U58 C.Z

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE AGRONOMIA INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS



DREZAJE AGRICOL

EDITOR:

EDDI ALEJANDRO VANEGAS CHACÓN INGENIERO AGRÓNOMO Y MAESTRO EN CIENCIAS: SUELO Y AGUA

En portada:

Ixmucané, diosa lunar del agua, derramando el preciado líquido de su cántaro para vivificar los frutos de la tierra.

Dibujo del **Códice Maya de Dresde**.

En el **Popol Vuh:** anciana arquetipo de la abuela, guardiana de nuestros Recursos Naturales, que instituyó el culto agrario con el rito de alabanza al maíz.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

DRENAJE AGRICOLA

EDITOR:

EDDI ALEJANDRO VANEGAS CHACON Ingeniero Agrónomo & Maestro en Ciencias: Suelo y Agua

Guatemala, Octubre de 1998.

DEDICATORIA

Dedicamos esta publicación al amigo holandés: Ing. Humberto van der Zel, por su identificación con la idiosincrasia guatemalteca y su esfuerzo en la aplicación de políticas administrativas ambientalistas en el manejo de los Recursos Naturales Suelo – Agua en nuestro país, dando a conocer de esta forma, el legado de sus experiencias y enseñanzas en el Drenaje de Tierras Agrícolas.

PROLOGO

Por la importancia que reviste el control de áreas afectadas por anegamientos o inundaciones tanto en el aspecto agrícola, seguridad, prevención de accidentes, como en otros órdenes de la vida y por el éxito que obtuvo el Programa de Capacitación en Drenaje Agrícola, suscrito por los gobiernos de Holanda y Guatemala, ejecutado por la Subárea de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años 1994 a 1997. Pongo en manos de los lectores esta edición, basada en experiencias locales sobre el contexto, deseando contribuir en la preparación y adelanto de la juventud estudiosa.

El contenido de esta obra lo conforman varios capítulos, que proporcionan elementos de información y discusión sobre aspectos de: anegamiento de las tierras del país (Capítulo 1), fisiografía y geomorfología de las tierras bajas de Guatemala (Capítulo 2), influencia del sistema orográfico y aspectos hidrológicos del drenaje (Capítulo 3), principales propiedades hidropedológicas y criterios de diseño de sistemas de drenaje (Capítulo 4), influencia del drenaje sobre la productividad de los cultivos del altiplano y las planicies costeras del país (Capítulo 5) y marco jurídico nacional de ejecución de proyectos de drenaje agrícola (Capítulo 6).

Debe mencionarse la esmerada bibliografía que menciona cada uno de los profesionales participantes, que en su mayoría brega en las duras tareas de la docencia en la Facultad de Agronomía y La Escuela de Ingeniería Sanitaria en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Por lo que la obra proporciona a los lectores: un instrumento para conocer el empleo adecuado y útil del drenaje agrícola, hacer menos recias las dificultades con que se tropieza por la carencia de obras que puedan servir de ayuda inmediata en la enseñanza aprendizaje de temas específicos de ciencias agrícolas y aplicar: reconocimientos, procedimientos y teorías para el diseño y operación de sistemas de drenaje de tierras, visualizados y analizados desde la perspectiva de producción de cultivos, contribuyendo a la sostenibilidad de la agricultura en el área drenada y desde la perspectiva ambientalista, enfocada sobre el crecimiento de las plantas y minimizando la contaminación de ríos y lagos debido al retorno de fluidos agrícolas.

Espero que pronto en Guatemala, pueda conocerse diversos pronósticos sobre la ejecución real de sistemas de desarrollo agrícola con modelos de drenaje, como los que se mencionan, para comprobar la gran importancia que tiene la realización de investigaciones en este basto campo del saber, hasta ahora poco estudiado en nuestro medio

Eddi Alejandro Vanegas Chacón

AGRADECIMIENTO

Sincero agradecimiento a:

 El Instituto Internacional de Recuperación y Mejora de Tierras de Wageningen, Holanda, por su asesoría y sugerencias en la edición de esta obra, en especial:

Mr. A.M.J. Jaspers

Coordinador de Programa.

Mr. Jacob Vos

Profesor.

Mr. Roland J. Oosterbaan

Profesor.

Mr. Karel J. Lenselink

Profesor.

Mr. M.J.H.P. Pinkers

Director.

- Facultad de Agronomía y Escuela de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su apoyo incondicional.
- Los Ingenieros: Francisco Mazariegos, Gilberto Alvarado, Juan José Sandoval, Carlos Rivera, Eddi Vanegas y Roberto Motta, por su contribución en la escritura de los capítulos de esta obra.
- Ing. M.Sc. Fernando Rodríguez Bracamonte director del Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su identificación e interés en la divulgación de los programas educativos y de investigación agrícola.

CONTENIDO

Prolo	catoria ogo decimiento			i ii iii
1.	Anegamiento y Drenaje Agrícola	`~		
1.2 1.3 1.4	Control de Anegamiento o inundación Realización de Proyectos de Drenaje Agrícola Aplicaciones Reflexiones Bibliografía			2 3 6 6 8
2.	Fisiografía y Geomorfología del Drenaje		5	
2.1 2.2 2.3	Marco Referencial Geomorfología Fisiografía			9 11 13
2.4 2.5	Clima Cuenca Hidrográfica			14 15
2.5.1	Geomorfología de la Cuenca Geoformas			16 17
2.6 2.7 2.8	Interpretación de las superficies geográficas de inundación Reflexiones Bibliografía			21 21 22
3.	Hidrología del Drenaje			
3.1 3.2 3.3	Climatología Sistema hidrográfico de Guatemala Escorrentía Casos de Estudio			23 25 28
	Cuenca río Motagua			31 32
				iv.

	Cuenca ríos Cahabón-Polochic Cuenca río Chixoy Tecnología Reflexiones Bibliografía	35 38 40 42 43	
4.	Hidráulica del Drenaje		
4.1 4.2 4.3 4.4 4.5 4.5.1 4.5.2 4.5.3 4.6 4.7		44 45 47 48 49 50 51 53 55	
5.	Drenaje y Producción Agrícola		
5.1 5.1.1 5.1.2 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6	Drenaje y cultivo del banano Costo de construcción de un sistema de drenaje para cultivo de banano Desarrollo del drenaje en las bananeras de Izabal Drenaje y cultivo de la Caña de Azúcar Drenaje y cultivo del arroz Drenaje y producción agrícola en el Altiplano Reflexiones Bibliografía	59 61 61 62 65 66 68 70	
6.	Legislación y Drenaje Agrícola		
6.1 6.2 6.3 6.4 6.5 6.6 6.7 6.8 6.9 6.10	Constitución política de Guatemala Ley del Organismo Judicial Código Civil Ley de amparo Ley de lo contencioso-administrativo Código Penal Ley del Organismo Ejecutivo Código Municipal Ley de Minería Código de Salud	73 74 75 75 75 75 75 76 76 77	

6.11	Lev Forestal			77
6.12	Ley de Transformación Agra	aria		77
6.13	Ley Orgánica del Instituto d		ción	78
6.14	Ley de Servidumbres Forzo			78
6.15	Ley de Protección y Mejora			78
6.16	Lev de Areas Protegidas			78
6.17	Reflexión			79
6.18	Bibliografía			80
Glosa	ario	*		81

1

ANEGAMIENTO Y DRENAJE AGRICOLA

Ing. Agr. Francisco Mazariegos

Los problemas de anegamiento o inundaciones de terrenos durante todo el tiempo o en ciertas épocas del año, se suscitan por el exceso de lluvia y la escorrentía superficial que se almacena en depresiones y tierras bajas ocasionando niveles freáticos altos, por las crecidas altas de los ríos que superan las bordas naturales y a veces artificiales (diques) inundando los valles, estas crecidas agravan con la deforestación de las cuencas de los ríos, lo cual es muy frecuente en nuestro medio.

Entre las conclusiones claras a que se ha llegado para tomar medidas de protección contra los problemas de anegamiento o inundaciones, merece especial atención, la aplicación de sistemas de drenaje, lo cual resulta exitoso siempre que se realicen mediante una planificación adecuada previendo cualquier impacto ambiental adverso. Los objetivos del drenaje pueden ser: agrícola, drenaje para la salud, para facilidades de recreación y la creación de áreas para el desarrollo de la vida silvestre (hábitat), entre otros.

En términos generales, el drenaje de una masa continental se da desde las partes mas altas, (parte-aguas) hasta la plataforma marítima, a nivel de detalle, el drenaje de una zona puede delimitarse por cuencas y subcuencas.

Para fines de construcción o infraestructura vial, el concepto de drenaje puede limitarse a evacuar el agua de áreas que presentan un anegamiento superficial o con determinada profundidad, que permita realizar las obras, evitando que éstas sufran deterioro por la variación de la estructura del suelo provocada por el anegamiento de agua en cualquier época del año.

El drenaje natural ha sufrido modificaciones, debido a la influencia del hombre sobre los ecosistemas de suelo, bosque y ríos, al extender las ciudades: construcciones de concreto, redes viales, plataformas de derivados del petróleo, reducción de la capacidad de absorción de los suelos por la eliminación de la cobertura boscosa, produciendo niveles altos de escorrentía y pérdida de suelo.

Actualmente, tanto instituciones públicas como privadas se unen en el esfuerzo de convencimiento para implementar el drenaje de áreas afectadas por inundaciones en forma temporal o permanente. Para ello se han realizado muchos estudios acerca de las propiedades físico — químicas de los suelos; pudiendo establecer que el agua se moverá en ese estrato poroso dependiendo principalmente de: la capacidad de infiltración, determinada

por la propiedad física de **Conductividad Hidráulica** (Oosterbaan, R. 1994). De acuerdo a las causas que dan origen a los problemas de anegamiento, éstos se solucionan por medio de: Control de inundaciones, drenaje superficial y drenaje subterráneo.

- Control de anegamientos: cuando la precipitación pluvial provoca correntadas de agua (gran escorrentía), causando estragos muchas veces no solo a la agricultura, sino también a la infraestructura (casas, carreteras, puentes, etc). El control de inundaciones debe aplicarse con la finalidad de evitar pérdidas económicas y sociales en las áreas afectadas.
- Drenaje superficial: tiene por objeto, dar curso al agua proveniente de escorrentía superficial, algunas veces provocada por lluvias torrenciales, o aplicación artificial de agua por medio de métodos de irrigación.
- Drenaje subterráneo: se aplica en terrenos dedicados a la agricultura donde el nivel freático es muy alto. Esto significa que el nivel de agua subterránea está cercano a la superficie del suelo. También se aplica en terrenos anegados permanentemente, permitiendo la aireación de éstos, manteniendo el nivel freático a profundidades deseables.

1.1 Control de anegamiento o inundación.

Los objetivos del control de inundaciones son: minimizar los daños a la infraestructura de sistemas productivos, generar un sistema de modelación hidrológico e hidráulico que permita simular las necesidades de protección, basado en aspectos económico referentes a la producción de cultivos, y establecer las bases para un monitoreo futuro con finalidad de predicción y control de inundaciones.

Información necesaria para predecir el riesgo de anegamientos

- Caracterización y uso del suelo: para la determinación de los coeficientes de escorrentía.
- Fisiografía y geomorfología: conocimiento de la cuenca hidrográfica, fotografías aéreas, detalle de obras civiles, longitud de los drenes, pendiente, etc.
- Climatología: régimen de precipitación de la cuenca en estudio, deseable un mínimo de registros de 5 años.

- Hidrología: recopilación de los registros de caudales, medios diarios e instantáneos de estaciones hidrométricas.
- Hidráulica: diseño de sistemas de simulación hidráulica (la cuenca y el sistema de ríos con su información de caudales específicos) para predecir inundaciones.

Es importante notar, que la topografía es uno de los elementos más importantes de la información básica para la determinación de áreas potenciales de anegación, ya que permite conocer las secciones hidráulicas de los ríos, la elevación real de las estructuras de protección (bordas), el posible curso que tome el agua de anegación en las plantaciones agrícolas, y permite estimar el efecto de la curva de remanso en los desfogues debido a la sedimentación de los ríos o una crecida del mismo.

1.2 Realización de proyectos de drenaje agrícola

En 1968 se publicó el Programa Nacional de Drenaje, como un 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 439,000 has. y con una segunda fase para las zonas nororiental y norte del país. Lamentablemente, este programa nunca se llegó a implementar en su totalidad.

Sin embargo, al principio de los años setenta: se realizó en Guatemala el primer proyecto de drenaje agrícola a nivel comunal, en la caldera llamada Laguna de Retana, municipio del Progreso, departamento de Jutiapa, donde se habilitaron 1,000 has. para uso agrícola. Este proyecto fue de gran beneficio social y vino a coronar la Epoca de Oro de La Dirección de Recursos Naturales Renovables (Guatemala. MAGA. Dirección de Recursos Naturales Renovables. 1968). Posterior a este esfuerzo gubernamental muchos hacendados, 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, destacaron los esfuerzos realizados por la Dirección de Riego y Avenamiento -DIRYA- y Consultores del PNUD/OSP/88/003, Componente de Riego, para la programación y formulación del Plan Maestro de Riego y Drenaje, que conllevó a la realización de un inventario a nivel de planos topográficos de escala 1:50,000; de las áreas potenciales de inundación, definiendo 03 situaciones: áreas temporalmente inundadas, áreas permanentemente inundadas, y una tercera categoría donde no se podía diferenciar entre inundación permantente y temporal, según se aprecia en el Cuadro 1.1 (Guatemala. MAGA. DIRYA. 1992).

En este proyecto se estiman alrededor de 209,420 has, con algún problema de anegamiento. Las áreas seriamentre 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 del Motagua, Polochic, Sarstún, Mopán Belice y Río Dulce. En menor cuantía, están las cuencas de Ocosito y Maria Linda así como Paso Hondo en la vertiente del Pacífico.

Respecto a la recuperación de las áreas con problemas de anegamiento en el país, puede mencionarse la cooperación del gobierno de Holanda, a partir del informe de 1991 conocido como la misión Hermelink (MAGA. DIRYA. 1992); cuyo producto fue la elaboración de un programa en cooperación entre el gobierno de Guatemala y el gobierno de Holanda consistente en apoyar el Plan Maestro de Riego y Drenaje de Guatemala, para ejecutar el estudio de caso "El Polochic" y promulgando un programa de capacitación en drenaje agrícola que se desarrolló con la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años de 1991 a 1997.

La evaluación de este programa aportó resultados sumamente positivos, como:

- Elaboración del Proyecto "Desarrollo del Valle del Polochic, con base en la Recuperación de Tierras y Medidas de Manejo y Conservación de los Recursos Naturales" (MAGA.DIRYA. 1991).
- Programa de Capacitación en Drenaje Agrícola, que incrementó notablemente la academia en la Universidad de San Carlos de Guatemala, respecto al manejo de recursos naturales, permitiendo la capacitación en el extranjero de 10 profesionales docentes de la Facultad de Agronomía y técnicos de DIRYA.
- También puede mencionarse la capacitación local en Control de Inundaciones y Drenaje Agrícola Superficial, de más de 100 ingenieros agrónomos, ingenieros civiles y zootecnistas; durante los años de 1994 a 1997 como parte del programa de estudios de post-grado de la Facultad de Agronomía (Vanegas Ch. E.A.1997).

Entre la información que existe en nuestro país sobre proyectos de drenaje que no se han realizado por diversos motivos, se mencionan: 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, elaborados con asistencia técnica de La Agencia de Cooperación Internacional del gobierno del Japón (Guatemala. Ministerio de la Defensa Nacional, Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas. 1988), el proyecto de Rehabilitación y Manejo del canal de Chiquimulilla y el proyecto Desarrollo del Valle del Polochic con base en la Recuperación de Tierras, Medidas de Manejo y Conservación de los Recursos Naturales, estos últimos, elaborados con asistencia técnica de la Cooperación Internacional del gobierno de Holanda.

Cuadro 1.1 Areas potenciales de anegación (Guatemala, MAGA, DIRYA, 1992)

CUENCA	INUNDACION TEMPORAL has.	INUNDACION PERMANENTE has.	INUNDACION TEMP + PERM has.	TOTAL has.
	I. VERTIENT	TE OCEANO PACIF	ICO	
OCOSITO	2432	3050	0	5482
SIS-ICAN	128	0	0	128
NAHUALATE	521	0	0	521
MADRE VIEJA	103	Ω	0	103
COYOLATE	195	0	0	195
ACOME	504	0.	, 0	504
ACHIGUATE	409	0	~ 0	409
MARIA LINDA	1860	0	3447	5307
PASO HONDO	172	1215	0	1387
LOS ESCLAVOS	414	0	0	414
PAZ	323	360	_0	683
OSTUA	582	Ω	0	582
AREA TOTAL	7643	4625	3447	15715
	II. VERTIENT	TE OCEANO ATLAN	ITICO	
MOTAGUA	6939	8034	0	14973
RIO DULCE	0	0	5195	5195
POLOCHIC	2975	0	42398	45373
SARSTUN	55	0	14819	14874
MOPAN BELICE	11961	47	537	12545
HONDO	0	323	0	323
AREA TOTAL	21930	8404	62949	93283
7 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11	III. VERTIE	NTE GOLFO DE ME	XICO	
SELEGUA	10	0	0	10
NENTON	6620		0	6620
SALINAS	1502	415	760	2677
PASION	13683	1250	8467	2340
USUMACINTA	1047		1439	4166
SAN PEDRO	10534		41712	6354
AREA TOTAL	33396			10042
TOTAL TODO EL PAIS	62969			20941

1.3 Aplicaciones.

Experiencias locales han mostrado que no todos los problemas provocados por anegaciones, deben ser objeto de soluciones técnicas de drenaje, ya que antes de drenar, que muchas veces altera irreversiblemente el paisaje, debe 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. Así pues, 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.

Han habido esfuerzos serios por establecer metodologías de ordenamiento y priorización de la áreas suceptibles de inundaciones, basadas en criterios como: control de inundaciones y drenaje parcelario, vocación y presión de los suelos, como la llevada a cabo por el lng. Humberto van der Zel, derivada de la misión Hermelink (MAGA. DIRYA. 1992). En donde se prioriza el desarrollo del drenaje de la parte baja de la cuenca del Polochic como una de las más recomendables a ejecutarse. Pero, por falta de implementación ésta se encuentra sufriendo alteraciones irreversibles en cuanto al manejo y conservación del suelo, agua, bosque y fauna silvestre.

El planteamiento del Ing. Humberto van der Zel, tiene razón de ser, debido a que se observa un crecimiento caótico en la construcción de estructuras hidráulicas y drenes colectores por parte de cada uno de los propietarios de las fincas grandes, sin ningún ordenamiento.

Por tal razón es de suma importancia promover entre los habitantes de la zona, la construcción ordenada de drenes parcelarios que conecten a las parte bajas, donde son necesarios colectores que drenen los excesos de agua al río, donde no debe menospreciarse la construcción de bordas y estaciones de bombeo.

