

# **Drenaje Superficial**

**Autor**

**D. Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón**

**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía**

**Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)**  
**Facultad de Agronomía (FAUSAC)**

### **Tratamiento Temático**

**Autor:** D. Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón.

**Profesor:** M.C. Rolando Lara Alecio

**Profesor:** M. C. Miguel Angel Morales Cayax.

### **Tratamiento Pedagógico**

**Asesoría pedagógica:** Licda. Ruth de Espino

Dirección de Desarrollo Académico. USAC.

**Validación:** Programa de Estudios de Postgrado, FAUSAC.

### **Tratamiento Formal**

**Periodista:** Denis Escobar Galicia.

Facultad de Agronomía. FAUSAC.

### **Carátula**

D. Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón

### **Fotografías**

**Originales de:** D. Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón,  
excepto las indicadas.

## **Presentación**

Drenaje superficial, es la evacuación del exceso de agua por medios artificiales de la superficie del terreno, a través de drenes o zanjas abiertas con una salida adecuada, en zonas llanas, el problema se refiere a la eliminación del agua estancada en depresiones topográficas superficiales y en zonas con pendiente, el problema se circunscribe a la **eliminación del exceso de agua sin causar erosión**. En agricultura sus objetivos son: **augmentar la producción, mantener los rendimientos o reducir los costos de producción, ayudando a maximizar el beneficio neto de ésta.**

Una vez recuperadas, las tierras húmedas constituyen terrenos que potencialmente pueden incorporarse al proceso de producción agrícola. Con base a las necesidades sociales regionales y potencialidad de las nuevas áreas agrícolas, se establecerá qué clase de cultivo se plantará: ya sea anual o perenne, de tierras altas o bajas, porque de ello dependerá el objetivo, tiempo e intensidad de las técnicas de drenaje a aplicarse en relación con la información de precipitación, profundidad permisible del nivel freático y velocidad de percolación del agua en el suelo.

Esta publicación resume los principios del estudio climático, edáfico, hidrológico e hidráulico que se aplican en la solución del problema de zonas anegadas, encharcadas o afectadas por inundaciones, con enfoque legítimo al agro guatemalteco, dando prioridad a lo que podría convertirse en objetivos de desarrollo del país y a otras prioridades como la enseñanza para la ejecución adecuada del drenaje.

Describe las técnicas de drenaje que se utilizan en Guatemala, con énfasis en la producción agrícola de arroz, banano y caña de azúcar, para ilustrar la magnitud y dimensionamiento de las obras de drenaje, estructuras relacionadas y los beneficios económicos y sociales que conlleva su implementación en el país. Da a conocer las causas y consecuencias que dan origen al problema de drenaje, así como los objetivos y efectos colaterales que conlleva su solución.

Incluye el estudio del suelo, sus factores y procesos formadores, el relieve de las tierras bajas y la clasificación de suelos, enumerando los que se basan en el sistema internacional de *FAO/UNESCO*, la climatología y sistema hidrológico del país.

Describe los sistemas de bancales y de drenes paralelos en tierras llanas, los sistemas de terrazas, cárcavas y drenes de desviación, en tierras inclinadas, con énfasis en los aspectos relacionados con sus componentes, construcción y mantenimiento.

Introduce aspectos innovadores, como el uso conjunto de sistemas de irrigación y drenaje, impacto ambiental de la recuperación de tierras y evaluación económica de proyectos de drenaje.

Presenta los principios y aplicaciones del drenaje, no así soluciones prefabricadas que sirvan para las distintas condiciones en las que se aplica éste, pero el conocimiento a fondo de éstos, capacitará al estudiante para introducir las modificaciones y técnicas que se adapten a las condiciones específicas con las que tenga que bregar.

Lo que valida las palabras emitidas por *Van Schilfgaard* en 1,979, quien afirmó que:

*No se ganará mucho del futuro refinamiento de las teorías de drenaje ya existentes o del desarrollo de nuevas soluciones para problemas abstractos. Si no que el desafío a seguir es: aplicar imaginativamente el catálogo existente de conocimientos teóricos y experiencias prácticas para el desarrollo de procedimientos de diseño que sean convenientes y rápidamente adaptables a las condiciones locales.*

Esta publicación, satisface la necesidad que hay en nuestro medio de una obra que sirva de guía a estudiantes, ayude a docentes y sea de utilidad indiscutible a profesionales, especialmente en los momentos en que deseen tener a mano una síntesis esquemática del drenaje agrícola en Guatemala, para elaborar proyectos de desarrollo rural, que incluyan este componente.

Contribuyendo a la difusión de conocimientos y provee a docentes y estudiantes material bibliográfico que fortalece el proceso de enseñanza – aprendizaje.

**EDDI ALEJANDRO VANEGAS CHACON**  
**AUTOR**

## Contenido

	Página
<b>1. Drenaje agrícola en Guatemala</b>	<b>1</b>
1.1 ¿Porqué del drenaje?	2
1.2 Historia del drenaje	3
1.3 Producción agrícola y la técnica del drenaje	5
1.3.1 Cultivo de arroz	6
1.3.2 Cultivo del banano y plátano	9
1.3.3 Cultivo de caña de azúcar	11
1.3.4 Drenaje, una alternativa para la conservación de suelos	12
<b>2. Drenaje: causas y consecuencias</b>	<b>14</b>
2.1 Causas del problema	15
2.1.1 Precipitación	15
2.1.2 Inundaciones	16
2.1.3 Suelos y topografía	17
2.2 Consecuencias del problema	18
2.2.1 Daño a los cultivos	18
2.2.2 Mecanización	21
2.2.3 Problemas sanitarios	21
2.3 Objetivo y efectos de la implementación de un sistema de drenaje	22
<b>3. Drenaje y su relación con el suelo</b>	<b>24</b>
3.1 Formación del suelo	25
3.1.1 Factores formadores del suelo	25
3.1.2 Procesos formadores del suelo	27
3.2 Relieve de tierras bajas de Guatemala	28
3.2.1 Relieve de tierras bajas aluviales	29
3.2.2 Relieve de tierras bajas marinas	33
3.3 Clasificación de suelos de tierras bajas, sistema FAO/UNESCO	38
<b>4. Precipitación y sistema hidrográfico de Guatemala</b>	<b>39</b>
4.1 Climatología de Guatemala	40
4.2 Sistema hidrográfico de Guatemala	41

<b>5.</b>	<b>Aplicaciones del drenaje superficial</b>	<b>45</b>
5.1	Formación del terreno	46
5.2	Estratificación	47
5.3	Drenes de campo	49
5.4	Drenaje superficial para áreas inclinadas	51
5.5	Drenes interceptores o de desviación	54
<b>6.</b>	<b>Drenaje de tierras irrigadas</b>	<b>56</b>
6.1	Procedencia de las aguas de drenaje	57
6.1.1	Prácticas de irrigación	57
6.1.2	Infiltración proveniente de canales y ríos	58
6.2	Localización de los drenes	58
6.2.1	Áreas de nivel freático elevadas	58
6.2.2	Regiones con presión artésiana	59
6.2.3	Interceptación del agua exterior	59
6.3	Sistemas conjuntos de riego y drenaje	60
<b>7.</b>	<b>Impacto ambiental de la recuperación de tierras</b>	<b>64</b>
7.1	Efectos ambientales secundarios	67
7.1.1	En el área del proyecto	67
7.1.2	Aguas abajo	69
7.1.3	Aguas arriba	70
7.2	Evaluación del impacto ambiental	70
<b>8.</b>	<b>Evaluación económica de proyectos de drenaje</b>	<b>74</b>
8.1	Costos	75
8.2	Beneficios	77
8.3	Comparación del desarrollo con y sin proyecto	77
8.4	Flujos de caja, criterios de decisión	78
8.5	Vida útil de los proyectos	79
8.6	Precios y sus relaciones	80
<b>9.</b>	<b>Glosario</b>	<b>81</b>
<b>10.</b>	<b>Referencias</b>	<b>86</b>

# 1

## Drenaje agrícola en Guatemala

*Guatemala está limitada por áreas costeras al suroeste y noreste, lo que contribuye a la riqueza agraria del país, donde varias técnicas, entre ellas el drenaje, son utilizadas como parte de las labores agronómicas del cultivo de arroz, banano, plátano, palma africana y caña de azúcar.*

*¿ Conoce la historia del drenaje agrícola en el agro nacional ?*

*¿ Qué rol juega el drenaje en la producción agrícola del país ?*

*El drenaje no sólo se aplica a las tierras bajas, sino incluye conceptos de conservación de suelos en tierras inclinadas.*

*¿ Qué podría explicar acerca de la conservación de los suelos del altiplano guatemalteco mediante el uso de cárcavas ?*

## 1.1 ¿Porqué del drenaje?

En la orientación de la producción agrícola de un país, participan: inversiones, conocimientos tecnológicos y políticas de Estado que prestigien la productividad, competitividad y desarrollo humano. En cuanto a los conocimientos tecnológicos del drenaje, un pueblo para vivir mejor, necesita producir más alimentos.

La población de Guatemala se estima en 11.4 millones de habitantes para el año 2,000, de los cuales 7 millones viven en áreas rurales del país. El índice de crecimiento promedio anual de esta población es aproximadamente de 2.6 %, por lo que para satisfacer sus necesidades alimenticias, es necesario incrementar:

- El área cultivada en comparación con la tierra utilizada en obras de desarrollo urbano, considerando que, en algunas áreas la tierra es un recurso limitado y en otras, la agricultura no puede expandirse al costo de degradación de la naturaleza.
- La productividad del área total cultivada en el país (27% de la extensión territorial), tecnificando la siembra de granos básicos, productos no tradicionales y pastos para el ganado.

En este sentido, resalta su importancia la aplicación del drenaje agrícola, ya que el exceso de agua es tan perjudicial para el desarrollo de las plantas, como el déficit de la misma. Con el exceso de agua, los espacios porosos del suelo se llenan totalmente de ésta, evacuando y eliminando el aire que es vital para el intercambio gaseoso de las raíces, ocasionando la clorosis y baja altura de las plantas con lo cual éstas, pueden llegar a perderse parcial o totalmente si el agua no es evacuada. Un sistema eficiente de drenaje proporciona los siguientes beneficios:

- Permite utilizar los suelos húmedos para agricultura productiva.
- Aumenta la cantidad de oxígeno en el suelo, ya que la falta de éste, produce una reducción química en el hierro y manganeso que puede ser tóxica para el desarrollo de las plantas.
- Previene el desarrollo de ciertas enfermedades fungosas en las plantas.
- Mejora la estructura del suelo, permitiendo un mejor anclaje de las raíces de las plantas y proporciona un ambiente favorable para el desarrollo de las actividades microbianas.

La magnitud del drenaje en un proyecto de desarrollo rural puede ser a nivel: local, regional y nacional, en los que su planificación e implementación, es una empresa multidisciplinaria en la que la ingeniería del drenaje es una de las especialidades requeridas, ya que dependiendo de las actividades a desarrollarse en el proceso planeado, puede establecerse varias fases cada una con información apropiada, ya sea que se cuente con ella o se tenga que obtener a través de investigación y estudios detallados. Para lo cual se requiere información a tres niveles (USBR. 1,971):

- De reconocimiento, que se refiere a investigaciones de campo y gabinete para conocer el potencial de desarrollo del área del proyecto, coleccionar y evaluar información básica relacionada con topografía, clima, hidrología, fisiografía, suelos, uso actual de la tierra, recursos humanos, opciones técnicas en la solución de problemas, costos y beneficios.

- De Factibilidad, basada sobre aspectos técnicos y económicos, agencias financieras que amparen el proyecto y decidan si es o no ejecutable.
- De Post-autorización, que comprende el diseño final del proyecto, preparación de documentos, ejecución de los trabajos por el contratista, donde se distinguen cuatro fases: preparación, ejecución, inspección y registro de información.

Todo proyecto de drenaje agrícola debe ser supervisado, para establecer el control de calidad, tomar en consideración los costos de operación y mantenimiento: planes para operar y mantener el proyecto con personal entrenado, mantenimiento de drenes, erosión, compactación, formación de fangos, sedimentación y filtraciones. Por último lo relacionado con el desarrollo del monitoreo y evaluación para conocer si el proyecto funciona adecuadamente.

### **1.1 Historia del drenaje**

No se ha comprobado que en el período Pre-Clásico 2,000 a 150 años a. C., los Mayas recién iniciado el proceso de sedentarismo usaran el agua de manantiales y ríos para incrementar las áreas cultivadas. Solamente por la situación topográfica de sitios arqueológicos en el Norte de Petén, vegetación de tierras bajas y segmentos de canales que han sido fotografiados en esos lugares, se da validez a la hipótesis que habitaron las partes altas y aprovecharon la humedad de las lagunas y las bondades de las tierras bajas para cultivar intensivamente, por lo que afrontaron: deforestación, erosión, inundaciones y después de haber usado las lagunas por varios cientos de años, vieron desaparecer a muchas de ellas por los procesos de eutroficación, sedimentación y sucesión ecológica que sigue hasta hoy. Con la experiencia obtenida durante el Pre-Clásico, en el período Clásico 150 a 900 d. C., avanzaron hacia la aplicación de técnicas agrícolas, mejoraron sus suelos y se presentaron condiciones para el drenado de ciertas áreas. En el Post-Clásico 900 a 1,400 años d. C., éste último, año en que arribaron los Españoles, las tomas de agua en los regadíos eran comunes aunque sin control de sus consecuencias.

568 años después, en 1,968 se publicó en Guatemala el Programa Nacional de Drenaje, como plan pionero de recuperación de tierras mediante la aplicación de drenaje, principalmente en las zonas de desarrollo agrícola de la costa sur, con una superficie de 450,000 ha con una segunda fase para las zonas nororiental y norte del país. Desafortunadamente, este programa nunca se llegó a implementar en su totalidad. A finales de los años sesenta se realizó en Guatemala el primer proyecto de drenaje agrícola a nivel comunal, en la caldera de la *Laguna de Retana*, ubicada entre los municipios del Progreso y Santa Catarina Mita, departamento de Jutiapa, donde se habilitaron 1,000 ha para uso agrícola. Posterior a este esfuerzo gubernamental muchas entidades privadas, aplicaron técnicas de drenaje que conllevaron a la rehabilitación de tierras donde era imposible desarrollar agricultura, proporcionando empleo a campesinos de las zonas aledañas e incrementando los rendimientos de sus cultivos.

Al inicio de los años noventa, la Dirección de Riego y Avenamiento del Ministerio de Agricultura (DIRYA), planteó el Plan Maestro de Riego y Drenaje, que conllevó a la realización de un inventario a nivel de planos topográficos a escala 1:50,000 de las áreas potenciales de inundación, definiendo tres situaciones: áreas temporalmente inundadas, áreas permanentemente inundadas y una tercera categoría donde no se podía diferenciar

entre inundación permanente y temporal. En este proyecto se estimaron alrededor de 210,00 ha con algún problema de anegamiento (*Guatemala. MAGA. DIRYA. 1,992*).

Las áreas seriamente afectadas se encuentran en: el departamento de Petén, en la vertiente del Golfo de México; las cuencas de los ríos San Pedro y Salinas o Chixoy, en la vertiente del Océano Atlántico; las cuencas de los ríos Motagua, Polochic, Sarstún y Río Dulce y las cuencas de los ríos Ocosito, María Linda, Ostua, Nahualate, Achiguate, Los Esclavos y Coyolate en la vertiente del Pacífico.

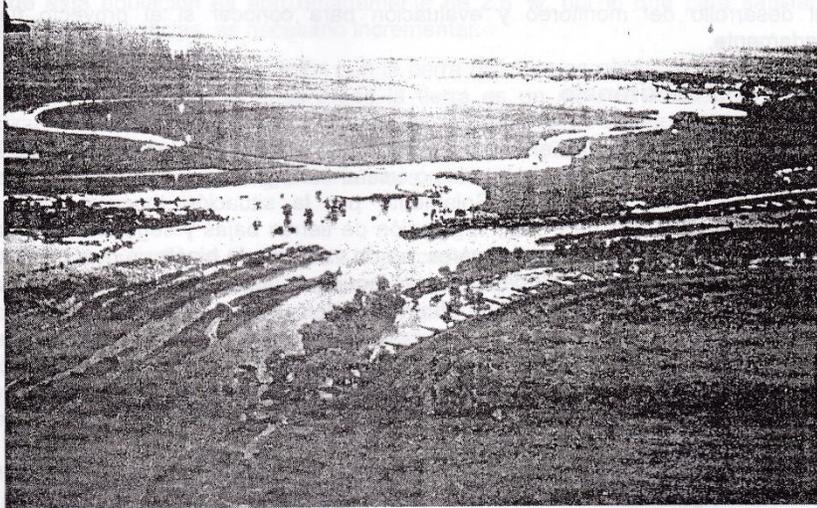


Figura 1.1 Inundación de 50 ha, por desbordamientos del río Coyolate, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, en 1,999.

Respecto a la recuperación de áreas con problemas de anegamiento en el país, se puede mencionar los siguientes proyectos:

- Programa Nacional de drenaje, incluye drenaje de la Laguna de Retana, 1,968.
- Proyecto de Irrigación y Drenaje del Valle de Monjas, 1,987.
- Programa de Control de Inundaciones, 1,988.
- Pozos someros en la costa Sur, 1,995.
- Proyecto Nuestra Cuenca, 1,996.

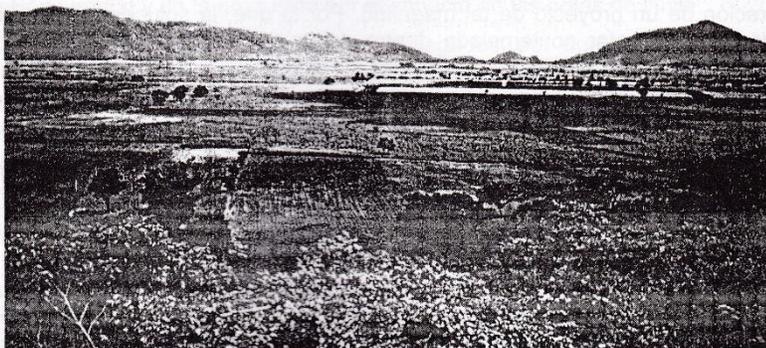


Figura 1.2 Laguna de Retana, ubicada entre los municipios del Progreso y Santa Catarina Mita, Jutiapa.

Entre los proyectos de drenaje que no se han realizado por diversos motivos están: el control de inundaciones en el río Achiguate y Pantaleón, que son para la protección de las vías de comunicación, la seguridad de las viviendas y la salud pública, 1,988. Drenaje del Caserío La Blanca, 1,995. Proyecto de Rehabilitación y Manejo del canal de Chiquimulilla y el proyecto Desarrollo del Valle del Polochic, 1,991.

### **1.1 Producción agrícola y la técnica del drenaje**

Los objetivos del drenaje agrícola de aumentar la producción, mantener los rendimientos y reducir los costos de producción, ayudan a las empresas a maximizar su beneficio neto. En nuestro país varias empresas aplican principios del drenaje en la solución de diferentes tipos de problemas al respecto.

Tradicionalmente en Guatemala, el uso del drenaje tiene importancia en tierras llanas, para el cultivo de arroz, banano y recientemente caña de azúcar, y en tierras inclinadas para el cultivo de hortalizas y granos básicos. Experiencias en el establecimiento de proyectos de drenaje para la agricultura son:

- El aumento de la producción agrícola, con énfasis en arroz, banano, caña de azúcar, hortalizas y granos básicos, contribuyendo a corto plazo con la seguridad alimentaria de los guatemaltecos y a largo plazo con la diversidad de la producción aprovechando el potencial de las zonas problema.
- Mejoras en los niveles de vida de las comunidades aledañas a los lugares en donde se han incrementado los cultivos mencionados. Esto debido a la creación de empleos por la intensificación de la agricultura.

Sin embargo, no todos los problemas provocados por anegaciones deben ser objeto de soluciones técnicas de drenaje, ya que antes de drenar, lo cual muchas veces altera irreversiblemente el paisaje, deben evaluarse todos los aspectos posibles, principalmente la vocación de los suelos, el impacto ambiental y los beneficios sociales que representaría la elaboración de un proyecto de tal magnitud. Por lo que, la solución a un problema de anegamiento debe estar contemplada dentro de un programa de ordenamiento de las cuencas que contengan los sistemas agrícolas en estudio.

### **1.1.0 Cultivo de arroz**

La producción de arroz es de capital importancia porque conjuntamente con el maíz y el frijol constituye parte principal de la dieta alimenticia de los guatemaltecos.

El cultivo de arroz se adapta a diferentes condiciones hidrológicas. Entre los tipos de arroz que se cultivan en nuestro país se menciona: *Arroz de tierras altas*, llamado arroz de secano, cultivado donde la distribución de las precipitaciones son suficientes para el suministro regular de agua para mantener la humedad necesaria. Se cultiva como los otros cereales con humedad a la capacidad de campo o abajo de la misma, comúnmente en oxisoles y por la posición de las parcelas, para el laboreo no tienen problemas de encharcamiento ni de inundación anual, cuando las precipitaciones son fuertes, la erosión puede ser problema en áreas de ladera por lo que habrá que prevenirla. *Arroz de tierras bajas*, su cultivo se hace tanto en secano como en regadío, en suelos aluviales de textura fina, inceptisoles y vertisoles en las partes más bajas, con alto contenido de arcilla, humidificación y buen drenaje aunque no excesivo. Deliberadamente los campos de arroz se enlodan para destruir los macroporos y crear una capa densa más o menos impermeable que evita las pérdidas de agua, por lo que el suelo permanece sumergido durante las operaciones de nivelación y laboreo, después del trasplante hasta antes de la cosecha. La capa de agua que permanece embalsada sobre la superficie del terreno proporciona almacenaje y también protege el suelo.

El arroz no necesita drenaje de la misma forma que otros cultivos. Las razones que justifican el drenaje en otros cultivos y que se resumen a continuación, contrastan con las necesidades del arroz (*Van de Goor. 1,972*):

- Impedir encharcamiento o inundación superficial, una característica específica del cultivo del arroz es mantener una capa de agua en la parcela.
- Posibilitar el laboreo del suelo. Se necesita un exceso de agua para preparar adecuadamente la parcela de arroz.
- Mejorar el suministro de nutrientes. Las condiciones de parcela enfangada son excelentes para la nutrición del arroz.
- Aireación de la zona radicular. Las raíces del arroz tienen un poder de oxigenación efectivo y por tanto pueden crecer y desarrollarse vigorosamente en suelos encharcados.
- Para el almacenaje de agua y suministros de la misma al suelo. El fango de los campos de arroz contiene más agua que un suelo a capacidad de campo, pero además la capa de agua que hay sobre el fango, mantiene durante posibles periodos secos una reserva extra que hace frente a la evapotranspiración.

- Para el control de malas hierbas, el enfangado, transplante y control del agua acumulada en la poza, son medios eficaces para el control de malas hierbas.
- Para el control de la erosión, el agua acumulada en la poza protege al suelo de la erosión laminar y de la producida por el impacto de las gotas de lluvia.
- Para impedir la destrucción de los agregados del suelo, preservando así la estructura del mismo, el enfangado destruye solamente una parte de los agregados, mientras que se forman nuevos agregados por la reducción y subsiguiente oxidación durante el período seco.
- Para la regulación de la temperatura; la capa de agua puede ser eficaz en este sentido.

Por lo tanto, la saturación de la zona radicular y la aplicación y mantenimiento de una cantidad de agua en el campo o poza, no solamente es útil sino que es una característica esencial del cultivo del arroz en tierras bajas. El aspecto más importante del manejo adecuado del arroz en tierras bajas, es mantener una cantidad de agua sobre la superficie del suelo a la profundidad adecuada. Por esta razón se necesita un sistema de drenaje que descargue el agua de lluvia o de riego en exceso, esencialmente por drenaje superficial. Por lo que, el factor limitante es la precipitación máxima que cause una elevación excesiva del nivel del agua en el campo o poza.

En Guatemala, 90% de la producción arroceras es de secano, de excelencia en tierras bajas, las variedades ICTA-Masagua, ICTA-Oasis, ICTA-Pazos, Columgua y Cypres son cultivadas en las zonas de vida, bosques de la franja tropical y la sabana de la franja subtropical de las costas del Atlántico y Pacífico en los departamentos de: Petén, Izabal, Jutiapa, Chiquimula, El Progreso y Retalhuleu, San Marcos, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa, respectivamente, con rendimiento promedio de 80 qq/ha.

La mayor parte de los campos de arroz se mantienen inundados mientras éste crece y son desecados cuando llega el tiempo de la cosecha. El arroz es el cultivo por excelencia para cultivarse en la parte baja de las cuencas sujetas a inundaciones y puede sembrarse mediante las técnicas de melgas en contorno y pozas, cuyos principales criterios de diseño son:

- **Terrazas niveladas o pozas**

De forma cuadrada, con extensiones que varía de 1 hasta 5 ha con bordos o diques de 0.2 a 0.3 m de alto. Las pozas desaguan hacia un dren de campo cuyo espaciamiento puede variar de 50 hasta 300 m estos drenes conducen los excesos de agua hacia un punto de evacuación fuera del área cultivada. Varios estándares están en uso, pero el más común es que la profundidad normal de inundación, digamos 5 cm, no debe ser excedido por más de 10 cm para un período de retorno de 10 años, el exceso de agua debe removerse en 3 días para permitir la aplicación de fertilizante o remover substancias dañinas para que el arrozal madure y sea cosechado. Las condiciones de diseño a nivel local están determinadas por las condiciones hidrológicas bajo las cuales se da ésta elevación de exceso de 10 cm.

