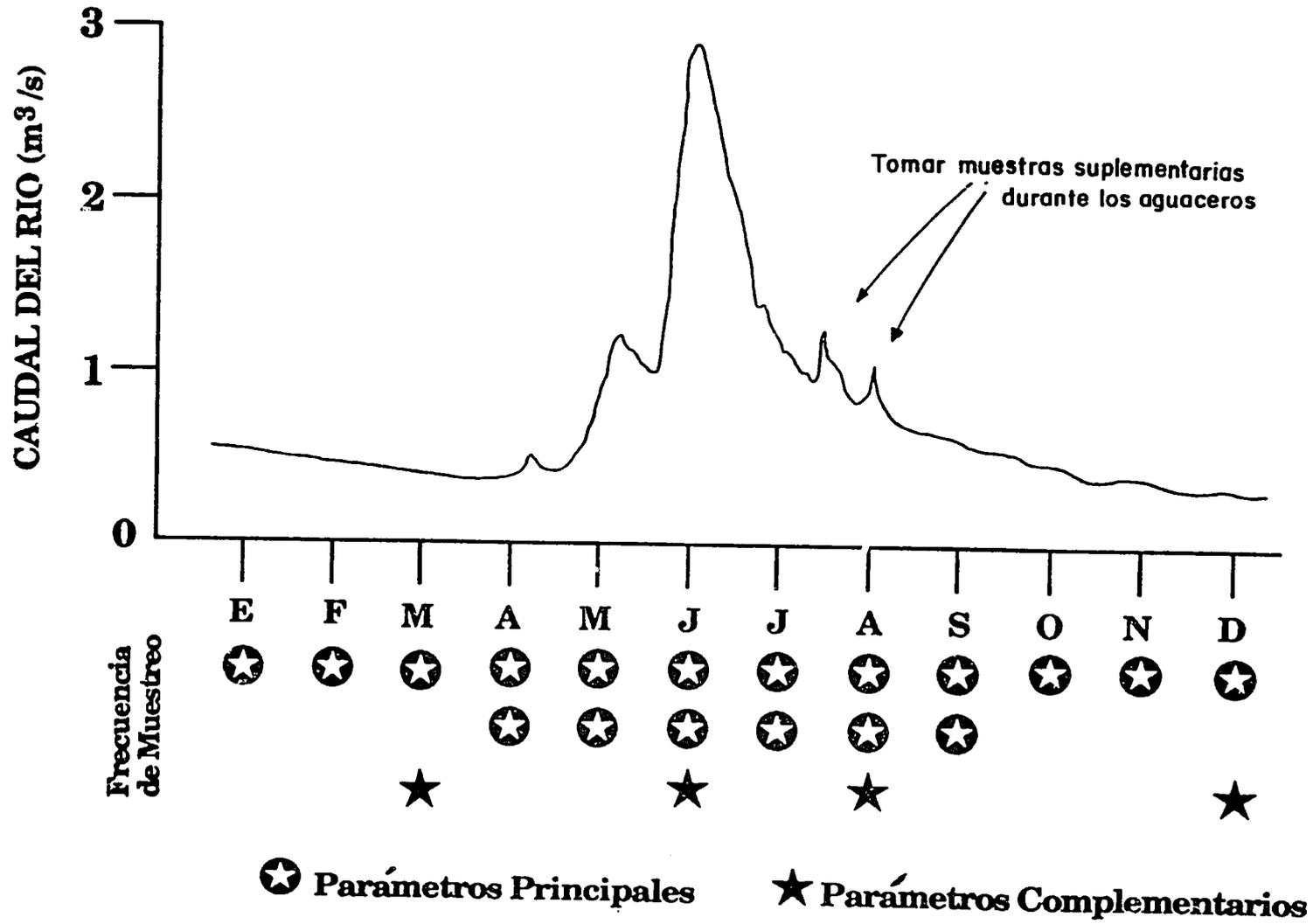
**Documento #20: Monitoreo de Agua**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# MONITOREO DE AGUA

FIGURA 20-1



**Dirección General de Caminos**  
**Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra**  
**Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE**  
**MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #21: Ejercicio de Aforo de una Quebrada**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado**  
**Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332**  
**Guatemala, C.A.**



## **EJERCICIO #1**

**Objetivo:** Conocer la velocidad de flujo de una quebrada (en litros/segundo)

**Nota:** Para conocer la velocidad de flujo, primero hay que conocer el área transversal de la quebrada, para lo que es necesario medir el ancho y profundidad de la misma.

**Equipo Necesario:** Medidor del Nivel del Agua, Cinta Métrica, Reloj, Corcho o Flotador, Cáñamo Liviano, Papel Blanco, Papel para Gráficas y Lápiz de Grafito

### **Pasos:**

1. Preparar una "Hoja de Datos" para registrar las medidas (ver ejemplo)
2. Seleccionar la quebrada que se quiere aforar
3. Seleccionar en la quebrada, el sitio en donde se van a hacer las medidas. El área seleccionada debe ser representativa del cuerpo de agua.
4. Medir el área transversal de la quebrada (anotar en la Hoja de Datos las medidas obtenidas) (ver la hoja adjunta)
  - a. Marcar la "línea" donde se van a tomar las medidas. Poner una estaca a cada lado de la quebrada para fijar el cáñamo.
  - b. Medir con la cinta métrica el ancho.
  - b. Dividir el ancho de la quebrada de 3 a 5 secciones dependiendo del ancho de la misma.
  - c. En cada sección medir 3 a 8 veces la profundidad según el ancho de cada una.
5. Medir la velocidad de flujo de la quebrada en metros/segundo (anotar las medidas en la Hoja de Datos). Luego calcular el flujo en segundos/metro
  - a. Marcar un metro de distancia del cáñamo hacia abajo de la corriente.
  - b. Soltar el corcho en el punto de inicio y anotar el tiempo que tarda el mismo en llegar a la marca aguas abajo. Se debe hacer esto

para cada sección de la quebrada; repetirlo varias veces en cada una y tomar en consideración el promedio

6. Cálculo del área y velocidad de flujo (se pueden hacer estos cálculos en gabinete)

a. Área, en m<sup>2</sup>

$$\text{Fórmula: } A_{sx} = (a_{sx}) (p_{sx})$$

donde:  $A_{sx}$  = área de sección en m<sup>2</sup>

$a_{sx}$  = ancho de sección x en m

$p_{sx}$  = promedio de la profundidad de sección x en m

b. Velocidad, en litros/segundo (Nota: 1 m<sup>3</sup> = 1,000 litros)

$$\text{Fórmula: } V_{sx} = [(Area_{sx}) (VM_{sx})] (1,000)$$

donde:  $V_{sx}$  = velocidad de sección x en litros/segundo

$Area_{sx}$  = área de sección x en m<sup>2</sup>

$VM_{sx}$  = velocidad de sección x en m/s

Notas:

1. En el campo se anotará la velocidad de flujo en segundos/m o sea, los segundos para un metro de distancia, entonces, es necesario hacer la inversión de éste dato para saber la velocidad en m/segundo.