1.4 Reflexiones.

- Por la importancia que reviste el control de anegamientos y el drenaje en la agricultura, es menester concientizar a los diversos sectores guatemaltecos, que están inmersos en el manejo y ordenamiento de las cuencas hidrográficas del país, para prevenir y minimizar el efecto de los anegamientos y promover los principios y aplicaciones del drenaje a nivel parcelario, como una técnica mecánica para el control de la erosión en tierras altas y como una alternativa del manejo de las tierras bajas en las costas del país.
- Prácticas de drenaje superficial a nivel de parcela pequeña y mediana, pueden llevarse a cabo bajo estudios sencillos de observación de campo, mediciones topográficas y/o diseño de colectores que drenen fácilmente áreas abajo del proyecto, sin causar daños permisibles.

• El drenaje mecanizado en campos para el cultivo de banano y caña de azúcar, requiere de estudios más concienzudos a nivel de cuenca en cuanto al manejo de la vegetación y los suelos, para no ocasionar desórdenes irreversibles que terminen dañando el ecosistema y provocando desbordamientos e inundaciones de los ríos en áreas no protegidas por bordas técnicamente elaboradas, como sucede actualmente en muchos caserios, como La Blanca en San Marcos y Nueva Concepción en Escuintla, en la Costa del Pacífico., y La Libertad en Izabal, en la Costa del Atlántico.

1.5 Bibliografía.

Guatemala. 1968. Dirección de Recursos Naturales Renovables. División de Recursos Hidráulicos. Proyecto Nacional de Drenaje. Guatemala. s.n.p.

______. 1991. MAGA. DIRYA/ Dirección General de Riego y Avenamiento. Desarrollo del Valle del Polochic con base en la Recuperación de Tierras y Medidas de Manejo y Conservación. Guatemala. 30 p.

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

_____. 1988. Ministerio de la defensa Nacional, Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas. Proyecto de Control de Inundaciones "Los rios Achiguate y Pantaleón". Guatemala. s.n.p.

Oosterbaan, R.J. & Nijland, H.J. 1994. Determining the Saturated Hydraulic Conductivity. In: Drainage Principles and Applications. ILRI. Wageningen, The Netherlands. p 435 – 477.

Vanegas, Ch.E.A. 1997. Informe Final del Programa de capacitación en Drenaje Agrícola. ILRI-FAUSAC. Guatemala. 40 p.

FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA DEL DRENAJE

Ing. Agr. Gilberto Daniel Alvarado Cabrera

El Drenaje es un concepto integral, conformado por varios elementos naturales, que deben analizarse para poder interpretar las condiciones de un sistema determinado ubicado en la superficie geográfica de algún país. Lo indicado anteriormente implica el conocimiento de las características referenciales de las superficies geográficas potenciales de anegamiento o inundación, en donde se observan condiciones de drenaje.

2.1 Marco Referencial.

La República de Guatemala se ubica al Norte del territorio de Centroamérica, se localiza entre los paralelos 13°14' a los 18° 30' latitud Norte y meridianos 87°30' y 92°13' longitud Oeste, limita al Norte y Oeste con la República de México, al Este con las Repúblicas de Honduras y El Salvador y al Sur con el Océano Pacífico.

Tiene una superficie territorial de 108, 889 Kms². es un país relativamente pequeño con características geográficas, culturales y económicas muy variadas, dentro de las cuales resalta: la diversidad de formas de la tierra, debido primordialmente al complejo geológico, así como su localización dentro de una de las regiones que experimentan continua actividad sísmica (Millan, S.M. 1979).

Otros factores relevantes en la apreciación espacial además de la geología, lo constituyen: la fisiografía, geomorfología, el clima, la hidrología, los suelos y la cobertura vegetal, que a través del tiempo han influenciado las características que distinguen a los diferentes ecosistemas de nuestro país. Cuando estos factores se interpretan de manera integral, se observan grandes unidades territoriales con cierta homogeneidad. Esas características homogéneas, se han derivado principalmente por el origen geológico y otros proceso específicos de interacción, tal el caso de la meteorización. Esa dinámica natural, ha modelado en el transcurso del tiempo dichos ambientes, hasta dejar las geoformas que se observan en la actualidad (Birkeland, P. 1973).

El estudio de estos factores, permite visualizar la distribución cualitativa y cuantitativa, tanto de los recursos naturales como de la población y del ambiente; aspectos de mucha importancia, si se toma en cuenta que los mismos constituyen los macro-indicadores componentes del desarrollo sostenible, recientemente adoptado y cuyo proceso de

aplicación se está impulsando a nivel nacional, regional y local. De aquí, parte la importancia que reviste el hecho de generar un marco referencial que permita ubicar dentro de una unidad natural de planificación (la cuenca hidrográfica), las superficies geográficas con drenaje deficiente y aquellas que son potenciales de anegamiento. Para poder concebir con certeza la situación del drenaje agrícola en nuestro medio, se han realizado varios estudios en los cuales se pretende ubicar dentro del territorio nacional, las superficies geográficas con mal drenaje o sujetas a inundación, para luego iniciar el proceso de la interpretación integral, que conduce a formular estrategias y políticas para el desarrollo sostenible de cada uno de los sitios estudiados (cuencas). Uno de los trabajos en mención, fue el desarrollado por el departamento de Hidrología del INSIVUMEH, en el año de 1994. Cuyo aporte es el mapa temático generado a escala 1: 1,000,000 con base en el estudio de la cantidad de precipitación y su frecuencia desde los años de 1945 (Guatemala. INSIVUMEH. 1994). Sin embargo, no se han aplicado otros procedimientos que permitan establecer verdaderamente cada una de las superficies definidas como geográficas de mal drenaje o bien susceptibles de inundación, reportadas en el mencionado trabajo. La Figura 2.1, muestra el mapa temático de INSIVUMEH, donde las áreas sombreadas muestran las zonas problema.

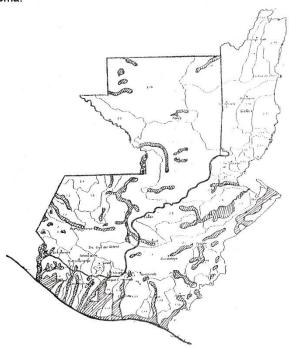


Figura 2.1 Areas con deficiencias de drenaje o potenciales de anegamiento.

Ahora bien, mediante el análisis del método fisográfico-geomorfológico, se definen claramente las diferentes geoformas que representan la situación actual de las superficies con drenaje deficiente o potenciales de inundación, infiriendo información relacionada con la evolución del relieve (afectado principalmente por la erosión), partiendo del origen de cada ambiente natural, con base en la geología, fisiografía, geomorfología y el clima; factores responsables de la evolución y situación actual de cada una de esas unidades o geoformas. A continuación se hace referencia a cada uno de los temas mencionados anteriormente.

2.2 Geomorfología.

El orígen del territorio de la República de Guatemala, se deduce de la información vertida del estudio geológico de (Millan, S.M. 1979):

- La Sierra del Norte de América Central, que viene desde Chiapas México, hasta el mar Caribe, con dirección Oeste-Este, de forma convexa hacia el Sur; está formada de rocas cristalinas sedimentarias Paleozóicas y Mesozóicas. Se extiende hacia el Norte, hasta la cuenca sedimentaria de Petén, que tiene mayor afinidad con la Costa del Golfo de México.
- La Cadena Montañosa Volcánica, que viene desde México, atraviesa todo el país y que penetra en las otras repúblicas Centroamericanas; tiene la misma orientación Oeste-Este y contiene materiales geológicos del Terciario y Cuaternario. Hacia el Sur, su relieve abrupto, termina en un Pie de Monte, en estribaciones y una planicie coluvioaluvial.

Otras características geológicas, son las condiciones naturales que determinan la división geológica del país en cinco provincias. Además, tanto la ubicación natural de las mismas, como la distribución del material parental de cada una de ellas, se deducen del Mapa Temático a escala 1: 500,000 denominado Mapa Geológico de la República de Guatemala, (Guatemala, IGN, 1976) y la descripción del contenido geológico de las mismas, está contenida en el Diccionario Geográfico Nacional (Guatemala, IGN, 1974). Aunque en dichos documentos no se reportan las diferentes divisiones geológicas con el nombre de provincias geológicas, este término se adoptó desde hace mucho tiempo para diferenciarlo con el de regiones fisiográficas, ya que este último define todo lo relacionado con la fisiografía del territorio. Las provincias geológicas de Guatemala son: llanura costera, tierras volcánicas, tierras transicionales, cordillera central, tierras bajas de Petén. Tal como se muestra en la Figura 2.2.

 Llanura Costera: es una faja territorial ubicada al Sur del país, formada por los productos derivados del proceso de erosión que se da en las partes altas volcánicas tales como: arenas, grava, pómez y depósitos laháricos, materiales geológicos depositados a lo largo del litoral del Pacífico. Generalmente se les reconoce como Aluviones del Cuaternario.



Figura 2.2 Provincias geológicas de Guatemala.

- Tierras Volcánicas: están conformadas aproximadamente por cuarenta volcanes y montañas, distribuidas desde el Occidente del país, conformando elevadas alturas en el Oeste, las cuales decrecen hacia el Sur-Este, hasta penetrar a las Repúblicas de El Salvador y Honduras. En esta superficie geográfica volcánica, se han sucedido erupciones del volcanismo Terciario, a través de fracturas que produjeron grandes volúmenes de materiales riodacíticos y las erupciones cuaternarias que se distinguen por la producción de materiales como: ignimbritas dacíticas, altos conos andesíticos y domos de lava. Tanto la cadena de conos volcánicos, como los lagos ubicados en los altos volcánicos, constituyen paisajes pintorescos apreciados a nivel mundial. Entre los materiales volcánicos más comunes se pueden mencionar: obsidianas riolíticas, basaltos olivínicos,andesitas piroxénicas, pómez, dacítas y plutones daniticos.
- Tierras Transicionales: constituyen una superficie conformada tanto por materiales volcánicos, como por materiales de roca caliza. En algunas superficies dispersas, existen sedimentos pelíticos meteorizados, calizas, ocas plutónicas, lutitas negras y filitas de diferentes periódos geológicos.

- Cordillera Central: está conformada por rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias plegadas, van del centro del país hacia al Norte. La Cordillera Central se localiza en el Norte, desde Chiapas, México hasta el Oeste en el Golfo de Honduras, atravesando el país en dirección de Oeste- Este. En su parte Sur hay materiales geológicos de rocas metamórficas y plutónicas que incluyen esquistos, gneisses, marmol, serpentinita y granito. Al pasar los sedimentos plegados al Norte, las ocas cristalinas diminuyen, se observa dominancia de materiales del Pensilvánico Superior, hasta el Terciario. Después de esta faja plegada, pasa a sedimentos Mesozóicos y Cenozoícos que ya en la superficie bajas de Petén son menos distorcionados. En esta superficie geológica, se encuentran los sedimentos más antiguos de Centroamérica, identificados por medio de fósiles pertenecientes al Pensilvánico Superior, es común en toda la Cordillera, observar las geoformas del relive de Karst.
 Su núcleo cristalino, se localiza entre dos sistemas de fallas, que parecen ser
 - Su núcleo cristalino, se localiza entre dos sistemas de fallas, que parecen ser prolongaciones continentales del rasgo estructural de la Fosa del Caimán, estas dos fallas se visualizan entre las montañas profundamente labradas, cuyos valles se conocen como la falla del Polochic y la falla del Motagua.
- Tierras Bajas de Petén: en las márgenes de la Cuenca Sedimentaria de Petén, se encuentran sedimentos Mesozóicos y Terciarios levemente plegados. En la parte Sur, los carbonatos Cretácicos, están cubiertos por rocas clásticas del Cretácico Superior y Terciario Inferior. Al Este se presenta una franja delgada de rocas Jurácicas-Cretácicas. Hacia el centro de la cuenca, aumenta el espesor de los depósitos sedimentarios, acompañado de un cambio de fases de carbonatos Cretácicos a evaporitas.
 - Al Norte hay afloramientos de carbonatos de rocas clásticas y evapotitas del Terciario más joven. En las montañas Mayas se encuentran sedimientos clásticos del Pensilvánico-Pérmico, rocas metamórficas y graníticas, tanto de las calizas, como de las dolomitas cretácicas, han desarrollado un relieve de Karst, cuyas geoformas van desde terrenos muy accidentados, hasta las extensas planicies conocidas como Sabanas. Es común encontrar afloramientos rocosos, estribaciones, pequeñas colinas y extensa planicies. Una de las características principales de dicha superficie, lo constituye el drenaje subterráneo que se da en las calizas y que provoca la falta de agua en épocas secas en extensas superficies.

Mientras que hacia el Norte y el Sur de Petén, existen ríos con grandes caudales que conforman las Llanuras Aluviales de Inundación.

2.3 Fisiografía.

Las características sísmicas del territorio de la República de Guatemala, entre otras, han influido en la conformación del relieve complejo que se observa, el cual desde remotas épocas ha venido en evolución, hasta definir las disitintas geoformas observadas en la actualidad. Las características fisiográficas, de toda la superficie geográfica del país, se representan con doce Regiones Fisiográficas, conformadas por relieves que se han originado de diferente material parental y otros factores formadores.

La fisiografía del pais, tiene contrastes bien representativos, entre los cuales se mencionan: la cima del volcán Tajumulco a 4,272 m.s.n.m. que constituye el relieve más alto de Guatemala y de Centroamérica. Así como la montaña de los Cuchumatanes en el Norte con alturas cercas a los 3,800 m.s.n.m.

Las doce regiones fisiográficas en que se ha dividido el país con base en el estudio del relieve, suelos, clima, vegetación y el tiempo de formación (Guatemala. IGN. 1974), están distribuidas espacialmente de Sur a Norte, son: Llanura costera del Pacífico, Pendiente volcánica reciente, Tierras altas volcánicas, Tierras altas cristalinas, Depresión del Motagua, Depresión de Izabal, Tierras altas sedimentarias, Planicie baja interior del Petén, Cinturón Plegado de Lacandón, Montañas Mayas, Plataforma de Yucatán y Llanura costera del Caribe. Como puede observarse en la Figura 2.3, las regiones fisiográficas de la vertiente hidrológica del Pacífico son: llanura costera del Pacífico, pendiente volcánica reciente y tierras altas volcánicas; en la vertiente hidrológica del Golfo de México: tierras altas cristalinas, tierras altas sedimentarias, planicie baja interior del Petén, cinturón plegado del Lacandón y plataforma de Yucatán; y en la vertiente del Atlántico: tierras altas volcánicas, tierras altas cristalinas, tierras altas sedimentarias, depresión del Motagua, depresión de Izabal, montañas Mayas y Ilanura costera del Caribe.



Figura 2.3 Regiones fisiográficas de Guatemala.

2.4 Clima.

En lo referente a las condiciones del clima y su influencia en los procesos erosivos, de transporte y de deposición de los materiales de detritus, es necesario el estudio del mapa de zonas de vida (Guatemala. IGN. 1974). Observándose que debido a la complejidad del relieve, se dan diferentes microclimas, lo cual representa dificultades para especificarlos en publicaciones como ésta. Sin embargo, se parte del principio climatológico que a cada cambio de relieve, corresponde un cambio de clima.

Desde hace mucho tiempo se ha tomado en cuenta el estudio de las zonas de vida, para la definición natural de los diferentes climas presentes en distintas superficie de las cuencas hidrográficas. Así, se puede indicar que en la parte alta de una cuenca hay dominancia de climas fríos, en la parte media clima templado y la parte baja clima cálido. Sin embargo, a nivel de vertiente hidrográfica, se caracteriza mejor con la aplicación de las zonas de vida, por el concepto integral del clima que les da sustento. Cada zona de vida clasificada, tiene sus propias características de altura sobre el nivel del mar, de clima, precipitación, temperatura, por ciento de humedad y especies vegetales indicativas, que influyen en los procesos de génesis, evolución y situación actual de los ambientes naturales.

2.5 Cuenca hidrográfica.

Después de describir la división natural del territorio de Guatemala con base en la información geológica y fisiográfica, se puede inferir acerca de la vocación agrícola de los suelos y la distribución de los ríos en las tres vertientes hidrológicas, mediante el estudio del marco político referido fundamentalmente al manejo, rehabilitación y ordenamiento de los recursos naturales suelo y agua a nivel de unidad de planificación o cuenca.

La cuenca de drenaje, es el área enteramente drenada por un río de manera tal que, todo el flujo del río originado en esa área es descargado a través de un solo desaguadero. La división topográfica que encierra la cuenca, designa el área en la que el flujo superficial se moverá hacia el sistema de drenaje y desaguando finalmente en un punto de salida (Boostra, J. 1994).

División de la cuenca

El método de división natural del territorio, es un método que va de lo general a lo específico, con base en el método científico. Esto permite, continuar con la división de la cuenca y observar así otras geoformas más pequeñas, que permitan entre otras cosas: la delimitación y visualización de las superficies geográficas afectadas por drenaje deficiente y/o anegamiento temporal o permanente.

Sin embargo, hay que indicar que la caracterización de esas pequeñas geoformas se realiza con base al análisis fisiográfico-geomorfológico. Para realizar dicha interpretación en las distintas geoformas presentes en una cuenca hidrográfica, es necesario tener bien claro algunos procesos biofísicos que como la erosión hídrica, eólica y química, son los responsables de modelar constantemente el relieve.

Clasificación natural de la cuenca

Esta clasificación es útil, para determinar en un momento de emergencia o catástrofe, cual es la superficie geográfica que está mas afectada por anegamientos. Por ejemplo, una clasificación es: cuenca, subcuenca y microcuenca.

2.5.1 Geomorfología de la cuenca.

El análisis geomorfológico de la cuenca, explica lo relacionado a la evolución y la situación actual de las diferentes geoformas que se han modelado a lo largo del tiempo. El estudio de las diferentes geoformas, se basa en el conocimiento de la geología, la fisiografía y el clima. Estas se pueden agrupar en tres clases: zona de montaña, pie de monte y planicie aluvial.

• Zona de montaña: es la parte más alta de la cuenca, según el material que le haya dado origen, el relieve y el clima entre otros, así será la susceptibilidad que presente a la erosión, se le conoce como la superficie geográfica de erosión hídrica.

En el caso de las cuencas de la vertiente del pacífico, esta zona de montaña es considerada de alta suceptibilidad a la erosión hídrica, debido principalmente al origen volcánico de sus suelos, con inlfuencia de ceniza volcánica y arcillas caolinitas que no tienen mucha adhesividad y que por lo mismo, cualquier impacto hídrico como la lluvia, las separa y erosiona. Además, estos suelos yacen sobre un relieve escarpado, inclinado muy ondulado, se podría decir que es un relieve complejo, que está a elevaciones mayores de los 4,200 m.s.n.m. Es un relieve que hacia el sur, tiene cambios abruptos, con un corto pie de monte, pequeñas estribaciones y luego la planicie coluvio- aluvial. En línea recta, hay aproximadamente 80 km. entre las parte más altas del relieve y la orilla del mar, en el Océano Pacífico. Este contraste brusco del relieve, influye en la gradiente hidráulica y por lo tanto las corrientes hídricas de los ríos son violentas y arrastran gran cantidad de detritus de las partes altas y las depositen en las partes bajas. Ese proceso de erosión, transporte y deposición, es el responsable del modelaje del relieve en la superficie de la cuenca.

En este ambiente montañoso, no sólo se dan fuertes procesos de erosión, sino también se presentan áreas con drenaje deficiente, principalmente en las unidades productivas, donde se pueden implementar práctica de manejo y conservación de suelos, para

proporcionar una salida a los excesos de agua, sin que esto produzca erosión.