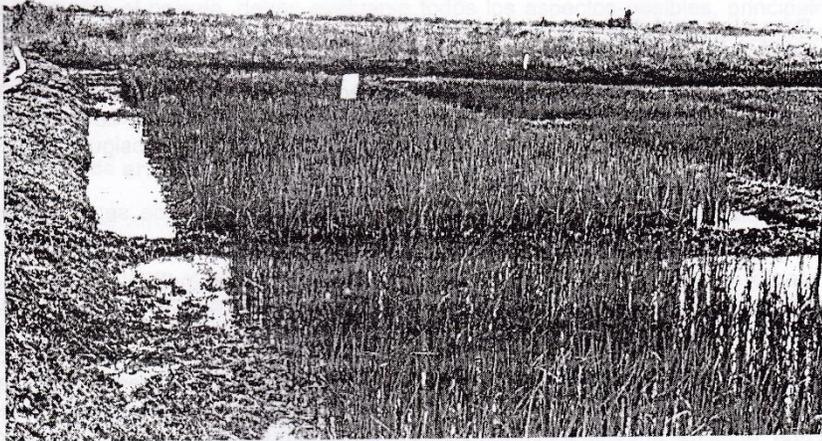


Figura 1.3 Sistema de pozas, producción de semilla de arroz a pequeña escala, ICTA Cristina, municipio de Los Amates, Izabal.

- **Meigas en contorno**

De ancho variable de 100 a 300 m, diferencia máxima de nivel o intervalo verticales entre dos bordos o diques adyacentes de 10 cm, altura de bordo de 0.3 m, con talud 4:1. Es importante comprender que mediante el uso de éste método, los excesos de agua se drenan de una meiga hacia otra de menor elevación. El cultivo de arroz en tierras bajas, en condiciones de climas tropicales y subtropicales, es único y es uno de los agroecosistemas más estables del mundo, sus producciones son superiores a las de cualquier otro tipo de cultivo de arroz (flotante, semiflotante y de marismas). La profundidad óptima de la capa de agua no es constante a lo largo de las diferentes fases del ciclo vegetativo y del desarrollo del cultivo y puede también variar para los diferentes cultivares, aunque generalmente para las variedades de tierras bajas el intervalo no es grande. Entre la siembra y la recolección, debe manejarse la profundidad de la cantidad (capa) de agua de la forma siguiente: durante la germinación y el primer crecimiento de las plántulas (15-30 días), la capa de agua debe ser superficial (1 ó 2 cm). Si durante este período el arroz se cultiva en semilleros, cuya superficie debe ser 1/10 a 1/20 de las parcelas a las que posteriormente va a ser transplantado, no debe haber ninguna dificultad para mantener esta profundidad. Después del transplante se mantiene una profundidad de 5 a 10 cm durante los 15 a 20 primeros días después del transplante, así se controla el crecimiento de la germinación del arroz y el desarrollo de las malas hierbas. Además se impide la desecación de las plántulas de arroz muy vulnerables, ya que apenas tienen raíces, y se favorece el desarrollo de las nuevas raíces y el crecimiento de las hojas. Si se mantiene una capa de agua profunda después de ésta etapa de enraizado, se impide el desarrollo del ahijado. Durante la formación de la espiga, las capas profundas dan lugar a la formación de espigas más pequeñas y a problemas de esterilidad, por ello, si se mantiene una capa de agua profunda durante estas fases, se obtendrá una mala cosecha

de grano. En el espigado no se requiere una capa de agua profunda, que controle el crecimiento de las malas hierbas, ya que el aumento del número de vástagos y de hojas en las plantas de arroz ahoga eficazmente las malas hierbas. Por eso, desde una dos semanas después del trasplante hasta dos o tres semanas antes de la recolección, debe mantenerse un nivel de agua en el campo de unos 5 cm aunque puede ser algo menor o mayor (de 3 hasta 10 cm).

### 1.3.2 Cultivo del banano y plátano

El banano y el plátano se cultivan en zonas de vida, bosque húmedo de la franja tropical del océano Atlántico en Izabal y en la franja del Pacífico en Coatepeque y Tiquisate, a una altitud no mayor de los 100 msnm en ambos casos. Las principales variedades de banano son: *Gran Enano*, *Cavendish*, *Valery* y *Gras Michel*, obteniendo rendimientos de hasta 1,000 qq/ha, las de plátano son: *Curarie* o *Chifle* y *Criollo* o *Macho* con rendimiento promedio de 600 qq/ha.

Uno de los factores importantes en el establecimiento de una plantación ya sea de banano o plátano, es el manejo hídrico, ya que en áreas mal drenadas los rizomas de las matas producen abundantes raíces aéreas. Las plantas son de poca estatura, hay arrechamiento junto con amarillamiento prematuro de las hojas viejas y las hojas más nuevas presentan un color verde pálido. Esto debido al retraso en el ritmo de la descomposición de la materia orgánica y mineralización del nitrógeno en áreas anegadas.

Se ha comprobado por experiencias locales que el mal drenaje disminuye la producción al limitar el crecimiento de las raíces, porque al llegar éstas al nivel freático mueren, esto ocurre si las raíces permanecen en contacto con agua estancada por más de 48 horas. Variados son los criterios que se utilizan para implementar el sistema de drenaje en banano, ejemplo:

- Drenes terciarios o sangrías, de base pequeña 0.3 m, que van incrementando con una pendiente del 1% a lo largo de 40 m, para desembocar en un dren secundario. Comúnmente son elaborados con maquinaria agrícola que los bananeros conocen con el nombre común de *gallinita*, porque ésta al elaborar el dren, expulsa la tierra hacia atrás y los lados del canal.
- Drenes secundarios, de base 2 m, de longitud variable y espaciados cada 100 m, desembocan en los canales principales. Estos son elaborados con tractores agrícolas llamados por los agricultores *tractor con mano de mica*, cuyo talud de cuchillas trapezoidales puede variar de conformidad con la textura de los suelos, siendo el más común 2:1.
- Drenes primarios, cuya función es coleccionar las aguas de los dos anteriores y depositarlas fuera del área de cultivo, de base 5 m, de longitud variada y espaciamientos de 500 m, elaborados con retroexcavadoras. En las bananeras de la costa del Atlántico, la mayor parte de los drenes principales fluyen hacia el río Motagua que a pocos kilómetros drena en el Mar del Caribe, en el Golfo de Honduras. Las bananeras de la costa sur en Tiquisate, Escuintla y Coatepeque, Quetzaltenango drenan su efluente en ríos como: Ocosito y Pacayá, que desembocan en el océano Pacífico.

Estos criterios se tomaron con base en las propiedades físico-químicas del suelo, pero fuertemente influenciados por aspectos prácticos del arreglo agro-industrial de las plantaciones, lo que se deduce por la uniformidad de las parcelas y el trazo de los cables guías para el transporte mecanizado de los racimos de bananos en relación al ordenamiento de los drenes parcelarios.

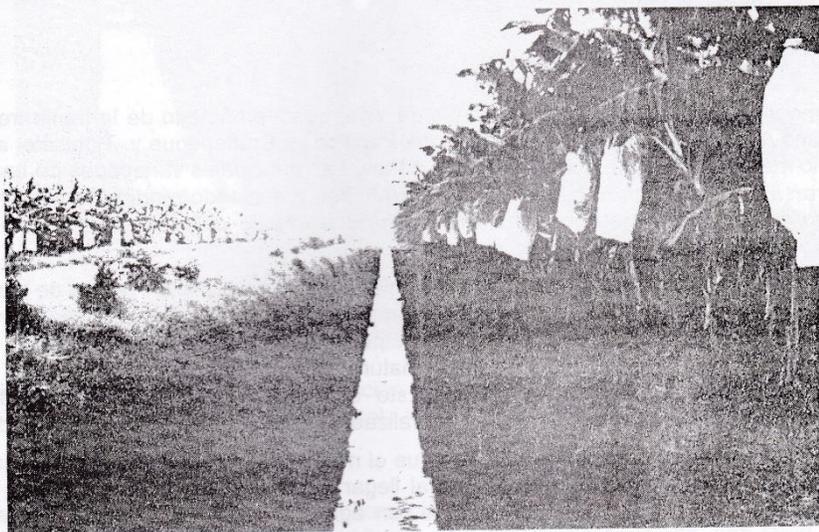


Figura 1.4 Dren secundario en plantación de banano, municipio de Coatepeque, Quetzaltenango.

Es importante mencionar que, a nivel nacional, son las bananeras de Izabal las que han desarrollado el drenaje en las tierras bajas de la depresión del río Motagua, conceptualizándolo primero como arte y posteriormente como técnica agrícola. Muchas son las estructuras hidráulicas desarrolladas en la depresión del Motagua, así como los logros en el incremento de la producción del banano, debido a su correcta implementación, ejemplo: el cultivo del banano en las área aledañas a los meandros del río Motagua, a través de un sistema de bordos que los rodea y estaciones de bombeo de achique, que permiten mantener un control de los niveles freáticos del área de cultivo en forma independiente en relación con los niveles freáticos exteriores de la ribera, constituyendo *Polders*. También estas bananeras han aportado información básica en el uso del drenaje como técnica en el cultivo del banano, a través de investigaciones realizadas sobre la siembra de alta densidad con plantillas de banano de porte bajo (variedades israelitas) con sistemas intensivos de drenaje, con objeto de incrementar la productividad por unidad de área.

En cuanto a la producción de plátano, en el municipio de Coatepeque, departamento de Quezaltenango, existen plantaciones sembradas al tres bolillo en surcos con doble hilera y densidad de 1,100 hasta 1,800 plantas/ha, cuyo criterio de drenaje secundario es: canales con base 1.5 m, talud 2:1, espaciamiento de 200 m y longitud variable. Regularmente están conectados al sistema de drenaje principal de las bananeras de la región, lo que permite drenar sus efluentes hacia los ríos Ocosito y Pacayá que desembocan en el océano Pacífico. Experiencias similares presenta el distrito de riego La Blanca, en el departamento de San Marcos, cuyo efluente drena a través del río Naranjo hacia el océano Pacífico. El drenaje es practicado intensamente a lo largo de la desembocadura del río Suchiate, frontera entre Guatemala y México, principalmente en Ciudad Hidalgo, México.

### 1.3.3 Cultivo de caña de azúcar.

La caña de azúcar, planta gramínea cuyo cultivo es resistente a la saturación, puede soportar inundaciones por largo período siempre que la parte superior de la planta quede fuera del agua. El suelo, temperatura, humedad y la insolación son factores determinantes para el cultivo de la caña de azúcar. Necesita un suelo de 60 cm de capa arable que permita uso de maquinaria, buen drenaje interno y externo. Su sistema radicular es profundo y abundante, el 85% de las raíces se concentra en la capa arable. Los suelos de preferencia deben ser orgánicos, donde el nivel freático se conserve intencionalmente alto para mantener la oxidación, hundimiento y erosión eólica al mínimo. Se cultiva caña de azúcar en el bosque húmedo de la franja tropical y subtropical, a lo largo de la costa del océano Pacífico, especialmente en los departamentos de: Retahuleu, Suchitepéquez, Escuintla y parte de San Marcos, Quetzaltenango, Santa Rosa y Jutiapa. Se procesa a nivel nacional en 17 ingenios, ubicados en su mayoría en la costa Sur. La vida útil de un cañaveral se estima como mínimo en 5 años, obteniendo rendimientos promedio de 70 Ton/ha; de una tonelada de caña se obtiene en promedio 175 libras de azúcar.

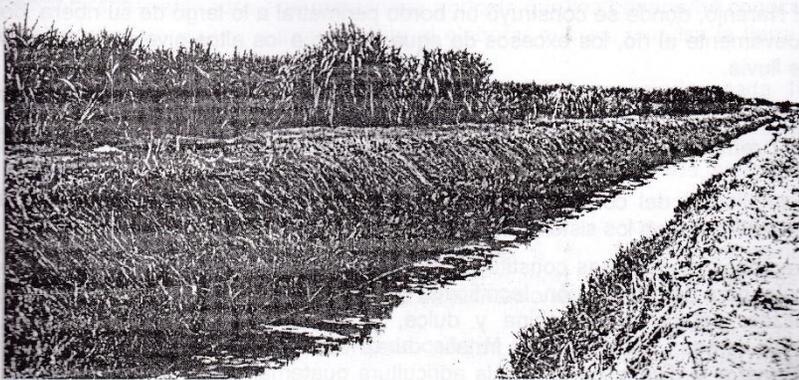


Figura 1.5 Dren secundario, plantación de caña de azúcar, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

Aun cuando el drenaje no se ha considerado indispensable para el cultivo de la caña de azúcar, su incorporación como parte de las labores de dicho cultivo, ha producido beneficios tales como:

- Control sobre los niveles de infestación de la chinche salivosa *Aneolamia* sp. (Homoptera: Cercopidae), ya que suficiente aire y niveles adecuados de humedad en el suelo, contribuyen al control de la plaga.
- Mejora el laboreo de las tierras en época lluviosa, que es cuando se preparan las tierras para formar los semilleros para la renovación de los cañaverales.
- Incremento del rendimiento de la caña de azúcar en tierras bajas, de 10 hasta 30%, probablemente debido a un incremento en la aireación de los suelos.

Los principales criterios de drenaje y mantenimiento en muchos de los ingenios de la costa Sur son:

- Pantos cuadrados de 250 x 250 m, con drenes laterales, que son elaborados con arados de vertedera en forma triangular con talud 2:1 y alturas de 0.30 a 0.40 m.
- Canales principales separados cada 500 m, con altura de 2.5 m, base de 2 m y talud 2:1, elaborados con retroexcavadoras.
- Un mantenimiento anual de los sistemas de drenaje, en el período comprendido entre Julio y Septiembre, meses en los que no hay cosecha o zafra.

Actualmente muchos ingenios están renovando el sistema de cultivo tradicional de la caña de azúcar, a tal grado que en la costa Sur el control de inundaciones y drenaje de tierras ha ganado mucha popularidad. Entre otras experiencias, puede mencionarse:

- Construcción de espolones como una práctica del control de inundaciones, en especial en las áreas aledañas al río Coyolate.
- Desarrollo de sistemas de polder en tierras bajas, ejemplo: en las fincas aledañas al río El Naranjo, donde se construyó un bordo perimetral a lo largo de su ribera, bombeando nuevamente al río, los excesos de agua debido a los altos niveles freáticos y excesos de lluvia.

#### 1.3.4 Drenaje, una alternativa para la conservación de suelos

Una ampliación del concepto del drenaje, se extiende a la conservación de suelos de tierras inclinadas en los sistemas montañosos del occidente del país.

Las regiones montañosas constituyen el 75% de la extensión territorial y el 50% del área agrícola para la producción tecnificada de granos básicos: maíz, trigo, haba y frijol; hortalizas: patata, arveja china y dulce, ejote francés, remolacha, pepinos, suchini, güicoyes, fresa, frambuesa y frutas: duraznos, ciruelas, manzanas y peras. Esto contribuye a la diversificación de la agricultura guatemalteca, al punto que a éstos se les llama cultivos no tradicionales de exportación.

La altiplanicie o meseta guatemalteca, en su mayor parte llanos, está habitada por indígenas quichés, mames, aguacatecos, ixiles, uspantecos, cakchiqueles y tzutuhiles que han extendido la frontera agrícola por la sobrepoblación y presión sobre el recurso suelo, conllevando al desarrollo de agricultura intensiva en condiciones inadecuadas. Por lo que se hace necesario implementar métodos de conservación de suelos, siendo el manejo de cárcavas donde el drenaje tiene mayor aplicación.

La primera acción que debe llevarse a cabo para controlar una cárcava es eliminar la causa que la originó, teniendo que efectuarse trabajo a dos niveles:

- **En ladera o área de drenaje**

Para evitar o controlar totalmente el escurrimiento superficial y su infiltración uniforme, las prácticas apropiadas son: repoblación de pastos y bosques, de preferencia con especies nativas, buen manejo de pastos (pastoreo de corta duración y frecuencia) y bosques, zanjas de infiltración, terrazas de absorción, surcos en contorno y zanjas de desviación.

En muchos casos, resulta suficiente con las prácticas conservacionistas que controlan o anulan el escurrimiento superficial en la zona problema. En caso contrario, se prosigue al siguiente nivel:

- **En la cárcava misma**

Consiste en la construcción o colocación de diques o pequeñas barreras u obstáculos transversales dentro de la cárcava, a fin de disminuir la velocidad del agua y favorecer la sedimentación de las partículas en suspensión. Los diques se construyen a lo largo de la cárcava y pueden hacerse llenando sacos con arena, reforzados con piedras, ramas y palos. Un aspecto importante es el espaciamiento entre diques, considerando que: el centro del bordo superior de un dique, debe estar al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba.

### **Conceptos importantes**

---

---

- ❖ Sistema de drenaje superficial
- ❖ Condiciones de drenaje para el cultivo de arroz
- ❖ Criterios de diseño del sistema de drenaje en plantaciones de banano
- ❖ Aplicabilidades del drenaje en el cultivo de caña de azúcar
- ❖ Drenaje como práctica en la conservación de suelos

# 2

## Drenaje: causas y consecuencias

*La distribución de la precipitación influenciada por factores climatológicas, atmosféricos y orográficos determina principalmente: el control de erosión, tipo de cultivares, períodos críticos de desarrollo, plagas y enfermedades que afectan a los cultivos, a los animales y al hombre.*

*¿ Conoce las principales causas del problema de drenaje ?*

*¿ Qué consecuencias conlleva el problema de drenaje ?*

*Para recuperar y conservar el suelo con fines agrícolas, lograr más de una cosecha por año y/o reducir los costos de producción en áreas que, de otra manera permanecerían anegadas, muchas veces es necesario implementar un sistema de drenaje.*

*¿ Sabe ?*

*¿ Dónde y cómo debe implementarse un sistema de drenaje ?*

Causa es el origen, principio o razón, y el efecto es el resultado o consecuencia. En un sistema de drenaje superficial para protección e incremento de cultivos, causas y consecuencias se encuentran ligadas a otros factores, ejemplo: la aplicación de riego y su distribución es la causa, y el efecto o consecuencia son los cambios del nivel freático, relacionado con las condiciones geológicas y de suelo del sistema.

En nuestro medio, el problema del drenaje ha sido poco estudiado. La mayoría de los agricultores se limitan a evadir sus consecuencias mediante la programación de cultivos de ciclo corto que son plantados en épocas libres del problema o sencillamente dejan las áreas afectadas como zonas marginales para algunos pastos y arroz.

Sin embargo, cuando la presión sobre la tierra es mayor, la producción de alimentos es un reto para la agricultura. La necesidad de incorporar nuevas tierras a la producción e intensificar el uso de otras, ha forzado a los productores progresistas a confrontar las causas y consecuencias del problema de drenaje mediante el estudio del objeto e implementación de un sistema de drenaje que permita incorporar áreas reclamadas al proceso productivo.

## **2.1 Causas del problema de drenaje**

En una investigación de drenaje superficial, es preciso saber la verdadera causa del problema, estudiando las condiciones del nivel freático y las diferentes formas de eliminar los excesos de agua de la superficie del terreno por medios artificiales, con el objeto de hacer el suelo más idóneo para su uso. No será suficiente medir la profundidad del nivel freático, sino además es necesario considerar su situación actual, extensión y grado del problema de drenaje, dónde se presentan niveles freáticos altos, cuándo y cómo relacionarlos con otras causas de elementos con los que está interconectado. Respecto a necesidades agronómicas, es interesante medir el exceso de agua, las corrientes que transportan y depositan sedimentos, problemas de flujo superficial, consolidación: compactación y cementación, lo mismo que precipitaciones, inundaciones y relieve.

### **2.1.1 Precipitación**

La distribución de la precipitación en Guatemala, es un factor determinante en la consideración de la hidrología y sus correspondientes caudales de escorrentía, la que permite establecer varios criterios en cuanto a su régimen. Brevemente se comporta de la siguiente manera: precipitaciones del orden de 4000 mm. anuales o más en la región nor-oriental en el golfo de Honduras, en la región norcentral en el departamento de Alta Verapaz, en el área de Huehuetenango en la sierra de los Cuchumatanes y en la región suroccidental a partir del departamento de Escuintla; precipitaciones del orden de 2000 mm. anuales o menos en la franja que cubre los departamentos de Totonicapán, Guatemala, El Progreso, Jalapa, Chiquimula y en general en la zona suroriental. Este mismo régimen de precipitación se da en el departamento de Petén. Generalmente la precipitación predominante en Guatemala es de orden orográfico, que permite por medio de su distribución fisiográfica atrapar corrientes de masas de aire húmedo que provienen del océano Atlántico. Este proceso es muy marcado en los Cuchumatanes por los altos índices de precipitación que permite la región. Por el carácter subtropical del país, durante

la época de lluvias (Mayo–Octubre) la precipitación es mayor que la evapotranspiración, dando como resultado un período de exceso de humedad que satura los suelos, y al ocurrir las lluvias de fuerte intensidad se produce una gran escorrentía superficial que fluye hacia las zonas más bajas de los terrenos, provocando diversidad de problemas. Por otra parte, la precipitación sobre las zonas montañosas aumenta los caudales de los cauces naturales de los ríos, ocasionando una disminución de la capacidad de éstos para drenar las zonas bajas, provocando el desbordamiento de los ríos.

### 2.1.2 Inundaciones

Las inundaciones comparten con la precipitación las causas del exceso de agua, por efecto de grandes precipitaciones sobre las cuencas altas; los ríos aumentan su caudal y se desbordan en las zonas bajas, provocando problemas de drenaje. En muchas ocasiones la inundación no ocurre directamente por desbordamiento de los ríos, sino por incapacidad de éstos para recibir las aguas de los cañones y quebradas. Estos últimos, al no tener suficiente salida, se remansan e inundan las áreas adyacentes a su desembocadura.

En Guatemala la diversidad de los caudales promedio está asociada con la morfología de las cuencas. En la vertiente del océano Pacífico, se observan caudales medios anuales del orden de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  en las partes bajas de las cuencas. En la vertiente del golfo de México se observan caudales medios anuales del orden de  $247 \text{ m}^3/\text{s}$ . En la vertiente del golfo de Honduras, caudales medios anuales del orden de  $160$  y  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , en los ríos Cahabón y Motagua respectivamente. Otro parámetro de importancia es la evaluación hidrológica de una región y por consiguiente su efecto en el drenaje agrícola; la constituyen los caudales mensuales específicos, los cuales permiten conocer la capacidad de producción de escorrentía por kilómetro cuadrado en una cuenca. Esos valores en la región suroriental, son del orden de  $150 \text{ lts/s/km}^2$  y en algunos casos hasta  $240 \text{ lts/s/km}^2$ . En el área que tributa al golfo de Honduras se presentan valores de  $70 \text{ lts/s/km}^2$  hasta  $170 \text{ lts/s/km}^2$  y hacia el golfo de México  $50 \text{ lts/s/km}^2$ . Estos valores dan una idea del potencial de producción de escorrentía en cada región, sin embargo el verdadero conocimiento de este régimen, está asociado con el desarrollo de series de tiempo de caudales específicos de cada río, su cuenca y evaluación estadística. Las crecidas son predominantes también debido a huracanes y ciclones tropicales, que agravan la situación cuando se forman frentes fríos dando lugar a que las condiciones del suelo precedentes revelen un alto grado de saturación. Existen registros de grandes crecidas desde el año 1,929, con períodos de retorno de 10 a 15 años. Entre las más recientes se puede mencionar el Fenómeno del Niño y el huracán Mitch.

Se ha determinado que las inundaciones ocurren principalmente por:

- Poca capacidad de los cauces debido a limitantes de pendiente o por sedimentación y obstáculos en los mismos.
- Ocurrencia de lluvias de magnitud extraordinaria.
- Intervención no controlada en la cabecera de los ríos (deforestación)
- Obstrucción de los drenes naturales y modificación de los cauces de los ríos.

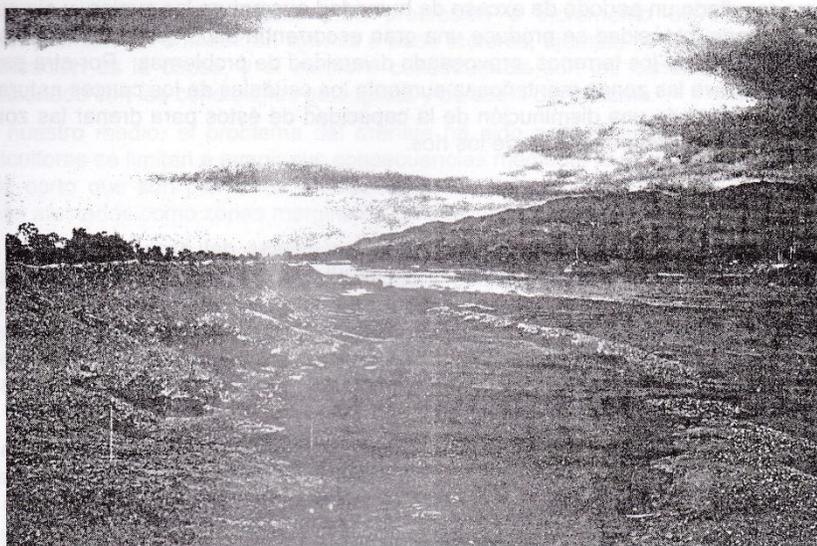


Figura 2.1 Desbordamiento del río Motagua provocado por precipitaciones excesivas causadas por el huracán Mitch en 1,998.