## EJEMPLO DE TRABAJO EN EL CAMPO

- En la Hoja de Datos anotamos el ancho de la quebrada e hicimos medidas de la profundidad cada 0.25 m (25 cm), también hicimos tres medidas de velocidad por cada sección (en segundos/metro).
- Ahora, hay que hacer los cálculos para cada sección de la quebrada y sumarlos para determinar la velocidad de flujo en litros/segundo. Los resultados de los cálculos son los siguientes:

Sección	Ancho (m)	Velocidad (m/s)	Promedio de Profundidad (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Velocidad (L/s)
#1	0.875	0.125	0.045	0.039	4.875
#2	1.250	0.230	0.146	0.183	42.090
#3	0.775	0.165	0.020	0.016	2.640
<b>TOTAL DE FLUJO</b>					<b>49.605</b>

### Ejemplo de los Cálculos Para Completar el Cuadro

#### Sector #1

#### Promedio de Profundidad

$$p_1 = \frac{0 + 0.03 + 0.08 + 0.07}{4}$$

$$p_1 = 0.045 \text{ m}$$

#### Area

$$A_1 = (a_1)(p_1)$$

$$A_1 = (0.875 \text{ m})(0.045 \text{ m})$$

$$A_1 = 0.039 \text{ m}^2$$

## Velocidad

Primero se calcula la velocidad en m/seg.

$$VM_1 = \frac{7+8+9}{3}$$

$$VM_1 = 8 \text{ segundos/metro}$$

$$VM_1 = \frac{1}{8}$$

$$VM_1 = 0.125 \text{ m/seg.}$$

Ahora se calcula la velocidad en L/seg.

$$V_1 = [(Area_1) (VM_1)] (1,000)$$

$$V_1 = (0.039 \text{ m}^2) (0.125) (1,000)$$

$$V_1 = 4.875 \text{ L/seg.}$$

## **Sector #2**

### Promedio de Profundidad

$$p_1 = \frac{0.08 + 0.10 + 0.25 + 0.18 + 0.12}{5}$$

$$p_1 = 0.146 \text{ m}$$

### Area

$$A_1 = (a_1) (p_1)$$

$$A_1 = (1.25 \text{ m}) (0.146 \text{ m})$$

$$A_1 = 0.183 \text{ m}^2$$

### Velocidad

Primero hay que calcular la velocidad en m/seg

$$VM_1 = \frac{5+5+3}{3}$$

$$VM_1 = 4.3 \text{ segundos/metro}$$

$$VM_1 = \frac{1}{4.3}$$

$$VM_1 = 0.230 \text{ m/s}$$

Luego se calcula la velocidad en L/seg.

$$V_1 = [(Area_1) (VM_1)] (1,000)$$

$$V_1 = (0.183 \text{ m}^2) (0.230 \text{ m/seg.}) (1,000)$$

$$V_1 = 42.090 \text{ L/seg.}$$

### **Sector #3**

#### Promedio de Profundidad

$$p_1 = \frac{0.05 + 0.01 + 0.0}{3}$$

$$p_1 = 0.020 \text{ m}$$

#### Area

$$A_1 = (a_1) (p_1)$$

$$A_1 = (0.775 \text{ m}) (0.020 \text{ m})$$

$$A_1 = 0.016 \text{ m}^2$$

## Velocidad

Primero hay que calcular el velocidad en m/seg.

$$VM_1 = \frac{5+8+5}{3}$$

$$VM_1 = 6 \text{ segundos/rev.astro}$$

$$VM_1 = \frac{1}{6}$$

$$VM_1 = 0.167 \text{ m/seg.}$$

Ahora hay que calcular el velocidad en L/seg

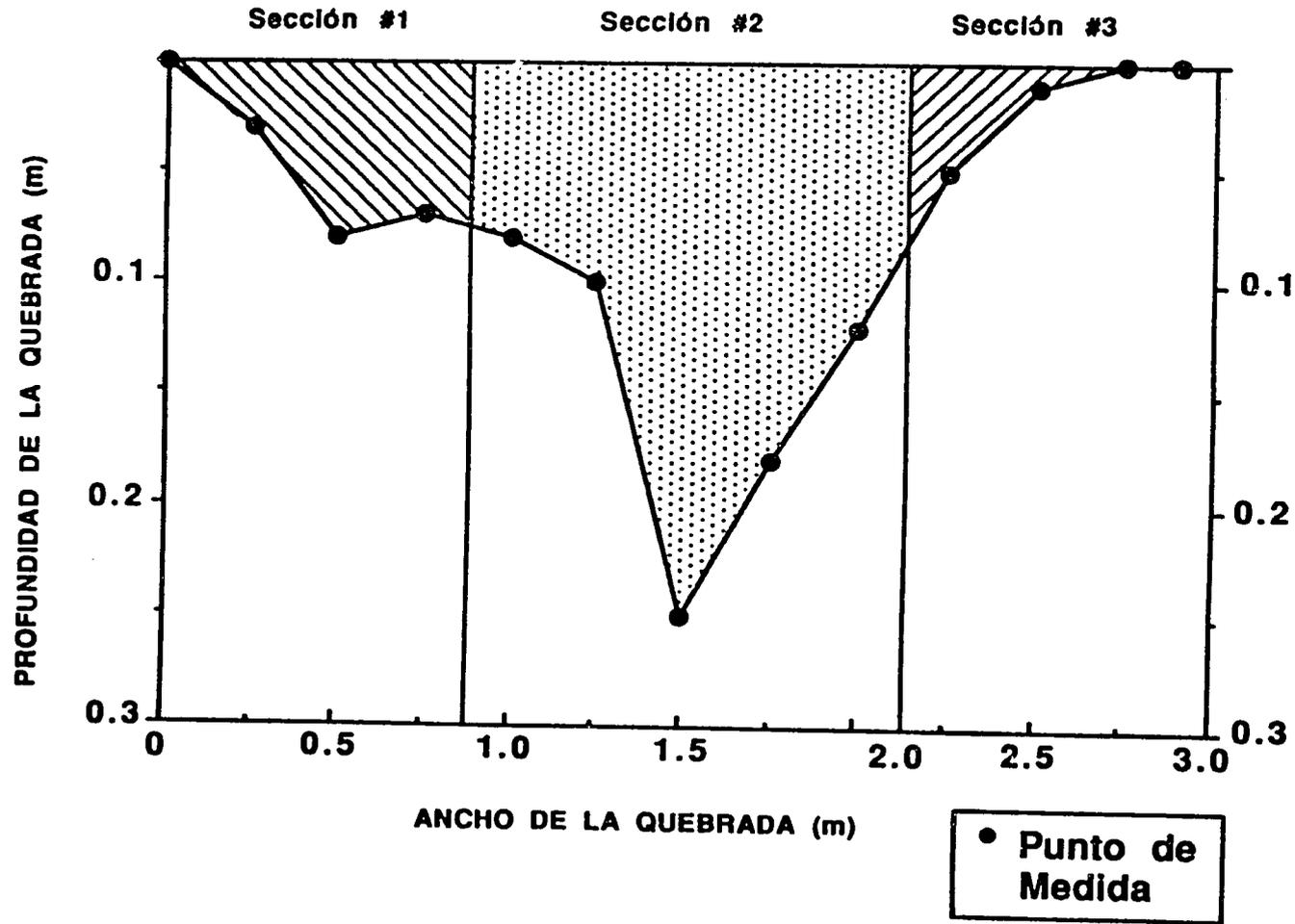
$$V_1 = [(Area_1) (VM_1)] (1,000)$$

$$V_1 = (0.016 \text{ m}^2) (0.167 \text{ m/seg.}) (1,000)$$

$$V_1 = 2.672 \text{ L/seg.}$$

# DIAGRAMA DE PERFIL DE LA QUEBRADA - SITIO #1

## FIGURA 21-1





HOJA DE DATOS:  
CALIBRACION DE AREA Y VELOCIDAD DE FLUJO DE QUEBRADA

NOMBRE DEL SITIO: Quebrada #1  
 FECHA: 22/4/90 HORA: 12:00  
 NOMBRE DE MEDIDOR: Ing. Bauer