- Pie de Monte: es la parte de la cuenca, donde existe un cambio de relieve. Regularmente constituye el espacio geográfico de transporte de materiales. Debido al cambio brusco del relieve, las corrientes de los ríos cambian a forma del tipo trenzado, cuya característica principal es la pérdida de pendiente y profundidad en las corrientes de los ríos, que no son capaces de transportar los cantos rodados por lo que éstos quedan depositados y principia así la deposición de los materiales arrastrados por las corrientes hídricas de los ríos.
- La Planicie Coluvio- Aluvial: constituye la parte plana a ligeramente inclinada que se observa inmediatamente después de la zona de montaña dentro de una cuenca hidrográfica. En este punto, los materiales que las corrientes hídricas depositan, son arcillas y limos, los cuales llegan en suspención a las partes bajas, donde las corrientes de los ríos cambian a tipo meándricas. En nuestro país, la macroforma está representada por la región fisiográfica llamada Planicie Costera del Pacífico, que viene desde la frontera con México en el Oeste, con un ancho aproximado de 50 km. hasta la frontera con El Salvador, donde su ancho es menor. Con base en información derivada de la interpretación visual de las imágenes satelares, de fotointerpretación de fotografía aérea, y de algunos estudios geológicos (Millan, S. M. 1979), se infiere que esta planicie costera ha sido formada por una gran cantidad de geoformas llamadas abanicos aluviales, que en conjunto se conocen como abanicos aluviales coalescentes. Se supone que éstos se formaron por la deposición de materiales de detritus, por causa de inviernos copiosos que se dieron en años del pasado muy remoto.

2.5.2 Geoformas.

Abanico Aluvial

El abanico aluvial, es una geoforma que se ubica dentro de la Planicie coluvio-aluvial. Estas geoformas, se han conformado en el espacio geográfico entre el final del relieve de una montaña y el principio del relieve de una planicie coluvio-aluvial. Su formación se inicia cuando la corriente de agua de los ríos que han transitado en el relieve montañoso encajonada, llega al principio de la planicie y por efecto del cambio de relieve y pendiente, dicha corriente se esparce hacia los lados, al no encontrar taludes que regulen el recorrido de su cauce.

Cuando la corriente hídrica del río se esparce a lo ancho de la planicie, la profundidad de la corriente cambia sustancialmente. En el recorrido encajonado, mantiene cierta profundidad, la cual se reduce al llegar a la planicie. Además, el cambio de relieve al ser menos inclinado, influye en la velocidad de la corriente del río, en este cambio de relieve se suceden dos fenómenos: un cambio de fuerza hidráulica del río y disminución en la velocidad de su corriente.

En este espacio geográfico, la corriente de los ríos adopta un tipo de drenaje trenzado, esto ocurre debido a que las corrientes de los ríos, comienzan a reducir su capacidad de arrastre, siendo incapaces de transportar los materiales pesados, los cuales son depositados, dividiendo al río en dos corrientes, para juntarse aguas abajo y volver a dividirse, formando pequeñas islas entre ambas corrientes.

La deposición de materiales erodados, se realiza en cada una de las superficies geográficas del abanico aluvial, en relación al contenido de humedad y la textura del suelo, esto permite diferenciar tres partes en el abanico aluvial: vértice del abanico, superficie que se observa en el cono, en el principio del abanico, constituido de rocas, gravas y arena gruesa, de libre permeable a permeable. Luego, la parte media o transición, constituida de arena permeable y la parte distal, constituida de arcilla de permeabilidad lenta a muy lenta. En la parte distal, se dan las geoformas de Marismas y el Litoral. En cada una de estas geoformas las condiciones hídricas e hidrogeológicas son diferentes, principalmente en lo relacionado a la infiltración determinada por la conductividad hidráulica. Ver Figura $\overline{2}.4$.

Llanura Aluvial:

La geoforma de los abanicos aluviales, debe su formación básicamente al cambio de pendiente y a la pérdida de velocidad y fuerza hidráulica de las corrientes de los ríos, notándose dos planicies bien difereciadas: una de ellas con relieve de plano a ligeramente inclinado y otra, de plano a ligeramente cóncavo-convexo, constituyendo las llamadas llanuras aluviales de desborde e inundación respectivamente.

Llanura aluvial de desborde: esta geoforma corresponde a superficies geográficas aluviales, que constantemente presentan un río con corriente de tipo trenzado, regularmente se inician en el vértice del abanico. Se les llama de desborde, porque en ellas es donde se produce la salida de las corrientes de los ríos, provocada por la acumulación de materiales erodados o en suspención.

Regularmente este proceso se observa después de fuertes lluvias que azotan las partes altas de las cuencas, incrementando el nivel de agua en el cauce de los ríos, desbordando el cauce actual, muchas veces retomando cauces antiguos, formados por otros desbordamientos anteriores. Estos desbordamientos, provocan inundaciones temporales pero que provocan mucho daño tanto a los recursos naturales como a la población y al ambiente, pues depositan grandes cantidades de materiales erodados y destruyen plantaciones de cultivos, infraestructura vial y poblaciones, como el caso del municipio del Palmar, en el departamento de Quetzaltenengo.

También pueden mencionarse ejemplos en la costa del Pacífico: río Suchiate, Naranjo, Samalá, Nahualate, Madre Vieja, Achiguate, Michatoya-María Linda, Los Esclavos y el Paz. En la costa del Atlántico, el río Motagua y en la vertiente del Golfo de México, los ríos: Ixcán, Xacibal y Chixoy.

Las micro- geoformas que se observan en este tipo de llanura son: cauce actual, terrazas recientes, con presencia de fluvisoles e inceptisoles; terrazas subrecientes con presencia de fluvisoles eútricos y entisoles; y terrazas antiguas, constituidas de andisoles eútricos, dysticos, molisoles y vertisoles (Driessen, P.M. & Dudal, R. 1991).

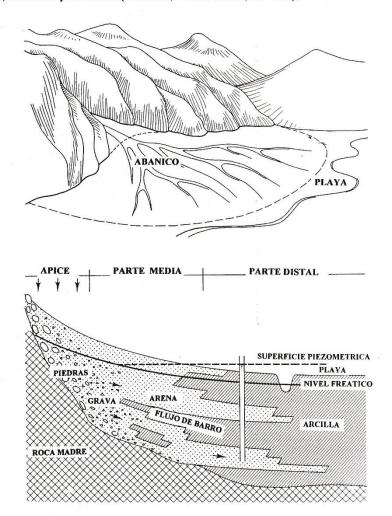


Figura 2.4 Sección transversal idealizada de un abanico aluvial, mostrando el flujo de agua subterránea desde el vértice (zona de recarga) hasta la parte distal (zona de descarga). Tomado de: De Ridder N.A. 1994.

Llanura aluvial de inundación:

Desde el principio de la parte distal de los abanicos, la pendiente es muy baja y el relieve aunque tiene dominancia de planicie, es ligeramente cóncavo-convexo. En esta superficie, ocurre el ultimo cambio de pendiente del terreno antes del contacto con la zona de Marismas y la línea del Litoral. En la misma hay dominancia de suelos de textura fina, por lo que son de baja permeabilidad, caracterizada principalmente por ríos del tipo meándrico, siendo superficies geográficas con un alto portencial de inundación. En Guatemala, se puede observar en el norte: en los ríos, Ixcán, Xacibal, Chixoy, de la Pasión, San Pedro, La Laguna pantano lacustre del Tigre, Azul o Tikal; en el nororiente, El río Polochic, Cahabón, Sarstún; en el noroccidente, el río Azul o Lagartero. En apariencia, las inundaciones no son tan violentas como las del Pacífico, lo cual puede explicarse debido a: las regiones del Norte aún tienen bosques que no han sido talados abruptamente, escasa población y desarrollo de infraestructura, lejanía de ese territorio (falta de información). Sin embargo, esta situación en la actualidad está cambiando, principalmente por la presencia de la población refugiada y repatriada, ubicada en gran cantidad de asentamientos. Las principales geoformas desarrolladas en las llanuras de inundación son: cauce actual, borde natural, basín, terrazas recientes, terrazas subrecientes y terrazas antiguas, con presencia de glysoles, vertisoles, margas, entisoles y fluvisoles (Driessen, P.M. & Dudal, R. 1991). La Figura 2.5, muestra una sección transversal de una llanura aluvial.

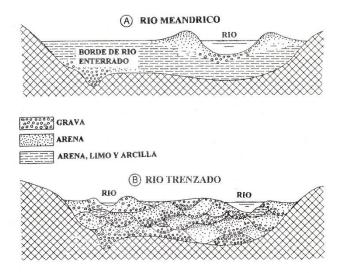


Figura 2.5 Sección transversal de una llanura aluvial, mostrando un río meándrico y un trenzado. Tomado de: De Ridder N.A. 1994.

2.6 Interpretación de las superficies geográficas de anegación.

Se considera que uno de los aportes más útiles de la fisiografía y geomorfología en el problema del drenaje y de la inundación, lo constituye el hecho de poder definir las diferentes geoformas que se encuentran dentro de una planicie aluvial. Esta visualización de las diferentes geoformas se realiza mediante el método del análisis fisiográfico-geomorfológico, en el que se definen las mismas, con apoyo de ciencias como la geología, pedología, hidrología, hidrografía, edafología, por lo que es factible conocer su origen, evolución y situación actual.

El conocimiento anterior está orientado a interpretar integralmente cada geoforma a efecto de poder inferir, la presencia de superficies geográficas potenciales de inundación ya sea en forma temporal o permanente. Así mismo, de acuerdo a las disitintas geoformas presentes y de las caracterísiticas de cada una de ellas en cuanto a-sus suelos, el tipo de drenaje superficial, el potencial de uso, la población allí asentada y en general los aspectos ambientales, es posible derivar las prácticas apropiadas de manejo para inducir su desarrollo o bien para medidas de contingencia ante un desastre.

2.7 Reflexiones.

- La experiencia local demuestra que en el territorio nacional, la mayor parte de inundaciones son temporales pero violentas, ocasionando daño a los recursos naturales, población, infraestructura y ambiente.
- Las medidas de contingencia muchas veces no son efectivas, por no identificar el origen del fenómeno. Además, ese desconocimiento, no permite una adecuada planificación para elaborar estrategias emergentes, para el control de la situación.
- La ubicación natural y la localización de las superficies geográficas de inundación, utilizando el método fisiográfico-geomorfológico, puede ayudar a determinar con exactitud aquellas áreas potenciales de inundación, conocer el problema potencial, la población afectada y el impacto ambiental ocasionado, para planificar acciones inmediatas de control, en caso de desastres.

2.8 Bibliografia.

Birkeland, P. 1973. Pedolgy, Wathering, and Geomorphological Research, Colorado, United States of America 150 p.

Boostra, J. 1994. Estimating Peak Runoff Rates. In: Drainage Principles and Applications. ILRI. Publication 16. Wageningen. The Nethrelands. p. 111 - 143.

De Ridder, N.A. 1994. Groundwater Investigations. In: Drainage Principles and Applications. ILRI, Publication 16. Wageningen. The Nethrelands. p. 33 - 74.

Driessen, P.M & Dudal, R. 1991. The Major Soils of the World, Departament of Soils & Geology, Wageningen Agricultural University. Wageningen. The Netherlands. 310 p.

Guatemala. 1974. Instituto Geográfico Nacional. Atlas Nacional de la República de Guatemala. Guatemala.

____. 1974. Instituto Geográfico Nacional. Diccionario Nacional de la República de Guatemala. Guatemala.

_____. 1976. Instituto Geográfico Nacional. Mapa Geológico de la República de Guatemala, escala 1: 500,000. Guatemala.

_____. 1994. Instituto Nacional de Sismología, Meteorología y Vulcanología. Mapa de Areas Potenciales de Inundación, escala 1:1,000,000. Departamento de Hidrología. Guatemala

Millan, S. M. 1979. Preliminary Stratigraphic Lexicon North and Central Guatemala, PNUD, Canadá, Canadá s.n.p.

HIDROLOGIA DEL DRENAJE

Ing. Civil & M. Sc. Juan José Sandoval

Con el desarrollo de este tema se pretende, que el lector pueda visualizar la formación del agua de precipitación en la atmósfera y su proceso dentro del ciclo hidrológico, fundamento o base para el estudio del comportamiento hídrico en todas sus manifestaciones sobre la tierra, inclusive la concepción del drenaje agrícola. Se hace referencia a ciertas variables climatológicas y sus manifestaciones en Guatemala, tales como la temperatura, que juega un papel fundamental en la evaporación, la humedad relativa, que da una idea de la cantidad de agua que se tiene en la atmósfera y la evapotranspiración que también ha de considerarse en la cuantificación y evaluación del comportamiento del recurso hídrico.

Relacionado también con el drenaje agrícola, cabe mencionarse la precipitación, su intensidad y distribución en el ámbito nacional. En ese sentido conforme el desarrollo de este tema se obtiene un conocimiento aproximado del parámetro meteorológico y además, se realizan consideraciones en cuanto al tipo de precipitaciones en la región.

Complementan el mismo, los casos de estudio incluidos para propiciar un acercamiento del lector a la situación real en cuanto al comportamiento del ciclo hidrológico y su respuesta en las distintas cuencas. También se hace énfasis en las crecidas de los ríos y las condiciones de humedad del suelo que propician la escorrentía y principalmente la conservación de los recursos asociados.

Finalmente se hace una descripción de los alcances de la tecnología actual en materia de Hidrología e Hidráulica, que permitirán orientar en la solución de problemas ingenieriles con herramientas adecuadas para mejorar el nivel de producción.

3.1 Climatología.

Agua Atmosférica:

De los muchos procesos meteorológicos que ocurren continuamente dentro de la atmósfera, los de precipitación y evaporación, en los cuales la atmósfera interactúa con el agua superficial, son los más importantes de la hidrología. Gran cantidad del agua precipitada sobre la superficie terrestre se deriva de la humedad evaporada de

los océanos, que es transportada a grandes distancias mediante la circulación atmosférica. Las fuerzas principales que manipulan la circulación atmosférica resultan de la rotación de la tierra y la transferencia de energía calorífica entre el ecuador y los polos.

La cantidad de vapor en la atmósfera es menor que una parte en 100,000 de todas las aguas de la tierra, pero juega un rol vital en el ciclo hidrológico.

La formación de la precipitación requiere que se levante una masa de aire en la atmósfera para que se enfríe y que parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales del levantamiento de una masa de aire son: frontal, cuando el aire caliente se levanta sobre aire mas frío mediante paso frontal, orográfico, en el cual una masa de aire se levanta para pasar encima de una montaña y convectivo, cuando una masa de aire es halada hacia arriba mediante la acción convectiva, así como en el centro de una celda de tormenta. Las celdas convectivas son iniciadas por el calentamiento de la superficie, que causa una inestabilidad vertical del aire húmedo y son sostenidas mediante el calor latente de vaporización dado a medida que el vapor de agua se levanta y se condensa (Duque, R.A. 1985).

Temperatura

Con relación a la temperatura promedio anual de Guatemala, la característica principal es que la misma oscila entre 15 y 25 grados centígrados. La temperatura máxima que es del orden de los 25 grados, se presenta principalmente en la franja paralela a la costa sur en el litoral del pacífico y en una isoterma que nace en el departamento de Chiquimula, pasa por Zacapa paralela al río Motagua y se introduce en el lago de Izabal en dirección a la confluencia del río la Pasión con el río Usumacinta. Valores de 15 y 20 grados centígrados de temperatura promedio anual, son representativos de las regiones al centro del país y con dirección hacia el occidente.

Humedad Relativa

Las zonas predominantes de humedad relativa en nuestro país son: el litoral del pacífico, la franja norte a la altura de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal, ambas con valores del orden del 80%, mientras que en la región central con mayor orientación a oriente, con valores del orden del 70%.

Evapotranspiración

La evapotranspiración oscila en época seca desde los 750 mm. hasta valores del orden de los 1000 mm. Aproximadamente en la región nororiental los valores oscilan entre los 750 a 800 mm. en la región central 850 mm. en la región oriental y

parte del norte de los 900 a los 950 mm. y en el litoral del pacífico de los 950 a los 1000 mm.

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 cual permite establecer varios criterios en cuanto a su régimen. Brevemente se comporta de la siguiente manera: precipitaciones del orden de los 4000 mm. anuales o más en la región nororiental 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 los 2000 mm. anuales o menos en la franja que cubre los departamentos de Totonicapán, Guatemala, El Progreso, Jalapa y Chiquimula y en general en la zona sur oriental. Este mismo régimen de precipitación se da en el área de Petén.

En general la precipitación predominante en Guatemala es de orden orográfico, al permitir por medio de su distribución fisiográfica atrapar corrientes de masas de aire húmedo que proveniene del océano Atlántico. Es de notarse que en el área de los Cuchumatanes este proceso es más marcado al permitir en la región los mayores índices de precipitación.

3.2 Sistema hidrográfico de Guatemala.

El sistema hidrográfico de Guatemala está definido por la conformación fisiográfica y por todos los puntos de mayor altitud que permiten dividir las aguas producto de la lluvia en dos vertientes: una de ellas que tributa sus aguas hacia el océano Atlántico y la otra hacia el océano Pacífico. Las aguas que son atrapadas en la vertiente del Océano Pacífico toman dos caminos por decirlo así: la vertiente del golfo de México y la vertiente del golfo de Honduras (Guatemala. Editores Piedra Santa, 1970). El detalle de esta distribución de las regiones o vertientes se indica en la Figura 3.1.

La distribución de captación de las aguas producto de la lluvia sumada a la fisiografía del país, da características especiales a la producción, distribución y transporte de las aguas producto de la lluvia. Dentro de estas vertientes se han definido 35 cuencas hidrográficas, las cuales comprenden varios ríos que desembocan al mar o cruzan la frontera con los países vecinos.

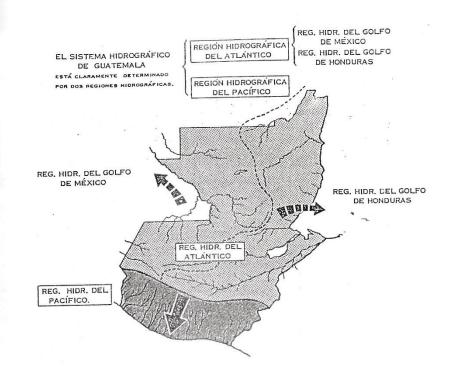


Figura 3.1 Sistema Hidrográfico de Guatemala.

Región Hidrográfica del Atlántico

Como su nombre lo indica esta Región Hidrográfica orienta la escorrentía superficial hacia el océano Atlántico y su línea divisoria está principalmente formada por la Sierra Madre, con un área de drenaje del orden de 107,000 kms².

Vertiente del Golfo de México

Esta vertiente tributa sus aguas hacia el golfo de México, distinguiéndose dos características principales de sus ríos. Aquellos que nacen en las partes altas de la sierra de los Cuchumatanes y los que nacen en las partes altas de Petén. Su producción de escorrentía es muy diversa dada la variedad de la capacidad de

almacenamiento de cada cuenca y su menor pendiente media comparada con los ríos de la vertiente del Pacífico.