### 2.1.3 Suelos y topografía

La influencia de la topografía en la formación del suelo a través del secado y sedimentación de los agregados que produce apelmazamiento del suelo, disminuye el tamaño de los micro-poros y como consecuencia reduce la permeabilidad del suelo aumentando la escorrentía y el peligro de erosión. Las características físicas de los suelos, textura y estructura, están íntimamente ligados a la topografía. En la formación de los suelos sujetos a problemas de drenaje, el relieve ha tenido una influencia determinante en la caracterización de los mismos.

Los problemas de exceso de agua, generalmente se presentan en terrenos que forman planicies aluviales, como las que se observan en la costa Sur del país y la depresión del río Motagua en Izabal. Los factores con mayor influencia en los problemas de drenaje superficial son:

- Suelos con texturas finas que determinan poca capacidad de infiltración y permeabilidad.
- Topografías muy planas que limitan el escurrimiento libre de las aguas.
- Microrelieve con pequeñas o medianas depresiones que impide el movimiento del agua.
- Terrenos con posición relativa baja, afectados por la escorrentía de áreas de cotas superiores.

- Ocurrencia de deposiciones de limo sobre el terreno que provoca una impermeabilización de la superficie.
- Suelos con niveles freáticos altos.

Resulta complejo jerarquizar la influencia de cada una de las causas principales del mal drenaje, porque cada zona o condición local, tiene características climáticas y edáficas diferentes que influyen sobre el problema. Un análisis muy generalizado podría indicar que el orden de prioridad del estudio de las posibles causas del problema es: topografía, suelos, precipitación, inundaciones y desbordamientos. En todo caso, para que exista un problema de drenaje superficial, tiene que conjugarse una topografía plana, suelos poco permeables y altas precipitaciones.

## **2.2 Consecuencias del problema**

Los daños por inundaciones son consecuencia del impacto de torrentes cargados de basura, pérdida de suelo por erosión y encharcamiento, que conllevan limitaciones en el uso del suelo, como sucede con los daños a la mecanización, cultivos, animales y al hombre, influenciado por condiciones climáticas y duración de inundaciones. Para indicar la magnitud de las consecuencias, en la evaluación de los balances de agua en los suelos se establece variedad de relaciones entre diversas causas y consecuencias.

Para determinar el problema de drenaje en términos cuantitativos, principiando por la ecuación del balance hídrico y sus partes relacionadas: almacenamiento, flujo y componentes de carga y descarga. Entre otras, la cantidad de humedad disponible en el suelo está estrechamente ligada a su estructura. Un cambio en la cantidad de agua almacenada, se refleja en un ascenso o descenso del nivel freático. El riego, drenaje y otros fines económicos dependen del contenido de humedad en base volumétrica.

### **2.2.1 Daño a los cultivos**

Hay suelos con limitaciones imprácticas de sobrepasar que los hacen inadaptados para el cultivo, y otros con diferentes categorías de manejo en cuanto al peligro de daño, adaptabilidad de uso y productividad. Un daño puede ocurrir por la falta de aireación en el suelo inundado, por aireación deficiente, la velocidad de la fotosíntesis se deprime, declinando junto con la transpiración, la velocidad de la respiración, antes de ocasionar la muerte de las raíces.

La profundidad del suelo favorable para la penetración de las raíces de las plantas, está limitada por barreras físicas, químicas, biológicas y por niveles freáticos elevados. En conclusión: los cultivos están sujetos al daño de: inundaciones, erosión y problemas de nivel freático, pendiente pronunciada, alta erosión eólica, humedecimiento que no puede corregirse fácilmente. En comparación con los suelos de *tierras inclinadas*, los suelos de *tierras llanas* cuentan con más agua que pasa a través de ellos, son más profundos y la vegetación más exuberante.

- **Clase de cultivo**

De las diferentes clases de cultivo, depende los requerimientos de agua y condiciones del suelo que deben analizarse en los trabajos de drenaje superficial, junto con otros aspectos como la evapotranspiración en los diferentes tipos de cultivos que varían según la estación del año; por lo que debe considerarse la transferencia directa entre el suelo y la atmósfera, que es controlada por diferencias de temperatura, velocidad del viento y de las condiciones de cultivo.

La resistencia de los cultivos a las inundaciones es un carácter específico, propio de cada planta, del cual depende que los cultivos hortícolas no resistan al mal drenaje sino por pocas horas. Los cereales y otros cultivos de ciclo corto pueden permitir inundaciones de 24 horas. El banano resiste una inundación de 48 horas. Los pastos permiten una condición de inundación de 3 o más días y el arroz requiere la permanencia de una lámina de agua constante.

También el grado de acidez o alcalinidad indica qué clase de plantas se pueden desarrollar mejor y da idea de los tratamientos que deben aplicarse como práctica para el manejo de suelos.

- **Duración del efecto de inundación**

El efecto de las inundaciones puede durar según la elevación del grado hidrométrico, aspecto climatológico, capacidad de infiltración del suelo y los procesos de desecación que se aplique. Hay cultivos que toleran inundaciones cuando se encuentran en estado de descanso o adormecimiento, pero fuera del desarrollo de éstos, pueden afectar los rendimientos de la cosecha. La magnitud de los daños de las inundaciones sobre el rendimiento de los cultivos, está directamente relacionado con la duración de la inundación y la tolerancia del cultivo.

- **Estado de desarrollo del cultivo**

Algunas plantas no manifiestan diferencias críticas en períodos de desarrollo ante precipitaciones altas, inundaciones y otros fenómenos. En cambio otras ante tales circunstancias, presentan períodos críticos en su crecimiento o cosecha.

El efecto nocivo del exceso de agua, tiene mayor importancia cuando ocurre en un período crítico del crecimiento de la planta, ejemplo: en el maíz, un exceso de agua en el primer período de crecimiento puede producir una clorosis y retardar el crecimiento, pero después de este primer período, el cultivo es más resistente. Sin embargo, un exceso de agua en el período de formación del fruto, puede no perjudicar tan gravemente a la planta, pero si afectar la formación del grano y consecuentemente reducir la producción. En cambio en la papa, posiblemente un exceso pequeño de humedad a principios del crecimiento no sería tan grave como al final del ciclo cuando el tubérculo está formado.

- **Condiciones climáticas**

La temperatura, evaporación, humedad relativa, los vientos, etc., son factores que influyen sobre la actividad fisiológica de las plantas, condicionando la gravedad del problema de drenaje. Cuando la inundación ocurre en época de altas temperaturas, la planta está sujeta a un régimen evapotranspiratorio que consecuentemente requiere mayores cantidades de agua y oxígeno.

A causa de la inundación, las plantas no pueden tomar oxígeno por las raíces y por consiguiente éstas, se ven imposibilitadas de suministrar agua a los tejidos superiores, produciendo un déficit de humedad que paraliza las funciones vitales de la planta.



Figura 2.2 Daño al cultivo de caña de azúcar por inundación, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

Cuando el suelo está sometido constantemente a inundaciones, el agua que escurre puede transportar sedimentos limosos, que al depositarse en él sellan sus poros, impidiendo la penetración del agua. En estos casos, aún cuando los suelos tengan una capacidad de infiltración aceptable, no pueden recibir el agua, debido a la presencia de una película impermeable que se forma, lo que determina que después de pasar el efecto de las inundaciones, las lluvias posteriores les sean poco efectivas.

### **2.2.2 Mecanización**

Uno de los problemas de los suelos mal drenados es la dificultad para la mecanización. Esto implica las siguientes consecuencias: dificultad y deficiencia en la preparación de los suelos, limitaciones en la programación de las actividades de siembra, dificultad para realizar labores culturales y la cosecha, compactación de suelos y daños a la maquinaria. A estas consecuencias se debe que las pérdidas por efecto de la dificultad de mecanización, pueden ser tan grandes que impidan la programación de ciertos cultivos.

### **2.2.3 Problemas sanitarios**

Por influencia de la temperatura, humedad, proliferación y propagación de agentes infecciosos, cuando permanecen las aguas sobre un terreno por mucho tiempo se incrementan los riesgos para la salud, presentando incidencia de enfermedades que afectan a las plantas, animales y al hombre. Para combatir estas enfermedades, el drenaje es de importancia para el control de vectores y transmisores que el control químico con productos fitosanitarios y el tratamiento con medicamentos para los pacientes, por la resistencia de los vectores a los químicos y los parásitos a los medicamentos.

- **Sanidad vegetal**

El exceso de agua en los terrenos crea un ambiente favorable para el desarrollo de enfermedades fungosas, que atacan a los cultivos. Fomenta el crecimiento de malas hierbas que en condiciones de alta humedad se desarrollan mejor que los cultivos. La desnitrificación, proceso inverso a la nitrificación, es de importancia económica en campos que llegan a inundarse por considerable período de tiempo. En los suelos encharcados, es más difícil combatir con productos fitosanitarios la gran variedad de plagas que dañan a los cultivos: Los suelos drenados están libres de ciertas enfermedades, como la *podrición negra* de las fresas y *el fusarium* de la podrición de los cereales.

- **Sanidad animal**

Tanto el ganado mayor como el menor es afectado por la incidencia de enfermedades infecciosas producidas por hongos y parásitos, que son comunes en animales que pastorearon en suelos encharcados y húmedos. Los pastizales drenados proporcionan pasto más saludable porque un mayor número de parásitos mueren por la desecación.

- **Sanidad humana**

Son comunes en ambientes anegados, las plagas que transmiten enfermedades al hombre: malaria o paludismo, dengue y fiebre amarilla. Epidemias que en Guatemala son un problema grave, especialmente en las áreas costeras.

- **Otros daños**

El problema de drenaje lleva implícitos otros daños indirectos e intangibles que a veces son muy difíciles de evaluar, entre éstos: inseguridad para plantar cultivos valiosos; no se puede programar adecuadamente el mercado, poca diversificación de cultivos, sobreutilización de mano de obra, daño a cultivos permanentes y problemas en la construcción de infraestructura.

### **2.3 Objetivo y efectos de la implementación de un sistema de drenaje**

El propósito de instalar un sistema de drenaje, responde a los siguientes objetivos: recuperar y conservar el suelo con fines agrícolas, incrementar la producción, permitir la siembra de cultivos más rentables, lograr más de una cosecha por año y/o reducir los costos de producción en áreas que, de otra manera, permanecerían anegadas. Tales objetivos se logran a través de efectos directos y de varios efectos indirectos en la implementación de un sistema de drenaje sobre el proceso de producción agrícola. La valoración de los efectos indirectos, es de alguna manera mucho más difícil de realizar que la de los directos, pero de igual importancia. Los efectos de la implementación de un sistema de drenaje en tierras anegadas son (Oosterbaan, R.J. 1,994, *Criterios Agrícolas del drenaje*):

- **Directos**

Se refiere a la reducción del volumen de agua almacenada en el suelo, al inducir condiciones de suelo seco y reducir anegamiento. Estos efectos son determinados principalmente por las condiciones hidrológicas, las propiedades hidráulicas de los suelos y las características físicas del sistema de drenaje. Los efectos directos producen a la vez una serie de efectos indirectos, que son condicionados por el clima, suelo, cultivo y prácticas agrícolas, así como por aspectos sociales, económicos y ambientales.

- **Indirectos**

Pueden ser físicos, químicos, hidrológicos y biológicos; e interactuar y ejercer su influencia sobre los efectos directos, ejemplos: una agricultura más intensa incrementa la evapotranspiración y consecuentemente puede reducir la descarga, a menos que esto permita un incremento de la intensidad de riego. Una estructura del suelo más estable, puede incrementar la infiltración y la descarga del drenaje, pero a la vez, decrecer la escorrentía superficial. Ahora bien, si los efectos mencionados se compensan entre sí, la descarga del sistema de drenaje no será afectada significativamente.

Los efectos indirectos del drenaje sobre malezas, plagas y enfermedades en relación a la producción agrícola, pueden ser positivos o negativos, y el resultado neto dependerá de las condiciones ecológicas.

**a) Indirectos positivos**

Debido a las condiciones más secas del suelo: incremento de la aireación, estabilización de la estructura, mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, diversificación de los cultivos, mayor facilidad de laboreo de la tierra, fechas de siembra más tempranas y reducción de las escorrentías pico. Por la descarga de efluentes: la remoción de sustancias dañinas al suelo, uso del agua drenada para varios propósitos, etc.

**b) Indirectos negativos**

Debido a las condiciones del suelo más secas: la descomposición de la materia orgánica, desmoronamiento del suelo, acidificación de los suelos; potenciales ácidos sulfatados, incremento del riesgo de sequías y daño ecológico.

Por la descarga de efluentes: daño ambiental aguas abajo, debido a las aguas de desecho, canales y estructuras que impiden el acceso e interfieren con otros elementos infraestructurales del terreno.

**Conceptos importantes**

---

- ❖ Causas del problema de drenaje
- ❖ Consecuencias del problema de drenaje
- ❖ Objetivos y efectos de la implementación de un sistema de drenaje

# 3

## Drenaje y su relación con el suelo

*Suelo se define como una matriz con características de entrada, permeabilidad y salidas de fluidos. Diferente a la conocida definición agronómica de suelo, la definición de ingeniería de drenaje, permite visualizar que el movimiento de fluidos en el suelo está determinado por la naturaleza de los mismos, sus factores y procesos formadores y en macro-escala por su relieve.*

*¿ Explique los factores y procesos formadores del suelo ?*

*¿ Qué tipos de relieves poseen las tierras bajas de Guatemala ?*

*El drenaje, desde siempre se asocia al manejo y conservación de las tierras bajas y humedales de las áreas costeras*

*¿ Qué son tierras aluviales y marinas ?*

*¿ Qué ordenes de suelos son identificados en las tierras bajas de Guatemala según el sistema de FAO/UNESCO ?*

Las relaciones del suelo con el drenaje, se presentan cuando éste se aplica a los suelos para eliminar los excesos de agua, con variedad de beneficios: baja del nivel freático, aumento de la cantidad de terreno aprovechable para el cultivo de plantas, mejora de la estructura del suelo para cultivos, ya que las tierras húmedas son las más fértiles para uso en agricultura productiva.

Por el exceso de agua en la superficie del suelo, los suelos arcillosos con estructura masiva en áreas con alta precipitación son las que más necesitan drenaje artificial. Un suelo puede necesitar drenaje por nivel freático elevado que debe abatirse o por exceso de agua que no puede desplazarse. Las relaciones del drenaje con el suelo, la conservación de suelos y el agua, son aspectos interrelacionados, ya que si las técnicas de drenaje y la conservación de suelos son adecuadas, ayudan a obtener condiciones óptimas de humedad para el desarrollo de las plantas.

El drenaje ocurre por el agua que corre sobre la superficie del suelo y a través del mismo, por lo que sus propiedades para conducir el agua, tanto en forma vertical como horizontal, son importantes en su estudio. Sin embargo, el drenaje es solamente una de las prácticas agronómicas del cultivo y no debe estudiarse aisladamente, igual que otros aspectos relacionados con el suelo como la retención de agua, trabajabilidad y fertilidad que afectan directamente la productividad de las plantas.

Quien considere la aplicación del drenaje, se beneficiará del entendimiento de los factores y procesos formadores del suelo, el relieve y clasificación de tierras. En el presente caso, clasificación de tierras bajas, por ser en éstas donde el drenaje tiene su mayor aplicación.

### **3.1 Formación del suelo**

En el proceso de formación del suelo, deben considerarse algunas propiedades de éste, que interesan al drenaje: conductividad hidráulica, retención del agua, trabajabilidad y fertilidad, que intervienen en la producción agrícola.

Siendo el suelo uno de los factores que determina el uso de la tierra, es importante mencionar que el término suelo significa cosas diferentes, según su empleo (*H.M.H. Braun & R. Kruijne. 1,994*). Agronómicamente, la palabra suelo significa el medio en el cual las raíces de las plantas anclan y del cual extraen agua, oxígeno y nutrientes, formando un ambiente para el desarrollo de fauna. En ingeniería del drenaje, suelo es una matriz con características particulares de entrada de agua y permeabilidad. En pedología, suelo es aquella parte de la corteza terrestre que se ha formado como resultado de varios procesos de interacción. El suelo se forma mediante factores y procesos a través del tiempo.

#### **3.1.1 Factores formadores del suelo**

Los científicos rusos fueron los primeros en proponer que la formación del suelo, es el resultado de la acción del clima y la materia viva sobre materiales de origen en un entorno dado y en un período de tiempo, lo que significa que el suelo es una acción conjunta de los siguientes factores:

- **Material de origen**

El material de origen por su composición mineralógica y granular, roca y sedimentos no consolidados, es un factor que participa en la determinación del tipo de suelo. Los materiales de origen pueden ser ácidos o básicos, calizos o no, etc. Representan cambios y contrastes en los contenidos de grava, hasta formar una mezcla de materia mineral, materia orgánica, aire y agua que según el volumen ocupado por cada una de ellos, como resultante de la meteorización, se convierte en condiciones ideales del suelo para desarrollo de las plantas.

- **Clima**

Sobre la superficie terrestre, es factor dominante en la formación del suelo, su mayor influencia obedece a la temperatura y la precipitación: en climas húmedos, la relación de formación de suelo es alta, debido a una intemperización química rápida, condición propicia para los agentes biológicos que producen y transforman materia orgánica, que favorece la formación de suelos profundos fuertemente intemperizados. En climas fríos y secos, la relación de formación de suelo es baja, debido a la pobre intemperización química y a que los agentes biológicos no se desarrollan adecuadamente en ambientes fríos y secos. En ambientes cálidos y secos, el suelo se desarrolla debido a la intemperización física a través del calentamiento y enfriamiento que quiebra las rocas. En climas fríos y húmedos, el suelo se desarrolla por medio del efecto físico del congelamiento y deshielo sobre las rocas y constituyentes del suelo, siendo suavemente intemperizados. Directamente el clima influye en la formación de suelo por la vegetación.

- **Organismos**

Los agentes biológicos micro y macro organismos: plantas superiores, micro-organismos, animales vertebrados y meso-fauna, contribuyen a la capacidad productiva del suelo a través de sus actividades. Su importancia proviene del conocimiento general de la población del suelo, las funciones específicas de sus formas y de la influencia de los factores del medio ambiente en su supervivencia y actividades predominantes. Las condiciones de humedad y temperatura alta del suelo, afectan favorablemente la actividad biológica de los organismos que contribuyen a la aireación y permeabilidad del suelo.

- **Topografía**

El entorno por su relación con los regímenes climatológicos, influye sobre la formación del suelo que se desarrolla en una topografía que puede ser desde plana a escarpada, en donde cada relieve se caracteriza por una pendiente, que según el material de origen en particular y la posición fisiográfica controla la cantidad de lluvia que percola y la intensidad o cantidad de la escorrentía superficial, que influye en la erosión, la deposición y el nivel freático, responsables de la sequedad o humedad.

- **Tiempo**

Se requiere para que el suelo desarrolle estratos horizontales dependiendo de las interrelaciones del clima, naturaleza del material de origen, los organismos y la topografía. En regiones ligeramente inclinadas y húmedas tropicales, donde ocurren temperaturas altas y precipitaciones que producen intemperización y lavado, el tiempo es el factor predominante en la formación del suelo. Sin embargo, en otras circunstancias la influencia del tiempo es menos pronunciada, pero existe.

- **Actividad humana**

La actividad de labranza de los suelos tiene efectos favorables: aumenta la porosidad y aireación en suelos pesados, aprovechando los efectos de la temperatura, la presión, acción del viento, las lluvias y por difusión la aireación a través de los estratos del suelo dependiendo del espacio poroso. Los suelos sometidos al cultivo, experimentan cambios en su estructura por el laboreo y mezcla de estratos del suelo. Los suelos minerales con suficiente materia orgánica, permiten un laboreo eficiente, mejora la condición estructural de suelos arenosos y arcillosos, afloja los suelos de textura fina al compensar la cohesión alta y plasticidad en la arcilla. El laboreo tiene efectos desfavorables en la granulación debido a la oxidación de la materia orgánica, la alteración de agregados por el efecto del tránsito de equipos pesados y compactación del suelo.

Con base en el concepto agronómico del suelo, las actividades desarrolladas por el hombre tienen gran impacto, porque las propiedades del suelo son frecuentemente cambiadas por la intervención humana. Ejemplo: régimen cambiante del agua del suelo por la introducción de irrigación o drenaje, mezcla de diferentes estratos por aradura, estado cambiante de nutrientes por fertilización o agotamiento y erosión debido al cultivo de tierras inclinadas.

### **3.1.2 Procesos formadores del suelo**

Aunque no existe una manera única y ordenada de formación de los suelos, al menos teóricamente se pueden considerar tres procesos de acuerdo con el tipo de intemperismo: físico, químico y biológico.

Físico, se refiere a cambios en propiedades tales como: contenido de agua, consistencia y estructura del suelo. Químico, comprende cambios en los componentes químicos y físico-químicos del suelo y biológico, cambios influenciados por los organismos que viven en el suelo. Los procesos más importantes se resumen a continuación:

- **Procesos físicos**

El intemperismo físico o proceso en que las rocas y minerales expuestos al ambiente se rompen con el agua de lluvia; la acción de la temperatura y gravedad, forman los materiales de origen que evolucionan y se convierten en materiales residuales transportados por la acción del desplazamiento del agua y el viento, ejemplo: deltas y dunas respectivamente. En los procesos físicos se fundamentan varias propiedades físicas de los suelos: la textura, densidad, espacio poroso, conductividad hidráulica y consistencia.

- **Procesos químicos**

El intemperismo químico continúa el proceso por medio de reacciones como la hidrólisis, hidratación, oxidación, reducción, carbonatación y solución, que ocasionan cambios en la solubilidad de los materiales de origen. Los ácidos comúnmente producidos en el suelo son: el nítrico, nítrico, sulfuroso, sulfúrico y numerosos ácidos orgánicos que ejercen influencia sobre: el porcentaje de saturación de bases, pH y permeabilidad.

El drenaje aumenta la cantidad de oxígeno en el suelo, la deficiencia de materia orgánica, nutrientes principales y formación de minerales de arcilla, producen efectos químicos en el hierro y magnesio que pueden ser tóxicos para el desarrollo de las plantas.

- **Procesos biológicos**

Representan el final del intemperismo físico, químico y biológico. Son procesos por los que microorganismos afectan la formación del suelo. La descomposición y síntesis de los compuestos orgánicos por humidificación, transformación del nitrógeno por amonificación, nitrificación, denitrificación y fijación del nitrógeno, descomponen la materia orgánica, forman el humus, producen sustancias y aglutinantes microbianos, que participan en el proceso de homogenización ayudando a estabilizar la estructura deseable del suelo, disuelven minerales y los hacen más accesibles para las plantas.

La temperatura, regula la velocidad de las reacciones químicas y los cambios biológicos que ocurren en el suelo, dentro de un período corto, la velocidad de las reacciones biológicas aumentan de 2 a 3 veces por cada aumento de 10 °C. La mayor parte de la vida, que se concentra en el suelo, depende de la materia orgánica para obtener su energía y nutrientes.

### 3.2 Relieve de tierras bajas de Guatemala

El término tierras bajas, se refiere a las tierras húmedas y llanas, normalmente situadas al o cerca del nivel del mar y formadas de suelos relativamente jóvenes. En Guatemala, tales suelos pertenecen a las formaciones de La Era Cenozoica, Períodos Cuaternario y Terciario de las edades del Plioceno, Oligoceno y Mioceno, principalmente. Estas tierras son influenciadas por el clima y predominan en paisajes aluviales, lacustres y marinos, especialmente en áreas susceptibles de hundimiento. De acuerdo con *Simons et. al. 1,959*: las tierras bajas de Guatemala comprenden aproximadamente 25 % del Territorio Nacional como producto de la suma de las áreas porcentuales que ocupan: los suelos de las tierras bajas de Petén-Caribe, de las Sabanas y del litoral del Pacífico.

Según el Atlas Nacional de la República de Guatemala (*IGN. 1,972*), los suelos se dividen en XI unidades genéticas. A continuación se presentan las unidades I, II y X cuyos suelos se desarrollaron a elevaciones bajas:

- Unidad I, suelos desarrollados sobre rocas calcáreas, se localizan en la totalidad del departamento de Petén y la parte norte de Alta Verapaz e Izabal.
- Unidad II, suelos desarrollados sobre depósitos marinos, se localizan en la parte noreste del departamento de Izabal, entre la bahía de Amatique y la frontera con Honduras.
- Unidad X, suelos desarrollados sobre material fluvio-volcánico reciente, corresponde a

la franja litoral del océano Pacífico, formados principalmente con materiales aluviales. Comprende parcialmente suelos de los departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Suchitépéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa.