Numero de Sección	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (segundos/m)
1	0	0	
	0.25	.03	7, 9, 8
	0.50	.08	
	0.75	.07	
2	1.0	.08	
	1.25	.1	
	1.5	.25	5, 3, 5
	1.75	.18	
	2.0	.12	
3	2.25	.05	
	2.5	.01	8, 5, 5
	2.9	0	

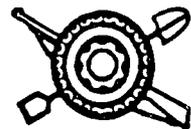
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #22: Ejercicio de Conducción Especifica y pH**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



# **CURSO CORTO SOBRE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

## **EJERCICIO DE CAMPO**

### **CONDUCCION ESPECIFICA Y pH**

#### **Procedimiento**

1. Agregue 200 ml de agua destilada a un vaso de laboratorio
2. Calibre las pruebas de conductividad y pH
3. Coloque las pruebas de conductividad y pH en el vaso de laboratorio
4. Añada 5 gotitas de ácido acético (vinagre). Registre la conductividad y el pH, haga sus comentarios
5. Agregue 3 g ( $\pm$  1 cuchada) de hidrato de carbono (azúcar). Registre la conductividad y el pH, haga comentarios
6. Agréguele 2 gotitas de 5.0 N NaOH (u otra base concentrada) (HAGA ESTO CON MUCHO CUIDADO!). Registre la conductividad y el pH, haga comentarios
7. Agréguele 2 g de NaCl (sal). Registre la conductividad y el pH y haga comentarios
8. Agréguele 5 gotitas de ácido acético (vinagre corriente). Registre la conductividad y el pH, haga comentarios

## CUADRO DE DATOS

Procedimiento	pH (unidades)	Conducción (umhos/cm)	Comentarios
Initial (#2)			
Acido Acético (vinagre) (#4)			
Hidrocarburo (azucar) (#5)			
NaOH (o otra base concentrada) (#6)			
NaCl (sal) (#7)			
Acido Acético (vinagre)(#8)			

1. Dé sus comentarios con relación a la conducción específica y al pH para detectar las siguientes sustancias. Califique utilizando la escala detección Muy Buena, Moderada, o Mala.

Substancia	Sp C	pH
Acido Orgánico		
Hidrocarburo		
Base Concentrada		
Sal		

2. Comente los resultados e indique si una, ambas o ninguna de las medidas es buena para analizar lo siguiente:

- aguas servidas
- metales de la industria minera
- derrames de petróleo
- ácidos orgánicos naturales de áreas de pantanos (wetlands)
- desperdicios de beneficios de café
- abonos de fincas
- desperdicios de ingenios de azúcar
- escurrimiento de caminos rurales
- lluvias ácidas

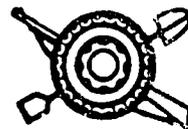
**Dirección General de Caminos  
Programa de Caminos Rurales con Uso Intensivo de Mano de Obra  
Componente de Conservación del Medio Ambiente.**



**CURSO CORTO SOBRE  
MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

**Documento #23: Definiciones de Palabras de Calidad de Agua**

**Proyecto de Caminos de Acceso de los Centros de Producción al Mercado  
Convenio de Donación AID/G de G No. 520-0332  
Guatemala, C.A.**



**Fuente: Manual Para Analisis de Agua, publicado por la compaa HACH, Loveland, Colorado, EEUU.**

## ACEITES, PETROLEO, Y GRASAS (OIL PETROLEUM, AND GREASE)

Las aguas naturales pueden contener materias grasas procedentes de la descomposición del plancton y/o de formas superiores de vida acuática. La mayoría de los aceites y grasas son insolubles en agua pero pueden ser emulsionados o saponificados por álcalis, detergentes y otros productos químicos. Algunas fracciones livianas del petróleo evidencian una ligera solubilidad en agua y pueden formar una mancha aceitosa sobre la superficie del agua. La presencia de aceite, petróleo o grasa en el agua generalmente indica contaminación a partir de desechos industriales.

## ACIDEZ, NARANJA METILO (ACIDITY)

Acidez es una expresión cuantitativa de la capacidad de un agua para neutralizar una base fuerte hasta un pH designado. La cantidad de acidez indica el grado de capacidad corrosiva del agua.

La acidez es causada por ácidos orgánicos débiles tales como carbónico, acético o tánico, y por ácidos minerales fuertes tales como sulfúrico o clorhídrico. Los metales hidrolizables tales como hierro, aluminio y manganeso también contribuyen a la acidez pero generalmente están presentes en cantidades significativas sólo en drenajes ácidos de minas o aguas residuales industriales. En la Nota B del ensayo de acidez con fenolftaleína se describe un pretratamiento con peróxido en caliente, recomendado cuando hay presentes materiales hidrolizables.

La acidez se clasifica por el valor del pH del punto final de la titulación. En aguas no contaminadas la acidez se debe primariamente al bióxido de carbono disuelto que se puede neutralizar por titulación a su punto de neutralización a un pH de 8,3. Este valor corresponde al cambio de color del Indicador de fenolftaleína y se llama comúnmente la Acidez de fenolftaleína. Para sistemas más complejos (tales como residuos industriales o soluciones tampones) se ha escogido un pH arbitrario de 3,7 que da una estimación de ácidos minerales fuertes presentes. El indicador naranja de metilo experimenta un cambio de color desde el rojo al naranja al pH de 3,7 y los resultados se denominan comúnmente Acidez de Metil Naranja.

## ALCALINIDAD (ALKALINITY)

Alcalinidad se refiere a la capacidad del agua para neutralizar ácidos. La presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos es la causa más común de la alcalinidad de las aguas naturales.

Los niveles y tipos de alcalinidad dependen directamente del origen del agua. Las aguas naturales de superficie y de pozo contienen generalmente menos alcalinidad que las aguas fecales o residuales. Los elevados niveles de alcalinidad indican la presencia de un residuo industrial fuertemente alcalino.

La alcalinidad se expresa como alcalinidad F (fenolftaleína) o T (total). Ambos tipos están determinados por titulación con Solución estandar de ácido sulfúrico, 0,020N, hasta un punto final puesto en evidencia por el viraje de color de una solución estandar indicadora o determinado con un medidor de pH. Las bajas concentraciones de alcalinidad se determinan midiendo la cantidad de ácido estandar necesario para efectuar un cambio de pH de 0,30 unidades, comenzando a un pH entre 4,3 y 4,7.