La fisiografía de dicha vertiente ha permitido la formación de diez cuencas y varias de ellas tienen carácter de cuenca internacional por nacer en Guatemala y terminar en la República de México. El área que se drena en estas cuencas es del orden de los 53,000 kms² y las aguas toman su curso principalmente hacia el mar en la costa norte del Istmo de Tehuantepec en territorio mexicano. Las áreas y nombres de las cuencas se muestran a continuación en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Cuencas de la Vertiente del Golfo de México

No.	Cuenca	Área (Km²)		
1.	Grijalva (Cuilco)	2274		
2.	Grijalva (Selegua)	1535		
3.	Grijalva (Nentón)	1451		
4.	Usumacinta (Pojom)	813		
5.	Usumacinta (Ixcán)	2085		
6.	Usumacinta (Xalbal)	1366		
7.	Usumacinta (Salinas)	12150		
8.	Usumacinta (Pasión)	12156		
9.	Usumacinta (Usumacinta)	2638		
10.	Usumacinta (San Pedro)	14335		

Vertiente del Golfo de Honduras

Esta vertiente tributa sus aguas hacia el golfo de Honduras. Su producción de escorrentía es muy diversa dada la variedad de la capacidad de almacenamiento de cada cuenca. La fisiografía de dicha vertiente ha permitido la formación de siete cuencas, incluyendo la del Motagua que es el río más largo de Guatemala. El área que drenan estas cuencas es del orden de los 57,000 km². Incluyendo Belice, ver Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Cuencas de la Vertiente del Golfo de Honduras

No.	Cuenca	Área (Km²)
1.	Motagua (Grande de Zacapa)	2462
2.	Motagua (Motagua)	12670
3.	Río Dulce (Izabal- Río Dulce	3435
4.	Río Dulce (Polochic)	2811
5.	Río Dulce (Cahabón)	2459
6.	Sarstún	2109
7.	Vertiente de Belice	31059

• Región Hidrográfica del Pacífico

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

La fisiografía de dicha vertiente, cuya extensión es del orden de los 24,000 Kms². ha permitido la formación de dieciocho cuencas principales, en las que se han reportado muchos problemas de inundación y desborde de los 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 que es fronterizo con México y el río Paz que es fronterizo con la República de El Salvador. Las cuencas de estas vertientes se describen en el Cuadro 3.3.

3.3 Escorrentía.

• El Ciclo Hidrológico

Sobre la tierra existe agua en un espacio llamado hidrósfera el cual se extiende más o menos 15 km. arriba de la atmósfera y aproximadamente un 1 km. dentro de la litósfera. Un ciclo no ha terminado cuando se inicia otro y así ocurren varios procesos continuamente.

Cuadro 3.3 Cuencas de la Vertiente del Pacífico

No.	Cuenca	Área (Km²)
1.	Coatán	270
2.	Suchiate	1054
3.	Naranjo	1273
4.	Ocosito	2035
5.	Samalá	1510
6.	Sis-Icán	919
7.	Nahualate	1941
8.	Atitlán	541
9.	Madre Vieja	1007
10.	Coyolate	1648
11.	Acomé	706
12.	Achiaguate	1291
13.	María Linda	2727
14.	Paso Hondo	512
15.	Los Esclavos	2271
16.	Paz	1732
17.	Lempa (Ostua-Guija)	2243
18.	Lempa (Olopa)	310

El agua se evapora de los océanos y de la superficie de la tierra para hacerse parte de la atmósfera, el vapor de agua es transportado y levantado dentro de la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la tierra o los océanos, la cual puede ser interceptada por la vegetación, infiltrarse dentro de la tierra, fluir a través del suelo como flujo sub superficial, y descargar en las corrientes como flujo superficial. La mayoría del agua interceptada y agua superficial regresa a la atmósfera a través de la evaporación. El agua infiltrada puede percolar más profundo para recargar las aguas subterráneas, más tarde emergiendo como manantiales dentro de las corrientes para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluyendo hacia el mar o evaporándose dentro de la atmósfera a medida que continua el ciclo hidrológico. Del agua remanente únicamente el 0.1% está en la superficie y los sistemas de agua atmosféricos. En el sistema de agua atmosférico la fuerza principal de la hidrología superficial, contiene únicamente 12,900 kms³. o menos que una parte de 100,000 de toda el agua de la tierra. Aunque el contenido de agua de la superficie y del sistema atmosférico es relativamente pequeño en determinado momento grandes cantidades de agua pasan a través de ellos. Aunque el concepto del ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es enormemente complejo e intrincado. No es únicamente un ciclo grande sino que está compuesto de muchos ciclos interrelacionados a lo largo del continente, una región, o un área determinada. Aunque el volumen total de agua en el ciclo hidrológico global permanece esencialmente constante, la distribución de esta aqua cambia continuamente sobre los continentes, en las regiones y dentro de las cuencas de drenaje local. La hidrología de una región está determinada por sus parámetros climáticos y por factores físicos como la topografía, la geología y la vegetación. También a medida que progresa la civilización, las actividades humanas se involucran con el medio natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos. Por ejemplo, se ha conceptualizado que a causa de la quema de los combustibles fósiles, la cantidad de bióxido de carbono en la atmósfera se incrementa, produciendo un calentamiento de la tierra con efectos negativos a largo plazo en la hidrología global.

El proceso hidrológico se presenta anualmente en diferentes manifestaciones, con lo que de alguna manera afecta el drenaje agrícola. Normalmente los problemas a los que se enfrenta el drenaje agrícola están asociados con la erosión producto de escorrentías de gran velocidad

Agua Superficial

En Guatemala la diversidad de caudales promedio está asociada con la morfología de las cuencas. En la vertiente del océano Pacífico, se puede observar caudales medios anuales del orden de los 70 m³/seg. en las partes bajas de las cuencas, en la vertiente del golfo de México, se puede observar caudales medios anuales del orden de los 247 m³/seg. en ríos como el de la Pasión y hasta de 1700 m³/seg. como el del río Usumacinta y en la vertiente del golfo de Honduras caudales medios anuales del orden de los 160 y 300 m³/seg. en los ríos Cahabón y Motagua respectivamente. Otro parámetro de importancia a utilizar en la evaluación de la hidrología de una región y por consiguiente su efecto en el drenaje agrícola, lo constituye 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 sur oriental son del orden de los 150 lts/seg/km². y en algunos casos hasta de 240 lts/seg/km², en el área que tributa al golfo de Honduras se tienen valores de 70 lts/seg/km², hasta 170 lts/seg/km², y hacia el golfo de México 50 lts/seg/km². Todos 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 y cada cuenca y su evaluación estadística.

Crecidas

Este fenómeno en Guatemala, es predominantemente ocasionado por los huracanes y ciclones tropicales que incluso pueden agravar la situación cuando se forman frentes frios y las condiciones del suelo precedentes revelan un alto grado de saturación. Se tiene registro de grandes crecidas en los años 1929, 1933, 1949, 1969, 1971 (Guatemala. IGN. 1976). Una esquematización del ciclo de escorrentía en mostrado en la Figura 3.2.

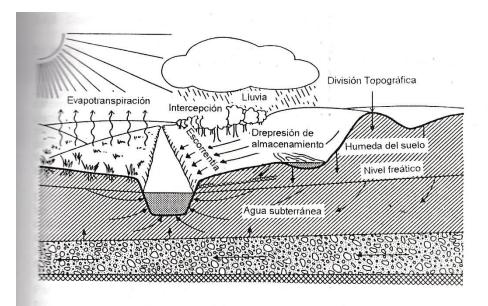


Figura 3.2 El ciclo de escorrentía. Tomado de: Boonstra, J. 1994.

3.4 Casos de Estudio.

Además de la importancia que representa el conocer los aspectos teóricos para la adecuada concepción del fenómeno hidrológico y su influencia en el drenaje agrícola, se incluyen los siguientes casos de estudio realizados, que de alguna forma orientan en a formulación de proyectos relacionados con la explotación productiva del suelo. Se menciona en su orden: un estudio relacionado con el río Motagua (Sandoval, J>J> 1997), en el cual la finalidad principal es reducir los daños a la producción agrícola del banano, el otro proyecto está relacionado con la minimización de los riesgos a la agricultura y la vida humana en las partes bajas de las cuencas de los ríos Cahabón y Polochic (Sandoval, J.J. & Gordillo, C. 1994), y finalmente otro proyecto relacionado con el comportamiento del río Chixoy a lo largo de la cuenca del mismo nombre (TAMS, EBASCO e ICCA. 1992), con la finalidad de conocer y operar adecuadamente la planta hidroeléctrica Chixoy sin causar daños a la economía de la región y al mismo proyecto.

3.4.1 Cuenca Río Motagua.

En esta cuenca, dadas las condiciones meteorológicas e hidrológicas el potencial del suelo en las partes bajas esta dado por la producción de banano y arroz.

El régimen de precipitación se considera que es principalmente convectivo dadas las cercanías al océano Atlántico y el atrape de las lluvias es bastante considerable dada la planicie de su conformación hipsométrica, sin embargo el mayor aporte para la producción de escorrentía superficial, está dado por la deposición de las lluvias en las partes altas de las cuencas. La longitud y área de la cuenca son considerables y ello da la idea de la capacidad de atrape de las aguas producto de la lluvia, lo que redunda en un gran potencial hidrológico.

Durante la mayor parte del año sus caudales son muy estables, lo cual se manifiesta en las curvas limnigráficas que se pueden obtener en las estaciones—hidrográficas, las cuales revelan una variación mínima, sin embargo en la época de invierno, sus caudales son muy grandes y no es posible evacuarlos a lo largo de una sección transversal de río con limitaciones hidráulicas, produciendo desbordes que afectan el drenaje agrícola y por supuesto la producción de cultivos.

Para solucionar en parte este tipo de problemas surge la necesidad de formular proyectos ingenieriles que mitiguen las inundaciones y preserven las áreas potencialmente productivas. En algunos casos se han logrado soluciones con la construcción de bordas a lo largo del eje longitudinal de los ríos las cuales incluyen distintas áreas de inundación.

Objetivos

Minimizar los daños a la infraestructura de producción y a la economía en el área de las fincas bananeras, los cuales podrían producirse por el potencial hidrológico de la cuenca del Río Motagua.

Proporcionar las bases para un monitoreo futuro con la finalidad de dar criterios para tomar decisiones en cuanto a prevenir inundaciones y daños a la infraestructura de producción.

• Climatología del área de Morales y Zonas Aledañas

La Zona del departamento de Izabal, específicamente el lineamiento Los Amates, Morales y Puerto Barrios fisiográficamente se identifica como parte de la depresión del Motagua, con elevaciones entre los 0-99 m.s.n.m. (mayor detalle de las alturas en el tema que se refiere al tipo de suelo en el área de estudio). La caracterización macro climática de esta área se define como una zona cálida, sin estación fría bien definida, muy húmeda

y con estación seca no definida. Esta clasificación de acuerdo con Thornthwaite, marca un gradiente térmico del orden de los 176 m. por grado centigrado (Guatemala, I.G.N. 1976).

El análisis de la distribución de las lluvias muestra a los meses de julio, agosto, octubre y noviembre como los meses más lluviosos con valores mensuales arriba del 10 % del valor anual (ejemplo Mariscos arriba de 255 mm/mes). También es importante observar que durante todo los meses existe precipitación, lo que define a la zona en la categoría de "sin estación seca definida". La caracterización de las lluvias marca un valor representativo de 200 días con lluvia durante todo el año.

Los valores de temperatura media oscilan entre 26-27 grados centígrados, con variaciones hasta de -3 grados en lo que comúnmente se conoce como época de frío (enero y diciembre); siendo los meses de abril y mayo, cuando se registran las temperaturas más altas (hasta +2 grados sobre el valor de la media); ejemplo el caso de Puerto Barrios con un valor para el mes de mayo de 27.5 grados centígrados.

La variación de la humedad relativa decrece, respecto de la altitud del punto, se tiene el caso de Los Amates en donde el valor de humedad es de 75 % (76 m.s.n.m.) y en Puerto Barrios se tiene un valor de humedad de 83 % (2 m.s.n.m.).

Las Variables como la evaporación y evapotranspiración según estimaciones por métodos indirectos (Hargreaves) dan valores de evapotranspiración del orden de los 1800 milímetros anuales.

Régimen de Precipitación y Evaporación en la Zona

En la región de Puerto Barrios cabecera departamental de Izabal la precipitación promedio interanual es del orden de los 3,400 mm. por año con una desviación estándar de 500 mm.

Para análisis de las condiciones hidráulicas críticas, se ha tomado en cuenta que durante todo el período de registro de caudales en la Estación Hidrométrica Morales, 1969-1995, se tiene una gran crecida en la cuenca cada año.

Se ha utilizado, sobre la base de los criterios convencionales en hidrología, para determinar la recurrencia de la lluvia, la Distribución de Valores Extremos tipo I o Distribución de Gúmbel, de la cual los valores de precipitación para un período de retorno de cincuenta años son del orden de los 380 mm. para la Estación Meteorológica Puerto Barrios.

En cuanto a la evaporación este parámetro que juega un papel determinante en el ciclo hidrológico, la información relacionada con el mismo, sobre todo en el área, y para el período de interés no se ha registrado, lo que obliga a establecer parámetros

climatológicos de comparación para establecer si, otra región ofrece características similares. En tal sentido se decidió utilizar información a nivel diario de la Estación Bobos, en el río del mismo nombre que tributa al Río Motagua. Su registro corresponde a los años 1986 a 1991 y para efectos de determinación de parámetros del modelo se tomó únicamente los años 1986-1990. De este período de análisis se nota que la evaporación más fuerte se da en el mes de abril con valores medios mensuales del orden de los 115 mm y desviaciones estándar del orden de los 10 mm y en grado mínimo en el mes de noviembre con valores mensuales del orden de los 67 mm y desviaciones de 6 mm. Se considera que la evaporación es menor a la esperada en el área de estudio, dada su altitud y menor velocidad del viento, sin embargo la humedad relativa es menor lo que redunda en mayor evaporación. Este criterio es útil al realizar alguna simulación de carácter hidrológico.

Estudio de la Hidrología de la Zona

En base a los registros de caudal medio cuya media interanual, es del orden de los 237 m³/seg. y la desviación estándar del orden de los 61 m³/seg. se puede notar que, el grado de agresividad del recurso hídrico en cuanto a potencial de crecidas que provocan inundaciones es muy alto, incluso se han registrado caudales medios diarios del orden de los 1600 m³/seg. en la Estación Morales, cuya sección transversal tiene una gran capacidad hidráulica, lo que evidencia el potencial de la cuenca para el transporte de la lluvia excedente hasta la Estación Morales y el problema ingenieril asociado para mitigar los efectos de las crecidas y mejorar las condiciones en cuanto al drenaje agrícola deseado

Los resultados de crecidas se obtienen sobre la base del análisis de probabilidades para los períodos de retorno anteriormente mencionados en base de distribuciones Log Normal y Log Pearson Tipo III.

Las características de la trayectoria del río en la parte baja de la cuenca obedecen a una forma meándrica con gran extensión superficial y baja pendiente en general lo que permite que el trayecto del río varíe considerablemente a lo largo de los años al ser sujeto de grandes crecidas que erosionan, sedimentan o inundan otras áreas, ocasionando nuevos cursos, pantanos y lagunas poco profundas.

Desde el punto de vista de la hidrología debe hacerse notar que el comportamiento acumulativo del agua, propicia grandes extensiones de agua sub superficial y subterránea, lo que implica que esta agua es levemente canalizada por causa de la pendiente local, lo que influye en la producción de escorrentía superficial.

3.4.2 Cuenca Ríos Cahabón - Polochic

El problema de inundaciones, como se mencionara anteriormente, ha sido frecuente en muchas cuencas de Guatemala, por su naturaleza topográfica, geográfica y climática. Este tipo de desastre natural ocurre casi todos los años en el país, ocasionando pérdidas materiales valoradas en cuantiosas sumas de dinero. Comités de emergencia y de ayuda a damnificados han sido creados para aliviar la penosa situación, pero el problema en sí, aun no ha sido resuelto. Las inundaciones continúan cada año y consecuentemente, cada año los escasos recursos del país merman, debido a los daños que provocan estas catástrofes al aparato productivo, así como cuantiosos gastos en que hay que incurrir para solventar la situación. Hay pérdidas en la agricultura al propiciar el cambio en el drenaje agrícola, viviendas, vías de comunicación, puentes y vidas humanas. La situación hace evidente que el problema debe enfocarse desde otro punto de vista, el cual es: conocer el fenómeno y ser capaz de predecirlo.

Para saber el comportamiento de un río es necesario estudiar la cuenca desde el punto de vista hidrológico, geológico y morfométrico, sus antecedentes históricos con relación a problemas de crecidas e inundaciones precedentes y sobre todo es indispensable conocer un largo y confiable registro en el tiempo de parámetros hidrológicos y meteorológicos. Sin embargo, para llevar a cabo esta tarea de hacer el estudio de este tipo de desastres, es necesario el procesamiento y cálculo de datos. Normalmente los objetivos de este tipo de estudios son los siguientes:

Objetivos

Minimizar la pérdida de vidas humanas en poblaciones asentadas en las planicies de inundación.

Disminuir los daños en la infraestructura y la agricultura causados por las inundaciones.

Mejorar la capacidad de mitigación del país, para enfrentar los problemas de inundación que suceden constantemente en la parte baja de algunas cuencas.

· Cuenca del río Cahabón

El río Cahabón es el principal tributario del río Polochic. Se localiza entre los meridianos 89°30′ y 90°30′ de longitud oeste y los paralelos 15°15′ y 15°30′ latitud norte, su cuenca tiene una extensión aproximada de 2,600 Km². Pertenece a la vertiente de océano Atlántico en el mar Caribe.

La cuenca tiene forma aproximadamente rectangular con su desarrollo en sentido este, siendo su ancho medio de 25 Kms. y su longitud de 105 Kms. aproximadamente.

Orográficamente está limitada por la sierra de Chamá en su divisoria Norte con alturas que van desde los 500 m. a los 1,800 m. sobre el nivel del mar y su divisoria Sur por las montañas de Seamay, Senahú y Rubelpec con alturas que alcanzan los 2,500 m.s.n.m.

En su configuración hipsométrica se puede dividir en dos zonas; la primera con alturas medias de 1,500 m.s.n.m. comprende la cuenca superior hasta la finca Sasís; y la segunda o parte baja con altura media de 500 m.s.n.m.que abarca la mitad inferior de la cuenca hasta la desembocadura con el río Polochic. Sus mayores alturas sobre la divisoria Sur, están en el cerro Rocjá con elevaciones hasta de 2,600 m.s.n.m.

La configuración general de la cuenca es típicamente de formación kártstica tropical, caracterizada por un relieve irregular, muy común en las formaciones geológicas calizas compuestas por gran número de dolinas o siguanes como se les conoce en el lenguaje de la región, que dan lugar a una red de drenaje superficial escasa hacia el cauce principal. Este drenaje está bien definido en la parte alta de la cuenca, es pobre o escaso en el trecho medio de la cuenca, drenado casi solamente sobre la margen Sur, luego está mejor distribuido en ambos lados del cauce principal en la parte baja, donde los ríos tributarios son más grandes.

En toda el área de la cuenca existe conexiones entre el agua superficial y subterránea por medio de sumideros, varios de los cuales son de importancia por su volumen, así como también existen brotes de ríos subterráneos de gran caudal como el río Lanquin.