### 3.2.1 El relieve de Tierras bajas aluviales

El área de una cuenca puede albergar variedad de relieves, que varían según la naturaleza del río y respecto a la posición en el sistema de éste. Los sistemas de ríos son complejos y en la mayor parte de éstos se distinguen tres zonas:

- La trayectoria superior, donde la erosión excede la depositación de los sedimentos, son partes montañosas que llegan gradualmente a nivelarse por efecto de la erosión.
- El trecho medio, donde la erosión y la depositación de sedimentos se compensan. Es zona de transporte. Los ríos fluyen en su propio afluviación y tienen canales enlazados, meándricos y anastomosados en lugares con terrazas o abanicos aluviales.
- La parte baja, con acumulación neta de sedimentos, se categoriza como delta o estuario de formas costeras o regiones áridas que se desvanecen en depresiones secas sin desagüe.

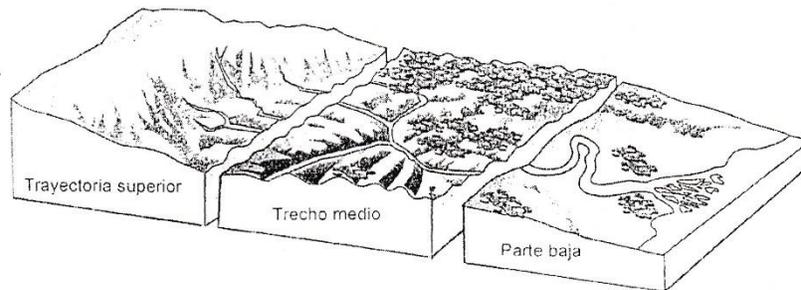


Figura 3.1 Recorrido de un río (Editores Océano, 1,998).

#### • Ríos enlazados

Formados por varios canales senoidales de poca profundidad. Las islas que se forman por sedimentación entre los canales, usualmente son sumergidas en tiempos de máxima descarga y re-aparecen cuando el nivel del agua desciende, esto se presenta frecuentemente a lo largo de su trayectoria en diferentes lugares. Grava o arena gruesa se deposita al final de las islas río abajo, además los lados y el cauce del río son comúnmente erosionados. Este tipo de río, con su continuo cambio de patrón en canales poco profundos y bancos de grava, ocurre en áreas divisorias de cauces con gran descarga irregular y abundancia de materiales gruesos intemperizados. Tales condiciones prevalecen en áreas con cobertura de vegetación esparcida y lluvias torrenciales como en las regiones semi-áridas. Los depósitos de los ríos enlazados, comprenden en su extensión áreas alternas de grava con pocas inclusiones de

sedimentos finos. Los depósitos de materiales gruesos se cubren posteriormente por sedimentos constituidos de granos finos, por ejemplo: cuando el río Motagua se convierte en un río meándrico o durante inundaciones excepcionales como las ocurridas en 1,998 por los efectos del Huracán Mich. No es raro que haya bancos de grava en el micro-relieve (menos de un metro de alto) en áreas influenciadas por depósitos de ríos enlazados.

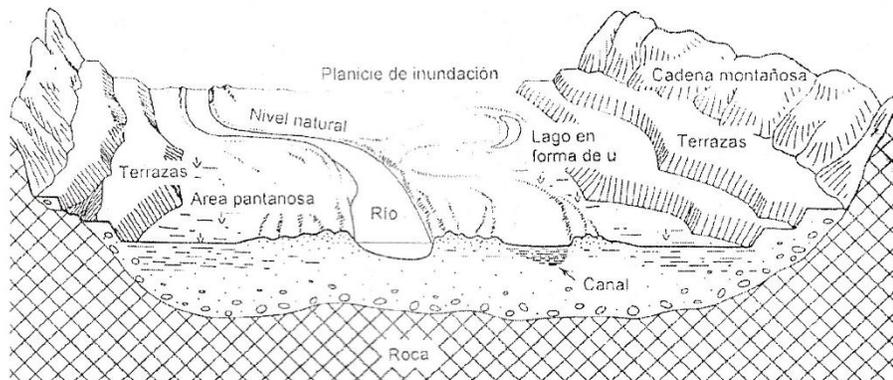


Figura 3.2 Río enlazado (N.A. de Ridder, 1994).

#### • Abanico Aluvial

Formación constituida por material de sedimento grueso y canales cambiantes de ríos enlazados. Los abanicos aluviales se desarrollan cuando el gradiente de un río se reduce repentinamente, ejemplo: cuando un río tributario baja de las montañas y entra a la llanura aluvial, ahí la carga de los sedimentos del río no puede ser arrastrada y la mayor parte de ésta se deposita en la entrada de la llanura. Esto bloquea el canal, por lo que la carga se despliega por la izquierda y derecha, cuyo resultado es la formación de un abanico con un ángulo pequeño de cono, dando como resultado una distribución gradual según el tamaño de los granos de sedimento: de grueso a fino, de la parte proximal del abanico (cerca del vértice) hacia la parte distal (lejos dentro de la llanura).

Según el Mapa Geológico de la República de Guatemala, escala 1: 500,000 (IGN. 1,970), ésta geoforma ocupa la unidad litológica más joven que corresponde a los aluviones Cuaternarios: Unidad heterogénea, considerada como producto del aporte de deslizamientos, avalanchas volcánicas, flujos de barro y material arrastrado por el agua fluvial, proveniente principalmente de macizos ígneos de la Cordillera Volcánica, sobreyacida por capas de espesores variables de cenizas y lapillis, así como de material coluvio-aluvial.

La mayor concentración de estos materiales se encuentra en la parte Sur del país, a lo largo de la franja costera del océano Pacífico, en los departamentos de: San Marcos, Retalhuleu, Mazatenango, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. Localizándose también al noroeste y noreste de Petén, así como en las costas de Belice y en las márgenes del río Motagua y Lago de Izabal. Existen zonas de menor concentración, como las localizadas al Oeste de Zacapa, Sur de Jalapa y Chiquimula.

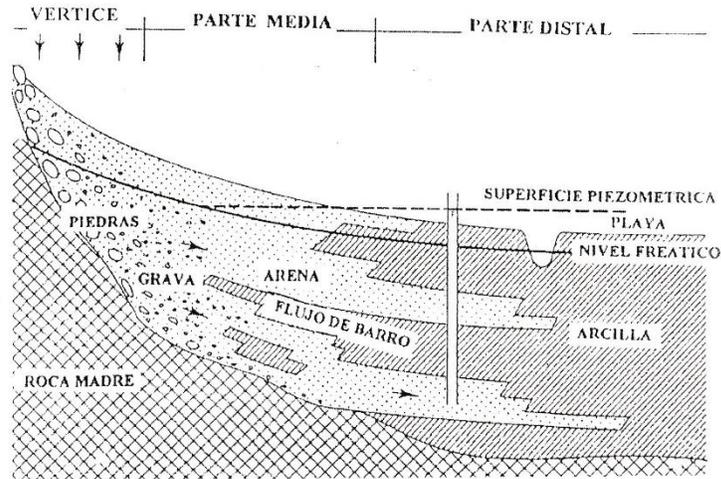


Figura 3.3 Sección transversal de un abanico aluvial, mostrando el flujo de agua subterránea desde el vértice: zona de recarga, hasta la parte distal o de explayamiento: zona de descarga, ( N.A. de Ridder, 1994).

Respecto a la división genética de suelos en Guatemala, según el Instituto Geográfico Nacional (IGN. 1,972), ésta geoforma corresponde a la Unidad IX, suelos desarrollados sobre material fluvio-volcánico reciente a elevaciones medianas. El área se caracteriza por una serie de Abanicos Aluviales traslapados, de material lanzado por volcanes, en época relativamente reciente. Se localizan en la llamada boca costa del país, abarcan parcialmente los departamentos de: San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa.

- **Ríos meándricos**

Formados regularmente de un sólo canal senoidal, rodeado por un bordo natural, detrás del que se forman depósitos pantanosos. Experimentos en laboratorio han confirmado que canales meándricos son típicos de ríos con patrón regular de descarga estacional y arreglo sedimentario estratificado de materiales con granos finos.

Los ríos meándricos en climas húmedos canalizan sus aguas por áreas cubiertas de

vegetación. La cubierta vegetal densa se asocia con una preponderante intemperización química y formación de arcilla dentro del suelo, pendientes estables con escorrentías pequeñas y re-cargas de agua subterránea a lo largo de su trayectoria.

Como consecuencia de los cambios estacionales de la precipitación, el índice de descarga de los ríos meándricos, puede fluctuar considerablemente, pero sin llegar al extremo, porque el río nunca correrá seco. Si el canal se llena hasta la parte superior del bordo natural, el río alcanzará un estado de almacenamiento completo y por ende se desbordará, inundando las áreas a su alrededor. Los procesos de sedimentación, se desarrollan en el canal, en los bordos y en el área alrededor de éste, regularmente los sedimentos más gruesos se encuentran en el fondo del canal. Durante las inundaciones, las partículas finas se depositan así: arenas muy finas en la parte superior del bordo natural y arcilla en el bordo interno de la depresión que forma el canal (la turba también se acumula aquí). El sistema completo se orienta lateralmente a las vueltas del meandro, erosionando la parte externa del bordo natural y causando sedimentación en la cara interna del canal. En esta forma, se desarrolla una secuencia ascendente de sedimentación. Donde se rompe el bordo natural se forman los llamados *lagos meandros*, que se rellenan a través de un proceso ascendente de sedimentación con arcilla y/o turba. Comúnmente los ríos meándricos son un fenómeno de las regiones húmedas, pero también ocurren en ambientes secos, solo que en este caso, sus nacimientos están fuera de la región árida. Ejemplo típico es el río Motagua, que nace en las regiones húmedas del municipio de Chiché en el departamento del Quiché y se extiende con rumbo noreste hasta las planicies de la región semiárida del oriente del país, donde sus meandros se observan desde las planicies del Rancho, en el departamento de El Progreso hasta Morales, en el departamento de Izabal.

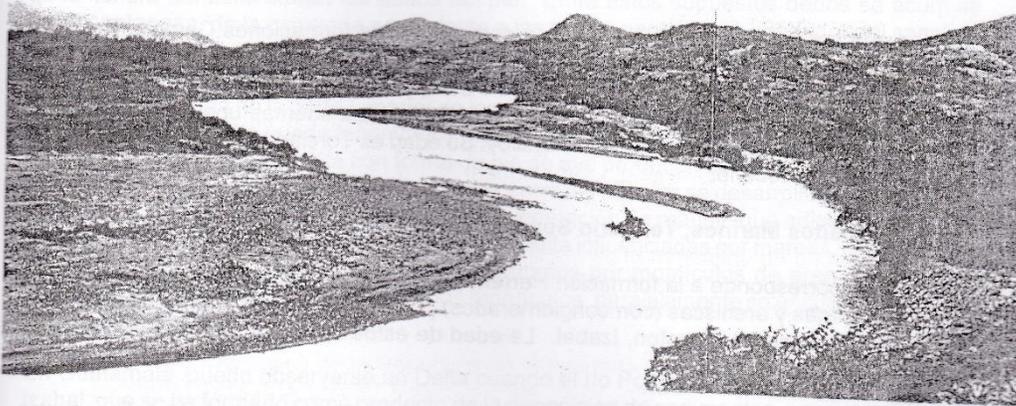


Figura 3.4 Meandros del río Motagua, en el municipio de El Rancho, El Progreso.

- **Ríos Anastomosados**

Su semejanza con los ríos enlazados, es en que tienen varios canales, pero los de éste con sus propios sedimentos y bordos bien desarrollados y con los meándricos tienen en común, las áreas pantanosas cubiertas con turba. Los ríos anastomosados, se diferencian de los ríos enlazados y meándricos, en que la posición de sus canales no cambia repentinamente y es raro que ocurra rupturas en sus bordos, existiendo poca erosión del bordo exterior del canal y desplazamiento lateral del cinturón del meandro. Ríos anastomosados se originan en cuencas internas susceptibles a hundimiento rápido y áreas cerca de las costas.

### 3.2.2 El relieve de tierras bajas marinas

Existe variedad de relieves en las tierras bajas costeras. Según el Mapa Geológico de la República de Guatemala, escala 1: 500,000 (IGN. 1,970), las tierras influenciadas por sedimentos marinos corresponden al Cretácico Superior, Terciario Inferior y Terciario Superior-Cuaternario Inferior.

- **Sedimentos del Cretácico Superior-Terciario Inferior**

Unidad correspondiente a los sedimentos clásticos marinos del grupo Verapaz, que incluye las formaciones Sepur, Chemal y Lacandón. Estas rocas, están distribuidas de Este a Oeste en el territorio de Guatemala, encontrándose en el noreste de Huehuetenango, al Norte de Quiché, Cobán e Izabal, así como al Sur de Petén y Belice. La edad asignada a estas rocas sedimentarias es la de Cretácico Superior-Terciario Inferior.

- **Sedimentos Marinos del Terciario Inferior**

Unidad que corresponde al Grupo Petén y comprende las formaciones Cambio, Reforma, Toledo, Santa Amelia y Buena Vista. Estos sedimentos (areniscas, lutitas y carbonatos), se encuentran dispersos en el departamento de Petén, principalmente al centro y al noreste, introduciéndose en parte del territorio de Belice. Se localiza además una área pequeña al Norte de Cobán en las márgenes del río Chixoy. Su edad es Terciario Inferior, especialmente del Paleoceno y Eoceno.

- **Depósitos Marinos, Terciario Superior-Cuaternario Inferior**

Unidad que corresponde a la formación Herrería, compuesta principalmente por arcillolitas, limolitas, margas y areniscas (con conglomerados) poco consolidadas, que se localiza en la Bahía de Amatique y Livingston, Izabal. La edad de estos depósitos marinos, se asigna al Plioceno-Pleistoceno.

*Las tierras bajas marinas pueden dividirse en tres grupos: Deltas, tierras bajas influenciadas por olas y por mareas (Driessen, P.M. & Dudal, R. 1,991):*

- **Deltas**

Cuando la corriente de un río se introduce dentro del mar o lago, se forman los deltas. Si los océanos alcanzaron su nivel hace algunos 6,000 años, la mayor parte de los deltas son recién formados. Sin embargo, excavaciones en deltas (grandes) han revelado una historia larga y compleja. Los deltas pueden alcanzar más de 10 kilómetros de ancho y sus sedimentos contienen evidencias de diferentes fluctuaciones del nivel del mar y cambios de la base de drenaje. Los diferentes rostros de sedimentación de los deltas, reflejan cambios en uno o más de los siguientes factores externos: la densidad del agua del río con relación a la densidad del agua del mar o lago, la naturaleza y volumen de los sedimentos transportados por el río, la influencia de las olas y mareas, el clima y el índice de hundimiento tectónico de la cuenca.

En el delta, el material grueso se deposita en la llanura cerca de la desembocadura. Los sedimentos finos (limos), se acumulan en la pendiente sumergida del delta y las partículas de arcilla mucho más finas viajan más lejos hacia el *pro-delta*. Por lo tanto, una degradación de tamaños de partículas ocurre a lo largo del delta. Cuando el delta está sujeto a sedimentación progresiva, las partículas gruesas cubren los sedimentos finos, dando lugar a un proceso de sedimentación en el que ocurre ascenso de los materiales gruesos, tal secuencia puede extenderse a cientos de metros de grosor. A los sedimentos finos del *pro-delta* se les llama *estratos inferiores del pro-delta*, a los sedimentos del frente pendiente del delta *estratos de fuerza del pro-delta* y a los sedimentos superficiales de la llanura del delta *estratos superiores del delta*. Cuando el agua fresca (de baja densidad) fluye hacia el mar, actúa como un chorro flotante, conduciendo los sedimentos en suspensión, lejos dentro del lago o mar. Con los bordos naturales del río extendiéndose dentro del lago o mar, el sistema del delta se expande rápidamente, si la acción de pequeñas olas o mareas disturban la sedimentación, se forma un delta con forma de pie de ave, en el que, los canales tributarios de la llanura del delta serían los dedos del pie. Entre estos supuestos dedos se acumula tierra pantanosa, de la categoría equivalente a las tierras pantanosas alrededor del canal en ambientes aluviales. En ciertas ocasiones se presentan rupturas en el bordo natural del río, originándose fisuras y deposición de sedimentos, abandonando el canal para dar lugar a uno nuevo que se forma en la parte superior de las fisuras sedimentadas. De tal manera que esta secuencia ascendente puede tener varios metros de grosor. Cuando la influencia de la marea es alta, los canales en un delta con forma de pie de ave producen cauces anchos similares a los que se encuentran en estuarios. Las áreas entre los canales se desarrollan entre oleadas, en áreas tropicales, éstas son colonizadas por vegetación de mangle que adiciona desechos orgánicos a los sedimentos frescos. Llanuras de delta influenciadas por mareas, regularmente tienen contornos que terminan en cúspide formados por montículos de arena, en lugares donde ocurren dunas eólicas, detrás de los montículos, paralelamente se encuentran lagunas comúnmente rellenas con turba.

En Guatemala, puede observarse un Delta cuando el río Polochic desemboca en el lago de Izabal, que se ha formado como producto de la deposición de sedimentos, posiblemente bajo la influencia de olas y otro en la desembocadura del río Villa Lobos en el Lago de Amatitlán.

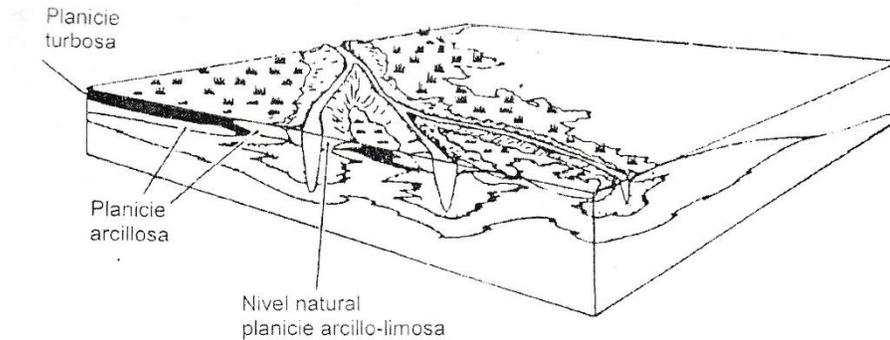


Figura 3.5 Formación esquemática de un delta en forma de pie de ave (Frazier, 1,967).

- **Tierras costeras influenciadas por olas**

En estas tierras costeras la importancia de las mareas se mide usualmente por la amplitud de las olas; a las de 2 m o menos se les llama *micro-olas*, las de 2 ó 4 m son las *meso-olas* y olas de más de 4 m se denominan *macro-olas*. Las costas influenciadas por *micro-olas*, se forman por la acción de la marea más que por acción de las olas. La marea que se balancea hacia arriba de la costa produce espuma y constituye un transporte neto de sedimentos hacia la costa. Ocurren corrientes compensatorias paralelamente hacia la costa y a lo largo de ésta, si las olas se acercan hacia la orilla costa abajo de cierto ángulo, las corrientes a lo largo de la costa a través de la playa a la deriva, desplazan los sedimentos paralelamente hacia ésta. Los delta aumentan de tamaño en dirección contraria a la tierra firme, en caso de playas de arena y costas que presentan barreras, la dirección de desarrollo del relieve no es clara. La acreción y transgresión dependen de los factores: suplemento de sedimentos a lo largo de la orilla de la costa, la pendiente del área comprendida entre el agua y la parte ocupada por vegetación, el índice de hundimiento de la cuenca y todos los factores que influye sobre la secuencia de sedimentación, en tierras bajas costeras formadas por mareas. La disminución progresiva o degradación de las tierras costeras hacia el mar, produce ascenso de materiales gruesos y donde las arenas cerca de la ribera son de grano fino en comparación con las encontradas a mayor altura, alternativamente cambios de barreras cerca de la tierra pueden causar la deposición de arena en la parte superior de materiales antiguos de origen lacustre.

En Guatemala los principales sistemas de barreras o barras son: Barra del Motagua, Puerto Barrios, Izabal, Barra San Marcos, Livingston, Izabal, La Barra de la Gomera, Escuintla, Barra del Jiote y de la Gabina, ambas en Moyuta, Jutiapa, vinculadas con el canal de Chiquimulilla, Barra Madre Vieja y Nahualate, ambas en Tiquizate, Escuintla.



Figura 3.6 Barra del río Motagua, Puerto Barrios, Izabal.

- **Tierras bajas costeras dominadas por mareas**

Tienen la particularidad que a lo largo de las costas influenciadas por macro-olas, la desembocadura de los ríos en el mar es ensanchada por las olas entrantes, formando estuarios, éstos tienen canales en forma de embudos con superficies planas de arena entre ellos. Ahí, pueden desarrollarse mareas de arena con longitudes de varios metros (megaondas), cuya parte interna es regularmente salina. Cuando las olas son muy altas e inundan parte del sistema de estuarios y deltas, se producen olas planas, liberadas a través de zanjas profundas entre islas de barrera. Las zanjas son permanentemente sumergidas y por ellas se conducen enormes masas de agua y sedimentos gruesos con las mareas entrantes y salientes. Los sedimentos llegan a la llanura a través de los riachuelos, estos tienen un patrón meándrico y son anchos en su desembocadura. Las olas interrelacionadas entre el nivel medio alto y medio bajo del agua, producen inundaciones dos veces al día. Sedimentos de arena fina y arcilla se acumulan en la parte superior de la llanura, a las partes que se inundan sólo en presencia de olas externas se les llama *supra-olas llanas* o *zona de marismas*, que regularmente son regiones pantanosas e insalubres que se hallan a orillas del mar o de los ríos.

Las marismas dominadas por olas, forman los canales de estuarios o ciénagas de agua salóbrega, que son desembocaduras amplias, libres de sedimentos, donde las mareas hacen penetrar y retroceder el agua marina por el cauce fluvial. Cuando la marea es ascendente, el avance del agua salada frena el descenso del agua fluvial y se provoca una sedimentación

provisional, cuando desciende, al movimiento del agua del río se suma el de reflujos de la marea (retroceso del agua marina), y los sedimentos depositados anteriormente son arrastrados mar adentro.

En Guatemala se pueden mencionar los estuarios de: Champeriquito, en el sector sureste de Champerico, departamento de Retalhuleu; El lagarto, en la margen Oeste de la punta de Manabique, bahía de Amatique, departamento de Izabal; San Juan, en la parte Sur del lago de Guija, donde descarga el río Cusmapa, en Asunción Mita, departamento de Jutiapa; El Negro, vinculado al canal de Chiquimulilla, Moyuta, departamento de Jutiapa y El Esterón, en el municipio de Ocos, departamento de San Marcos.

Muchas de las zonas de marismas y esteros, se han declarado áreas protegidas bajo el nombre de *Humedales*, ejemplo: El Manchón-Guamuchal, establecido en 1,995, ubicado entre los departamentos de San Marcos y Retalhuleu. Comprende 13,500 ha donde puede observarse el área de manglares más grande de la costa Sur, dunas, plantas acuáticas y cientos de aves migratorias en su viaje al Sur del Continente.

Los principales beneficios de los humedales naturales son: crear reservas de agua purificada, porque filtran muchos de los contaminantes que llegan en los ríos y abastecen a las aguas subterráneas; proteger las áreas costeras de inundaciones debido a tormentas y la línea costera contra la erosión.

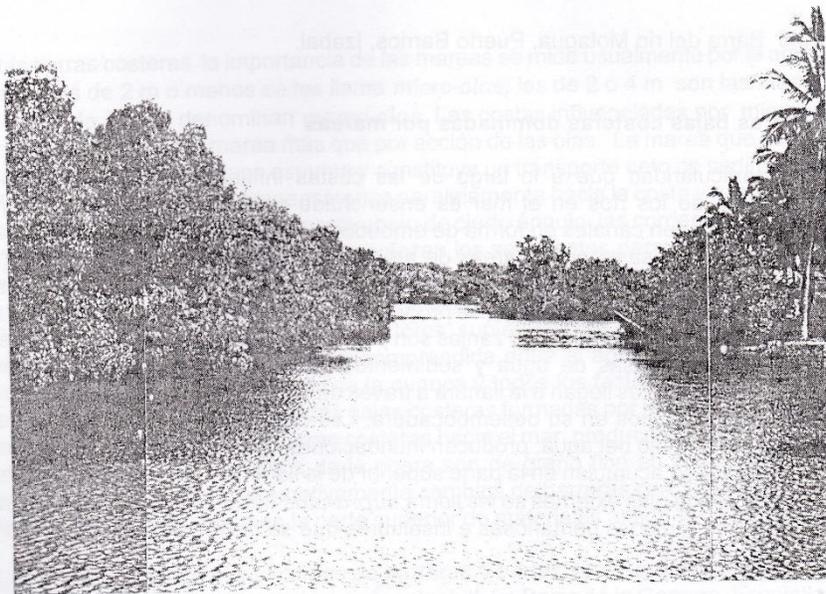


Figura 3.7 El Esterón, en el municipio de Ocos, San Marcos.

### 3.3 Clasificación de los suelos de Tierras Bajas:

Considerando el suelo como medio para el desarrollo de las plantas, su clasificación, proporciona información acerca de las propiedades físicas, químicas y biológicas relevantes para el uso agrícola así como para el desarrollo de proyectos conjuntos del uso del agua y el suelo, tal el caso del drenaje.