La alcalinidad F se determina por titulación a un pH de 8,3 (punto final de la fenolftaleína) y registra el hidróxido total y la mitad del carbonato presentes. La alcalinidad T se determina por titulación a un pH de 5,1, 4,8, 4,5, ó 3,7, dependiendo de la cantidad de dióxido de carbono presente *como se describe en la Nota B*. La alcalinidad total incluye toda la alcalinidad causada por carbonato, bicarbonato, e hidróxido.

## ALUMINIO (ALUMINUM) (AL)

El aluminio, el metal más abundante en la Tierra, está presente en las aguas naturales por el contacto con rocas, suelos y arcillas. La coagulación del alumbre en sistemas para clarificación de agua puede también contribuir al contenido de aluminio en aguas tratadas aunque en una operación bien controlada sólo quedan en el producto acabado 20 a 50  $\mu$ g/l de aluminio.

## ANHIDRIDO CARBONICO (CARBON DIOXIDE) (CO<sub>2</sub>)

El anhídrido carbónico está presente en todas las aguas superficiales en cantidades generalmente menores de 10 mg/l, aunque no son raras concentraciones más elevadas en aguas continentales. El anhídrido carbónico disuelto no tiene ningún efecto fisiológico perjudicial en seres humanos y se usa para recarbonatar el agua durante las fases finales del proceso para ablandar el agua y para carbonatar bebidas gaseosas. Las elevadas concentraciones de anhídrido carbónico disuelto son corrosivas y se conoce su potencial para matar peces.

El análisis para el anhídrido carbónico es similar al de la acidez. Se titula una muestra de agua hasta un punto final de fenolftaleína con Solución estandar de hidróxido sódico, 0,0227N. Se supone que los ácidos minerales fuertes están ausentes o su efecto es despreciable. Se debe tener cuidado durante el análisis de minimizar la pérdida de anhídrido carbónico de la muestra de agua debido a la aereación cuando se toma y revuelve la muestra.

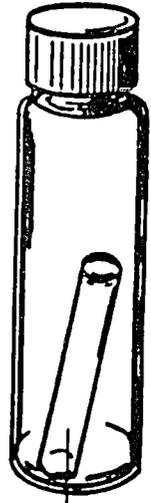
## ARSENICO (ARSENIC) (AR)

Se puede encontrar arsénico en el agua como resultado de la disolución de minerales, contaminación por descargas industriales, o del lavado de suelos después de la aplicación de insecticidas. El arsénico presenta un riesgo para la salud a causa de su elevada toxicidad y los efectos crónicos de su ingestión repetida.

## BACTERIAS, TOTALES Y FECAL COLIFORME (FECAL COLIFORM)

Conjunto de tubo pa  
ensayo de coliforme  
Hach Estandar 10 n

Muchos de los microorganismos que causan serias enfermedades, tales como la fiebre tifoidea y la disenteria, pueden relacionarse directamente con aguas contaminadas. Estos organismos productores de enfermedades se descargan junto con residuos fecales y son difíciles de detectar en suministros de agua. Afortunadamente, otras bacterias menos dañinas, fácilmente aislables, llamadas organismos indicadores, viajan con los microbios productores de enfermedades. Entre estos indicadores están las bacterias coliformes. Viven en el intestino humano y de otros animales y se encuentran casi siempre presentes incluso en personas sanas. La presencia de coliformes en el agua es una señal de que puede haber presente bacterias más peligrosas.



Redoma para fermentación de gas interior

El ensayo presunto es un prerrequisito del conteo de bacterias totales y fecal coliformes. Cuando se necesitan ambos ensayos, totales y fecales, se pueden realizar concurrentemente.

## BARIO (BARIUM) (BA)

El bario es relativamente abundante en la naturaleza, pero en el agua se encuentran solamente trazas, por lo general. Las concentraciones de bario en las aguas potables son por término medio de 0,05 mg/l pero pueden ser tan elevadas como 0,9 mg/l en algunas aguas naturales. Más de 1 mg/l de bario implica que el agua no es adecuada para beber y que ha sido contaminada por desechos industriales.

## BORO (BORON) (B)

Trazas de boro están presentes en muchas aguas potables y en algunas aguas naturales. La cantidad presente es habitualmente menor de 0,1 mg/l pero en algunas áreas no son extraordinarios valores hasta 1 mg/l. Pequeñas cantidades de boro son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero las aguas que contienen 1 a 2 mg/l de boro o más afectan adversamente la vegetación.

Las grandes dosis en el organismo humano pueden afectar al sistema nervioso central. Las aguas potables cuya concentración es menor de 1 mg/l se consideran por lo general inofensivas. Las altas concentraciones de boro son causadas por lo general por residuos de agentes limpiadores y por desechos industriales.

## **CADMIO (CADMIUM) (CD)**

El cadmio es altamente tóxico cuando se ingiere por vía oral o se inala y ha estado implicado en algunos casos de envenenamiento por alimentos. Una concentración de 200 microgramos ha probado ser letal para ciertos pescados. Sin embargo, trabajos recientes han mostrado que las trazas de cadmio pueden ser esenciales para una dieta adecuada.

El cadmio puede introducirse en un suministro de agua como resultado de baños de electrogalvanización u otras descargas industriales o mediante la deterioración de cañerías galvanizadas. La concentración del cadmio en el agua potable de los Estados Unidos está estimada entre 0,4 y 60 microgramos por litro con un promedio de unos 8 microgramos por litro. Las normas para agua potable del Servicio de Salud Pública de los EEUU limitan la concentración de cadmio en agua potable admisible a 10 microgramos por litro.

## **CALCIO (CALCIUM) (CA)**

El calcio, el quinto elemento más común, se encuentra en la mayoría de las aguas naturales en niveles que varían de cero a varios cientos de miligramos por litro. El calcio contribuye a las propiedades de dureza del agua y los resultados de los ensayos se dan habitualmente como dureza de calcio (mg/l equivalente de carbonato de calcio).

La titulación EDTA para el calcio es similar al método usado para medir la dureza total (calcio más magnesio), difiriendo en la elección de indicadores y en un pH de la reacción más elevado para eliminar la interferencia del magnesio.

## **CIANURO (CIANIDE) (CN)**

El cianuro es extremadamente tóxico y está presente primariamente en efluentes industriales. La limpieza de metales y baños de electrogalvanización, lavadores de gases, fábricas de gas y hornos de coque, y varios otros tratamientos químicos son las fuentes principales del cianuro hallado en desechos industriales. Las aguas naturales no contienen cianuro y su presencia indica normalmente contaminación de una fuente industrial.

La cloración neutra o alcalina adecuada de las aguas residuales que contengan cianuro reducirá el nivel muy por debajo de los límites máximos. El Servicio de Salud Pública de los EEUU recomienda un límite para concentración de cianuro de 0,01 mg/l como el máximo permisible en suministros públicos de agua potable.

## CLORO, LIBRE (CHLORINE) ( $Cl_2$ )

El cloro es añadido a los suministros públicos de agua potable, al efluente de plantas de tratamiento de aguas fecales y a las piscinas para destruir bacterias perjudiciales. Un nivel constante de 1 mg/l de cloro libre es generalmente adecuado para controlar las bacterias sin causar un olor o sabor desagradable.

El cloro puede estar presente en el agua como cloro libre disponible y como cloro combinado disponible. Ambas formas pueden coexistir en la misma agua y pueden ser determinadas juntas como cloro total disponible. El cloro libre está presente como ión hipocloroso ácido y/o hipoclorito. El cloro combinado existe como monocloramina, dicloramina, tricloruro de nitrógeno y otros derivados del cloro.