La región es predominantementé cafetalera y de cultivos tradicionales: maíz, frijol, chile y otros. Su cobertura vegetal está compuesta por cultivos, monte bajo y bosque.

Régimen de Precipitación y Evaporación en la Zona

El área de estudio de la cuenca del río Cahabón ha sido monitoreada con 12 estaciones meteorológicas, información que permite determinar la escorrentía simulada. Se realizaron distintas consideraciones de precipitación media por subcuencas y en el caso de la subcuenca comprendida entre las estaciones hidrométricas Chipap y Chulac que es bastante representativa de toda la cuenca; la precipitación promedio, entre los años 1979 a 1992 es del orden de los 2900 mm. por año con una desviación estándar de 310 mm. En el mes de julio de 1983 se registraron valores extremos mensuales del orden de los 640 mm.

Se determinó que existen estaciones en las inmediaciones que miden la evaporación, las quales están distribuidas principalmente en la parte media de la cuenca. Una de esas estaciones es la estación meteorológica Sasís, que incluso es representativa de toda el área de la cuenca, en la cual se nota que la evaporación más fuerte se da en el mes de abril con valores medios mensuales del orden de los 160 mm y en grado mínimo en el mes de enero con valores mensuales del orden de los 65 mm.

Hidrología de la Zona

Los caudales medidos pertenecen a las estaciones hidrométricas Chajcar, Chipap, Chulac y Cahaboncito. En la estación hidrométrica Cahaboncito, la cual se encuentra aguas abajo y por tanto da una idea global de la producción de energía en la zona, se ha registrado, del año 1979 a 1993 un caudal medio interanual del orden de los 170 m³/s. con una desviación estándar del orden de los 23 m³/s. y caudales medios diarios máximos hasta de 1300 m³/s. los cuales propician grandes problemas de inundación en las partes bajas de la cuenca.

La solución a esos problemas está asociada con la construcción de obras de protección o de prevención que pueden ser: diques, sistemas de almacenamiento o bien cambios a las secciones transversales del río, para ser capaz hidráulicamente de evacuar las grandes crecidas.

Cuenca del río Polochic

La cuenca del río Polochic, tiene un área aproximada de 2,900 Km². el 2.2% del área total de la república y 5.15% de las que vierten sus aguas al mar Caribe. Se localiza en los paralelos 15° 32' y 15° 03' latitud norte y los meridianos 89° 20' y 90° 19' longitud oeste.

El principal río de la cuenca es el Polochic, con una longitud aproximada de 150.55 Km. siendo su principal río tributario el Cahabón, el cual se une al Polochic unos kilómetros antes de su desembocadura en el lago de Izabal. Otros afluentes importantes son los ríos: Matanzas, Zarco, Tinajas y Pueblo Viejo.

Orográficamente se encuentra limitada al Sur por la sierra de Las Minas con alturas hasta de 2,700 m.s.n.m. y al Norte y Oeste por la sierra de Chuacús con alturas que alcanzan los 1,900 m.s.n.m.

Dos tipos de clima se presentan en la cuenca del Polochic: el cálido con temperaturas de 24º grados Centígrados o más y el semicálido con temperaturas entre 19º y 24º grados Centígrados, siendo el clima cálido el predominante.

La región es predominantemente ganadera, cafetalera y productora de granos básicos como frijol, maíz y arroz, el desarrollo agrícola se debe en gran medida a la vocación que les da este río con su evaporación constante, la humedad ambiental y su natural capilaridad.

Régimen de Precipitación y Evaporación en la Zona

El área de estudio de la cuenca del río Polochic ha sido monitoreada con 10 estaciones meteorológicas. En estas estaciones la precipitación promedio de 1979 a 1983, es del orden de los 3000 mm. por año con una desviación estándar de 275 mm. Se ha registrado eventos extremos mensuales del orden de los 670 mm.

Dada la calidad de información en esta cuenca se determinó que es más conveniente utilizar la información de evaporación de la estación meteorológica Sasís, que también es representativa de toda el área de la cuenca y los datos por tanto coinciden con los datos mencionados en la cuenca del río Cahabón.

· Hidrología de la Zona

Los caudales medidos pertenecen a las estaciones hidrométricas Chilasco, Tucuru, Matucuy, Telemán y Panzós. En la estación hidrométrica Telemán se ha registrado un caudal medio interanual, 1976 al año 1981, del orden de los 75 m³/s. con una desviación estándar del orden de los 8 m³/s. y caudales medios diarios máximos hasta de 260 m³/s. caudales que propician grandes problemas de inundación en las partes bajas de la cuenca.

La solución a esos problemas está asociada con la construcción de obras de prevención y protección que pueden ser diques, sistemas de almacenamiento o bien cambios a las secciones transversales del río para ser capaz hidráulicamente de evacuar las grandes crecidas.

3.4.3 Cuenca Río Chixoy.

En esta cuenca se han realizado un sin fin de estudios hidrológicos con diferentes objetivos, en concordancia con su potencial agrícola y modelación hidrológica (Sandoval, J.J. & Chavarria F. 1998). El resultado de estas investigaciones ha mostrado la potencialidad agronómica e hidroeléctrica de la zona, orientándose principalmente al desarrollo de proyectos hidroeléctricos, lo que ha propiciado el desarrollo de una red hidrometeorológica bastante densa la cual es útil para conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca en sí misma y para el análisis del drenaje agrícola en otras cuencas por o mediante distintas formas o procesos establecidos en hidrología.

La cuenca del río Chixoy está localizada aproximadamente en las coordenadas siguientes: Latitud 90°30' y Longitud 15°15'. Su área hasta la confluencia con el río Quixal es aproximadamente 6000 kms². Es parte de la vertiente del Golfo de México y su formación es de origen kártstico.

Objetivos

Minimizar los riesgos a la planta causados por grandes crecidas o por operación del sistema.

Evaluar todos los recursos hídricos en el área de la cuenca.

Descripción del Proyecto

A grandes rasgos, el proyecto pretende establecer el comportamiento del flujo para distintos tipos de eventos extremos que provocan crecidas del río Chixoy, a través del conocimiento del suelo, la morfometría, el régimen de precipitación y la hidrología de la Cuenca. Estos eventos extremos necesitan de determinada capacidad hidráulica en el río, para poder ser evacuados sin potenciales daños, por lo que está implícito el conocimiento, en cada punto, de la capacidad hidráulica del mismo y evaluar la modificación de su capacidad, mediante el incremento necesario del área de cada sección que permita evacuar las crecidas extremas o bien adoptar otras medidas ingenieriles que eviten la inundación.

Como estrategia básica para definir un sistema de control se sigue el comportamiento del flujo en las estaciones hidrométricas clave, que tengan un adecuado y suficiente registro hidrográfico histórico, es decir varios años de información y que tengan la suficiente influencia en el área de estudio. Este comportamiento permite determinar cara diferentes alturas en el río, el caudal que se puede producir, así como también aquellos eventos extremos ante los cuales debe tomarse las precauciones necesarias. Normalmente se realiza el estudio sobre la base de la información de precipitación faria y de caudales medios diarios y posteriormente se conceptualiza el análisis para un registro horario de precipitación y de caudales, ya que bajo este criterio han de coder observarse eventos extremos con gran potencial de inundación.

Tomar en consideración que la información necesaria para la realización de este tipo de estudios debe ser del orden de los cinco años, de tal manera que a través de los resumos de precipitación que se dan en todas las estaciones hidrométricas instaladas en la cuenca, se pueda determinar el comportamiento hidrológico y por consiguiente los parametros que proporcionan el balance hídrico y le dan forma a las series cronológicas de caudales o hidrogramas.

Régimen de Precipitación y Evaporación en la Zona

El area de estudio de la cuenca del río Chixoy ha sido monitoreada con 19 estaciones meteorológicas, de las cuales seis cuentan con información de lluvia de carácter montre de decir, tienen pluviógrafo, información indispensable para poder determinar

en mayor detalle la escorrentía simulada. En la parte alta de la cuenca está la estación hidrometeorológica El Paradillo, con gran registro histórico, la cual se localiza en la estación hidrométrica del mismo nombre, aguas arriba de la estación El Cebollal. En esta estación la precipitación promedio desde el año 1979 al año 1996 es del orden de los 880 mm. por año con una desviación estándar de 140 mm. En otro punto que es bastante representativo de la región, el cual se encuentra en la cuenca media a la altura de la confluencia de los ríos se determinó que la precipitación media, para el mismo período es del orden de los 1200 mm. con una desviación estándar del orden de los 180 mm.

Se determinó que existen cuatro estaciones en las inmediaciones que miden este parámetro, las cuales están distribuidas principalmente en la parte media de la cuenca. Estudio del Régimen de Evaporación en la Zona: una de éstas es la estación meteorológica San Cristóbal Verapaz, en la cual se nota que la evaporación más fuerte se da en el mes de abril con valores medios mensuales del orden de los 160 mm. y desviación estándar del orden de los 35 mm. en grado mínimo en el mes de enero con valores mensuales del orden de los 75 mm. y desviación de 5 mm.

· Hidrología de la Zona

Los caudales medidos pertenecen a las estaciones hidrométricas El Cebollal, Las Astras, San José, estación hidrométrica Quixal y la Estación Hidrométrica Los Ganchos, del río Chixoy. En la estación hidrométrica Los Ganchos se ha registrado un caudal medio interanual del orden de los 110 m³/s. con una desviación estándar del orden de los 30 m³/s. y caudales medios diarios máximos hasta de 1500 m³/s. caudales que propician grandes problemas de inundación en las partes bajas de la cuenca.

La solución a esos problemas está asociada con la construcción de obras de protección o de prevención que pueden ser diques, sistemas de almacenamiento o bien cambios a las secciones transversales del río, para ser capaz hidráulicamente de evacuar las grandes crecidas.

3.5 Tecnología.

Aproximadamente desde el año 1960, se ha desarrollado una serie de modelos hidrológicos determinísticos. Estos modelos incluyen simulación de eventos para la modelación de eventos de precipitación, escorrentía e incluso la simulación de registros contínuos, los cuales toman en cuenta los procesos de variación de la humedad del sublo para simular la escorrentía en intervalos de tiempo mensuales, diarios y hasta horarios. En Guatemala este tipo de tecnología proviene principalmente de los Estados Unidos de Norte América, de Holanda, Suecia y de Dinamarca, países que en cierta manera tienen el liderazgo a nivel mundial en la planificación, manejo y control de los recursos hidricos. A continuación se describen brevemente los alcances de algunos de

estos modelos. Los modelos realizados en los E.E.U.U. se les conoce con el nombre de HECS, el modelo realizado por los holandeses es Duflow, el modelo desarrollado por los suecos es HBV y el modelo desarrollado por los daneses es Mike11.

Normalmente este tipo de modelo, está diseñado para simular los resultados de la escorrentía superficial a partir de la precipitación mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado a sus diversos componentes.

Los modelos no son más que un paquete de computación profesional de Ingeniería para la simulación de caudales, calidad del agua, transporte de sedimentos en estuarios, ríos, sistemas de irrigación, canales y otros cuerpos de agua. Es una herramienta unidimensional de modelaje dinámico, para diseños detallados, manejo y operación de ríos y sistemas de canales simples y complejos, diseñados para su aplicación eficiente a un bajo costo por medio de micro computadoras.

Su campo de aplicación en algunos casos cubre los siguientes aspectos: hidrología, hidrodinámica, adyección-dispersión y transporte de sedimentos cohesivos, calidad de agua y transporte de sedimentos no conocidos.

Estos modelos son operados a través de su propio sistema de menús con salidas lógicas, sistemáticas y secuencias de los menús. Cada uno contiene su paquete de gráficas para chequear los datos en forma visual y presentar la información guardada en la base de datos. Las mismas gráficas son usadas para el análisis y presentación de resultados. Algunos de estos modelos tienen paquetes de análisis estadísticos. Estos módulos se adquieren para el proceso, análisis y presentación de los datos de entrada y resultados del modelo. La terminología asociada para reconocer sus alcances se conoce como Módulos o bien otra denominación como nombre del programa a ejecutar.

Cuando el modelo incluye capacidad para modelaje hidrodinámico (HD) contiene un computo de diferencia finita implícita de flujos no permanentes en ríos y estuarios. Las formulaciones pueden aplicarse a programas de simulación en ríos y redes de ríos y flujos casi bidimensionales en áreas de inundación.

El esquema de cómputo es aplicable a flujos verticales homogéneos cuyas condiciones oscilan entre ríos muy inclinados a efectos de remanso influenciados por estuarios. Ambos flujos críticos y súper critico, pueden ser descritos mediante un esquema numérico que se adapte a las condiciones locales de flujo.

Las ecuaciones completas no-lineales del flujo de canales abiertos, pueden ser resueltas numéricamente entre todos los puntos de la cuadrilla para intervalos específicos de tiempo y las condiciones dadas de frontera. Además de esta descripción completamente dinámica se puede escoger descripciones simplificadas de flujo como: honda difusiva, cinemateca y dinámica (Ven Te Chow, et. al. 1988).

Con el módulo HD formulaciones de computación avanzada permiten trabajar el flujo a través de una variedad de estructuras de simulación: vertederos de cresta gruesa, canales y estructuras definidas

Dentro de los módulos adicionales del HD para aplicaciones especificas se incluyen: el pronóstico de crecidas desde un punto de vista determinístico o probabilístico.

Cuando se hace uso de modelos, los alcances además de la simulación de la precipitación, escorrentía y el comportamiento hidráulico de un río, pueden extenderse a: manejo en tiempo real de la información, fallas en presas, drenaje urbano, estructuras de control de caudales, cargas contaminantes con respecto a la calidad del agua, cambios morfológicos, transporte de sedimentos cohesivos avanzados, el transporte de sedimento no cohesivo y módulo morfológico.

El módulo de la calidad del agua (WQ): eutroficación.

3.6 Reflexiones.

- Hasta donde es necesario complementar la información topográfica, debe referirse especialmente a: secciones transversales en puntos de interés, áreas de inundación, algunos puntos adicionales que implementen la geometría del río, estacionamientos y perfiles longitudinales.
- Hasta que punto se le debe dar importancia a la densidad de estaciones meteorológicas en la cuenca.
- Es conveniente que sobre la base de los criterios convencionales en hidrología se proceda a determinar la recurrencia de la lluvia y de las crecidas.
- Hasta donde es conveniente conocer la hidrología de la región con información del suelo que permita conocer su capacidad de propiciar escorrentía.
- Las grandes crecidas son un peligro potencial para las inversiones, en qué medida es conveniente, establecer para aquellas de mayor valor, su detalle en el tiempo a nivel horario para un período suficiente antes y después del evento.
- Cuál podría ser el beneficio de lograr una adecuada simulación del comportamiento hidrológico.

3.7 Bibliografía.

Boonstra. J. 1994. Estimating Peak Runoff Rates. In: Drainage Principles and Applications. IIRI Publication 16. Wageningen, The Netherlands. p. 111-143.

Duque, R. A. 1985. Precipitación Formación y Análisis de Datos. Centro Interamericana de Tierras y Agua. Serie Hidrológica H-21. Mérida, Venezuela. 56 p.

Guatemala. 1970. Datos Geográficos de Guatemala. Editores Piedra Santa. Guatemala. 25 p.

_____. 1976. Instituto Geográfico Nacional/IGN. Inventario del Recurso Agua en Guatemala. Atlas Hidrológico. Guatemala. 36 p.

Sandoval, J.J. 1997. Estudio Hidrológico del Río Motagua en el Area de Morales Izabal. Guatemala. 90 p.

Sandoval, J.J. & Chavarria, F. 1998. Aplicación del Modelo Hidrodinámico MIKE11 a la Cuenca del Río Chixoy y sus Componentes Hidráulicos y las Cuencas de los Ríos Cahabón-Polochic. Guatemala. 90 p.

Sandoval, J.J. & Gordillo C. 1994. Modelación Matemática para el Pronostico de Crecidas y Control de Inundaciones en Centro América. Caso de Estudio Cahabon Polochic. Guatemala. 70 p.

TAMS Consultans, EBASCO Corporation e ICCA Ingenieros Consultores de Centroamérica S.A. 1992. Aprovechamiento Hidroeléctrico de la Cuenca Río Chixoy Medio. Guatemala. 204 p.

Ven Te Chow, David R. Maidment & Larry W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw Hill, México, Estados Unidos Americanos. 572 p.

HIDRÁULICA DEL DRENAJE

Ph. D. Carlos Rivera Pomés.

Este capítulo, describe cualitativamente algunos de los fundamentos hidráulicos que se utilizan en el funcionamiento de los sistemas de drenaje en el país, da a conocer la situación general del medio físico en donde tales sistemas funcionan, hace referencia a los criterios de cálculo empleados en su diseño y concluye con observaciones prácticas, proporcionando una panorámica general del fenómeno del exceso de agua en terrenos agrícolas y el enfoque bajo el cual, dicho excedente es removido y dispuesto en otro sitio.

4.1 El Escenario.

Básicamente puede tratarse con cinco tipos de situaciones que conlleven al anegamiento de tierras agrícolas:

- Aquella en la que el anegamiento o inundación del terreno se debe principalmente a un almacenamiento superficial en depresión por efecto del sistema fluvial.
- Cuando existe un afloramiento de agua subterránea en puntos donde el nivel del terreno es menor que el nivel freático.
- En donde por efectos de lluvia intensa (escorrentía) el suelo se satura.
- Cuando por efectos de desbordamiento de los ríos, un terreno queda estacionalmente inundado, y
- En donde a pesar que el terreno no está inundado, el nivel freático se encuentra muy cerca a la superficie o dentro de un rango, en el cual el exceso de humedad puede ocasionar efectos adversos al cultivo.

En cualquiera de los tipos o casos se hace necesario remover el excedente de agua (básicamente establecido por el uso de la tierra) y evacuarlo a otro sitio adecuado. Para ello debe contarse con un sistema hidráulico donde el agua en exceso es colectada por una red de estructuras, conducida por diversos dispositivos (tuberías o canales) y evacuada a algún lugar en donde se descarga.

Al sistema compuesto por los dispositivos de colección (estructuras o máquinas hidráulicas), conducción y evacuación, se le conoce como sistema de drenaje.

El sistema de drenaje puede clasificarse así:

- Sistema superficial: cuando las estructuras van en el suelo o sobre el mismo, principalmente colectan agua de escorrentía superficial, su costo no es elevado y son sencillos de restaurar. Entre sus desventajas puede mencionarse: se pierde hasta un 10% de área para la producción, algunas veces dificultan las labores agrícolas, requieren de mantenimiento frecuente.
- Sistema subterráneo: cuando los dispositivos van dentro del suelo, controlan principalmente el nivel freático, permiten disponer del total del área para la producción. Entre sus desventajas pueden mencionarse: costos elevados, pueden taparse con compuestos de hierro, son difíciles de restaurar.

Para diseñar un sistema de drenaje, se toman en consideración las características del suelo: propiedades físicas, químicas y biológicas; los requerimientos del cultivo; el clima: principalmente la lluvia; las condiciones del agua a remoyer y la topografía o relieve del terreno.

4.2 Parámetros de diseño en una red de drenaje.

Debe considerarse: la evaluación de la microcuenca, la recarga lateral de los ríos y curva de remanso de los desfogues, los estudios de suelo y subsuelo, las variables hidrofísicas: conductividad hidráulica y velocidad de infiltración, la topografía del área, red de pozos de observación, mapas cartográficos, modelos terranos y de espaciamiento entre drenes.