Según el sistema internacional de clasificación de suelos de FAO/UNESCO, en las denominadas Tierras Bajas de Guatemala, se determinan suelos de gran fertilidad química con limitaciones físicas, predominando los siguientes suelos (Tobias, H. 1, 997):

- *Suelos aluviales*: se tipifican por humedad prolongada (a menos que sean reclamados) y de corta edad, donde el proceso de sedimentación aún se está dando. Ocurren suelos aluviales (Fluvisoles) estratificados, en la depresión del río Motagua.
- *Gleysoles*: se encuentran en depresiones donde no reciben adición regular de sedimentos, su perfil atestigua un nivel freático poco profundo durante algunos meses o todo el año, ejemplo: en el valle del Polochic, en la desembocadura del río del mismo nombre en el lago de Izabal y de los ríos en la costa Sur del país, en los departamentos de Escuintla, Suchitepequez y Retalhuleu.
- *Planosoles dystricos*: se localizan en el Sur del departamento de Petén en el límite con Belice, en áreas planas con textura fina, propicias para el cultivo de arroz y pastos resistentes a altos niveles de humedad en el suelo.
- *Vertisoles Pélicos*: suelos de color negro o gris oscuro, se les encuentra en la parte Norte y Sur central de Petén, están asociados con rendizinas, Gleysoles y planosoles. También hay en el litoral del Pacífico, asociados a gleysoles y fluvisoles.
- *Vertisoles crómicos*: se les encuentra en la costa suroccidental del país, al Sur de Retalhuleu, tienen colores claros que van de pardo a pardo rojizo, asociados con vertisoles pélicos.
- *Regosoles dystricos*: se localizan en la costa del Atlántico, en lo que se denomina Punta de Manabique en el departamento de Izabal. Se caracterizan por tener textura gruesa (arenosa), con pH ácido en un relieve llano, asociados con gleysoles e Histosoles.
- *Luvisoles gleicos*: se localizan principalmente en el departamento de Petén, en áreas llanas con texturas medias (francas), con Vertisoles pélicos y Planosoles, en forma de inclusiones se encuentran asociados con Fluvisoles.

#### Conceptos importantes

---

---

- ❖ Suelo
- ❖ Factores formadores del suelo
- ❖ Procesos formadores del suelo
- ❖ Relieve
- ❖ Relieve de tierras bajas aluviales
- ❖ Relieve de tierras bajas marinas
- ❖ Clasificación de los suelos de tierras bajas / Sistema FAO-UNESCO.

# 4

## Precipitación y sistema hidrográfico de Guatemala

*Los componentes de la hidrología superficial son: precipitación, escorrentía, crecidas y erosión. En proyectos de desarrollo rural que incluyen irrigación y drenaje, su manejo determina criterios de diseño y operación de los sistemas, así como el tipo de cultivo a sembrar.*

*¿ Qué entiende por componentes del clima ?*

*¿ Cuáles son las principales regiones y vertientes hidrográficas de Guatemala ?*

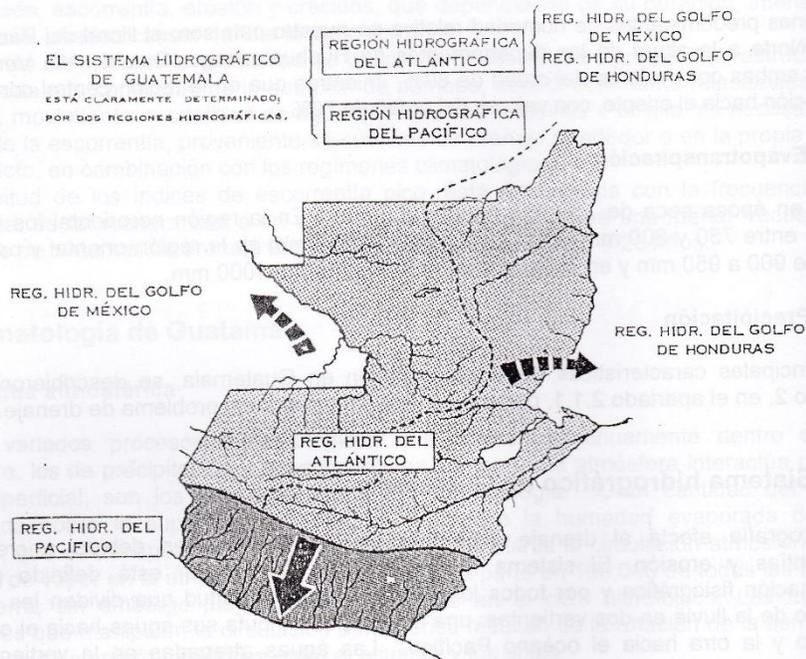


Figura 4.1 Sistema Hidrográfico de Guatemala (Editores Piedra Santa, 1970).

- **Vertiente del golfo de México**

Tributa sus aguas hacia el golfo de México, después de recorrer parte de este distinguiéndose dos características principales de sus ríos: los que nacen en las partes altas de la sierra de los Cuchumatanes y los que se originan de las partes altas de F. Su escorrentía es diversa, por la variedad de la capacidad de almacenamiento de cuenca y su pendiente media (pequeña), comparada con la de los ríos de la vertiente del océano Pacífico. Con base en su fisiografía, se forman 10 cuencas, algunas de ellas carácter internacional por nacer en Guatemala y terminar en la República de México. El área drenada por estas cuencas es de 50,000 km<sup>2</sup>. y las aguas siguen su curso principalmente hacia el mar en la costa Norte del Istmo de Tehuantepec en territorio mexicano. El área y nombre de las cuencas se muestra en el Cuadro 4.1.

---

---

*Drenaje Superficial*

---

---

Cuadro 4.1 Cuenkas de la Vertiente del Golfo de México

No.	Cuenca	Area Km <sup>2</sup>
1.	Grijalva (Cuilco)	2,274
2.	Grijalva (Selegua)	1,535
3.	Grijalva (Nentón)	1,451
4.	Usumacinta (Pojom)	813
5.	Usumacinta (Ixcán)	2,085
6.	Usumacinta (Xalbal)	1,366
7.	Usumacinta (Salinas)	12,150
8.	Usumacinta (Pasi3n)	12,156
9.	Usumacinta (Usumacinta)	2,638
10.	Usumacinta (San Pedro)	14,335

• **Vertiente del Golfo de Honduras**

Tributa sus aguas hacia el golfo de Honduras, su escorrentía es diversa por la variedad de la capacidad de almacenamiento de cada cuenca. Su fisiografía permite la formación de 7 cuencas, incluyendo la del Motagua que es el río más largo de Guatemala. El área que drenan estas cuencas es de 25,946 km<sup>2</sup>.

Cuadro 4.2 Cuenkas de la Vertiente del Golfo de Honduras

No.	Cuenca	Area Km <sup>2</sup>
1.	Motagua (Grande de Zacapa)	2,462
2.	Motagua (Motagua)	12,670
3.	Río Dulce (Izabal- Río Dulce)	3,435
4.	Río Dulce (Polochic)	2,811
5.	Río Dulce (Cahab3n)	2,459
6.	Sarstún	2,109

• **Regi3n hidrográfica del Pacífico**

Esta vertiente tributa sus aguas hacia el océano Pacífico, distinguiéndose en sus ríos la característica de gran pendiente en su inicio para terminar abruptamente en una planicie, hasta su desembocadura, por lo que su escorrentía cambia abruptamente de velocidad.

## *Drenaje Superficial*

La fisiografía de dicha vertiente, cuya extensión es de 24,000 Km<sup>2</sup> permite la formación de 18 cuencas, de las que se han reportado muchos problemas de inundación y desborde de ríos; éstos se caracterizan por tener un recorrido corto y de gran pendiente que se origina en la Sierra Madre en su primera parte. Algunos de estos ríos no desembocan en territorio guatemalteco, constituyéndose como fronterizos, tal el caso del río Suchiate con México y el río Paz con la República de El Salvador. Las cuencas de estas vertientes se describen a continuación:

Cuadro 4.3 Cuencas de la Vertiente del Pacífico

No.	Cuenca	Area Km <sup>2</sup>
1.	Coatán	270
2.	Suchiate	1,054
3.	El Naranjo	1,273
4.	Ocosito	2,035
5.	Samalá	1,510
6.	Sis-Icán	919
7.	Nahualate	1,941
8.	Atitlán	541
9.	Madre Vieja	1,007
10.	Coyolate	1,648
11.	Acomé	706
12.	Achiaguat	1,291
13.	María Linda	2,727
14.	Paso Hondo	512
15.	Los Esclavos	2,271
16.	Paz	1,732
17.	Lempa (Ostua-Guija)	2,243
18.	Lempa (Olopa)	310

### Conceptos importantes

- ❖ Climatología
- ❖ Sistema hidrográfico de Guatemala
- ❖ Distribución de las principales cuencas del país

# 5

## Aplicaciones del drenaje superficial

*La desviación o remoción ordenada del exceso de agua de la superficie de la tierra a través de canales naturales o artificiales, constituye el drenaje superficial. Técnica que encuentra su aplicación en lugares con época seca y lluviosa, suelos de permeabilidad mediana, con cultivos sensibles a los excesos de agua.*

*Se caracteriza como su nombre lo indica por canales abiertos o superficiales, que se realizan una vez que el suelo ha sido estratificado y formado.*

*¿ Ha observado un sistema de drenaje, con sus diferentes tipos de drenes ?*

*¿ Se ha preguntado como se trazan los drenes ?*

*¿ Cuáles son los tipos de terrazas para el manejo de suelos de áreas inclinadas ?*

## *Drenaje Superficial*

Los problemas de drenaje superficial están relacionados con la incapacidad del movimiento libre de los excesos de agua sobre la superficie del suelo o a través del perfil de éste, hasta una salida subterránea satisfactoria. Las condiciones para ello se presentan en zonas:

- De topografía extremadamente plana con suelos poco profundos o que están sobre estratos impermeables.
- Con depresiones que retienen el agua.
- De terrenos de hondonadas y llanuras de ríos relativamente planas y de terrazas que reciben los escurrimientos de terrenos altos.
- Inundables por derrames o desbordamiento de corrientes o ríos.
- Cubiertas por acción de las mareas o por el efecto de las mareas sobre el escurrimiento de los ríos.

El drenaje superficial cumple con los objetivos de: eliminar los factores que contribuyen al problema y establecer un sistema satisfactorio de salidas que eviten futuras inundaciones. Las prácticas de drenaje superficial han evolucionado y perfeccionado con la experiencia y observación más que sobre una base de investigación controlada, es por ello, que la mayoría de publicaciones al respecto, se basan en resúmenes de manuales e instructivos de campo, derivados de la experiencia que ha resuelto prácticamente los problemas de drenaje. Aun cuando el criterio para el diseño de campo del drenaje superficial se deriva sobre la base de la experiencia y observación, generalmente probará ser bueno cuando se aplica en condiciones muy similares a éstas, pero no proporciona: los actores mensurables necesarios que permitan una fácil aplicación en las regiones nuevas y sin probar.

### **5.1 Formación del terreno**

El tipo más sencillo de drenaje superficial, se aplica a través de la formación o emparejamiento de las tierras. En estas prácticas los surcos muertos, las fajas de terreno de cabecera y otras huellas de los implementos agrícolas, los bordos de préstamo de las zanjales y todas las características topográficas naturales como son las depresiones topográficas poco profundas que tienden a impedir el escurrimiento natural del agua hacia una salida de desagüe, se rellenan por medio de la utilización del equipo para construcción y movimiento de tierras.

Cuando la superficie del terreno tiene suficiente pendiente natural hacia una salida de desagüe, para la formación del terreno, solo requiere una operación de emparejamiento que deja la superficie en un solo plano. En las regiones sumamente planas, donde no hay gradiente natural de drenaje, la operación de formación del terreno también puede incluir la nivelación para dar una pendiente positiva hacia una salida de desagüe.

La Figura 5.1, muestra dos aplicaciones de formación o emparejamiento de la tierra para corregir problemas de drenaje superficial. La formación y la nivelación del terreno que se han practicado ampliamente en las regiones áridas, como práctica asociada al riego superficial y en regiones húmedas con drenaje. La práctica más sencilla consiste en el uso de rastras para emparejar y alisar las condiciones de la superficie. En general, cualquier método de nivelación y emparejamiento del terreno que pueda proporcionar una pendiente uniforme hacia las zanjales parcelarias y al mismo tiempo eliminar las depresiones principales, es efectivo para proporcionar drenaje superficial. Sin embargo, la plena

efectividad de la formación del terreno depende de un levantamiento topográfico y planeación precisa. Los procedimientos empleados para el levantamiento, van de acuerdo con las prácticas comunes de la ingeniería, pero para utilización agrícola se han desarrollado aplicaciones especializadas basadas principalmente en la experiencia obtenida en la formación de terrenos para riego.

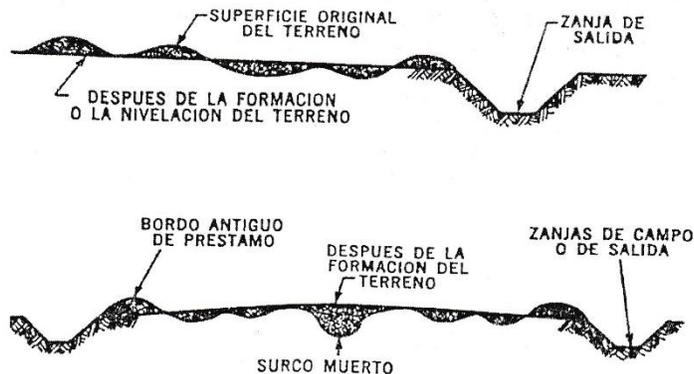


Figura 5.1. Aplicaciones de la conformación de terrenos (*Edminster T.W. & Schwab G.O. 1,990*).

En la mayoría de los casos, la factibilidad para llevar a cabo la formación de terreno como una práctica del drenaje superficial, depende de la selección cuidadosa de la maquinaria y la juiciosa programación y manejo de los procedimientos de construcción.

## 5.2 Estratificación

Una de las principales prácticas del drenaje consiste en voltear los surcos a la mitad para formar un bordo franqueado a cada lado por drenes para llevar el agua hacia afuera de la parcela. Algunos de los primeros sistemas de estratificación en Europa Occidental, consistieron en formar bordos amplios y altos de 6 a 9 m de ancho con un centro o remate de 1.0 a 1.3 m más alto que los drenes de campo. Sin embargo, la efectividad de este sistema está limitada por la capacidad y condiciones inadecuadas de los drenes de campo y de las salidas. Actualmente el estratificado se recomienda solamente para aquellos suelos que tienen profundidades moderadas y permeabilidad lenta, y su empleo se limita a pendientes de 0 a 1.5 %. En los terrenos de labor los estratos usualmente tienen 30 m mínimo de ancho y se mantienen con una altura aproximada de 0.30 m.

En las praderas y pastizales, donde no es difícil mantener la altura del estrato, éste puede ser angosto de 15 m de ancho y tener una altura de tan solo 0.15 m. El ancho de los estratos está determinado por:

- Las clases de plantas cultivadas. Los cultivos para pastoreo o para henuficación usualmente no requieren estratos tan angostos como los cultivos para rotaciones.
- La pendiente de las parcelas. Las parcelas más planas requieren estratos más angostos.
- Las características del drenaje del suelo. Los suelos de baja capacidad de infiltración y mala permeabilidad, necesitan estratos más angostos.
- Adaptabilidad con las labores. Como los cultivos generalmente no crecen bien en los surcos muertos, los anchos de los estratos deben ser múltiplos del ancho del equipo, para que se desperdicie un mínimo de terreno de cultivo.

Los surcos se trazan paralelos a los estratos y el agua del surco se intercepta y dirige hacia los surcos de drenaje por medio de drenes o interceptores. Para su buen funcionamiento los surcos de drenaje entre los bordos deben tener una pendiente positiva y vaciarse en un sistema de drenes colectores, con suficiente capacidad para desalojar todas las aguas colectadas.

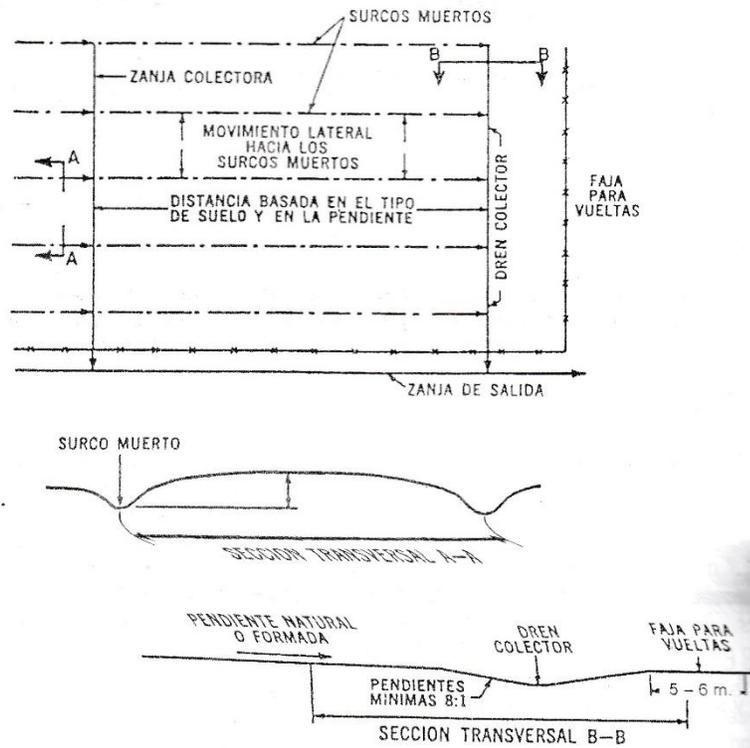


Figura 5.2 Sistema y secciones transversales de los trabajos de volteo y movimiento de tierras en campos de labor (Edminster T.W. & Schwab G.O. 1,990).

Cualquier obstrucción en el sistema de salida producirá grandes daños a las plantas situadas en las partes más bajas de los estratos. Si los drenes colectores se colocan de 5 a 6 m de la orilla de la parcela, proporcionan una faja para maniobras y hay menos peligro de obstrucción. Esta figura muestra un sistema típico de estratificado para parcelas, así como los componentes transversales de los estratos y drenes colectores. Aunque los sistemas de estratificación que se diseñan y conservan apropiadamente proporcionan con frecuencia un auxilio considerable al drenaje, no se adaptan bien al sistema moderno de manejo con máquinas de alta velocidad. Cuando se utilizan implementos y máquinas de tracción animal, no es notable la diferencia entre los niveles de humedad del suelo de los bordos y el surco. Con equipo tirado por tractor, los bordos muchas veces están muy secos para la labranza o cultivo efectivos desde antes de que los surcos puedan recibir o acomodar el equipo. En la mayoría de los casos, la necesidad del estratificado se puede eliminar con una formación o emparejamiento cuidadoso del terreno de labor, en combinación con drenes de campo más espaciados, uniformes o paralelos.

### 5.3 Drenes de campo

Los drenes de campo pueden trazarse en sistemas al azar y uniformes o paralelos. Ambos tipos a su vez se subdividen en drenes sencillos o tipo V, y dobles o tipo W. Estos drenes se diseñan con los taludes planos, para permitir el paso de la maquinaria agrícola.

El *dren sencillo o tipo V*, se usa con ventaja cuando el material excavado se utiliza para rellenar las depresiones, facilitando la nivelación del terreno. Si el material de préstamos no se utiliza así, se debe tener cuidado que no obstruya el escurrimiento superficial del agua hacia el interior del dren.

El *dren doble o tipo W*, consiste en dos drenes paralelos separados por el material excavado, es de utilidad donde las pendientes del terreno corren en ambas direcciones hacia el dren o donde el terreno es muy plano y es importante tener drenaje en dos direcciones. La distancia entre los dos drenes es de 9 m cuando tienen 0.25 m de profundidad, lo que permite tener taludes 8:1 que se pueden cultivar en forma transversal. Si se requiere mayor profundidad, los drenes se espaciarán más. En algunos casos el área entre los dos drenes que forman el tipo W, se deja para cultivos de heno y se utiliza como acceso a varias partes del campo.

- **Trazo de drenes al azar**

Campos con una o más depresiones profundas o extensas como para permitir su relleno y nivelación, pero que generalmente tienen buen drenaje superficial, pueden drenarse con drenes al azar, estos drenes conectan a cada una de las depresiones, colectando el agua en exceso y llevándola a drenes laterales de desagüe apropiado. El dren al azar en promedio tiene un área de sección transversal de 0.5 a 0.75 m<sup>2</sup>, con profundidades de 0.25 a 0.30 m. Los taludes se pueden ajustar a la localización y a las prácticas ordinarias, es decir, donde las labores agrícolas deben cruzar el dren, los taludes no deben ser menores que 8:1 ó 10:1, mientras que los taludes 4:1 se pueden usar donde las labores se hacen paralelas al dren.

## Drenaje Superficial

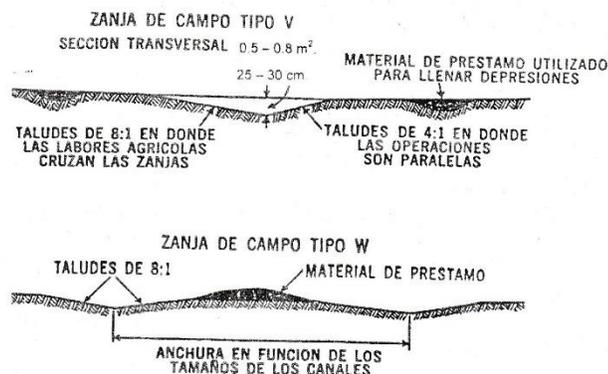


Figura 5.3 Secciones transversales de los drenes de campo tipo V y W (Edminster T.W. & Schwab G.O. 1, 1990).

### • Trazo de drenes paralelos

Los drenes uniformes o paralelos se usan en terrenos relativamente planos, mal drenados y que tienen una superficie demasiado dispareja como para facilitar su drenaje con solo nivelar el terreno o donde el estratificado podría intervenir con el uso en gran escala de la maquinaria agrícola. Son drenes tipo V o W paralelos y poco profundos, con taludes de 8:1 ó 10:1 y un área de sección transversal de no menos de 0.5 m<sup>2</sup>. Los surcos para el cultivo se trazan de tal manera que deben cruzar a los drenes en ángulo recto, entonces el espaciamiento depende de la longitud del surco que pueda llevar en forma segura el escurrimiento hasta el dren, sin erosión excesiva. La disposición básica se realiza de tal manera que todos los surcos de cultivo tengan una pendiente positiva de 0.1 a 0.2 % hacia el dren. Cuando la pendiente de la parcela es en una sola dirección, el espaciamiento entre drenes puede variar de 90 a 180 m de acuerdo con la erosión del suelo y con la capacidad de sección transversal de los surcos. Cuando la pendiente varía en diferentes direcciones, el espaciamiento se puede algunas veces aumentar cortando los surcos en su parte alta, permitiendo que el agua escurra en ambas direcciones, hacia los drenes espaciados ampliamente. Se han fijado diversas especificaciones para el diseño de estos drenes, debido a la amplia variación de las condiciones tanto del suelo como de la topografía del terreno. En suelos de turba con permeabilidad desde moderada hasta alta, donde es importante no sólo eliminar el agua superficial rápidamente, sino también bajar el nivel freático para facilitar la producción de las cosechas, se utilizan drenes profundos y con talud desde poco a muy inclinado. Los drenes se trazan conforme a una disposición paralela. Su espaciamiento y diseño varían en función de las condiciones del suelo, ver Figura 5.4: Además de proporcionar salidas de desagüe para las aguas superficiales, estos drenes más profundos también ayudan a bajar los altos niveles freáticos. Por medio de la instalación de estructuras para control del agua, es posible utilizar este sistema y para mantener un nivel freático conveniente a la producción de las cosechas durante los períodos de sequía.

## Drenaje Superficial

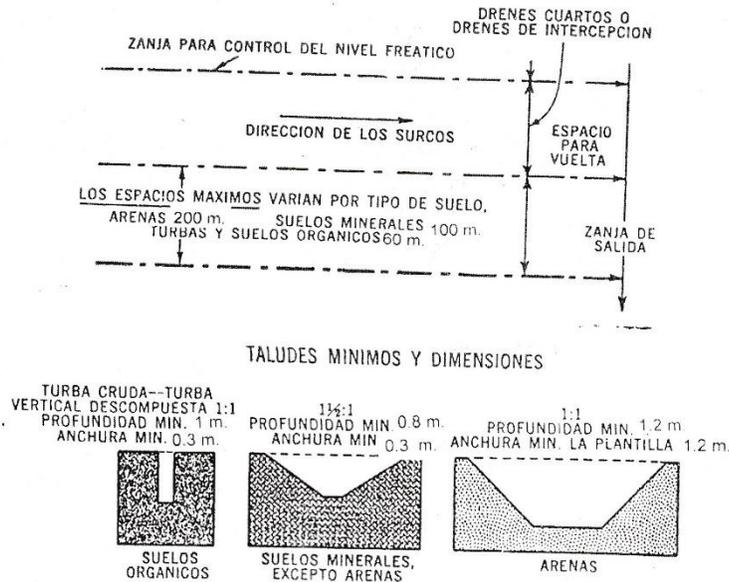


Figura 5.4 Trazo y sección transversal de drenes para control del nivel freático (Edminster T.W. & Schwab G.O. 1,990).