## CLORURO (CHLORIDE) ( $Cl^-$ )

Los cloruros están presentes en todos los suministros de agua potable y en las aguas fecales, habitualmente como sal metálica. Cuando el sodio está presente en el agua potable, las concentraciones de cloruros en exceso de 250 mg/l dan un sabor salado. Si el cloruro está presente como una sal de calcio o magnesio, el nivel de detección de sabor puede ser tan elevado como 1000 mg/l de cloruro.

Los cloruros son esenciales en la dieta y pasan a través del sistema digestivo inalterados para convertirse en uno de los principales componentes de las aguas fecales. El uso extendido de zeolitas en los ablandadores de agua también contribuye en gran cantidad a los cloruros de las aguas fecales y residuales.

Las concentraciones elevadas de cloruros en agua no parecen tener efectos tóxicos en el hombre, aunque grandes cantidades pueden tener efecto corrosivo en tuberías de metal y ser perjudiciales para las plantas. La concentración máxima de cloruros permisible en agua potable, 250 mg/l, se ha establecido por razones de sabor más que como protección contra riesgos físicos.

El método Mohr argentométrico, el ensayo más ampliamente conocido para cloruros, usa un indicador de cromato. La muestra es titulada con una solución estandar de nitrato de plata para precipitar selectivamente primero el cloruro presente, luego el cromato. El punto final de la titulación está indicado por la primera aparición de un precipitado rojo de cromato de plata.

El método más moderno de nitrato de mercurio ha ganado popularidad debido al punto final acusado de amarillo a rosado-púrpura de difenilcarbazona y a la ausencia de precipitado durante la titulación. Se ha desarrollado un polvo estable único que combina el indicador de color con un tampón apropiado para establecer el pH correcto de la muestra. Las interferencias se discuten en las notas al procedimiento para cada método de ensayo.

## COBALTO (COBALT) (Co)

Aunque raramente se encuentra en aguas naturales, el cobalto está presente a menudo en aguas residuales industriales como un producto de la corrosión del acero inoxidable, aleaciones de níquel o cobalto, y de baños de electrogalvanización de metales. El cobalto se considera relativamente no tóxico para el hombre. La toxicidad del cobalto para la vida acuática indica que la tolerancia varía ampliamente y está influenciada por las especies, pH, efectos de coalición y otros factores.

## COBRE (COPPER) (CU)

El cobre puede estar presente en aguas naturales, aguas residuales y efluentes industriales como sales solubles de cobre o como compuestos de cobre precipitados en sólidos suspendidos. El metabolismo del cuerpo humano necesita trazas de cobre y su ausencia causa anemia nutricional en niños. Grandes dosis por vía oral de cobre pueden causar vómitos y pueden eventualmente resultar en daños al hígado. Aunque se añaden a menudo sales de cobre a los estanques para controlar la vida de las plantas acuáticas, grandes cantidades han probado ser perjudiciales para los peces.

El cobre no se considera generalmente un riesgo para la salud, pero más de 1 mg/l de cobre puede dar un sabor amargo al agua. La concentración media del cobre en aguas potables es 0,03 mg/l y en ocasiones puede llegar a 0,6 mg/l en aguas naturales de algunas regiones.

## COLOR, APARENTE Y REAL (COLOR, TRUE)

El color en las aguas naturales resulta de la presencia de sales metálicas, materia orgánica y otros materiales disueltos o suspendidos. Los residuos industriales contribuyen con colores específicos a las aguas residuales que dependen, al igual que la mayoría de los materiales que dan color, del pH del agua. La eliminación del color es necesaria para algunos procesos industriales y se practica para el agua destinada a propósitos domésticos generales.

## CONDUCTIVIDAD (CONDUCTIVITY)

La conductividad, tal como se aplica al análisis de agua, es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sustancias ionizadas en el agua. Una vez que se han establecido correlaciones entre los valores de la conductancia y las normas características del sistema que se está supervisando, se convierte en una medida útil para manejar el procesamiento del agua. Dependiendo de la aplicación en particular, un cambio en la conductividad puede ser señal de cosas tales como la necesidad de añadir productos químicos o de regenerar el sistema.

Las medidas de conductividad se usan corrientemente para determinar la pureza del agua desmineralizada y los sólidos totales disueltos en agua para calderas y torres de refrigeración.

El método de medida usado en el siguiente procedimiento usa medición directa con un Medidor de conductividad Hach que tiene una gama desde 0 a 20.000 microhmios/cm. Mediante dilución de la muestra, se pueden determinar niveles más altos de conductividad. Hay disponible una solución de cloruro sódico estandar de Hach, 1000 mg/l (1990 microhmios/cm) para comprobar la exactitud del instrumento.

## **CROMO HEXAVALENTE (CHROMIUM, HEXAVALENTE) ( $\text{CrO}_4^{2-}$ )**

El cromo puede estar presente en el agua en la forma hexavalente (cromato) o trivalente, aunque el cromo trivalente raramente se encuentra en agua potable. El cromo hexavalente entra en un suministro de agua a través de desechos industriales de baños de electrogalvanización de metales y de torres industriales de refrigeración donde el cromo se usa para inhibir la corrosión de los metales.

El cromo es un contaminante inconveniente en los suministros públicos de agua potable debido a sus sospechados efectos cancerígenos. El cromo presente en aguas potables por encima de  $3 \mu\text{g/l}$  indica la presencia de desechos industriales. Las concentraciones mayores de  $50 \mu\text{g/l}$  son motivo suficiente para rechazar el suministro de esa agua.

## **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) (BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND) (BOD)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es una medida empírica de las necesidades de oxígeno de las aguas residuales y fecales municipales e industriales. Los resultados del ensayo se utilizan para calcular el efecto de descargas de residuos sobre los recursos de oxígeno de las aguas que los reciben. El ensayo de DBO tiene un valor limitado para medir la demanda real de oxígeno porque los cambios de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar, concentración de oxígeno y otros factores ambientales no se pueden reproducir con precisión en el laboratorio. El ensayo de DBO tiene su mayor valor después de que se hayan establecido patrones de comportamiento de la recuperación de oxígeno para un efluente y curso de agua receptora específicos.

El ensayo de DBO se usa con mayor frecuencia para medir cargas de residuos en plantas de tratamiento y para evaluar la eficiencia de tratamientos de aguas residuales. Una serie de observaciones de DBO permite una estimación de los requisitos de oxígeno y de las tasas de oxidación.

El ensayo de DBO se efectúa incubando una muestra sellada de aguas residuales (o una dilución preparada) durante el periodo estandar de cinco días y determinando después el cambio en el contenido de oxígeno disuelto. Entonces se puede calcular el valor de la DBO a partir de los resultados de los ensayos de oxígeno disuelto.

## **DETERGENTES, ANIONICOS (DETERGENTS, ANIONIC)**

Los detergentes son una causa común de formación de espuma en muchas aguas naturales y en grandes cantidades presentan una amenaza para la vida acuática. Los detergentes sintéticos comerciales contienen normalmente o bien ABS (Alkil Benceno Sulfonato no biodegradable) o LAS (Alkilato Sulfonato Lineal biodegradable) como surfactantes, siendo ante último el que se usa en forma casi exclusiva hoy en día. La concentración de detergentes en el agua proporciona un índice de la contaminación a partir de fuentes domésticas.