 ¿Porqué la topografía del terreno es importante para los propósitos del drenaje?

La topografía, permite conocer el área a drenar y la elevación del punto de desfogue con respecto a la red de drenaje y la microcuenca, además nos ayuda a comprender las líneas de flujo de la escorrentía superficial y líneas de flujo del agua subterránea. Es la base para determinar la distribución en el campo de los desfogues, basados en las líneas de flujo del agua subterránea y las diferencias de elevación con el desfogue. Permite conocer los volúmenes de excavación y nos ayuda a controlar las características de diseño de cada canal (fondo, talud, longitud, pendiente y profundidad), la erosión y sedimentación de los canales.

La topografía también se utiliza como criterio para determinar que canales necesitan mantenimiento con objeto de mantener sus características originales a través del tiempo.

· Espaciamiento entre drenes.

El espaciamiento óptimo entre drenes (L), depende de la transmisivilidad (T) del sistema freático del aquifero.

La transmisivilidad se define como: T = K.d, donde:

T = Transmisivilidad (m/día),

K = Conductividad hidráulica saturada (m/día), y

d = Grosor equivalente del aquifero (m).

Con base en que un sistema eficiente, presenta el coeficiente de drenaje de 0.04 m/día, se pueden utilizar en forma empírica las siguientes ecuaciones, para determinar el espaciamiento entre drenes:

Si la profundidad de drenaje es 1.5 m. Entonces L = $(250 \text{ T})^{1/2}$. Si la profundidad de drenaje es 2.0 m. Entonces L = $(500 \text{ T})^{1/2}$.

Así mismo, algunos criterios locales deben incluirse, por ejemplo en canales terciarios y cultivo del banano: 30 cms. deben de ser adicionados a la profundidad del dren para compensar la profundidad del agua que corre en el mismo.

Existe literatura especializada, donde se presentan los critérios que indican el espaciamiento de la red de drenes (Karel, J.1997). Estos critérios manejan elementos que relacionan las condiciones de movimiento del agua subterránea (flujo en medios porosos) con elementos geométricos del dren. En lo que se refiere a metodologías de cálculo, existe mucho material y ello escapa de los objetivos del presente capítulo. El lector podrá consultar algunas referencias como (Razuri, L. & Alva C. 1979).

· Diseño hidráulico de drenes.

Los principales criterios en el diseño de canales de drenaje son: espaciamiento (depende de los tipos de suelo y subsuelo), orientación (depende de las líneas de flujo del agua subterránea), y dimensionamiento (depende de la lluvia de diseño).

El diseño hidráulico de los canales de drenaje comúnmente se basa en el caso de flujo uniforme constante, utilizando la ecuación de Manning (Giles, R.V. 1991).

Q = 1/n. A. $R^{2/3}$. $I^{1/2}$, donde:

Q = Volumen de descarga (m³/seg).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

A = Area de sección transversal (m²).

R = Radio hidráulico (m).

I = Gradiente hidráulico (m/m).

Cuando se hace un diseño de canales de drenaje, debe considerarse que: los drenes terciarios deben tener niveles bajos de agua (30 cms.), el nivel de agua en los canales secundarios y primarios debe permitir una salida sin impedimento del agua de los canales terciarios. El sistema deberá tener gradientes hidráulicos adecuados, que permitan la evacuación del agua sin causar rebalse, erosión y/o afectar la estabilidad de las paredes de los canales.

4.3 Distribución de campo del sistema de drenaje.

Siempre que sea posible, debe hacerse uso de los drenes naturales que existan en el área del proyecto. Si es necesario instalar un sistema de drenaje, los canales terciarios deben descargar en los canales secundarios y a su vez los secundarios descargar en los primarios. Para establecer gradientes de descarga adecuados, los canales secundarios y primarios deben de ser más profundos que los terciarios. Los canales secundarios y primarios, no son sólo colectores de aguas de terciarios, ellos producen mejoras en el drenaje de áreas aledañas, dentro del sistema. El desfogue, en la medida de lo posible debe seguir las depresiones y zonas bajas que existan.

Es importante notar que: sólo los drenes primarios deben alinearse con la topografía básica de la zona a drenar, los canales de menor orden deben tener una distribución regular de campo. El desfogue, generalmente un río, debe ser lo suficientemente bajo, para asegurar un buen nivel del agua en los drenes.

La Figura 4.1 muestra la distribución de campo de un sistema de drenaje.

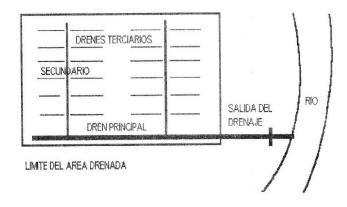


Figura 4.1 Distribución de campo de un sistema de drenaje.

4.4 Criterios de selección del sistema más apropiado

Existen varias consideraciones prácticas que deben tomarse en cuenta a la hora de disponer sobre el tipo de sistema que sea mas apropiado. Entre ellas puede mencionarse:

- Costo de implementación
- Costo de mantenimiento
- · Efectos ambientales
- Efectos hidrodinámicos
- · Cultura.

En relación a los costos: un sistema puede ser técnicamente muy bien diseñado y concebido; sin embargo puede ser muy caro de instalar, muy caro de mantener o ambos. En este punto deberá de considerarse el uso actual y el uso potencial del terreno, a fin de establecer si las componentes del sistema serán temporales, semi-permanentes o permanentes.

En relación a los efectos: debe considerarse mas allá del beneficio inmediato en relación con la actividad agrícola en sí. Dos efectos importantes de los sistemas de drenaje que normalmente quedan en el olvido, son: efectos ambientales e hidrodinámicos. Los Efectos Ambientales, se refieren principalmente a la disposición sanitaria del exceso de agua. Lo que significa que el responsable de su estudio, deberá saber en qué condiciones de calidad, el agua removida afectará otros escenarios en la interrelación suelo-agua-planta- atmósfera y animales. Es muy importante además resaltar, que los efluentes del drenaje deberán alterar lo menos posible, otros cuerpos de agua (desagües). En tal caso es necesario que el agua drenada sea de igual calidad que el agua que la recibe (Rivera, C. 1993). Los Efectos Hidrodinámicos, están orientados a las condiciones en las cuales el agua viaja por las componentes del sistema. Básicamente controlar la velocidad del flujo. La velocidad deberá ser tal que no permita la sedimentación de materiales en suspensión en el canal (baja velocidad), pero también que no sea tan grande que propicie la erosión del fondo y de las paredes del canal, en el caso de canales de tierra. Los valores de velocidad recomendados pueden obtenerse de tablas en literatura especializada, o bien, ser calculados directamente mediante el critério de las fuerzas tractivas o de arrastre (Rivera, C. 1997).

La Cultura, como una serie de experiencías acumuladas y conocimientos combinados que gobiernan el comportamiento de la colectividad, es una serie de patrones de conducta que se manifiestan e interactúan, dando como resultado un determinado conjunto de acciones, frente a una situación cualquiera.

La cultura es importante, puesto que con el conocimiento el hombre gobierna un estilo de conducta, el cual determina el uso de los recursos y su conservación o degradación.

4.5 Casos de Estudio.

4.5.1 Laguna de Retana:

Ubicada entre los municipios de El Progreso y Santa Catarina Mita, Jutiapa, a 8 kms. de distancia del municipio de El Ovejero, bordeada en su margen occidental por una carretera que va desde el municipio de El Progreso hacia el municipio de Monjas (ruta 19) a 1,040 m.s.n.m.

Al valle lo rodea totalmente una zona montañosa que va desde los 1,056 m.s.n.m. a los 1,400 m.s.n.m. Geológicamente, la laguna es una caldera formada por la explosión de un volcán hace varios millones de años. Posteriormente hubo una falla de tipo olla (graben en alemán) con rocas del tipo dacita, basalto y andesita y algunos piroclástos (escoria volcánica).

La situación de esta laguna fue que se drenó su agua con el objeto de convertir 1000 has. ocupadas por el agua, en terrenos agrícolas.

El área fue dividida en dos secciones. La sección de Vista Hermosa a 16 m. de altura y con 160 m. de ancho, donde se construyó un túnel para evacuación, y la de Flores, con una elevación de 50 m. sobre el valle y con un ancho de 700 m.

La parte plana del valle cubre más de 2,000 has, teniendo una forma casi circular, con un diámetro de aproximadamente 6 kms. La superficie total de la cuenca se estima en 4,000 has.

El aporte de agua es de alrededor de 6 millones de metros cúbicos por año, que son suministrados por varios riachuelos activos en invierno. Los estratos inferiores son impermeables (arcillas y roca). La precipitación en promedio es de 611 mm. al año, siendo el volumen almacenado promedio del orden de 12 millones de metros cúbicos.

El Proyecto de Drenaje fue concebido en varias fases:

Selección de las áreas prioritarias. En esta fase se estudiaron las zonas críticas que deberían ser tratadas y se hicieron los estudios básicos pertinentes.

Conducción del agua a evacuar desde las áreas prioritarias, por medio de dos componentes, la componente de *colección* y la componente de *conducción*, que básicamente es una red de un conjunto de bordas o muros y una red de estructuras de drenes o zanjas, que en 1,000 has. conducen las aguas hacia la portezuela de Vista Hermosa.

Primera Excavación de una trinchera principal en donde las aguas colectadas provenientes de la red de drenes, son conducidas a la entrada de un tunel. Esta trinchera tiene 10 m. de plantilla y aproximadamente 160 m. de largo.

Perforación de un tunel que atraviesa la portezuela de Vista Hermosa con una longitud de 80 m. y una sección circular de 1.50 m. de diámetro, el cual está revestido de concreto reforzado en toda su longitud.

Segunda Excavación de una trinchera en la boca de salida del tunel que conduce las aguas hacia el valle de Monjas, con una longitud de 80 m. y una sección trapezoidal constante de 3 m.

Obras de arte que incluyen: compuertas, cajas de nivel, cajas de desvío, caminos, etc. para poder controlar la salida del agua.

4.5.2 En Lago de Izabal

Localización: El proyecto se encuentra localizado al inicio del lago de Izabal, en las inmediaciones de la desembocadura del Río Polochic, jurisdicción de El Estor, departamento de Izabal.

En la unidad productiva, se encuentra una zona baja en donde el río Polochic forma un delta. Esta zona posee suelos franco arenosos, es de topografía plana con algunos relieves suaves y está ubicada en un rango de 0.50 m. a 1.15 m. sobre el nivel del lago de Izabal. Es una zona de aproximadamente 300 has. que ha sido destinada por vocación al cultivo del arroz de secano y con un potencial uso ganadero (para cultivo de pastos).

La situación: Como consecuencia de su posición altitudinal en el delta, durante la estación seca, el nivel freática es bastante superficial (0.15 - 0.25 m), llegando en algunos puntos a anegar parte del área (35 % del total), y durante la estación lluviosa, dicha área se inunda en su mayoría por el efecto combinado de la lluvia y por el desbordamiento del río.

Los criterios: Se determinó por razones de rentabilidad en la productividad de la tierra que sería necesario secar la zona inundada, con el objeto de adaptarla al uso potencial y a mejorar las condiciones agrícolas para sembrar arroz de inundación.

Para tal menester, se decidió construir un sistema de drenaje superficial, compuesto por un componente de captación que incluye estructuras tipo paredes de mampostería, para limitar el área de inundación. Tomando en consideración el relieve del terreno, las aguas confinadas por efectos de gravedad, se mueven hacia una red de canales con un total de 240 m. de drenes, que la conducen hacia un canal principal de 75 m. de longitud y una sección rectangular de 2 m. de ancho por 1.15 m. de altura (componente de conducción) el cual desemboca en una zona baja, donde se forma un pequeño embalse de aproximadamente 2 has. y 1.10 m. de profundidad y de donde se bombea (utilizando tres bombas centrifugas de 200 GPM c/u) hacia el Lago (componente de evacuación).

Para limitar el efecto adverso de la inundación o desborde del río, se construyeron diques que confinaron las aguas del río, aumentando la sección transversal del mismo (Cunge, J.A. et. al. 1980).

El Sistema: Se decidió por un sistema de drenaje superficial y se estableció que el régimen sería de un flujo permanente y el sistema se calculó por medio del criterio de Donnan (Ritzema, H.P. 1994).

Se hizo un estudio de la calidad del agua de drenaje, estableciendo que el uso de productos químicos incrementaría el contenido de nitrógeno del agua, pero en una proporción tal, que los efectos adversos serían mitigados por el embalse previo a la salida al cuerpo receptor final. Así mismo que sería necesario contar con tres personas capacitadas para la operación de las compuertas manuales para regulación de los niveles de agua dentro de los canales.

Se determinó que los costos de ejecución son razonables en comparación con los beneficios aportados por un buen uso del suelo.

Se estudió con detalle el hecho de tener que utilizar un equipo de bombeo, llegándose a la conclusión que el uso estacional del mismo (2 meses en la época lluviosa) no tiene una incidencia adversa sobre la inversión de la unidad productiva como un todo, y que dichas unidades podrían ser utilizadas en otros sectores que requieren de riego en la estación seca.

En el caso del punto en donde el agua es conducida hacia el embalse, se determinó la necesidad de colocar una compuerta reguladora automática. Dicha compuerta consiste en dos flotadores y una pantalla cóncava. Cuando el nivel en el canal de conducción es mayor que en el embalse, se acciona un flotador que desplaza la pantalla y permite el paso del agua. En el caso de que el nivel del embalse sobrepase una determinada altura, el flotador de este lado accionará la pantalla para interrumpir la entrada de agua hacia el mismo, creando un efecto de remanso en el sistema.

4.5.3 En Petén

Localización: El proyecto se encuentra ubicado en jurisdicción del Municipio de El Naranjo, Departamento de El Petén, a inmediaciones del río San Pedro.

El área de interés, tiene una extensión de 4 has. está localizada a unos 350 m. de los márgenes del río San Pedro. El relieve del terreno es plano y los suelos varían entre franco areno-arcillosos a francos. El nivel fréatico durante la estación seca varía entre 0.15 y 0.45 cms. de profundidad, durante la estación lluviosa, el suelo se inunda con una tabla de agua de aproximadamente 7 cms. de altura.

La situación: Por efectos combinados de la lluvia y del aporte subterraneo del río, el nivel freático se eleva hasta inundar una extensión de aproximadamente 250 has. Los accesos terrestres son restringidos y forzan a usar una vía de comunicación fluvial.

Las edificaciones generalmente se hacen sobre una plataforma que la eleva entre 0.35 y 0.65 m. sobre la superficie del terreno.

Los criterios: Se determinó la necesidad de contar con un área en donde se pudiera establecer una pista de aterrizaje privada, instalaciones para el servicio de las aeronaves, un área de reparación y almacenaje de maquinaria de diversa naturaleza y otra para el beneficiado de granos básicos, que son los objetivos prioritarios en la ejecución del proyecto.

Los estudios básicos fueron orientados sobre el criterio de ingeniería civil, pero se determinó la necesidad de contar con un sistema de drenaje que permitiera condiciones adecuadas para la cimentación de las estructuras. Por ello los estudios realizados se limitaron a valores mecánicos del suelo y a condiciones propias del relieve.

Se procedió a posicionar las obras hidráulicas y se determinó que la pista de aterrizaje requería de un sistema de drenaje especial y que el complejo civil requería de otro sistema separado.

Para el caso de la pista, se construyó una plataforma a 1.5 m. sobre el nivel del terreno, de aproximadamente 250 m. de longitud y un ancho de 7.15 m. Dicho terraplén se compactó e impermeabilizó. El terraplén esta ubicado en una excavación de aproximadamente 50 cms. de profundidad, en donde se colocó una solera de humedad.

Para el caso del complejo civil, el sistema debe disminuir el nivel freático y evacuar el agua de lluvia. Para ello se consideró el circundar el área y cada estructura en particular con un sistema combinado de zanjas y tuberías.

Las zanjas de dos tipos: drenaje francés y canales abiertos revestidos con vegetación. El critério de cálculo empleado fue el de la descarga de drenes por tanteos (Van Beers, W.F.J. 1965).

El sistema: El sistema de drenaje, para el caso de la pista de aterrizaje, lo constituyó una red de zanjas rellenas de piedrín y roca de un diámetro medio de 0.15 m, así como de una tubería de PVC perforada y recubierta por un material sintético filtrante. Alrededor de la pista se ubico un componente colector formado por zanjas perpendiculares a la pista y que desemboca a unas tuberías de PVC, las cuales a su vez desembocan en un canal abierto que conduce las aguas hacia el río.

Para el caso del complejo, en las inmediaciones de las estructuras se colocaron una serie de tuberías (perforadas y no perforadas) para colectar el agua de exceso: en el caso del agua del suelo, las tuberías están perforadas y recubiertas por un medio filtrante sintético, enterradas y su función es la de reducir el nivel fréatico del suelo Ver figura 4.2, y las tuberías no perforadas colectan el agua de lluvia de la superficie del complejo y la conducen a un sistema de evacuación que las lleva al río.

El sistema de evacuación está conformado por una tubería de cemento que recibe las aguas y las conduce al río.

Se estableció que el contaminante principal del agua es el lubricante, por lo cual, los drenajes dentro del complejo deben estar provistos con trampas de grasa, para minimizar su efecto adverso al ambiente (Ritzema H.P. & Braun H.M.H. 1994).

Comentario: En este ultimo proyecto, dos elementos importantes fueron considerados, el nivel de agua freática y el exceso de lluvia. Por otro lado, dos complejos civiles formando parte de un sistema estructural integrado.

El criterio del estudio de suelos varía desde un punto de vista agrícola a uno civil. La diferencia es que en vez de considerar efectos radiculares y la proliferación de organismos indeseables, se consideró la humedad de las estructuras y el valor de soporte del suelo (Rivera, C. 1990). Por lo demás, el cálculo y diseño de los sistemas de drenaje, siguieron los mismos criterios del flujo en medio poroso (Rivera, C. 1994).

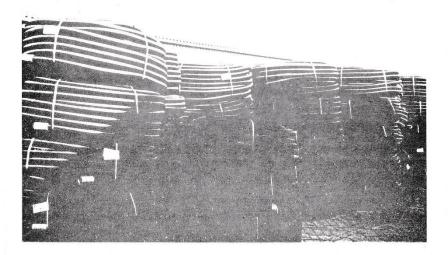


Figura 4.2 Tubería de P.V.C. perforada.

4.6 Reflexiones.

 Tres casos han sido expuestos a fin de ilustrar cómo las diferentes variantes de un sistema de drenaje, pueden adaptarse a distintos usos del suelo. Conviene saber que el conocimiento puede ser aplicado y adaptado de tal manera que cumpla con el mismo propósito, evacuar excesos de agua.

 Se hace necesario resaltar que la forma de presentar un panorama y describir una situación es muy importante para poder formular un esquema mental que, considerando el contexto, pueda establecer un marco de referencia a los trabajos a ejecutar. Que los puntos particulares no se pierdan del contexto y que las interrelaciones entre los diversos componentes del sistema sean congruentemente analizadas a fin de lograr una armonía funcional y un equilibrio entre factores económicos, sociales y naturales (Medio ambiente).

4.7 Bibliografía.

Cunge, J.A. 1980. Practical aspects of river hydraulics. Institute of Hydraulic Research, College of Engineering. The University of Iowa. United Stated of America. 420 p.