### 5.4 Drenaje superficial para áreas inclinadas

Los métodos de drenaje superficial aplicados en áreas inclinadas (con pendientes > 2 %) están estrechamente relacionados con los de control de erosión. Los métodos comprenden la creación de condiciones apropiadas para regular o interceptar el flujo por vía terrestre antes de que éste se convierta en fuerza erosiva, esto usualmente implica alguna forma de terrazas. El drenaje y el control de la erosión no son la única razón por la que las tierras inclinadas son terrazadas, algunas veces el objetivo es la conservación de agua. Si este último fuera el caso, se deben construir terrazas tipo banco o terrazas tipo grada. La pendiente original de la tierra se altera para formar un número de gradas horizontales. Las terrazas aplicadas para drenaje y control de erosión son básicamente de dos tipos:

- **Sistema de drenaje de pendiente transversal**

El sistema de drenaje de pendiente transversal Figura 5.5, es un canal de terraza nivelado, también llamado *Terraza Nichols*, usado en tierras con pendiente > 4 %, en donde los sistemas de tierras planas son imprácticos, porque causarían erosión. El sistema de la pendiente transversal se asemeja al sistema de drenaje paralelo de campo. Este es efectivo en suelos con características pobres de drenaje y en lugares en que las pendientes en conjunto están mejor reguladas, no así donde ocurren algunas depresiones.

Los drenes deben correr aproximadamente paralelos a las curvas de nivel del terreno, con una pendiente longitudinal uniforme o con pendiente longitudinal variable, entre 0.1 y 1 % (o en un promedio de 0.5 %), dependiendo de la topografía. El uso de una pendiente variable a menudo permite un mejor alineamiento de las terrazas y un mejor talle o acople de las terrazas en el terreno. La superficie del suelo entre los drenes debe ser emparejada, no nivelada y todas las operaciones agrícolas deben realizarse paralelas a los drenes. Los escombros de los drenes pueden usarse para rellenar las depresiones menores o ser esparcidos fuera y formar una capa delgada de no más de 7 cm sobre el lado de la pendiente baja de los drenes.

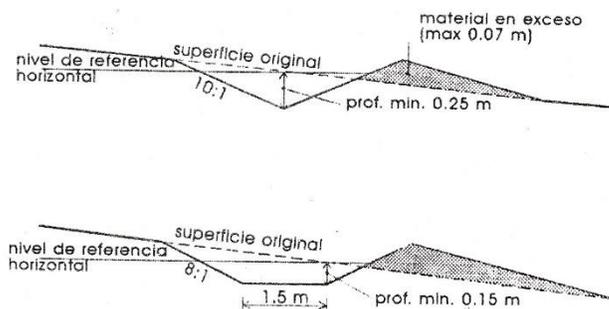


Figura 5.5 Sección transversal de drenes con pendiente transversal

Los drenes de pendiente transversal deben tener forma triangular o trapezoidal, con pendientes laterales fluctuando desde 1:4 hasta 1:10. El área de la sección transversal varía desde 0.4 hasta 0.7 m<sup>2</sup>. Las profundidades varían de 0.15 a 0.25 m y el ancho de la base superior de 5 hasta 7 m. El largo máximo del dren es de 350 a 450 m. La distancia entre los drenes depende de la pendiente, intensidad de lluvia, erosionabilidad del suelo y los cultivos que estarían creciendo, pero usualmente está entre 30 y 45 m. Con el sistema de drenaje de pendiente transversal, entre el 80 y 100 % del agua contenida en el dren está por debajo del nivel original de la superficie de la tierra, lo cual reduce los efectos dañinos de una posible interrupción o salto en el banco que está pendiente abajo.

- **Terraza estándar de control de erosión**

Las terrazas estándares de control de erosión Figura 5.6, son un tipo de cerro nivelado en terrazas, también llamado *Terrazas Magnum*, se usa en tierras cuyas pendientes son mucho mayores que 10 %. La diferencia entre el dren de pendiente transversal y la terraza de control de erosión es que con el último, los escombros del canal se usan para construir un cerro relativamente alto sobre el lado pendiente abajo del terreno. En ese canal, únicamente el 50 % del agua está contenida bajo el nivel original de la superficie de la tierra, grandes almacenamientos requerirían grandes cantidades de movimiento de tierras e incrementarían el riesgo de colapso de los cerros.

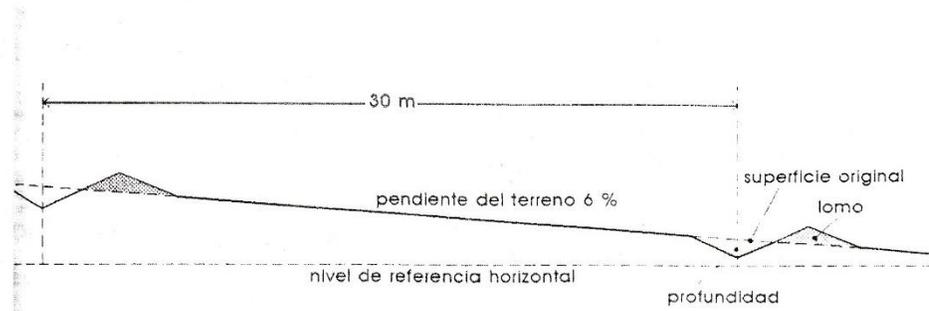


Figura 5.6 Terraza estándar de control de erosión

Así como en los drenes de pendiente transversal, los canales de las terrazas para control de erosión, deben correr aproximadamente paralelos a las curvas de nivel del terreno, con una pendiente longitudinal uniforme o con una pendiente longitudinal variable entre 0.1 y 0.6 %, dependiendo de la topografía, debe evitarse las curvas de nivel agudas. La distancia entre los canales está regida por los mismos factores de los drenes de pendiente transversal. El largo de las terrazas usualmente dependerá de la localización de una zanja de descarga apropiada, las zanjas no deben ser tan cortas que impidan las operaciones agrícolas y que los canales requieran un corte demasiado grande. El largo máximo de un canal de terraza drenando únicamente hacia un lado es de 350 a 450 m. La velocidad del flujo en las terrazas no debe exceder 0.6 m/s, aunque sobre suelos arenosos 0.45 m/s es lo más apropiado.

- **Evacuación de agua en áreas inclinadas**

En áreas inclinadas, en donde los drenes de campo corren aproximadamente paralelos hacia las curvas de nivel, el agua debe conducirse por un canal de drenaje que corra pendiente abajo. La pendiente es usualmente tan escarpada que los canales tendrán que ser revestidos, provistos con rebalces o estructuras de caída para prevenir erosión.

En ciertas circunstancias, puede usarse canales con vegetación porque la cobertura vegetal reduce la velocidad del flujo de agua y al mismo tiempo permite una alta velocidad compartida. La formación de césped o gramas permanentes y densas son las más apropiadas. La selección dependerá del clima, el suelo y la disponibilidad de especies.

Las velocidades permisibles de erosión en suelo con cobertura vegetal densa, grama o hierbas, son de 2 m/s para pendientes de 5 %, y 1.75 m/s para pendientes de 5 a 10 %. En suelos fácilmente erosionables, las velocidades permisibles en canales densamente engramados son de 1.50 m/s con pendientes de 5 %, y 1.25 m/s con pendientes de 5 a 10 %. Otras vegetaciones que no sean gramas o hierbas, pueden usarse en pendientes de más del 5 %, las velocidades permisibles son entonces de 1 m/s sobre suelos resistentes a la erosión y de 0.50 m/s sobre suelos fácilmente erosionables.

En el diseño de canales con cobertura vegetal, el coeficiente de rugosidad de la ecuación de Manning es  $n = 0.04$ , valor correspondiente a grama corta y fresca. En donde la máxima esorrentía ocurre en períodos cuando la vegetación tiene una capacidad de retardamiento más alta que la de una grama fresca recién cortada, unos 0.10 a 0.15 m deben agregarse a la profundidad de diseño calculada, para asegurar que no ocurran rebalses.

Los canales pueden ser parabólicos, triangulares o trapezoidales. Las pendientes laterales no deben ser más escarpadas o inclinadas que 1:4, para permitir el paso de maquinaria agrícola. El ancho mínimo de la base del canal es de 2.5 m. Cuando el caudal y las pendientes laterales se conocen y la velocidad permisible del flujo tiene que escogerse, la combinación más apropiada de ancho de base, tirante y pendiente longitudinal del canal deben calcularse.

También hay que considerar:

- ◆ Un canal cubierto con vegetación no debe estar continuamente húmedo, porque la cobertura vegetal se deteriora. Si el agua subterránea está fluyendo dentro del canal ésta debe ser interceptada por un dren tubular. El agua superficial puede ser llevada afuera por un canal vertedor pequeño de concreto o asfalto, construido en la base del canal.
- ◆ La fertilidad del suelo en los canales cubiertos con vegetación debe mantenerse en buen estado.
- ◆ La mezcla de semillas debe incluir las de cultivos anuales de crecimiento rápido y perennes, algunas veces se requiere engramado.
- ◆ La vegetación debe mantenerse apropiadamente y el canal no debe atravesarse con maquinaria agrícola cuando todavía esté mojado.
- ◆ Prestar especial atención a las salidas de las terrazas. La cobertura vegetal debe extenderse sobre una pequeña distancia dentro del canal de la terraza.

### 5.5 Drenes interceptores o de desviación

En muchas regiones húmedas, las condiciones de exceso de agua pueden mejorarse evitando que el escurrimiento proveniente de las tierras altas inunde a las tierras bajas y planas mal drenadas. Esto se lleva a cabo construyendo drenes o terrazas comunes de derivación cerca del pie de la pendiente del terreno alto, en una situación tal que intercepte el escurrimiento y lo lleve hacia una salida de desagüe segura. Para áreas no más extensas de 2 a 2.5 ha, los drenes interceptores pueden construirse como terrazas; para áreas mucho más extensas se requieren canales engramados.

Esta interceptación del escurrimiento también ayuda al control del transporte y depósito de los materiales de azolve de las tierras bajas. Para prevenir que los drenes interceptores y de desviación se llenen de sedimentos, se puede construir un área de filtrado en el lado de la pendiente alta del dren.

El uso de los drenes de interceptación, como un medio para el drenaje superficial, está aumentando en muchas regiones, especialmente en zonas onduladas y pendientes

# 6

## Drenaje de tierras irrigadas

*La implementación de sistemas conjuntos de irrigación y drenaje, han existido en el país desde el período Pre-Clásico de la cultura Maya.*

*A mediados del siglo XIX, esta técnica combinada tiene su aplicabilidad en el cultivo de banano y plátano en la costa Atlántica del país. Posteriormente se expande hacia la costa del Pacífico en los cultivos de caña de azúcar y palma africana.*

*¿ Se ha preguntado ?:*

*¿Cuál es la procedencia de las aguas a drenar en tierras irrigadas ?*

*¿ Cómo influye el agua subterránea en la localización de los drenes?*

*¿ Cómo se intercepta el agua superficial externa a las áreas del proyecto ?*

*¿ Ha oído hablar de subriego ?*

### **6.1.2 Infiltración proveniente de canales y ríos**

La infiltración del agua de los canales en algunos distritos de riego en el país, pueden equivaler hasta 50% del agua total derivada al sistema. En bananeras de Izabal, las pérdidas en los canales son comúnmente del orden del 10 al 20 %.

Los efectos de la infiltración con frecuencia no se evidencian en las regiones en las que ocurren, pero pueden manifestarse a muchos kilómetros de distancia de su fuente de origen. La secuencia usual de los sucesos en las áreas bajo riego sigue el orden siguiente: Las tierras bajas a lo largo de los cursos de las corrientes, son las primeras en las que se introduce irrigación, por la facilidad con la que el agua se deriva hacia ellas. Las siguientes tierras por desarrollarse generalmente son adyacentes al río, pero están a una elevación mayor y a medida que progresa el riego hacia las tierras de nivel más elevado, generalmente surgen problemas de drenaje en las zonas más bajas. Ejemplo típico del uso de riego en las áreas cultivadas en la costa Sur del país, influenciadas fuertemente por la naturaleza de sus suelos: *aluviones cuaternarios*.

## **6.2 Localización de los drenes:**

Para resolver el problema de drenaje en áreas irrigadas, es necesario realizar una investigación concienzuda del problema; es pertinente puntualizar que son de mayor importancia: la recolección de datos acerca de la superficie del terreno, la estratigrafía de sus suelos y la fuente de agua superficial o subterránea que ocasiona el problema. Frecuentemente, si hay disponibilidad de datos adecuados, la solución al problema es evidente por sí misma.

### **6.2.1 Areas de nivel freático elevado**

- **Uso de drenes abiertos o zanjas**

En áreas con nivel freático elevado, se aplica el método de alivio de drenaje. Si la topografía es satisfactoria, el área se cubre con una red de drenes con espaciamiento y profundidades que se consideren satisfactorias para los suelos en estudio. El valle del Motagua es ejemplo de este tipo de drenaje en gran escala, más de 15,000 ha están drenadas. Los drenes secundarios o de campo, descargan en grandes zanjas abiertas, las que se utilizan como drenaje principal para conducir las aguas de desagüe al río del mismo nombre.

- **Uso de pozos para el drenaje**

Consiste en drenar por bombeo, el agua desde pozos en regiones con acuíferos poco profundos (30 a 100 m abajo de la superficie del suelo). Los pozos se colocan aproximadamente uno por cada 4 km<sup>2</sup>. Proporciona la ventaja de poder utilizar el agua bombeada para irrigación en época seca. Una alternativa de este método, es la realización de pozos absorbentes, que se perforan en toda su longitud, pero que no se bombean. Llevan el agua desde el estrato superior del suelo, hacia abajo hasta los acuíferos, de los cuales después se efectúa el bombeo para el re-uso del agua. A la fecha de esta

publicación, dicha técnica no se ha utilizado en Guatemala, principalmente por el alto costo que representa, así como el alto nivel de estudio de suelos que implica su ejecución, ejemplos de este método en otros países son descritos en detalle por: *Luthin, J. N. 1,990* y *Boehmer, W.K. & Boonstra. J. 1,994*.

### **6.2.2 Regiones con presión artésiana**

La presencia del agua subterránea con una presión artésiana, es una situación que puede presentarse con frecuencia, debido a los depósitos aluviales que llenan los valles a grandes profundidades, caso común en Guatemala, donde existen diversos aluviones que conllevaron a la formación de grandes valles en todo el territorio nacional. En general, el agua artésiana se origina en las áreas más elevadas y en donde escurren hacia abajo por percolación profunda las aguas de riego, y por infiltración las que se precipitan hasta llegar a un acuífero conductor ubicado sobre un estrato impermeable. Como el agua no puede pasar más hacia abajo, se mueve lateralmente a lo largo de las líneas de menor resistencia al flujo, apareciendo abajo de las laderas como agua de infiltración.

De los problemas de drenaje, los que produce el agua artésiana son los más difíciles de resolver. Los métodos de drenaje superficial comúnmente han demostrado no ser satisfactorios, sin embargo el principio de alivio de presión como un medio para drenar áreas artesianas, es válido y práctico.

- **Uso de pozos de alivio**

Cuando las capas artesianas están cerca de la superficie del suelo, se perforan pozos de alivio poco profundos para conectar el acuífero con el sistema de drenaje (superficial o subterráneo). Estos pozos generalmente se rellenan con grava, su construcción se basa en estudios minuciosos de las condiciones del suelo y del material disponible en el área de estudio. El drenaje de suelos ricos en carbonatos de calcio o suelos de pizarra, como los del departamento de Peten, se basa en el principio del alivio de la presión en el estrato portador de agua y descarga de la misma hacia un sistema de drenaje.

### **6.2.3 Interceptación del agua exterior**

En zonas agrícola bajo riego, las aguas exteriores que afectan el área de cultivo, pueden tener su origen en una región adyacente o puede ser agua que se infiltra dentro del suelo en un terreno de terrazas, situado a mayor altura y separado varios kilómetros del área de cultivo que se desea drenar, a continuación se describen estas dos situaciones.

- **Terreno de terrazas**

A medida que el desarrollo adicional del riego incorpora nuevas tierras situadas a elevaciones mayores, las secciones de riego más antiguas situadas a niveles más bajos, frecuentemente son influenciadas por la elevación del nivel freático. En estas regiones, el exceso de agua de riego en lugar de formar el nivel freático general de las aguas subterráneas, se mueve lateralmente a lo largo de los estratos inclinados hacia terrenos más bajos. El agua que fluye lateralmente se elimina mejor con un sistema de drenes interceptores, que pasen y corten los estratos portadores de agua o acuíferos.

• **Filtración de canales**

La filtración de agua proveniente de canales puede llegar a constituirse en problema externo de drenaje al área de cultivo, porque los canales principales y laterales del sistema de irrigación se trazan de tal manera que se pueda tomar la mayor ventaja de la topografía existente. Esto significa que sus trazos siguen a las partes más elevadas de la superficie del terreno. En los valles extensos, estas áreas más elevadas del terreno son los márgenes o bancos de los ríos de corrientes anteriores, que ahora escurren por cauces nuevos. Los márgenes de las corrientes fluviales son normalmente muy permeables y si el canal que se excave allí no se reviste, pueden ocurrir pérdidas excesivas de agua por filtración. Con frecuencia también se presentan estratos de suelo más conductivos aproximadamente 2.5 m. abajo de la superficie del terreno, haciendo impráctico construir paralelo al canal, un dren interceptor por lo que es necesario colocar el dren a unos 100 m. o más del canal.

### **6.3 Sistemas conjuntos de riego y drenaje**

Un sistema de drenaje, también puede utilizarse como sistema de irrigación. Se conoce como riego por infiltración, subriego o drenaje inverso. Se utiliza subriego bajo las siguientes condiciones: terrenos llanos, que presenten pérdidas pequeñas de agua hacia los niveles subterráneos, áreas adyacentes y suelos permeables.

El subriego se basa tanto en los criterios de estado permanente como variable de flujo de agua, es decir: en estado permanente de flujo, en una situación donde el nivel del agua en las zanjas se mantiene a nivel constante, ejemplo: las flores de bulbos en suelos arenosos en Holanda, Europa. En estado variable de flujo de agua, cuando el nivel del agua en las zanjas o canales se incrementa por unidad de tiempo, como producto de lluvias intensas, ejemplo: en planicies costeras del Atlántico de Guatemala, en las bananeras de Izabal, donde algunos de los canales de drenaje; también se utiliza como derivadores de agua para irrigación en época seca.

En Guatemala, ejemplos de sistemas conjuntos de irrigación y drenaje, en un concepto amplio lo constituyen: plantaciones de banano y plátano, cultivos de arroz de tierras bajas con riego y arroz de inundación, tanto en la costa Atlántica como Sur.

Con excepción del cultivo de arroz de *tierras altas*, valles de Esquipulas e Ipala en Chiquimula, donde la distribución de las precipitaciones suministra el agua necesaria para mantener los niveles de humedad en el suelo, sin presentar problemas de encharcamiento ni inundación, para mantener una capa de agua superficial sobre el campo de arroz de *tierras bajas*, durante la mayor parte del período vegetativo, con frecuencia es necesario suministrar agua a las parcelas (además del agua de lluvia). Esto se hace por medio de un sistema de riego superficial, por inundación o melgas en contorno. En el caso de arroz de regadío, se introduce en las parcelas el agua procedente de otras fuentes, ésta se conduce por canales desde azudes de derivación, embalse o estaciones de bombeo, y se deriva a drenes secundarios, de distribución lateral, y si es necesario a drenes terciarios. Práctica utilizada en el cultivo de arroz en El estor y Los Amates en el departamento de Izabal.



Figura 6.1 Instalación de un sistema de riego por aspersión. Plantación de plátano. Los Encuentros, Coatepeque, Quetzaltenango.

Respecto al cultivo de arroz en condiciones de inundación, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) y la Misión Técnica de la República de China ((MITAC), han realizado varias investigaciones principalmente para la producción de semilla. Estas se llevaron a cabo en el Centro de Producción de Cuyuta, Masagua, departamento de Escuintla. Estructuradas las piscinas cuya extensión puede variar de 1 hasta 5 ha, se realiza el fangueo, es decir la nivelación del suelo con un *rotobator*, en presencia de una lámina de agua de 1 a 2 cm. Luego se realiza el transplante de las plántulas con 15 cm de altura, que se alcanza a las dos semanas en el semillero. Para producciones comerciales, se recomienda transplantar a 30 cm entre surcos y 15 cm entre plantas, colocando de 3 a 5 plantas por postura. Posterior al transplante, el manejo hídrico en función de las etapas fenológicas de la planta de arroz es (*Guatemala.ICTA/MITAC. 2,000*):

- Epoca de cubrimiento (1 a 7 días). Siete días después del transplante, la plantación debe permanecer con una lámina de agua de 3 cm. de altura.
- Epoca de macollamiento. Desarrollo de tallos múltiples, de 8 a 30 días después del transplante, la plantación debe conservar una lámina de agua de 3 a 5 cm. de altura como máximo. Después de 30 días se revisa el campo para verificar el grado de dureza del suelo, al observarse grietas de aproximadamente 1 cm. se aconseja llenar nuevamente las piscinas con una lámina de agua de 3 a 5 cm. de altura.
- Epoca de floración. Producción y desarrollo de la espiga floral. Al presentar un 50% de floración, se puede llenar la piscina con una lámina de agua de 5 a 10 cm. de altura. Esto es importante porque en el llenado de grano, la planta consume mucha agua. Esta lámina de agua debe permanecer hasta la época de maduración del grano.

## Drenaje Superficial

- Época de grano lechoso duro. El cultivo debe permanecer con una lámina de agua de 2 a 3 cm. de altura, tratando que la misma cantidad permanezca de manera alterna, es decir un día sí y un día no. En estas condiciones debe permanecer hasta la época de maduración del grano.
- Época de maduración. El cultivo debe permanecer únicamente con suelo húmedo, es decir, se eliminan en lo posible las láminas que se venían manejando en las etapas anteriores. La finalidad de lo anterior, es lograr que el campo se encuentre lo más seco posible para las labores de cosecha.

El sistema de inundación, presenta ventajas en relación a los sistemas de regadío: mayor producción, se estiman rendimientos de 160 qq/ha; mejora en el manejo del complejo de malezas y disminución del daño de plagas del suelo y mejor calidad de semillas.

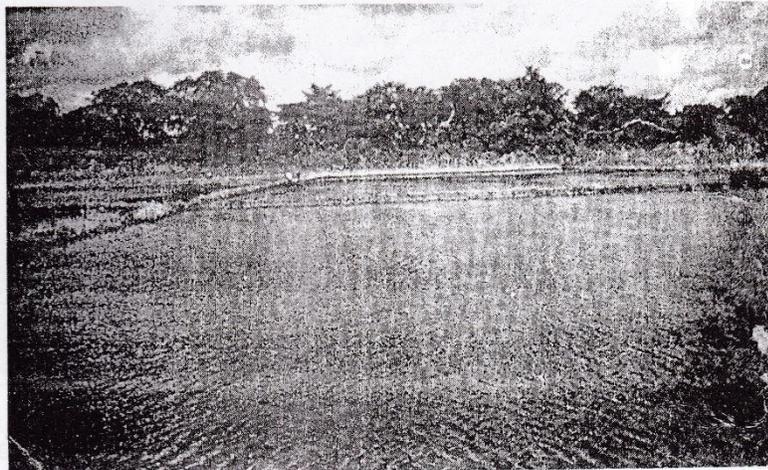


Figura 6.2 Plantación de arroz, sistema de inundación, Cuyuta, Masagua, Escuintla (Guatemala. ICTA/MITAC. 2,000).

Caso especial es el aprovechamiento integrado del agua en el sistema de irrigación del valle de Monjas, en el departamento de Jalapa, vía Laguna del Hoyo, que funciona de la siguiente manera: las aguas superficiales que drenan las cuencas aledañas de los ríos Mojarritas, Guirilá y San Pedro, se drenan por gravedad hacia un canal principal con revestimiento de aproximadamente 4 Km de longitud, con capacidad para transportar caudales de 2.5 a 3 m<sup>3</sup>/s, que conlleva las aguas drenadas hacia una caja de distribución en forma de estrella, que a través de un túnel de 0.3 Km de longitud, desemboca en la caldera de la laguna el Hoyo, pudiendo almacenar más de 3 millones de m<sup>3</sup> de agua, durante la época lluviosa.

El Valle de Monjas presenta regímenes de precipitación del orden de 1,000 mm anuales distribuidos en forma irregular, por lo que para cultivar durante todo el año, es necesario implementar irrigación. El valle comprende 9,000 ha de las cuales 1,000 ó 1,500 ha son

regadas con agua de la laguna del Hoyo, por sistemas de gravedad y aspersión. Por ello, es que durante la época seca, el agua almacenada en esta laguna es bombeada por un sistema de bombas flotantes de 75 hp cada una (son cuatro), que bombean el agua desde un punto 18 m abajo del nivel del túnel a razón de  $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$  hacia la caja estrella para ser distribuida por un sistema de canales revestidos que suman 7 Km de longitud con capacidad de transportar de  $0.2$  a  $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ , los cuales por gravedad conducen el agua hacia los campos del valle de Monjas, para usarse con fines de riego.