## **DUREZA, TOTAL (HARDNESS)**

Se define la dureza como la característica del agua que representa la concentración total de calcio y magnesio expresada como su equivalente en carbonato de calcio. Cuando haya presentes otros iones metálicos polivalentes en cantidades significativas, también se determinan y registran como dureza.

La dureza del agua se definió originalmente como su capacidad para precipitar jabón. Los iones calcio y magnesio son las causas principales aunque el hierro, aluminio, manganeso, estroncio, zinc, e hidrógeno sean también iones capaces de producir el mismo efecto. En las aguas naturales no se encuentran comúnmente concentraciones elevadas de estos últimos iones. Las concentraciones de dureza se expresaron originalmente como granos por galón, pero hoy día se dan corrientemente como miligramos por litro ( $1 \text{ g/g} = 17,12 \text{ mg/l}$ ).

El ensayo de dureza es el análisis más frecuentemente efectuado en la industria del agua. Las grandes cantidades de dureza son indeseables por razones estéticas y económicas en muchas industrias y se deben eliminar antes de que el agua sea adecuada para su uso; ej., las industrias de bebidas, alimentación, lavandería, acabado de metales, tintes y textiles, y papel y pulpa. Los niveles superiores a los  $500 \text{ mg/l}$  de dureza son indeseables para el uso doméstico, y la mayoría de los suministros de agua potable tienen una dureza media de  $250 \text{ mg/l}$ .

## **ESTABILIDAD RELATIVA (RELATIVE STABILITY)**

Se define la Estabilidad relativa como el porcentaje de oxígeno disponible (oxígeno disuelto y el oxígeno en nitritos y nitratos) en una muestra de aguas de alcantarilla o residuales comparado con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). El porcentaje está directamente relacionado con el número de días requeridos para que se consuma el oxígeno disponible en la muestra.

El Método azul de metileno emplea el indicador azul de metileno para manifestar el agotamiento del oxígeno disponible. Se usa una tabla para relacionar el tiempo requerido para el agotamiento del oxígeno con el porcentaje de estabilidad relativa.

## **FENOLES (PHENOLS)**

Los fenoles se producen como residuos en refinerías de petróleo, plantas de carbón y en algunas plantas de fabricación de productos químicos. Las aguas naturales normalmente contienen menos de  $1 \mu\text{g/l}$ , pero en algunas zonas pueden ocurrir concentraciones que llegan a los  $20 \mu\text{g/l}$ . Los niveles de fenol entre  $10$  a  $100 \mu\text{g/l}$  son detectables por el sabor y olor, y una concentración de  $1 \mu\text{g/l}$  de fenol puede otorgar un sabor inconveniente al agua que haya sufrido una ligera adición de cloro.

## FLUORURO (FLUORINE) (F)

El fluoruro está presente naturalmente en algunas aguas continentales y se mantiene normalmente un nivel de 1 mg/l en los suministros de agua potable para la prevención de las caries dentales. Las cantidades excesivas de fluoruro causan una descoloración inconveniente del esmalte dental llamada fluorosis, aunque los niveles hasta 8 mg/l no han probado ser fisiológicamente perjudiciales.

## FOSFORO, REACTIVO (REACTIVE PHOSPHORUS) (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y aguas residuales casi exclusivamente como fosfatos. Los fosfatos son muy usados en los sistemas de tratamientos de aguas, municipales y privadas, y se agrupan comúnmente en tres tipos: ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta u otros polifosfatos) y fosfatos de compuestos orgánicos. La única forma determinada directamente son los ortofosfatos. Los otros tipos requieren pretratamiento para ser convertidos a la forma ortofosfato para su análisis.

Los fosfatos entran en el suministro de agua a partir de desagües de fertilizantes agrícolas, tratamiento de aguas y desechos y residuos biológicos. Los efluentes industriales relacionados con control de corrosión y sedimentos, procesos químicos y el uso de detergentes y surfactantes contribuyen de modo significativo. Los fosfatos condensados son las formas corrientemente usadas en sistemas de tratamiento de agua y calderas y en formulaciones de detergentes. Después de ser disueltos en agua, estos fosfatos son convertidos en ortofosfatos a tasas diferentes dependiendo de sus tipos, la temperatura del agua y el pH.

Una cierta cantidad de fosfato en las aguas naturales es esencial para el desarrollo de los organismos, y es a menudo el factor limitante del crecimiento. Demasiados fosfatos pueden producir eutrofismo o fertilización excesiva de las aguas receptoras, especialmente si hay presente gran cantidad de nitratos. El resultado es el rápido crecimiento de la vegetación acuática en cantidades inconvenientes y finalmente un descenso del contenido de oxígeno disuelto en el lago o corriente debido a la muerte y deterioro de la vegetación acuática.

## HIERRO, FERROSO (IRON, FERROUS) (FE<sup>2+</sup>)

Las aguas naturales contienen cantidades variables pero pequeñas de hierro a pesar de su distribución y abundancia universal. El hierro de las aguas continentales está normalmente presente en el estado ferroso (Fe<sup>2+</sup>) o soluble que es oxidado con facilidad a hierro férrico (Fe<sup>3+</sup>) o insoluble cuando se expone al aire. El hierro puede introducirse en un sistema de agua por lixiviación de depósitos naturales, por residuos industriales que contengan hierro, por efluentes de baños de ácido, o por drenajes ácidos de instalaciones mineras.

El hierro en los suministros de agua domésticos mancha la ropa y la porcelana, causando una molestia más que un riesgo potencial para la salud. Los umbrales de sabor del hierro en el agua son 0,1 mg/l de hierro ferroso y 0,2 mg/l de hierro férrico, dando un sabor amargo o astringente. El agua usada en procesos industriales tiene que contener menos de 0,2 mg/l de hierro total. Los suministros de agua domésticos que contienen más de 0,3 mg/l de hierro total deben ser rechazados debido a consideraciones de mancha y sabor.

## MANGANESO (MANGANESE) (Mn)

El manganeso está presente en las aguas subterráneas como ión divalente ( $Mn^{2+}$ ) debido a la falta de oxígeno subsuperficial. Las aguas superficiales pueden contener combinaciones de manganeso en diversos estados de oxidación como complejos solubles o como partículas suspendidas.

La presencia del manganeso en las aguas de suministro público presenta más un problema económico que un riesgo potencial para la salud. El manganeso causa manchas oscuras en la ropa al lavar y en los elementos fijos de las cañerías, tiende a depositarse en las tuberías de agua, y da un sabor desagradable a bebidas tales como café y té. El manganeso en las aguas naturales raramente excede de 1 mg/l pero niveles de 0,1 mg/l son suficientes para causar problemas de manchas y sabor. El máximo de manganeso permisible en suministros públicos de agua es 0,05 mg/l con el contenido de hierro más manganeso menor de 0,3 mg/l.