Giles, R.V. 1991. Mecánica de los fluidos e hidráulica. Serie Schaum. Mc. Graw-Hill, México, 273 p.

Karel J. L. 1997. Cuaderno de estudio: Flujo subterráneo a drenes. En IV Curso de Postgrado en Drenaje Agrícola. ILRI-USAC. Guatemala. 34 p.

Razuri, Luis & Alva, C. 1979. Ecuaciones para el cálculo de espaciamiento entre drenes. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 125 p.

Ritzema, H.P. 1994. Subsurface Flow to drains. In Drainage Principles and applications. 2^{nd} Edition. ILRI. Wageningen. The Netherlands. 263 - 303 p.

Ritzema, H.P. & Braun, H.M.H. 1994. Environmental Aspects of Drainage. In Drainage Principles and applications. 2nd Edition. ILRI. Wageningen. The Netherlands. 1041 – 1065 p.

Rivera P., C.H. 1990. Aspectos Administrativos básicos en Ingeniería de recursos hidráulicos dentro de un contexto de desarrollo regional integrado. DYRIA / PNUD, Guatemala. 85 p.

- _____. 1993. Environmental considerations in design of agricultural projects. Tokyo. Japan. 140 p.
- . 1994. Lecturas de clase. En Curso d' agua em regime torrencial. Escola Politécnica, Universidade de Sao Paulo. Sao Paulo, Brasil. s.n.p.
- . 1997. Lecturas de Clase. En IV Curso de Postgrado en Drenaje Agrícola. ILRI-USAC. Guatemala. snp.

Van Beers, W.F.J. 1965. Some nomographs for the calculation of drain spacings. ILRI. Wageningen. The Netherlands. 48 p.

DRENAJE Y PRODUCCION AGRICOLA

Ing. & M.Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón

La población actual de Guatemala se estima en 11 millones de habitantes, de los cuales 6.5 millones viven en áreas rurales del país. El índice de crecimiento promedio anual de esta población es aproximadamente de 2.6 % (Guatemala. SEGEPLAN. 1988). Para satisfacer las necesidades alimenticias de esta creciente población, es necesario incrementar:

- El área cultivada en comparación con la tierra utilizada en obras de desarrollo urbano, carreteras, etc. Sin embargo, en algunas áreas: la tierra es un recurso limitado, en otras, la agricultura no puede expandirse al costo de degradación de la naturaleza.
- La productividad del área total cultivada en el país (29,442 kms², 27% del territorio), tecnificando la siembra de granos básicos, de productos no tradicionales para el consumo y la exportación, así como el cultivo de pastos, para el ganado (Guatemala. MAGA.1992).

En este sentido, otra alternativa importante es el drenaje agrícola ya que un exceso de agua es tan perjudicial para el desarrollo de las plantas como un 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 (Conde, R.L. 1979):

- Permite utilizar los suelos húmedos para una agricultura productiva.
- Aumenta la cantidad de oxigeno en el suelo, ya que a menudo una deficiencia de éste produce una reducción química en el Fe. y Mn. que pueden ser tóxicos en el desarrollo de las plantas.
- Previene el desarrollo de ciertas enfermedades fungosas en las plantas.

permanentes en el país (Guatemala, MAGA, 1992). Entre estos proyectos puede mencionarse:

- Programa Nacional de drenaje, incluye drenaje de la Laguna de Retana (Guatemala. Dirección de Recursos Naturales renovables. División de Recursos Hidráulicos. 1968).
- El Proyecto de Irrigación y Drenaje del Valle de Monjas (Japón. JICA. 1987).
- Programa de Control de Inundaciones (Guatemala. Ministerio de la Defensa Nacional. Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas. 1988).
- Desarrollo del Valle del Polochic con base en la Recuperación de Tierras y Medidas de Manejo y Conservación (Guatemala, MAGA, 1991)
- Pozos someros en la Costa Sur (Guatemala, MAGA, 1995).
- Drenaje del Caserío La Blanca (Guatemala, MAGA, 1995).
- Proyecto Nuestra Cuenca (MAGA. UNEPROCH. 1996).

Coadyuvando de esta manera a solucionar la problemática de sueloş fértiles en el país, mediante la recuperación de tierras marginales por anegamiento, desarrollando obras de infraestructura de drenaje para aumentar la frontera agrícola en las zonas problema.

Las principales experiencias en el establecimiento de proyectos de drenaje en Guatemala son:

- El aumento de la producción agrícola, con énfasis en banano, caña de azúcar, arroz, 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 debido a la creación de empleos por la intensificación de la agricultura.

La posición intertropical de Guatemala y el hecho de contar con dos litorales distintos de gran proximidad, provocan una gama de macroclimas que afectan la producción agrícola de las áreas bajas de los litorales del Atlántico y el Pacífico, así como las zonas fluviales y lacustres; provocando anualmente pérdidas económicas que alcanzan números inimaginables, por ejemplo: Anualmente en la cuenca del río Polochic; donde se estima que la aportación de sedimentos debido al alto índice de deforestación (2% anual); es de 700 Tons/km/año, lo que conlleva a una reducción del área del cauce natural del río produciendo conjuntamente con el alto índice de precipitación la nundación de 45,400 has, provocando pérdidas cuantiosas en la producción de maíz, maicillo y frijol en las partes bajas de la cuenca. También puede mencionarse, lo que sucedió en la cuenca del Motagua en 1995, donde se registraron daños en 60,000 has. le tierra, afectando plantaciones de banano, plátano, arroz y maíz con un costo de Q 10 millones (Vanegas. Ch. E.A.1995), como puede observarse en la Figura 5.1.

No obstante que el drenaje de tierras agrícolas como método efectivo para mantener un sistema agrícola sostenible ha sido poco estudiada en nuestro país, durante los últimos cinco años muchas empresas privadas han invertido tiempo y capital en mejorar la implementación de sistemas de drenaje basados en criterios técnicos, que permite evitar pérdidas económicas por desbordamientos de rios o mal funcionamiento de drenes de campo; evitando también mal entendidos de carácter social con los habitantes aguas abajo de los proyectos de drenaje.

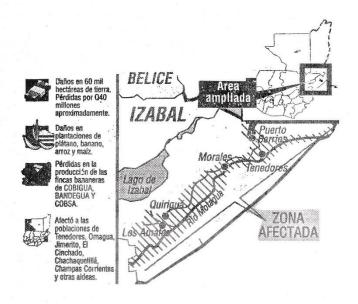


Figura 5.1 Consecuencias de la inundación de la Cuenca del Río Motagua en 1995.

Tradicionalmente en Guatemala ha tenido importancia el uso del drenaje en el cultivo de: banano, caña de azúcar y arroz, describiendo a continuación los principales lineamientos para cada uno de ellos:

5.1 Drenaje y Cultivo del Banano.

El banano se cultiva en las zonas de bosque húmedo de la faja tropical del Océano Atlántico y Pacífico, siendo éstas: el departamento de Izabal y Tiquisate en el departamento de Escuintla, respectivamente. A una altitud no mayor de los 100 m.s.n.m. en ambos casos.

59

Las principales variedades que se han sembrado son: Gran Enano, Cavendish, Valery y Gras Michel, obteniendo rendimientos de hasta 1285 quintales por hectárea (Alvarado E. & Alvarado F., 1981).

Uno de los factores más importantes en el establecimiento de una plantación es el manejo del factor hídrico, por ejemplo: en las áreas mal drenadas los rizomas de las matas de banano producen abundantes raíces aéreas y están levantadas del suelo. Las plantas son de poca estatura, hay arrepollamiento junto con amarillamiento prematuro de las hojas viejas y las hojas más nuevas presentan un color verde pálido (todo esto por el retraso en el ritmo de la descomposición de la materia orgánica y mineralización del nitrógeno en áreas anegadas). También el mal drenaje desminuye la producción al limitar el crecimiento de las raíces, pues éstas al llegar al nivel freático mueren (de acuerdo con experiencias locales, esto ocurre si las raíces permanecen en contacto con agua estancada, por 48 horas). Variados son los criterios que se se utilizan para establecer en un sistema de drenaje en banano, por ejemplo:

- Drenes terciarios o sangrías, de base pequeña (0.3 m), que va 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", ya que ésta al elaborar el dren, expulsa la tierra removida hacia atrás y a 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 conocidos entre los bananeros como "tractor con mano de mica" cuyo
 talud de cuchillas trapezoidales puede variar de conformidad con la textura de los
 suelos, siendo la más común, de 2:1.
- Drenes primarios, de base 5 m. de longitud variada y espaciamientos de 500m. elaborados con retroexcavadoras, cuya función es colectar las aguas de los dos anteriores y depositarlas fuera del área de cultivo. En el caso de 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. En el caso de las nuevas bananeras de la Costa Sur en Tiquisate, éstas drenan su efluente directamente en el Océano Pacífico.

Es muy probable que éstos criterios se hayan tomado con base en las propiedades físico-químicas del suelo, pero fuertemente influenciados por aspectos prácticos del arreglo agro-industrial de las plantaciones. Esto explica 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.

desarrollan 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 poductividad por unidad de área.

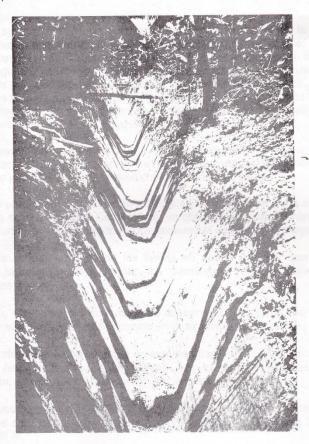


Figura 5.2 Dren secundario en plantación de banano, en Izabal.

5.2 Drenaje y Cultivo de la Caña de Azúcar.

La caña de azúcar, fue introducida al nuevo mundo por Cristóbal Colón en 1,493; durante su Segundo Viaje a América, Colón transportó variedades pertenecientes a las especies Sinense Roxb y Barbari Jesw; que se caracterizan por tallos delgados y poco rendimiento.

62

No fue sino 300 años después cuando el Capitán Bligh, transportó variedades de <u>Saccharum officinarum</u> L. de Tahití a Jamaica en 1791 (Alvarado, E. & Alvarado, F. 1981), cuando se sustentó la producción e industria de la azúcar en los países Centro americanos.

Actualmente se cultiva caña de azúcar en el Bosque húmedo de la faja tropical y subtropical, que se encuentra 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. De tal manera que Guatemala se encuentra entre los cinco mayores productores de caña de azúcar a nivel mundial, existiendo más de 20 ingenios solo en la costa sur del país. La vida útil de un cañaveral se estima en 5 años, obteniendo rendimientos promedio de 90 Ton/ha. de una tonelada de caña se obtienen en promedio 170 libras de azúcar.

El drenaje aunque no se ha considerado indispensable para el cultivo de la caña de azúcar, mediante su implementación se han observado grandes beneficios que lo incluyen como parte de las labores de dicho cultivo, siendo éstos:

- El drenaje permite un 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, contribuye fuertemente al control de la plaga.
- Incrementa la trabajabilidad de las tierras en época lluviosa, que es cuando se preparan las tierras para formar los semilleros para la renovación de los cañaverales.
- Incrementa el rendimiento de la caña de azúcar en tierras bajas, de 10 hasta 30%, probablemente debido a un incremento en la aireación de los suelos.

Las técnicas utilizadas están basadas en experiencias locales y criterios con base a las propiedades físico químicas de los suelos. Los principales criterios de drenaje y mantenimiento, en muchos de los ingenios de la costa sur son:

- Pantes cuadrados de 250 x 250 m. con drenes perimetrales (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 y se han motivado a tal grado que en la Costa Sur o Costa Grande, el

control de inundaciones y drenaje de tierras ha ganado mucha popularidad, entre otras experiencias, pueden mencionarse:

- Construcción de espolones como una práctica del control de inundaciones, en especial en las áreas aledañas al río Coyolate.
- Estudios de utilización de aguas subterráneas, mediante la elaboración de pozas con dimensiones de 25 x 75 x 3 m. de profundidad , como alternativa de suplemento de agua para riego en época seca, y dren de pozo, para reducción de los niveles freáticos de las zonas aledañas en época de lluvias, lo que constituye una aplicación del concepto de drenaje vertical y uso conjunto (Smedema, B. & Zimmer, D. 1994).
- Desarrollo de sistemas de polder (Bos, M.G. & Boers, Th.M.1994); en tierras bajas, por ejemplo en las fincas aledañas al río Naranjo. Donde se construyó una borda perimetral a lo largo de su ribera; bombeando los excesos de agua debido a los altos niveles freáticos y excesos de lluvia nuevamente al propio río. Este control independiente del nivel freático de los suelos de las fincas cañeras de ésta región ha permitido un control sobre plagas e incremento del rendimiento de la caña de azúcar. La Figura 5.3, muestra una estación de bombeo en la ribera del Naranjo, Escuintla.

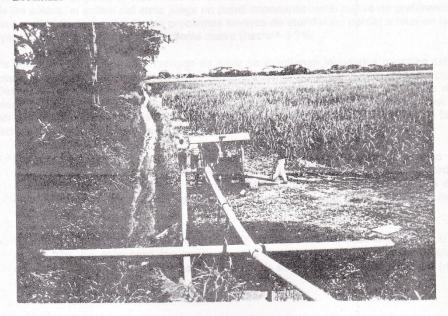


Figura 5.3 Polder del Naranjo, en Ingenio de la Costa Sur.

5.3 Drenaje y Cultivo del Arroz.

El arroz, probablemente se originó en el sur de la parte oriental de Asia, habiéndose diseminado posteriormente a los trópicos.

La producción de arroz en nuestro país, es de gran importancia, debido a que conjuntamente con el maíz y el frijol constituye parte principal de la dieta alimenticia de los guatemaltecos.

Tradicionalmente se han cultivado las variedades Blue Bonnet, Blue Belle, Tikal 2 y Star Bonnet en los bosques de la faja tropical y la sabana de la faja subtropical de las costal del Pacífico y Atlántico; en los departamentos de Izabal, Jutiapa, El Petén, El Progreso, Suchitepéquez, Escuintla y Santa Rosa. Obteniendo rendimiento promedio de 40 qg/ha.

Actualmente de conformidad con las políticas del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación: respecto al ordenamiento del territorio nacional en función de la vocación de los suelos, el cultivo del arroz juega un papel importante como cultivo de preferencia en aquellas áreas que presentan problemas severos de inundación parcial o total en las áreas costeras y lacustres de pendiente suave (hasta 1 ó 2%).

Ya que la mayor parte de los campos de arroz se mantienen inundados mientras éste crece, y son desecados cuando llega el tiempo de la cosecha, según el Proyecto: Desarrollo del Valle del Polochic con base en la Recuperación de Tierras y Medidas de Manejo y Conservación (MAGA. DIRYA. 1991), el arroz es el cultivo por excelencia para ser sembrado en la parte baja de ésta cuenca. El arroz, podría sembrarse mediante las técnicas de melgas en contorno y pozas, cuyos principales criterios de diseño son:

- Melgas en contorno: ancho mínimo de 12 m. diferencia máxima de niveles o
 intervalos verticales entre dos bordos o diques adyacentes de 0.1 m. altura de bordo
 o dique de 0.5 m. con talud 4:1. Es importante comprender que mediante el uso de
 éste método, los excesos de agua se drenan de una melga hacia otra de menor
 elevación.
- Pozas: sus formas pueden ser cuadradas de 50 x 50 m. con bordos o diques de 0.5 m. de alto. En este caso las pozas pueden drenar hacia un dren colector que conduzca los excesos de agua hacia un punto de evacuación del área cultivada (río o lago).

En el caso específico de la parte baja del Polochic, el uso de una estación de bombeo para secar los cultivos durante la época de cosecha no se puede descartar, así que es conveniente incluir su costo en la elaboración de un tipo de proyecto de siembra de arroz en esta zona.

5.4 Drenaje y producción agrícola en el altiplano.

La cordillera de los Andes que recorre el continente Americano, desde el Cabo Occidental en Alaska, hasta el Cabo Froward en Chile (Morán, Ch. S. 1975); en nuestro país se divide en dos ramales: uno que entra por la aldea de Niquihuil en San Marcos formando el sistema de la Sierra Madre, el otro por Huehuetenango, formando el sistema de los Cuchumatanes, que principalmente ocupa los departamentos de Huehuetenango y el Quiché, constituyendo la mayor elevación macisa de Centroamérica alcanzando aproximadamente los 3,800 m.s.n.m. en la cumbre de Chemal en Huehuetenango.

Este sistema es interrumpido por el Valle del río Salinas, Negro o Chixoy que lo divide en dos grupos: Cuchumatanes del Occidente y Montañas de la Verapaz al Oriente. La Sierra Madre atraviesa Guatemala de Occidente a Oriente, su parte central es muy plana, por lo que se le llama Altiplano Central de la República, donde se encuentran las ciudades de: Guatemala, Sacatepéquez, Sololá, Quiché, Chimaltenango y Quetzaltenango.

Estos sistemas montañosos, 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 (papa, arveja china y dulce, ejote francés, remolacha, pepinos, suchini, güicoyes, fresa, frambuesa), y frutas (durazno, ciruelas, manzanas y peras). Conllevando 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 como resultado de la sobrepoblación y presión sobre el recurso suelo, conllevando al cultivo de áreas con pendientes escarpadas, regularmente con suelos descubiertos (debido a la tala de los bosques), produciendo erosión. Ejemplo el promedio de población indígena que habita la cuenca del río Chixoy es del 72% y el índice promedio de pérdidas del suelo es de 2,890 Tons/km²/año (MAGA, UNEPROCH, 1996).

Siendo la cárcava la expresión más alta de la erosión. En lengua quiché se les identifica como Siguanes, palabra que también significa barranco; lo que da una idea real de la magnitud del problema.

La cárcava es una 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. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo producto de la erosión (Delgado, F. 1978).

También en la cuenca del Chixoy, debido a la alta deforestación estimada en 2% anual y el régimen de precipitación media de 1,200 mm/año, se registran problemas anuales de inundación en 2,700 has, siendo las áreas más susceptibles a las formaciones de

cárcavas: las subcuencas Río Blanco, Pacaranat y Serchil, en donde sobresalen las cárcavas de Momostenango algunas de las cuales son conocidas como Riscos.

La primera acción que debe llevarse a cabo para controlar una cárcava es eliminar la causa que la originó, para lo que se tiene que efectuar trabajo a dos niveles:

• En ladera o área de drenaje.

Encaminándose a evitar o controlar totalmente el escurrimiento superficial y permitir uniformemente su infiltración. 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 en bosques y pastizales; Terrazas de absorción; Surcos en contorno y Zanjas de desviación.

En muchos casos, resulta ser suficiente, cuando con las prácticas conservacionalistas (ejecutadas), 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 a la cárcava, a fin de disminuir la velocidad del agua y favorecer la sedimentación de las partículas que lleva el agua en suspensión.

Los diques son construidos a lo largo de la cárcava y pueden hacerse de sacos de arena y reforzados con piedras, ramas y palos. Un aspecto importante es el espaciamiento entre diques. El principio fundamental que debe tenerse presente para la determinación del espaciamiento es: que el centro del borde superior de un dique esté al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba.