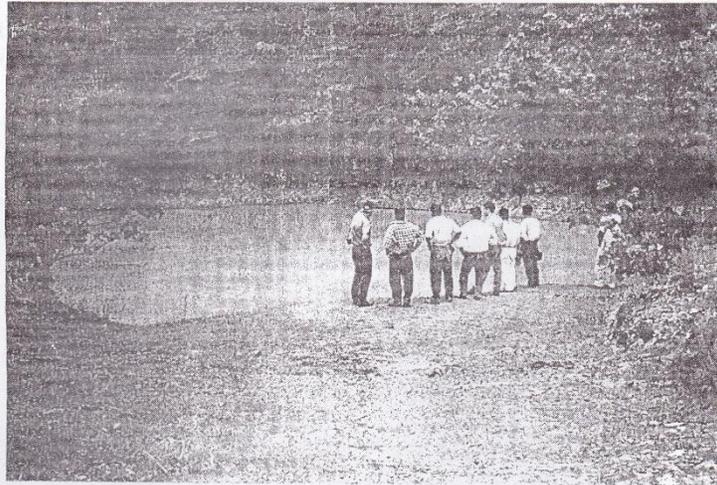


Figura 6.4 Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa (Obsequio de K. J. Lenselink, 1,997).

**Conceptos importantes**

- ❖ Procedencia de las aguas de drenaje en áreas irrigadas
- ❖ Localización de los drenes en áreas irrigadas
- ❖ Sistemas conjuntos de riego y drenaje

# 7

## Impacto ambiental de la recuperación de tierras

*Debido a su manipulación, el ambiente puede alterarse y/o contaminarse, agotarse o destruirse. Al implementar un programa de desarrollo rural que incluya sistemas de irrigación y drenaje, se producen efectos secundarios dentro del área del proyecto, aguas abajo y aguas arriba.*

*¿ Cuáles son estos efectos ?*

*La evaluación de impacto ambiental es una predicción de lo que puede suceder una vez que el proyecto se haya implementado.*

*¿ Qué metodologías se utilizan para evaluar el impacto ambiental ?*

*¿ Sabía que ? : en Guatemala para implementar un sistema de drenaje, deben considerarse los aspectos legales relacionados con los recursos suelo y agua, además de cumplir con el Decreto 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente y con lo dispuesto en el Decreto 4-89 Ley de Áreas Protegidas.*

La recuperación de tierras bajas como parte de un programa de desarrollo agrícola, es un proceso costoso que se justifica en las siguientes situaciones: carencia de tierra arable, carestía local de tierra en una región con expansión industrial o un área densamente poblada, áreas con un potencial alto de producción agrícola que puede mejorarse económicamente, donde la calidad de vida puede mejorarse, donde la recuperación de áreas costeras resulta en: apreciable acortamiento de la línea costera, reducción de la intrusión de agua salada y creación de embalses de agua dulce.

El estudio de la recuperación de tierras bajas, ha expuesto una riqueza de hechos históricos y consideraciones de factores que han sido determinantes en esa historia a nivel mundial desde la ancestral China, El Medio Oriente, La Europa Occidental y el Continente Americano. Dichos factores son de naturaleza variada, entre otros: artísticos, técnicos, económicos, sociales, políticos y ambientales. Aquí se describen los principales criterios ambientales que deben considerarse en la implementación de proyectos de drenaje agrícola, una vez que las tierras bajas fueran reclamadas.

Cuando se implementa un sistema de drenaje en un área, se manipula el ambiente. Ambiente: es la totalidad del ecosistema a diferentes escalas, local, regional y global. Un ecosistema o sistema natural, es un arreglo dinámico de plantas y animales con su alrededor no vivo (suelo, aire, agua, nutrientes y energía). Ejemplo: lagos, vegetación de mangle, pantanos y praderas, campos de arroz, polders, estanques con peces, pastizales, hasta los mismos jardines y parques, éstos últimos modificados por actividades humanas, por lo que se les llama *ecosistemas manejados*. El manejo de un ecosistema, depende del uso racional de los recursos ambientales y en minimizar o eliminar cualquier impacto ambiental adverso, mejorando la planeación, el diseño e implementación de proyectos. Se promueve el uso de la tierra en el área de estudio bajo el concepto de *sostenibilidad*, lo que significa manipular el ambiente de tal manera que su productividad y fertilidad no se reduzca con el tiempo para perjuicio del bienestar humano.

La comisión sobre ecología y cooperación para el desarrollo (DEDC 1, 1986, citado por H.P Ritzema & H.M.H. Braun, 1994), distingue tres categorías de impactos ambientales:

- **Alteración**

Un ambiente alterado y/o contaminado, es la menor categoría de daño del resultado de la intervención del hombre en ecosistemas naturales. Una planificación cuidadosa puede mantener los impactos sobre el ambiente dentro de límites aceptables. Drenaje es, en principio, la regulación del sistema de manejo del agua; al elaborar drenes su efluente altera el flujo natural de los ríos, actividad que tiene efecto sobre el ambiente. Estos efectos son difíciles de predecir completamente, pero estudios ecológicos proveen ideas sobre consecuencias de la implementación de sistemas de drenaje programados. Y, si estos sistemas son cuidadosamente planeados, los cambios en los ecosistemas existentes pueden resguardarse como se ha propuesto. Ejemplos son los cambios en hábitat como resultado de la introducción de drenaje y el efecto de filtraciones salinas de los canales de drenaje sobre áreas agrícolas adyacentes.

- **Agotamiento**

El agotamiento de los recursos naturales es frecuentemente un proceso gradual, al principio no parece ser severo, pero al final puede tener repercusiones mayores. En general lo que pasa en pequeña escala a nivel de campo también puede suceder a gran escala a nivel regional. Ejemplos: la erosión de capas fértiles superficiales del suelo por escorrentía y la lixiviación de nutrientes y materia orgánica.

- **Destrucción**

La destrucción y/o deterioro de un ecosistema natural, es la categoría más severa de impactos ambientales. Cuando los cambios en el ecosistema son irreversibles, extremo cuidado debe tenerse antes de implementar cualquier actividad que produzca estas consecuencias. Ejemplos: la reclamación de áreas pantanosas, lo cual resultará en la contracción irreversible de los suelos reclamados; la oxidación de suelos turbosos y la acidificación de suelos potenciales ácidos sulfatados, después que el nivel freático ha descendido.

Para evaluar los impactos ambientales de los efectos directos del drenaje (descenso del nivel freático e incremento de la descarga), se clasifican en: predecibles y no predecibles, primarios y secundarios, aguas arriba y abajo del área del proyecto y en la propia área de éste.

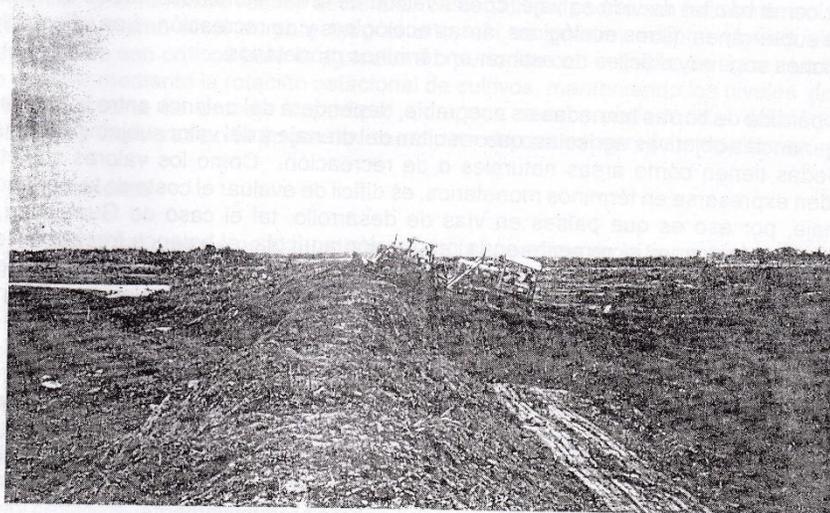


Figura 7.1 Alteración del medio ambiente, movimiento de tierras para implementar un sistema de drenaje superficial, cuenca del río El Naranjo, departamento de Escuintla.

## 7.1 Efectos ambientales secundarios

Luego de la implementación de un sistema de drenaje, son varios los efectos secundarios que se presentan en el ambiente en tres niveles, en el área del proyecto, aguas abajo y aguas arriba del mismo. *H.P Ritzema & H.M.H. Braun, 1994.*, describen los siguientes efectos:

### 7.1.1 En el área del proyecto

- **Pérdida de tierra húmeda**

Tierras húmedas, son aquellas donde la saturación con agua es el factor dominante, que determina la naturaleza del desarrollo del suelo y el tipo de comunidades de plantas y animales que viven en éstas y sobre su superficie. Cuando las tierras húmedas son reclamadas, pierden su función original como tierras de albergue de comunidades especiales de plantas y animales, tal el caso del drenaje de la Laguna de Retana, donde desde hace mucho tiempo ya no se ven los bellos patos *Blue winds*, que migraban a Guatemala, durante los largos inviernos del Norte del Canadá.

El valor agrícola de las tierras húmedas antes de ser drenadas, es generalmente poco. Por lo que desde el punto de vista agrícola, la pérdida de tales tierras poco productivas, es fácilmente compensado por la obtención de tierras altamente productivas, resultantes de la implementación del drenaje. Por el contrario, las tierras húmedas usualmente son de gran valor como hábitat de vida salvaje, conservación de áreas inundadas, áreas de recarga del agua subterránea, filtros ecológicos, áreas ecológicas y de recreación. Los valores de estas funciones son muy difíciles de estimar en términos monetarios.

Si la pérdida de tierras húmedas es aceptable, dependerá del balance entre la evaluación de las ganancias objetivas agrícolas, que resultan del drenaje y del valor subjetivo que las tierras húmedas tienen como áreas naturales o de recreación. Como los valores subjetivos no pueden expresarse en términos monetarios, es difícil de evaluar el costo de la introducción de drenaje, por eso es que países en vías de desarrollo, tal el caso de Guatemala, donde siempre se busca un incremento en la producción agrícola, el balance frecuentemente, se inclina a favor de la productividad agrícola y en países desarrollados, tales como Inglaterra, Francia y el Japón que conservan las ya escasas áreas naturales, el balance se inclina hacia el lado de la conservación natural.

Si se asume la actitud pragmática de la pérdida de las tierras húmedas (frecuentemente el único espacio no ocupado por el hombre), hasta cierto punto, debe entenderse que las tierras reclamadas son realmente productivas, las cuales son necesarias para proveer comida y empleo, lo cual no puede alcanzarse sin el precio que ello representa. Estas condiciones se encuentran rara vez en suelos tropicales turbosos y suelos ácidos sulfatados, los cuales, por varias razones, son difíciles de reclamar y son pobres productivamente, entonces los efectos positivos de la reclamación se contrarrestan por los efectos negativos. La reclamación de tierras bajas aluviales, como las depresiones de ríos y deltas, son generalmente más fértiles que los suelos mencionados anteriormente, sin embargo las posibles ganancias y pérdidas deben compararse. Ejemplo: el uso intensivo de la depresión

del río Motagua para el cultivo de banano, que conlleva la alteración del cauce natural del río y su contaminación; también en época lluviosa las fincas aledañas a las plantaciones de banano que no poseen bordos, son inundadas debido al efecto de rebote de altos caudales en los bordos del polder de la bananeras.

- **Cambio de hábitat**

Incrementar el drenaje en tierras que se utilizan para la producción de cultivos y pastizales, aparenta tener menos efectos ambientales que convertir tierras húmedas en tierras cultivables. Pero en regiones áridas y húmedas, el incremento de drenaje puede producir cambios drásticos en las condiciones del hábitat. Consecuentemente, la vida de animales y plantas puede ser considerablemente afectada, tal como se observa en la costa Sur del país, donde la expansión del cultivo de caña de azúcar hacia las tierras bajas, ha conllevado a la reducción de pastizales y rodales, favoreciendo las condiciones de cambio de hábitat para muchas especies animales y pérdida de suelo por erosión eólica e hídrica.

- **Descenso del nivel freático**

El efecto directo de un sistema de drenaje es el descenso del nivel freático (como promedio), lo que incrementa la producción agrícola, pero puede tener efectos secundarios sobre la producción agrícola, la conservación de la naturaleza, el bosque y el paisaje, causando hundimiento. Una forma de reducir estos efectos negativos, podría ser no mantener la base del drenaje al mismo nivel durante todo el año, así se pueden aceptar niveles altos en períodos que no son críticos para la agricultura o períodos con escasez de agua. Lo que se puede obtener mediante la rotación estacional de cultivos, manteniendo los niveles de agua altos en el sistema de drenaje superficial en época seca o período con deficiencia de precipitación y viceversa en la época lluviosa o período con exceso de precipitación.

- **Hundimiento**

Efecto conocido del drenaje es el hundimiento de la superficie de la tierra, especialmente el hundimiento irreversible de los suelos turbosos como resultado de la oxidación, teniendo mayores repercusiones sobre el medio ambiente. El índice de oxidación está relacionado con el nivel freático y la temperatura: con un nivel freático alto y una baja temperatura, el índice de oxidación es lento. Pero un nivel freático alto implica un bajo potencial de productividad de la tierra, por lo que los suelos turbosos son inadecuados para la agricultura, debido a que las plantas requieren altos índices de aireación y potencial de productividad para facilitar el uso de maquinaria, a menos que se acepte un índice alto de hundimiento y pagar los costos altos de bombeo para mantener un nivel freático suficientemente profundo.

- **Acidificación**

Muchos ambientes costeros ricos en tierras húmedas se pierden por la reclamación impropia de los suelos que contienen pirita (suelos ácidos sulfatados). Los niveles del subsuelo se ponen en contacto con el aire a través del drenaje, propiciando oxidación y formando ácido sulfúrico. La acidificación del suelo, provocada por el drenaje, puede ser muy pronunciada con

valores de pH bajo 3, con lo cual la vida animal y vegetal es seriamente afectada. El manejo cuidadoso del agua, en combinación con medidas agronómicas, pueden ayudar a la rehabilitación de áreas abandonadas y posibilitar el uso sostenido de las áreas restantes. Para prevenir la presencia de pirita formada por oxidación, un alto nivel de agua debe mantenerse en todos los casos. Otras medidas que pueden ayudar a reducir acidez incluyen la aplicación de óxido de calcio y la eliminación del efluente salino de drenaje. Entre los aspectos negativos del drenaje de suelos ácido sulfatados para la agricultura se mencionan:

- ◆ Pérdida de amenidad: paisaje y áreas recreativos.
- ◆ Cambios en sedimentación y erosión: almacenamiento temporal de agua de inundación, sedimentación y encenegación de basalto.
- ◆ Cambio en la química del agua: incrementa la acidez del agua drenada, favoreciendo el cambio de la fauna y flora en el área del proyecto e inadecuando al efluente para irrigación río abajo.
- ◆ Enfermedades: el cambio del ambiente de agua salina a uno de agua dulce puede incrementar el peligro de vectores transmisores de enfermedades.

- **Erosión**

El drenaje, puede incrementar o disminuir la erosión. Un nivel freático profundo tendrá un efecto de secado sobre el estrato superior del suelo, el que bajo ciertas condiciones puede presentar erosión eólica en suelos turbosos. Por el contrario, un sistema de drenaje subsuperficial puede reducir la esorrentía y subsecuentemente reducir la erosión. En áreas con pendiente > 2%, el drenaje superficial se asocia con el control de la erosión, bajo el concepto de prácticas de conservación de suelos, tal el caso de las cárcavas, principalmente en el Altiplano del país.

- **Lavado de nutrientes, pesticidas y otros elementos**

Uno de los efectos directos del drenaje es que introduce al ecosistema una descarga, el efluente puede actuar como un vehículo para toda clase de elementos solubles que están almacenados en el suelo. Estos elementos: nutrientes, herbicidas, pesticidas, materia orgánica, sales, y microelementos tóxicos, contaminan el efluente de drenaje. El efecto que estas sales tienen sobre el ambiente depende de: las condiciones climatológicas, las prácticas agronómicas y la clase de suelo. Algunas veces, el efecto puede ser positivo cuando las pérdidas de nutrientes se reducen, y algunas veces negativo cuando las aplicaciones de fertilización son excesivas. Si los efectos son negativos, frecuentemente las medidas preventivas en la reducción del flujo del agua drenada son la única opción viable, considerando que otras medidas para tratar este tipo de contaminación son extremadamente costosas.

### **7.1.2 Aguas abajo**

- **Eliminación del efluente de drenaje**

El agua drenada debe eliminarse fuera del área del proyecto, por gravedad o bombeo, vía canales o directamente dentro de un río que desemboque en el mar o en un lago. A lo largo de su recorrido hacia su destino, el agua drenada puede influenciar sus alrededores de diferentes maneras, los problemas asociados con la eliminación del agua drenada están

ligados a las condiciones del clima:

- **Opciones de eliminación**

La opciones para minimizar el problema de eliminación se orientan a reducir la cantidad del agua drenada a través de medidas preventivas, las que deben orientarse hacia el mejoramiento de la irrigación y eficiencia del drenaje. Las medidas para reducir el efecto nocivo del efluente de drenaje río abajo son: la re-utilización del agua drenada, descarga del agua superficial, estanques de evaporación e inyección profunda hacia pozos.

- **Excesos de agua superficial**

La instalación de un sistema de drenaje subsuperficial, puede reducir la escorrentía dentro del área del proyecto, pero esto puede ocasionar un exceso de agua superficial en áreas río abajo. En pequeña escala, esto puede suceder cuando un agricultor drena su tierra y evacua el agua drenada hacia tierras vecinas río abajo. En gran escala, áreas río abajo pueden sufrir de exceso de agua como resultado de drenaje superficial río arriba. Este problema ocurre comúnmente cuando la infiltración se reduce río arriba, debido a la deforestación sin tomar las precauciones necesarias para mantener la infiltración de precipitaciones intensas. Esto puede causar un incremento de la escorrentía río arriba e incrementar el flujo pico del río y provocar inundaciones en la parte baja de la cuenca de éste.

- **Infiltración procedente de canales de drenaje**

Los drenes principales, que son los que evacuan el efluente de drenaje de las áreas río arriba, frecuentemente tienen niveles de agua cerca de la superficie del suelo en las áreas río abajo. A no ser que se tomen medidas apropiadas la productividad de la tierra adyacente a los canales de drenaje puede ser afectada negativamente por infiltración. Como la infiltración depende de la diferencia de carga hidráulica y la permeabilidad, ésta puede prevenirse por revestimiento u otros métodos que reduzcan la permeabilidad del terraplén. La magnitud de la infiltración y eventual salinidad resultante de esto, determina si cualquier acción preventiva debe implementarse.

### **7.1.3 Aguas arriba**

Bajar el nivel freático en el área del proyecto, usualmente ocasiona más infiltración dentro del área y también un bajo nivel freático en el área río arriba del proyecto. En áreas no irrigadas, tal decrecimiento puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas, por sequedad de la zona radicular, lo que conlleva a un detrimento en la producción.

## **7.1 Evaluación del impacto ambiental**

Es una herramienta para identificar opciones alternativas durante la fase de reconocimiento y/o viabilidad del ciclo del proyecto y para tasar el efecto ambiental de cada una de estas opciones. Es meramente una predicción de lo que puede suceder una vez el proyecto se haya implementado. El propósito de una evaluación de impacto ambiental (EIA), es asegurar que

las acciones a desarrollar bajo consideración son de tipo ambiental, sostenible y que cualquier consecuencia ambiental pueda ser reconocida tempranamente en el ciclo del proyecto y considerarse en el diseño del mismo. La EIA se caracteriza por las siguientes etapas:

- **Definición de los objetivos del proyecto y selección de los criterios de evaluación**

En Guatemala, para implementar un proyecto de drenaje, deben considerarse los aspectos legales relacionados con el recurso suelo y la legislación de agua, además de cumplir con el Decreto 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, por cuanto que cualquier proyecto previo a su ejecución debe contar con un estudio de evaluación de impacto ambiental y con lo dispuesto en el Decreto 4-89 Ley de Areas Protegidas.

Por lo que el responsable de una EIA, regularmente una consultora: deberá indicar claramente la importancia del estudio, como se presentarán los resultados y quien los usará. La EIA debe centralizarse en el asunto principal ya que fijar la atención en detalles muy específicos no permitiría evaluar las opciones alternativas.

- **Opciones alternativas**

Las opciones alternativas deben incluir diferentes ubicaciones, tecnologías y fases de ejecución. Tener en mente que sólo los asuntos principales tienen que considerarse, así las opciones seleccionadas no deben ser tan detalladas. Tener cuidado de no seleccionar alguna por preferencia, excluir opciones que a primera vista parezcan irreales y siempre considerar la no ejecución del proyecto. La escogencia es raramente *ambiente-contra-desarrollo*, pero hasta cierto punto deben introducirse preguntas acerca de la incorporación de medidas sensibles de protección ambiental, dentro de los estados tempranos del desarrollo de los proyectos.

- **Tasación de efectos ambientales**

Los efectos ambientales del proyecto, deben identificarse y cuantificarse. Los parámetros utilizados para cuantificar estos efectos, pueden ser especializados (hundimiento), pero también socioeconómicos (ingreso de los granjeros, salud). Algunos impactos que son difíciles de cuantificar pueden únicamente ser tasados en forma cualitativa.

- **Métodos de evaluación**

Para seleccionar la mejor opción, los efectos combinados de cada una en términos monetarios tienen que compararse. Cuando los impactos no pueden ser monetizados, ellos tienen que presentarse en el análisis en forma cualitativa. Tres métodos de evaluación serán discutidos brevemente: el análisis de beneficio/costo, de efectividad del costo y el análisis de criterio múltiple (*H.P. Ritzema & H.M.H. Braun. 1,994*):

**El análisis de beneficio/costo (AB/C)**, es un método de evaluación económica en el cual la monetización de los beneficios y costos son comparados para verificar su viabilidad económica. El AB/C incluye tres pasos:

- ◆ Todos los efectos positivos y negativos se cuantifican en valores económicos.

- ◆ Para cada efecto, se calcula el valor presente.
- ◆ La mejor opción se selecciona, usando el valor presente neto (VPN), el índice de beneficio/costo (IB/C), o la tasa interna de retorno (TIR).

Los métodos VPN e IB/C usan un índice pre-seleccionado de interés, al que se le llama **oportunidad de costo del capital (OCC)**. El método TIR no necesita un índice pre-seleccionado de interés, pero el mismo raciocinio se necesita para determinar si el proyecto es económicamente atractivo. Ventajas del AB/C es que todos los efectos son expresados en las mismas dimensiones (monetariamente), lo cual permite una comparación directa de todas las **alternativas posibles**.

Las limitaciones del AB/C, son:

- ◆ Los efectos tienen que ser monetizados, los que no pueden serlo, no se consideran.
- ◆ La distribución de los beneficios y costos sobre las partes varias, no se toman en consideración a no ser que se involucren aspectos sociales.
- ◆ Los efectos a largo plazo que son valorados de acuerdo al proceso de descuento, reducen los futuros beneficios netos.

Especialmente cuando los efectos a largo plazo sobre el ambiente son inciertos o irreversibles, el concepto económico de descuento es controversial. En la práctica, la medición y evaluación de problemas tienen frecuentemente un tratamiento comprensible de efectos ambientales en un AB/C. Si se incluye una tabla de función/valor, es posible incorporar beneficios y costos ambientales en el AB/C

**El análisis de efectividad del costo (AEC)**, investiga la forma más económica de alcanzar un objetivo deseable comparando el costo de posibles intervenciones. Los beneficios no se expresan en términos monetarios sino que en un criterio representativo que cuantifica los efectos del proyecto.

Ventajas del AEC son que los efectos no monetarios pueden incluirse, no obstante, es difícil atribuir todos los efectos a un solo criterio y los efectos secundarios no se consideran. Además, debido a que los beneficios no se expresan en términos monetarios, no es posible incluir el factor tiempo y por lo tanto comparar efectos que ocurran en diferentes tiempos.

**El Análisis de criterio-múltiple (ACM)**, es un ejemplo de un método de evaluación no monetario en el cual las opciones alternativas se comparan usando criterios con diferentes dimensionales. Para cuantificar la importancia relativa de cada criterio, un peso puede atribuirse a cada uno de éstos. El método ACM, se desarrolló para superar las limitaciones de los métodos de evaluación económica donde todos los efectos tienen que expresarse en términos monetarios. Sin embargo, como es difícil de juzgar la importancia de cada criterio y por lo tanto seleccionar el peso correcto de cada factor, los resultados del ACM, son frecuentemente ambiguos.

#### • **Resultados de la evaluación**

La evaluación debe conllevar a la priorización de las opciones seleccionadas y una opción se escoge. Aquí, es importante conocer el grado de confianza de la EIA y la necesidad de

---

---

### *Drenaje Superficial*

---

---

colectar más datos, análisis, etc.

Puede decirse que una tasación del efecto ambiental hace posible evaluar impactos ambientales y comparar opciones alternativas sistemáticamente. Además, el método requiere que los objetivos y los criterios de selección se establezcan claramente y que los resultados se presenten en forma clasificada. La mayor desventaja es que el método sugiere objetivamente, pero en realidad cada paso requiere escogencias subjetivas.