## MERCURIO (MERCURY) (Hg)

El mercurio no se encuentra corrientemente en aguas naturales y su presencia indica contaminación a partir de desechos industriales de plantas de proceso de metales, farmacéuticas o químicas. El mercurio puede también penetrar en un sistema de aguas mediante pesticidas agrícolas, residuos de herbicidas y fungicidas, o mediante compuestos medicinales residuales. Los residuos de compuestos orgánicos de fenilo y alkilo de mercurio (típicamente como fenil acetato mercuríco o metil mercurio) son los que se encuentran con más frecuencia en el agua y tienen aproximadamente idénticas propiedades tóxicas que el mercurio elemental.

La ingestión prolongada de mercurio puede causar pérdida de control muscular, daños al riñón, cambios de personalidad y daños cerebrales permanentes. Tanto las formas orgánicas como inorgánicas de compuestos de mercurio pueden absorberse por vía cutánea, causando quemaduras y daños a las membranas internas. Las dosis elevadas en seres humanos pueden causar por lo general la muerte en menos de 10 días.

## NIQUEL (NICKEL) (Ni)

El níquel, raramente encontrado en aguas naturales, está presente a menudo en aguas residuales industriales como producto de la corrosión del acero inoxidable, aleaciones de níquel o cobalto y de baños de electrogalvanización de metales. El níquel se considera relativamente poco tóxico para el hombre. La toxicidad del níquel para la vida acuática indica que las tolerancias varían ampliamente y están influenciadas por las especies, pH, efectos de agregación y otros factores. Las sales de níquel en concentraciones entre 0,5 y 1,0 mg/l han probado ser perjudiciales para cierto número de especies vegetales.

## **NITROGENO, AMONIACAL (NITROGEN, AMMONIA) (N-NH<sub>4</sub>)**

El nitrógeno amoniacal es un producto de la descomposición microbiológica de proteínas animales y vegetales. Las plantas pueden volverlo a utilizar directamente y se encuentra corrientemente en los fertilizantes comerciales.

La presencia de nitrógeno amoniacal en aguas superficiales sin tratar no es común e indica contaminación doméstica. El nitrógeno amoniacal en aguas subterráneas es normal debido a procesos de reducción microbiana naturales.

## **NITROGENO, NITRATO (NITROGEN, NITRATE) (N-NO<sub>3</sub>)**

El nitrato representa el estado más completamente oxidado del nitrógeno comúnmente presente en el agua. Las bacterias formadoras de nitrato convierten los nitritos en nitratos en condiciones aeróbicas y los rayos convierten grandes cantidades de nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>) directamente en nitratos. Muchos fertilizantes comerciales granulares contienen nitrógeno en forma de nitratos.

Los niveles elevados de nitrato en el agua indican desechos biológicos en las fases finales de estabilización y desagües de campos muy fertilizados. Los efluentes ricos en nitratos que descargan en aguas receptoras pueden degradar la calidad del agua favoreciendo el crecimiento excesivo de algas. Las aguas potables que contienen cantidades excesivas de nitratos pueden causar metemoglobinemia en infantes (niños azules). Por esta razón, se ha establecido un nivel de 45 mg/l como la concentración máxima permisible de nitratos en aguas potables en suministros públicos.

## **NITROGENO, NITRITO (NITROGEN, NITRITE) (N-NO<sub>2</sub>)**

El nitrógeno como nitrito ocurre como una etapa intermedia en la descomposición biológica de compuestos que contienen nitrógeno orgánico. Bajo condiciones aeróbicas las bacterias formadoras de nitrito convierten el amoniaco en nitritos. La reducción bacteriana de nitratos puede también producir nitritos en condiciones anaeróbicas. Los nitritos se usan a menudo como inhibidores de la corrosión en procesos industriales, en torres de enfriamiento de agua y como preservativos en la industria de alimentos.

Los nitritos no se encuentran con frecuencia en aguas superficiales en las que son rápidamente oxidados a nitratos. La presencia de grandes cantidades de nitritos indica desechos orgánicos parcialmente descompuestos. Las concentraciones en agua potable raramente exceden 0,1 mg/l de nitrito.

## **NITROGENO, TOTAL KJELDAHL (NITROGEN, TOTAL)**

El término "Nitrógeno total Kjeldahl" se refiere a la combinación de nitrógeno orgánico y amoniacal. No obstante, no todos los compuestos nitrogenados orgánicos se determinan por este método — sólo los que aparecen como nitrógeno orgánicamente ligado en el estado trivalente negativo. El nitrógeno en esta forma es convertido a sales amónicas por la acción del ácido sulfúrico y el peróxido de hidrógeno. Entonces se analiza el amoniaco mediante una modificación del Método Nessler.

## OXIGENO DISUELTO (OD) (DISSOLVED OXYGEN) (DO)

El ensayo del oxígeno disuelto es uno de los análisis más importantes para determinar la calidad de las aguas naturales. El efecto de oxidación de residuos en las corrientes, la adecuación del agua para los peces y otros organismos, y el progreso de la autopurificación se pueden medir o estimar a partir del contenido de oxígeno disuelto. En unidades de tratamiento aeróbico de aguas de alcantarilla, el potencial mínimo de olores inconvenientes, máxima eficiencia del tratamiento y estabilización de aguas residuales dependen del mantenimiento de niveles de oxígeno disuelto adecuados. La medida frecuente del oxígeno disuelto es esencial para el control del proceso.

## PLOMO (LEAD) (PB)

El plomo se encuentra raramente en aguas continentales en cantidades mayores que trazas, con un promedio de  $10 \mu\text{g/l}$ . Las aguas naturales contienen también niveles muy bajos de plomo debido a su tendencia a ser precipitado por gran número de sustancias. El nivel de plomo en suministros públicos de agua es generalmente muy bajo (menos de  $10 \mu\text{g/l}$ ) a menos que los depósitos de agua se hayan pintado con pintura en base a plomo, o se hayan usado cañerías u otros elementos de plomo en el sistema de transporte.

El plomo, un veneno importante, tiende a acumularse en la estructura ósea cuando se ingiere en niveles que exceden la tasa de eliminación natural que es de unos  $300 \mu\text{g Pb/día}$ . La acumulación de cantidades significativas de plomo en el cuerpo puede causar daños serios y permanentes al cerebro, convulsiones y muerte.

La presencia de plomo en el agua indica normalmente la intrusión de desechos industriales, mineros, o de fundiciones, o la descomposición de cañerías y elementos fijos de las conducciones. No se conoce la cantidad exacta de plomo que constituye una dosis letal pero más de  $50 \mu\text{g/l}$  de plomo en el agua potable se considera razón suficiente para rechazar ese suministro.

## PH, GAMA AMPLIA (PH)

Se define el pH como el logaritmo del inverso de la actividad de ión hidrógeno expresada en moles por litro. Más sencillamente, el valor del pH de una muestra de agua expresa su tendencia a aceptar o a dar iones hidrógeno en una escala desde 0 (muy ácido) a 14 (muy básico). El agua pura a  $25^\circ \text{C}$  es neutra y tiene un valor del pH definido de 7. El valor del pH representa la actividad instantánea del ión hidrógeno más que la capacidad amortiguadora o la reserva total como en los ensayos de acidez y alcalinidad.

En la mayoría de las aguas naturales el valor del pH varía entre 4 y 9 y a menudo son ligeramente básicas debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Una desviación importante del pH normal para un agua dada indica la intrusión de residuos industriales fuertemente ácidos o fuertemente básicos. El ajuste del pH es una práctica común en los procesos de tratamiento de aguas y se usa para controlar la corrosión dentro de los sistemas de distribución.

## POTASIO (POTASSIUM) (K)

El potasio está en el séptimo lugar entre los elementos en orden de abundancia, sin embargo su concentración en la mayoría de las aguas potables raramente alcanza los 20 mg/l. No obstante, algunas aguas pueden contener más de 100 mg/l de potasio.

## RESIDUO, MATERIA SEDIMENTABLE (RESIDUE, SEDIMENT)

La cantidad de materia sedimentable en el afluente y efluente de una planta de tratamiento de aguas servidas da una estimación empírica del tipo y extensión del tratamiento necesario y de la calidad general del agua que se descarga.

## RESIDUO, NO FILTRABLE, VOLATIL, FILTRABLE TOTAL (NON-FILTERABLE RESIDUE)

Residuo es un término que se refiere a la materia sólida, ya sea suspendida o disuelta, existente en agua y aguas residuales. En el siguiente procedimiento, se hacen determinaciones para el residuo no filtrable total (sólidos en suspensión), residuo volátil no filtrable, y residuo total filtrable (sólidos disueltos) usando el método gravimétrico.

## SELENIO (SELENIUM) (SE)

Los niveles de selenio en las aguas naturales raramente exceden 0,01 mg/l, y las concentraciones superiores a los 0,50 mg/l son escasas. La presencia del selenio en aguas naturales puede ser debida a filtración de suelos seleníferos o intrusiones de residuos industriales.

El selenio, muy tóxico para el hombre y los animales, ofrece propiedades similares a las del arsénico. Se sospecha que el selenio causa caries dentales y es un agente cancerígeno, pero también se ha averiguado que trazas de selenio son esenciales para mantener el metabolismo normal del cuerpo. La concentración máxima permisible de selenio en aguas potables se ha establecido en 0,01 mg/l.

## SILICE (SILICA) (SiO<sub>2</sub>)

La sílice existe normalmente como un óxido (SiO<sub>2</sub> como en la arena) o como un silicato (SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> y SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). La sílice, el elemento en segundo lugar en abundancia en la naturaleza, está presente en la mayoría de las aguas. No tiene efectos tóxicos conocidos y se usa para formar recubrimientos interiores protectores en tuberías para inhibir la corrosión.

La determinación de cantidades del orden de trazas de sílice ha llegado a ser muy importante en la operación de plantas de producción de energía eléctrica por vapor. La sílice en el agua de alimentación de las calderas puede recubrir las aspas de las turbinas y disminuir la eficiencia del intercambio de calor. Los ensayos de sílice dan también un método sensible para comprobar los desmineralizadores de agua puesto que la sílice es una de las primeras impurezas que deja pasar una unidad agotada.

## SODIO (ESTIMADO) (SODIUM) (NA)

El sodio, el sexto elemento más común, está presente en casi todas las aguas naturales. Las aguas saladas, aguas duras y aguas que han sido ablandadas con unidades de resinas de intercambio iónico en su forma con sodio, tienen elevadas concentraciones de sodio. Las calderas a alta presión requieren agua con menos de 3 mg/l de sodio para mantener un funcionamiento eficiente.

## SULFATO (SULFATE) (SO<sub>4</sub>)

El sulfato aparece en las aguas naturales en una extensa gama de concentraciones. Las aguas de minas y los efluentes industriales contienen con frecuencia grandes cantidades de sulfato de la oxidación de piritas y del uso de ácido sulfúrico.

Las normas para el agua potable del U.S. Public Health Service (Servicio de salud pública de los Estados Unidos de Norteamérica) especifican un máximo de 250 mg/l de sulfato a causa de su acción como purgante. El umbral de sabor del sulfato magnésico es 400 a 600 mg/l y para el sulfato de calcio es 250 a 800 mg/l. El sulfato puede ser beneficioso o perjudicial en el agua usada para fabricación o suministro doméstico. La presencia de sulfato es ventajosa para producir los sabores deseados en la industria cervecera. En los sistemas de agua doméstica, los sulfatos no parecen causar ningún aumento de la corrosión de piezas de cobre pero en concentraciones mayores de 200 mg/l, aumentan la cantidad de plomo disuelto de las tuberías de este material.

La determinación del sulfato es importante en trabajos relacionados con campos petrolíferos donde es fácil que se mezclen dos o más tipos de aguas. Las grandes concentraciones de sulfato junto con bario, calcio y estroncio pueden formar sedimentos insolubles.

## SULFURO (SULFIDE) (H<sub>2</sub>S)

El sulfuro es un subproducto venenoso de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica y se encuentra comúnmente en las aguas de alcantarilla y en las residuales de la industria. El sulfuro puede estar presente como el ión libre sulfuro (S<sup>2-</sup>) o como ácido sulfídrico disuelto (H<sub>2</sub>S y HS<sup>-</sup>). La toxicidad del ácido sulfídrico es equivalente a la del ácido cianídrico pero su olor ofensivo es detectable mucho antes de que se alcancen los niveles tóxicos.

## TANINO Y LIGNINA (TANNIN AND LIGNIN)

El tanino se encuentra en las aguas en concentraciones variables como producto de la descomposición vegetal. Los desechos industriales de industrias de curtidos casi siempre contienen tanino en alguna cantidad, así como las aguas residuales de calderas en las que el tanino ha sido añadido para ayudar a prevenir la formación de sedimentos. La lignina es un producto natural descargado como un residuo de la fabricación de pulpa de papel.

## TURBIEDAD (TURBIDITY)

La turbiedad ocurre en la mayoría de las aguas superficiales como resultado de la arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton, y otros microorganismos en suspensión. La medición de la turbiedad del agua es importante para las industrias con productos destinados al consumo humano, tales como las industrias de la alimentación y bebidas, y las plantas de tratamiento de aguas municipales.

El ensayo de turbiedad mide una propiedad óptica de la muestra de agua que resulta de la dispersión y absorción de la luz por las partículas de materia presentes. La cantidad de turbiedad registrada depende de variables tales como el tamaño, forma e índice de refracción de las partículas. No existe ninguna relación directa entre la turbiedad de una muestra de agua y la concentración en peso de la materia presente, tal como es determinado en el ensayo de sólidos suspendidos.

## ZINC (ZINC) (ZN)

En la mayoría de los suministros de agua las concentraciones de zinc tienen un valor medio de 1 mg/l pero puede llegar hasta 50 mg/l en algunas áreas. Aunque el zinc se encuentra comúnmente en muchas aguas naturales, la deterioración del hierro galvanizado y la filtración del latón pueden añadir cantidades sustanciales. Los efluentes industriales pueden aportar grandes cantidades de zinc, y las grandes concentraciones sugieren la presencia de plomo y cadmio, impurezas comunes del proceso de galvanización.

El zinc es esencial para el metabolismo humano y se ha hallado que es esencial para el adecuado crecimiento del cuerpo. Las elevadas concentraciones de zinc en el agua actúan como irritante para el estómago pero los efectos son temporales. Las concentraciones por encima de 5 mg/l no muestran ningún efecto perjudicial fisiológico pero pueden causar un sabor amargo y/o una opalescencia en el agua potable alcalina.