#### **Conceptos importantes**

---

---

- ❖ Categorías de impacto ambiental
- ❖ Efectos secundarios por la implementación de un sistema de drenaje
- ❖ Evaluación de impacto ambiental
- ❖ Métodos de evaluación de impacto ambiental

# 8

## Evaluación económica de Proyectos de drenaje

*La economía se refiere a la elección óptima que se ha de hacer entre alternativas para la utilización de recursos. Por lo que la evaluación económica se refiere a la comparación entre beneficios y costos-*

*¿ Conoce la definición de costos y beneficios ?*

*¿ Porqué es necesario cuantificar los incrementos de beneficios y costos con y sin la realización del proyecto ?*

*Debido a que los proyectos se implementan durante varios años, se esperan pocos beneficios al inicio que pueden ir aumentando después. Así mismo el valor del dinero cambia de acuerdo con el momento en que se materializa.*

*¿ Sabe que hacer ante estas situaciones ?*

*¿ Conoce los flujos de caja y criterios de decisión económica ?*

*Los proyectos no se pueden operar y mantener produciendo ganancias todo el tiempo.*

*¿ Cómo influyen los precios de mercado sobre la vida útil de los proyectos ?*

Previo a describir algunos principios implicados en evaluación de proyectos de drenaje, es preciso recordar que *la economía* se refiere a la elección óptima que se ha de hacer entre alternativas para la utilización de recursos, en otras palabras el objetivo básico de la economía, es indicar cómo se obtiene los mayores beneficios en una serie dada de recursos. En economía existen varias interdependencias a considerar en la posibilidad de evaluar actividades en forma aislada, porque no existe un modelo que pudiera comprender toda la economía al mismo tiempo y sus correlaciones. La planificación (evaluación, estimación de proyectos) es solo una parte del proceso de toma de decisión gubernamental, llamado: *planificación nacional*. En la práctica se aplican métodos de aproximación para realizar la planificación por etapas, los macroplanes que abarcan la totalidad, basados en datos elementales, los planes sectoriales o regionales que son menos generales, pero más detallados; la planificación que da las unidades más pequeñas de actividad, son los proyectos, con base en datos más detallados y estimaciones disponibles, pero que carecen de una visión amplia de los esquemas económicos de mayor escala.

Todos los niveles de planificación deben interconectarse y reforzarse entre sí. Ejemplo, los planes macroeconómicos, deben basarse en información detallada de planes sectoriales y de proyectos. Por el contrario, los proyectos solamente pueden evaluarse adecuadamente, si se cuenta con información suficiente de los niveles más altos de planificación.

La evaluación económica de proyectos, se refiere a realizar comparaciones de beneficios y costos, debiendo especificar cuales se consideran beneficios, los que son costos y cómo deben valorarse, lo cual depende aunque sea en parte de los resultados de los procesos de planificación entre otros estratos de la economía.

## 8.1 Costos

Los costos de un proyecto, pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes conceptos (F.P. Jansen. 1,974):

- Inversiones iniciales en: presas, canales, acequias, bombas, tuberías, nivelación de tierras, estructuras de control de erosión, roturaciones, caminos agrícolas, redistribución de estructuras actuales, etc.
- Inversiones en amortizaciones, que se necesitarán en el futuro, cuando los bienes de capital lleguen al final de su vida técnica o económica y tengan que reemplazarse.
- Pérdidas de propiedad existente por inundaciones.
- Costos periódicos para conservación, manejo y funcionamiento del sistema.
- Todos los costos asociados al incremento de la producción como: abonos, pesticidas, aperos, etc.

Muchos gastos relacionados con el proyecto resultan difíciles de determinar, si se contabilizan como costos de éste. Los cálculos pueden basarse en costos de *inversiones*

o reinversiones o basarlos en *párridas de depreciación anual*, medidas como consumo anual de capital, evitar contabilizar ambas, porque conduciría a doble contabilización.

Los intereses y amortizaciones por créditos incurridos por causa del proyecto, son servicios de deudas no consideradas como costos en sentido económico, porque los pagos por intereses son una forma de distribuir beneficios del proyecto, ya que quienes suministraron el capital para que fuera posible el proyecto, deberán recibir parte de los beneficios del mismo, por lo que la amortización de un crédito es una forma de ahorro obtenido de los beneficios netos.

Un sistema de drenaje, en un área recién reclamada, puede requerir en el futuro inversiones en viviendas, escuelas y edificios públicos, estos servicios los requeriría la población con o sin proyecto, por lo que no hay razón para cargar tales costos al proyecto.

Otro problema son los precios en países en desarrollo donde regularmente el mecanismo de mercado no funciona: los precios de mercado de los medios de producción no reflejan razonablemente los costos económicos reales. Desde el punto de vista privado: el costo de un ítem es lo que se pagó por él, desde el punto de vista público o social, el precio de mercado *per se* no es relevante, el costo real para la sociedad de los medios de producción es lo que dicho medio habría contribuido a la producción si no hubiese sido empleado aquí.

En un proyecto el uso de la mano de obra, implica pérdidas pequeñas de producción, por ello, los costos económicos reales de la mano de obra, a menudo son más bajos que los salarios de mercado. El precio real del capital se determina por lo que éste podría haber añadido a la producción en usos alternativos y esto puede ser mucho más bajo que las tasas de interés que son, en la mayor parte de casos, el resultado de manipulaciones institucionales. Los costos de ítems importados son mucho más caros que los indicados en su precio nominal, porque en muchos países exportadores el mismo tipo de cambio oficial sobrevalora la moneda local en materia de cambio exterior.

Al rechazar el sistema de precios de mercado como indicador fiable de los valores económicos reales, es necesario estimar los precios reales, sombra, o de cuenta, para lo cual debe aclararse:

- Que la evaluación de un proyecto, es más que la simple aplicación de algunas reglas de cálculo.
- Que la evaluación exige una cantidad importante de información fuera del proyecto: el valor real del cambio exterior, determinado por la situación de la economía nacional como un todo.
- Distinguir lo que es una evaluación económica de una evaluación financiera. El análisis financiero trata con precios de mercado, salarios pagados de acuerdo a los tipos vigentes (el juicio del economista es que éstos, deben ser más bajos que los salarios de mercado). Un proyecto puede ser económicamente viable y no serlo financieramente o al contrario, por lo que debe primero demostrarse viabilidad financiera antes que una valoración económica.

## **8.2 Beneficios**

Se considera como beneficios de un proyecto, a los bienes y servicios cuya producción se debe al mismo, en proyectos de drenaje los beneficios son: incorporación de tierras agrícolas, aumento en la producción, re-uso del agua y saneamiento ambiental. El problema de los precios en los beneficios, es el mismo que en el caso de los costos. Si las exportaciones son subvencionadas el valor real de los productos para la economía es menor que el indicado por los precios que reciben los vendedores, a menos que el tipo de cambio esté sobrevalorado, lo contrario sucede si las exportaciones están sujetas a recargo. Cuando los productos se destinan al mercado interior, lo importante sería: saber los costos alternativos para obtener el mismo beneficio, cual es el precio de los productos importados y cuales son los costos de aumento de producción en cualquier lugar del país. Si el producto no se va a comercializar internacionalmente no será posible hacer comparaciones con el mercado internacional.

El aumento en la renta o producto nacional no debe ser el objetivo exclusivo de desarrollo. La distribución de la renta entre grupos y regiones, el empleo, alimentos, condiciones habitacionales mejoradas, la contribución a tales metas de un proyecto deben medirse asignándoles un valor, un precio.

La tarea principal de los proyectistas será: estudiar todos los elementos que puedan tener un peso en las metas posibles de política nacional e indicar la contribución del proyecto a tales metas. Con esta información los planificadores a más alto nivel estarán en disposición para comparar los diversos proyectos que se les presenten, en casos muy especiales, los proyectistas elaborarán cifras fundamentales sencillas como relación beneficio costo o la tasa interna de retorno.

## **8.3 Comparación de desarrollo con y sin proyecto**

Los incrementos de beneficios y costos ocasionados por el proyecto que es a lo que se refiere la evaluación económica, significa que el desarrollo sin el proyecto, debe ser estimado de la misma manera, que el desarrollo con el mismo, puesto que la situación puede mejorarse o deteriorarse con o sin el proyecto y el desarrollo siempre deberá tomarse en cuenta. Si la mejora en el manejo del suelo y el agua se acompaña con la introducción de nuevas variedades de plantas, usos de mejores abonos, dando aumentos graduales en los rendimientos, habrá que investigar si dichas mejoras secundarias habrían tenido lugar también en ausencia del proyecto. No asignar demasiado ni muy poco al proyecto. Similarmente es la cuestión de la elección entre las diversas alternativas: alcance, diseño y tiempo de un proyecto. Ejemplo, en un sistema de presas, éstas pueden construirse de diferentes alturas, la extensión del área drenada puede ser mayor o menor, el régimen de desembalse de una presa puede determinarse por las necesidades de irrigación, pueden variar las especificaciones técnicas de la obra, el tiempo de construcción de canales puede ser largo o corto, todas éstas deben compararse para encontrar la variante óptima.

### 8.4 Flujos de caja, criterios de decisión

Los costos y beneficios se distribuyen durante largos períodos de tiempo. Los valores son diferentes de un año a otro, en el periodo de construcción, los costos son elevados (*inversión inicial*) y en los años siguientes de menor importancia (*funcionamiento y conservación*). Así también, los beneficios pueden ser bajos al principio e ir aumentando gradualmente a lo largo del tiempo. También el valor del dinero cambia de acuerdo con el momento en que se materializa. La renta futura tiene un valor menor que la renta actual, en vista de que en una economía en crecimiento, el valor marginal del dinero decrece y porque la renta actual, podría invertirse para producir más adelante un beneficio adicional, por lo que se necesita algún procedimiento para llevar los beneficios y los costos que incurrir en diferentes momentos a una base común, de otra manera no sería posible las comparaciones, a este proceso se le llama *actualización*. La tasa de actualización representa la caída anual en el valor de una unidad de dinero sin tener en cuenta la inflación. Ejemplo, si el tipo de descuento es 10%, 110 unidades de dinero del año próximo, equivalen solo a 100 unidades ahora, se llama entonces 100 *valor actual*, de los 110 correspondientes al año siguiente. En términos generales si la tasa de actualización es  $i$ , y los beneficios en el año  $t$ , son  $b_t$ , el valor actual de estos beneficios asciende a:

$$\frac{b_t}{(1+i)^t}$$

Los beneficios totales actualizados en un periodo de  $n$ , años de vida del proyecto son:

$$B = \sum_{t=1}^n \frac{b_t}{(1+i)^t}$$

De la misma manera los costos totales actualizados ascienden a:

$$C = \sum_{t=1}^n \frac{c_t}{(1+i)^t}$$

Así, se tiene una cifra que mide todos los beneficios e igualmente los costos de un proyecto. ¿Cuál es el criterio de elección para estas medidas?, puesto que la tasa de actualización mide el beneficio marginal a la inversión en la economía en estudio, cualquier proyecto que muestre un superávit de beneficios sobre costos, referido a la tasa de actualización, será mejor que las actividades marginales de la sociedad y por ello deberá emprenderse. El criterio básico es: emprender todos los proyectos con  $B - C \geq 0$ , rechazar todos los proyectos con  $B - C < 0$ . Una ecuación alternativa es:

$\frac{B}{C} \geq 1$  &  $\frac{B}{C} < 1$  respectivamente, donde  $\frac{B}{C}$  se conoce como: *relación beneficio costo*.

unidades monetarias cada vez más bajas para las cifras más distantes  $\frac{1}{(1+i)^t}$  es más pequeño cuánto mayor es  $t$ , no es necesario prolongar las proyecciones más allá de ciertos límites. En los estudios actuales los períodos más comunes son de unas pocas décadas.

## 8.6 Precios y sus relaciones

Acerca de los precios futuros que deben utilizarse en los cálculos, es aconsejable, basar los cálculos en un nivel constante de precios y por consiguiente no tener en cuenta la posible inflación. La razón es que precios más altos debidos a la inflación podrán supervalorar los beneficios y costos futuros, puesto que el poder adquisitivo de la moneda habrá caído en la misma proporción en que los precios hayan subido. Por ello, para realizar una comparación correcta de los beneficios y los costos en diferentes momentos, es mejor basar los cálculos en un nivel de precios estable. Si se espera que el precio de un bien particular aumentará o disminuirá en comparación con otros precios, dicho cambio deberá reflejarse en los cálculos.

### Conceptos importantes

---

---

- ❖ Costos
- ❖ Beneficios
- ❖ Comparación de desarrollo con y sin proyecto
- ❖ Flujo de caja, criterios de decisión
- ❖ Vida útil de los proyectos
- ❖ Precios y sus relaciones

# 9

## Glosario

Con objeto de facilitar el entendimiento del vocabulario técnico, científico y especializado de la disciplina de la Ingeniería de Drenaje, se presenta un listado de términos con sus respectivas definiciones o explicación de cada uno de ellos.

**Acreción:** Acción de crecer por superposición de estratos.

**Acuífero:** Estrato de suelo que contiene agua.

**Ambiente:** La totalidad del ecosistema en diferentes escalas: local, regional y global.

**Anegamiento o Inundación:** La acumulación de exceso de agua sobre la superficie de la tierra o en la zona radicular de la tierra.

**Anisotropía:** Característica de ciertas propiedades físicas cuando son medidas en diferentes direcciones.

**Azudes:** Canales abiertos.

**Cárcava:** Zanja causada por la erosión del suelo que sigue generalmente la máxima pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias.

**Conductividad hidráulica:** La constante de proporcionalidad en la ecuación de Darcy, definida como el volumen de agua que se moverá a través de un medio poroso en una unidad de tiempo, sobre una unidad de gradiente hidráulico, a través de una unidad de área, medido angularmente en dirección del flujo.

**Cuenca de drenaje:** El área completa drenada por un río natural o dren artificial de tal manera que todo el flujo originado en el área es descargado a través de una salida simple.

**Dren:** Un canal, tubo, o conducto para transportar agua superficial o subterránea.

**Dren abierto:** Un dren con un área expuesta de agua que transporta agua de drenaje.

**Dren de intercepción:** Un dren instalado a través del flujo del agua subterránea para coleccionar flujo subterráneo antes que éste aparezca en la superficie, normalmente utilizado en pendientes largas y sobre superficies de suelos poco profundos que se encuentran sobre sub suelos relativamente impermeables.

**Dren principal:** El dren principal de un área, que recibe agua de los drenes colectores, drenes de división, o drenes de intercepción, transportando esta agua hacia una salida para la liberación del agua afuera del área del proyecto.

**Drenaje:** La remoción del exceso de agua superficial o subterránea de la tierra, para resaltar el crecimiento de los cultivos, incluyendo la remoción de sales solubles del suelo.

**Drenaje superficial:** La desviación o remoción ordenada del exceso de agua de la superficie de la tierra a través de canales naturales mejorados o construidos, suplementados cuando necesario con la forma o gradeado de la superficie de la tierra hacia tales canales.

**Efluente de drenaje:** El agua que fluye hacia afuera de un sistema de drenaje y que debe ser depositada por gravedad o por bombeo.

**Escorrentía superficial:** Agua que alcanza un río, puede ser grande o muy pequeña, viajando sobre la superficie del suelo.

**Estado permanente:** (1) Una condición en la cual la entrada de energía es igual a la salida de energía. (2) Un fluido en movimiento en el cual la velocidad en cada punto del campo es independiente del tiempo ya sea en magnitud o dirección.

**Estado Variable:** *Un fluido en movimiento en el cual los cambios de velocidad en cada punto del campo, son dependiente del tiempo en magnitud o dirección*

**Evaporación:** (1) Proceso físico por el cual un líquido (o sólido) es transformado hacia el estado gaseoso. (2) La cantidad de agua por unidad de área que se pierde como vapor, en un cuerpo de agua, un cultivo mojado o el suelo.

**Evapotranspiración:** Cantidad de agua utilizada por la transpiración vegetal y las pérdidas por evaporación del suelo.

**Fisiografía:** Ciencia que tiene por objeto el estudio de las modificaciones y evolución de los relieves terrestres.

**Geología:** Ciencia que trata de la formación del globo terrestre, de su naturaleza y de los cambios que ha experimentado desde su origen.

**Hábitat:** El medio natural de desarrollo de una planta o animal.

**Horizontes del suelo:** Un estrato de suelo o material del suelo aproximadamente paralelo a la superficie de la tierra, y difiriendo entre estratos adyacentes relacionados genéticamente en propiedades o características físicas, químicas, y biológicas (p. ej. color, estructura, textura, consistencia, o grado de acidez o alcalinidad).

**Impacto ambiental:** El efecto sobre el ambiente de cierta interferencia humana (p. ej. drenaje artificial).

**Intemperización:** Degradación del material parental de los suelos por efecto de la intemperie y medio ambiente.

**Irrigación o riego:** El suministro, distribución y aplicaciones controladas de agua sobre la tierra agrícola para mejorar la siembra de los cultivos.

**Isotermas:** Representación gráfica (por medio de líneas) de los registros de temperatura expresados en grados centígrados.

**Isoyetas:** Representación gráfica (por medio de líneas) de los registros de precipitación o lluvia expresados en mm.

**Material parental o de origen:** Material rocoso mineralizado del cual el suelo es formado.

**Meandros:** Recoveco o sinuosidad de un río.

**Nitrificación:** Conjunto de acciones en cuya virtud se forman los nitratos naturales por oxidación.

**Nivel freático:** Límite superior de la zona saturada, cuando el agua subterránea, llena parcialmente un acuífero.

**Nivel medio del mar:** El promedio del nivel del agua en un área de oleaje.

**Orografía:** Parte de la geografía física, que tiene por objeto la descripción de las montañas.

**Percolación:** Descenso del agua a través del suelo por efecto de la gravedad, especialmente en suelos saturados a un gradiente hidráulico igual o menor que 1.

**Perfil del suelo:** La secuencia vertical de los estratos del suelo, de la superficie del suelo hacia abajo, causada por la formación del suelo.

**Período de retorno:** El tiempo en el cual un evento hidrológico es estimado que ocurre de acuerdo a un criterio estadístico selecto. Es el recíproco de una frecuencia estimada.

**Planicie aluvial:** Una planicie que bordea un río, formada por la deposición de aluviones erosionados de áreas de elevaciones superiores.

**Planicie lacustre:** Una planicie originalmente formada como la base de un lago de la cual el agua ha desaparecido.

**Polder:** Un trecho de tierra baja, reclamada del mar o de otro cuerpo de agua, por medio de limitarla con diques. En un polder, la escorrentía es controlada por un sistema de canales o bombeo, y su nivel freático es independiente del nivel freático afuera de las áreas adyacentes.

**Precipitación o Lluvia:** La cantidad total de agua que emana de las nubes y cae al suelo. La precipitación es la fuente principal de agua para las corrientes superficiales y subterráneas.

**Reclamación de tierras:** Hacer la tierra capaz para un mayor uso intensivo cambiando sus características generales (1) por drenaje o tierras excesivamente húmedas; (2) Por reclamación de tierras sumergidas de mares, lagos y ríos, y (3) por modificación de su salinidad, o carácter ácido.

**Régimen hidrológico:** El comportamiento característico del agua en una cuenca de drenaje sobre un período, basado sobre las condiciones de los canales, descarga de agua y sedimentos, precipitación, evapotranspiración, agua subterránea, contaminación, etc.

**Sangría:** Corte de suelo poco profundo, para drenar excesos de precipitación, hacia un canal de sección media.

**Terraza:** Un área de tierra plana, o casi plana, rodeada por lo menos en un lado por una pendiente inclinada definida ascendiendo de ésta, y sobre los otros lados por pendientes descendientes.

**Transgresión:** Movimiento del mar, que desborda sobre áreas aledañas tierra adentro. Coincide a menudo con la aparición de una nueva fauna, que sirve para delimitar los pisos geológicos.

**Transmisibilidad:** El índice al cual el agua es transmitida de una unidad amplia de acuífero bajo un único gradiente hidráulico. Es igual al producto de la conductividad hidráulica media y el espesor del acuífero.

# 10

## Referencias

*Esta publicación resume la experiencia académica y de campo de varios años de investigación y cátedra del autor, haciendo uso de los principios y aplicaciones de la Ingeniería de Drenaje reportadas en nuevas ediciones de obras clásicas. Se recomienda al lector consultar las referencias citadas, para profundizar en temas de su interés.*

- Ayres Q.C. & Scoatles, D.** 1,990. Drenaje agrícola y reclamación de tierras. McGraw Hill. Estados Unidos Americanos. 250 p.
- Braun, H.M. & Kruijne R.** Soil Conditions. 1,994. In Drainage Principles and Applications. 2<sup>nd</sup> Edition. ILRI. Wageningen, The Netherlands. 77 - 110 p.
- Castañeda, C.S.** 1,995. Sistemas Lacustres de Guatemala. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 196 p.
- CEDC.** 1,986. Commission on Ecology and Development Cooperation. Report on environment and development cooperation. Royal Tropical Institute, Amsterdam.
- Delgado, F.** 1,978. Terrazas para la conservación de suelos en terrenos inclinados. CIDIAT/Centro Interamericano de Investigaciones del Agua y Tierra. Mérida, Venezuela. 40 p.
- De Ridder, N.A.** 1,994. Groundwater investigations. In Drainage Principles and Applications. 2<sup>nd</sup> Edition. ILRI. Wageningen, The Netherlands. 33 - 77 p.
- Dixon, J. A. et al.** 1,988. Economic analysis of the environmental impacts of development projects. Earthscan, London, 134 p.
- Diessen, P.M. & Dudal, R.** 1,991. The Major Soils of The World. Koninklijke Wohrmann B.V. Zutphen, The Netherlands, The Netherlands. p. 96 - 102.
- Duque, R. A.** 1,985. Precipitación, Formación y Análisis de datos. CODIAT/ Centro Interamericano de Tierra y Agua. Serie hidrológica H-21. Mérida, Venezuela. 56 p.
- Edminster T.W. & Schwab G.O.** 1,990. Drenaje en las zonas húmedas. En: Drenaje de tierras agrícolas. N. Limusa. México. p. 410-438.
- Fraizer, D. E.** 1,967. Recent deltaic deposits of the Mississippi River: their development and chronology. Gulf Coast Assn. Geol. Soc. Trans., 17: 287-315.
- Guatemala.** 1,970. Editores Piedra Santa. Datos geográficos de Guatemala. Piedra Santa. Guatemala. 25 p.
- \_\_\_\_\_. 2,000. ICTA/Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. MITAC/Misión Técnica de la República de China. Manual de recomendaciones para el cultivar de arroz en condiciones de inundación.
- \_\_\_\_\_. 1,970. IGN/Instituto Geográfico Nacional. Mapa Geológico de la República de Guatemala, escala 1: 500,000. Guatemala.
- \_\_\_\_\_. 1,972. IGN/Instituto Geográfico Nacional. Atlas Nacional de la República de Guatemala. s.n.p.

\_\_\_\_\_. 1992. MAGA. DIRYA/ Dirección de Riego y Avenamiento. Priorización de Cuencas con Problemas de Drenaje. Guatemala 24p.

**Jansen F.P.** 1974. Evaluación económica de proyectos hidráulicos. En Principios y aplicaciones del drenaje. Capítulo 38. ILRI. Wageningen, Holanda. p. 502-521.

**Luthin, J. N.** 1990. Drenaje de tierras de riego. En Drenaje de tierras agrícolas. N. Limusa. México. p. 380-409.

**OCEANO.** 1998. Enciclopedia Temática Estudiantil. Geología, ríos. Barcelona. España. p 730.

**Oosterbaan, R. J.** 1994. Agricultural Drainage Criteria. In Drainage Principles and Applications. 2<sup>nd</sup> Edition. ILRI. Wageningen, The Netherlands. 635 - 690 p.

**Ritzema, H.P. & Braun, H.M.** 1994. Environmental Aspects of Drainage. In Drainage Principles and Applications. 2<sup>nd</sup> Edition. ILRI. Wageningen, The Netherlands. 1041- 1065 p.

**Rojas, R.M.** 1987. Drenaje Superficial de Tierras Agrícolas. CIDIAT/ Centro Interamericano de Tierra y el Agua. Mérida. Venezuela. 170 p.

**Smedema, L.K. & Zimmer, D.** 1994. Drenaje Vertical y Uso Conjunto. En revista de la GRID., de la red IPTRID. No. 5 HR Wallingford. Oxfordshire, Inglaterra. p 7.

**Simmons, Ch., Táran, J.M. & Pinto, J.H.** 1959. Clasificación de Reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Editorial de José Pineda Ibarra. Guatemala. 1000 p.

**Tobías, H.A.** 1997. Suelos de Guatemala según la clasificación FAO/UNESCO. En: Criterios para Recomendar el Manejo de la Fertilidad del Suelo. I Curso Nacional de Postgrado. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 75-85 p.

**USBR.** 1971. Planning of projects for development of water resources. U.S. Bureau of Reclamation. Denver, United States of America. 80 p.

**Van de Goor, G.A.** 1974. Drenaje de arrozales. En Principios y aplicaciones del drenaje. Capítulo 35. ILRI. Wageningen, Holanda. p. 400-451.

**Vanegas, Ch. E.A.** 1998. Nomografía del Drenaje Agrícola de Guatemala. Instituto de Investigaciones Agronómicas. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 90 p.

**Esta obra se terminó de imprimir en el Departamento de Reproducciones de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, en el mes de Octubre de 2006.**

**1 Edición de 500 ejemplares**