El Proyecto Chixoy (MAGA. UNEPROCH. 1996), tiene un componente especial para atacar el deterioro de los suelos por causa de cárcavas, involucrando a las comunidades aledañas para rescatar 39 sitios seriamente afectados, tal el caso del Paraje Chinimajuyú, Momostenango y Totonicapán, tal como puede observarse en la Figura 5.4.

Estas comunidades se involucran en el esfuerzo de rehabilitación; recibiendo a cambio un reconocimiento económico, parte del cual invierten en proyectos productivos como: financiar la compra de molinos de nixtamal, panaderías comunales, bancos comunales, etc.

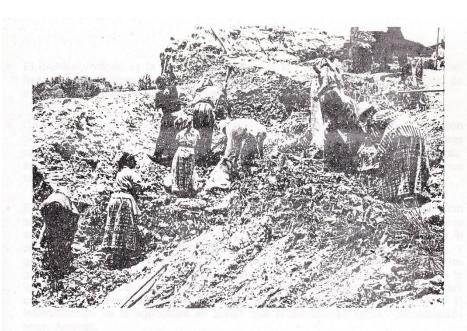


Figura 4. Trabajos de mujeres con enfoque de género en la rehabilitación de cárcavas en Momostenango, Totonicapán. (MAGA. UNEPROCH. 1996).

5.5 Reflexiones.

- El drenaje de tierras agrícolas ésta ligado al desarrollo histórico del cultivo del banano en las costas del Pacífico y Atlántico del país, alcanzando hoy, su máxima expresión en las bananeras ubicadas en la depresión del Motagua.
- El drenaje como labor, se incluye en el llamado cultivo moderno de la caña de azúcar, donde ha probado ser una práctica indispensable en el control de los niveles de infestación de plagas como: <u>Aneolamia</u> sp. y ser el factor desequilibrante en el incremento del rendimiento debido a que permite una mejor aireación de las tierras bajas dedicadas al cultivo de cañaverales.
- En el Altiplano guatemalteco, el drenaje juega un rol importante en la implementación de prácticas mecánicas de conservación de suelos, que conlleven a la reducción de la escorrentía y a la adecuada evacuación de los excesos de agua, sin provocar erosión y pérdida del suelo.

- El drenaje vertical, es la técnica pionera en el uso conjunto del control del nivel freático y el aprovechamiento de agua subterránea como una alternativa de irrigación en el aluvión cuaternario de la Costa Sur del país.
- De acuerdo con la política gubernamental del ordenamiento del territorio en función de la vocación de los suelos, es la técnica por excelencia para el cultivo de las áreas costeras y lacustres del país con especies de Salicáceas, pastos y/o arroz; aprovechando al máximo el potencial agrícola de las áreas que sufren inundaciones temporales o permanentes, dañando al mínimo el medio ambiente.
- En el sector agrícola, la ejecución de proyectos de drenaje goza de gran aceptación social, debido a que en repetidas ocasiones los costos de inversión han sido superados por los beneficios que éste representa, entre otros: aumento de la producción agrícola, con énfasis en banano, caña de azúcar, arroz, 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 la vocación de los suelos. También produce mejoras en los niveles de vida de las comunidades aledañas a dichos proyectos, debido a la creación de empleos por la intensificación de la agricultura en zonas que anteriormente habían permanecido improductivas.

5.6 Bibliografía.

Abdel, F. S. et. al. 1991. Execution of drainage works in Egypt. In: Flevobericht 320. Design and execution of drainage works in Egypt. 9 - 25 p.

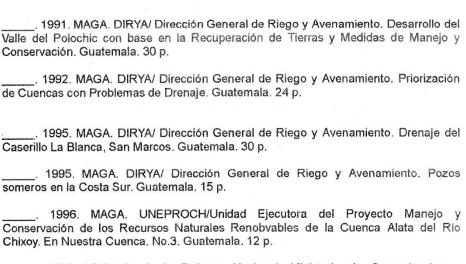
Alvarado, E.A. & Alvarado, F.A. 1981. La Agricultura en Guatemala. Cámara del Agro de Guatemala, Asociación de Amigos del país. Guatemala. 85p.

Bos, M.G. & Boers, Th.M. 1994. Land Drainage: Why and How?. In Drainage Principles and Applications. 2^{nd} Edition. ILRI. Wageningen, The Netherlands. 23-32p.

Conde, R.L. 1979. Drenaje Superficial en Suelos de la Serie Limón, Chontalpa, Tabasco. Subsecretaría de Agricultura y Operación. Dirección General de Distritos y Unidades de Drenaje. Memorándum Técnico No. 385. México. 8 –10 p.

Delgado, F. 1978. Terrazas para la conservación de suelos en terrenos inclinados. CIDIAT/Centro Interamericano de investigación del agua y tierra. Mérida, Venezuela. 40 p.

Guatemala. 1968. Dirección de Recursos Naturales Renovables. División de Recursos Hidráulicos. Proyecto Nacional de Drenaje. Guatemala. s.n.p.



. 1988. SEGEPLAN/ Secretaria General de Planificación Económica de la Nación. Proyección de Población Urbana y Rural por Región y departamento. 1980-2000. Serie de Documentos de Trabajo No. 2. Guatemala. 300p.

Japón. 1987. JICA/ Japan International Cooperaction Agency. Inception Report for The Feasibility Study on The Monjas Area. Guatemala. 40 p.

Morán, Ch. S. 1975. Guía Geográfica de los Departamentos de Guatemala. Imprenta Mansilla. Guatemala. 238 p.

Smedema, B. & Zimmer, D. 1994. Drenaje Vertical y Uso Conjunto. En Revista de la GRID, de la red IPTRID. Número 5. HR Wallingford. Oxfordshire. Reino Unido. p 7.

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

Vanegas, E.A. 1995. Lecturas de clase: Inundaciones en la cuenca del Motagua. En II Curso de Post-grado en Drenaje Agrícola. ILRI-FAUSAC. Guatemala. s.n.p.

LEGISLACION Y DRENAJE AGRICOLA

Ing. Agr. Carlos Roberto Motta de Paz

El inicio del desarrollo del drenaje agrícola tiene sus antecedentes con pequeños y medianos agricultores de Zunil y Almolonga en Quetzaltenango, así como las grandes compañías bananeras que se establecieron en las regiones costeras de los océanos Pacífico y Atlántico a partir del año 1,930; la Standard Fruit y United Fruit Comapany, respectivamente.

En 1,957 se creó el Departamento de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Agricultura, que participa en el desarrollo de actividades de drenaje, publicando en 1,968 el Plan Nacional de Drenaje. Desde 1,970, el desarrollo del drenaje estuvo regulado por el Decreto 102-70 Ley del Organismo Ejecutivo, que recomendó al Ministerio de Agricultura las funciones de:

- Investigar, regular, controlar, desarrollar y proteger los recursos forestales, de flora, fauna, suelos y el agua.
- Formular y aplicar las medidas pertinentes para garantizar el aprovechamiento nacional y la conservación de los recursos naturales.
- Reglamentar, evaluar, conceder, denegar, anular, renovar transferir y supervisar la concesión del uso y aprovechamiento de los recursos naturales de conformidad con la ley.

Este decreto fue derogado por el Decreto 114-97 Ley del Organismo Ejecutivo, que vino a modificar la mayoría de las funciones de recursos naturales renovables.

Puede concluírse que respecto a los aspectos legales de la ejecución de proyectos de drenaje agrícola, deben tomarse en cuenta los 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, en 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.

Resultaría extenso incluir el contenido total de esta legislación, por lo que se remite al lector a la consulta directa de las Leyes que rigen el país, tal como las citadas en la bibliografía. Sin embargo, a continuación se detalla el articulado siguiente:

6.1 La Constitución Política de Guatemala.

- Se establece protección y garantía al derecho de propiedad, lo que cubre la propiedad sobre los derechos de aprovechamiento (Arts. 39 y 40).
- Programa de dictación de normas protectoras del medio ambiente del equilibrio ecológico y la utilización racional de los recursos naturales señalando expresamente el agua (Art. 97).
- En el plano económico y social se prevé la utilización de los recursos naturales y su conservación y desarrollo eficientes (Arts. 118 y 119).
- Declara bienes del Estado a los de dominio Público y las aguas de ríos, lagos y las subterráneas en las condiciones que indica él articulo 121, y además expresa que la enajenación de estos bienes racionales sólo puede hacerse de acuerdo a lo que exprese la ley (Art. 124).
- Establece los recursos territoriales del Estado que corresponden a franjas ribereñas al mar, a lagos, a ríos navegables, a fuentes y a manantiales que surtan a poblaciones. En ellas la propiedad es del Estado (Art. 122).
- Declara a todas las aguas bienes de domino público, inalienables e imprescriptibles, entregando a la ley su aprovechamiento, uso y goce. El aprovechamiento obliga a sus titulares a reforestar riberas y cauces y facilitar las vías de acceso (Arts. 127 y 128).
- Finalmente y acorde a lo anterior, es interesante transcribir el artículo 175, que expresa: ninguna ley podrá contrariar las disposiciones de la constitución. Las leyes que violen o tergiversen los mandatos constitucionales son nulas ipso jure.

6.2 Ley del Organismo Judicial (poder judial). Decreto 2-89.

- Reitera la supremacla de la Constitución.
- Respecto a la vigencia y extensión de los derechos reales adquiridos bajo una ley, expresa que subsisten bajo el imperio de una nueva, pero en cuanto a su ejercicio, cargas y en lo referente a su extinción prevalecerá la nueva ley (Art. 36 letras e y g).

6.3 El Código Civil (Decreto Ley 106).

- Declara que las aguas son bienes inmuebles (Art. 4).
- Distingue entre bienes privados y bienes del dominio del poder público. Estos últimos pertenecen al Estado o a los municipios y pueden ser de uso público común o de uso especial.
- Los bienes nacionales de uso común comprende las aguas de lagos y ríos navegables flotables con sus riberas, ríos, vertientes y arroyos que sirven de límite al país, caídas de agua y las aguas no aprovechadas por particulares. Estos bienes son inalienables e imprescriptibles y su uso privativo requiere concesión (Arts. 458 y 461).
- Reconoce algunos tipos de aguas privadas, tales como las pluviales dentro de predios privados y mientras no los abandonen, las lagunas situadas en predios privados y las aguas subterráneas extraídas por medios artificiales de predios particulares (Art. 579).
- Otorga propiedad privada a los dueños de los predios colindantes con cauces naturales sobre éstos (Art. 580).
- Establece libertad al propietario de un predio para perforar pozos y obtener aguas subterráneas y le supere dominio sobre ellos y le da derecho a imponer servidumbres sobre predios ajenos para su conducción. Al que encuentre aguas en su mina le da el dominio de ellas (Arts. 581 a 582).
- Establece libertad de ejecutar defensas riberas a los diseños de predios lindantes con cauces públicos (Art. 684).
- Establece servidumbre forzosa de acueducto para conducción de aguas destinadas a su servicio público, previa indemnización; y en iguales términos la acepta para los de interés privado en cinco casos específicos: riego, establecimiento de baños y fábricas, desecación de lagunas, terrenos pantanosos, evasión o salida de aguas provenientes de alumbramientos artificiales y salidas de aguas escurrideras y drenajes. El código regula la oposición a la servidumbre, las formas físicas, de la servidumbre la indemnización y su caducidad (Arts. 760 a 766).
- Establece además otras servidumbres, como las urbanas de estribo de presa, de compuerta o marco partidor, de abrevaderos a favor de un pueblo y desagüe (Arts. 777 a 798).
- En materia de registro, es decir inscripción de los derechos de aprovechamiento expresa que en el Registro de la propiedad se inscribirán las concesiones otorgadas por el ejecutivo para el aprovechamiento de los aforos (Art. 125).

- Finalmente y mientras no se dicte la ley de aguas de dominio público, algunas del Código Civil anterior de 1932.
- El Código Civil rige desde el 14 septiembre de 1963.
- Como se aprecia, el Código Civil, anterior a la Constitución entra en franco conflicto con ésta a lo referido a la dominialidad de las aguas.

Jurídicamente dicho conflicto necesariamente debe ser resuelto a favor de las normas constitucionales, por lo que solo se puede expresar que conforme a lo establecido en el artículo 175 de la carta fundamental, las normas del Código Civil que reconocen aguas privadas, o propiedad privada sobre las aguas han sido anulada ipso jure a partir de la vigencia del texto de la constitución (Art. 175).

6.4 Ley de Amparo (Decreto 1-86).

- Reconoce, como otras normas, la supremacía de la constitución (Art. 3°).
- Permite la protección de los derechos de las personas, incluso los patrimoniales de cualquier violación o amenaza (Art. 8º).
- Por lo anterior permite la defensa de los derechos de aprovechamiento, sus derechos accesorios.

6.5 Ley de lo Contencioso-Administrativo (Decreto 119-96).

- Permite reclamos de administrativas de arbitrarías o ilegales. (Artos. 7, 9, 16).
- Es un mecanismo factible contra la autoridad administradora del recurso.

6.6 Código Penal (Decreto 17-73).

- Tipifica delitos específicos como el hurto de fluídos que incluye la sustracción de aguas desde redes de agua potable y la usurpación de aguas para aprovechamiento ilícito o perjudicar a otros (Arts.249, 254 y 260).
- Castiga igualmente la contaminación o envenenamiento de aguas de uso común o particular (Arts. 302, 347 a, 347 b).

6.7 Ley del Organismo Ejecutivo (Decreto 114-97).

 Entrega al Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, atender los asuntos concernientes al régimen jurídico que rige el manejo sustentable del recurso naturales renovables, así como formular y ejecutar la política de uso de los recursos naturales renovables (Art. 29).

- Entrega al Ministerio de Comunicaciones, Transportes, Obras Públicas y Vivienda los servicios de información de meteorología, vulcanología e hidrología (inciso g Art. 30).
- Le entrega al Ministerio de Energía y Minas las funciones normativas de central y supervisión en materia de energía eléctrica (Art. 35).
- Le asigna al Ministerio de Gobernación las funciones de aprobar los estatutos de las fundaciones y otras formas de asociación y otorgar la personalidad jurídica así como prestar el servicio de notariado del Estado a través de escribano de cámara, y de Gobierno (Art. 36 incisos b y f).
- Asigna al Ministerio de Relaciones Exteriores la aplicación del régimen jurídico relativo a las relaciones del Estado de Guatemala con otros Estados y personas, relacionado con el desarrollo ambiental (Art. 38).
- Asigna al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, la preservación higiénica del medio ambiente y la normativa del mejoramiento del medio ambiente.

6.8 Codigo Municipal (Decreto 58-88).

- Entrega al municipio los servicios públicos, puede establecerlos, mantenerlos, mejorarlos, regularlos (Art. 30).
- La prestación de servicios públicos se hace por la municipalidad.
- Es atribución del Alcalde mantener al día el inventario de las fuentes y caudales de agua de su jurisdicción y adoptar las medidas necesarias para su conservación, abundamiento y limpieza; proteger las fuentes de provisión al vecindario, forestación de vertientes y conservación de cañas, acequias, alcantarillas y acueductos (Art. 60).

6.9 Ley de Minería. (Decreto Ley No. 69-85).

- Respecto a aguas del dominio nacional y uso común, establece que los titulares de derechos mineros de explotación, tienen derecho al uso y aprovechamiento racionales de los que broten o aparezcan en sus labores mineras para emplearlos en sus trabajos en la medida que necesitan (Art. 152).
- Sé prohibe labores mineras a menos de 300 metros de conductos, lugares destinados a la captación de aguas de uso público, obras de embalse y ríos (Art. 161).

6.10 Código de Salud (Decreto 90-97).

- Este código le asigna al Ministerio de Salud, su colaboración con la comisión nacional del medio ambiente, las municipalidades y la comunidad organizada que promuevan un ambiente saludable que favorezca el desarrollo pleno de los individuos, familias y comunidades (Art. 68).
- Además, establecer los limites de exposición y calidad ambientales, la coordinación en el fomento municipal obliga a las municipalidades a abastecer de agua potable a las comunidades de su jurisdicción (Art. 79).
- Este código regula todo lo relativo a la eliminación y desaparición de aguas residuales (Arts. 92 al 101).

6.11 Ley Forestal (Decreto 101-96).

- Define lo que es área protegida y uso (Art. 4).
- Prohibe eliminar bosque de las partes altas de las cuencas hidrográficas en especial las que están ubicadas en zonas de recarga hidrica que abastecen fuentes de agua (Art. 47).

6.12 Ley de Transformación Agraria (Decreto Legislativo 1551).

- Declara obligatorio el otorgamiento de servidumbres de agua, paso y abrevadero para las obras a las que refiere esa ley (Art. 69).
- Declara afectables las aguas, públicas o privadas, que exceden las necesidades de los terrenos en que se emplean, para su uso en riego, usos domésticos, servicios e instalaciones para empresas agrícolas riegos de zonas forestales, industrias y otros (Arts. 247 a 249).
- Las servidumbres necesarias para el cumplimiento de los fines procedentes se declaran libres de gravámenes o renta (Art. 250).
- Los acueductos que se construyan lo harán bajo la supervisión del Instituto de Transformación Agraria como igualmente quedarán: el uso nacional y el aprovechamiento de las aguas, de acuerdo a reglamentos que dictaren para cada caso (Art. 251).

6.13 Ley Organica del Instituto de Electrificación.

- Confiere al instituto prioridad para la utilización del agua con fines energéticos.
- Debe conservar y defender los recursos hidráulicos del país, proteger las cuencas, las fuentes, los cauces de los ríos y corrientes de agua.
- Debe contribuir al aprovechamiento conjunto de los recursos de aguas en riego y energía.

6.14 Ley de Servidumbres Forzosas de Acueducto (Decreto Legislativo 49-72).

 Las servidumbres de conducción de agua se declaran de utilidad pública para fines agrícolas y de salud. Obtener el pago de indemnización agrícola al valor de la superficie afectada según avalúo.

6.15 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86).

• Indica que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales, al ambiente, introducir modificaciones nocivas al paisaje, y a los recursos del patrimonio cultural, será necesario previamente a su desarrollo: un estudio de evaluación del impacto ambiental realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Art. 8). Así mismo indica que son objetivos de la ley: la protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, el uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos (Art. 12).

6.16 Ley de Areas Protegidas (Decreto 4-89).

- Son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las
 que tienen por objeto la conservación, manejo racional y restauración de la flora y
 fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales que
 tengan alta significación por su formación o sus valores genéticos, históricos,
 escénicos, recreativos y arqueológicos, preservando el estado natural de las
 comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos de las fuentes y
 suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos de las zonas protectoras
 de los suelos agrícolas, a fin de mantener opciones de desarrollo sostenible (Art.
 7).
- Las áreas protegidas para su óptima administración y manejo se clasifican en Parques Nacionales, Biotopos, Reservas de la Biosfera, Reservas de Uso Múltiple, Reservas Forestales, Reservas Biológicas, Manantiales, Reservas de Recursos, Monumentos Naturales, Monumentos Culturales, Rutas y Vias

Escénicas, Parques Marinos, Parques Regionales, Parques Históricos, Refugios de la Vida Silvestre, Areas Naturales Recreativas, Reservas Naturales Privadas y otras que en el futuro se establezcan con fines similares, las cuales se integran el sistema guatemalteco de áreas protegidas, creado dentro de esta misma ley, independientemente de la entidad, persona individual o jurídica que la administre (Art. 8).

• El artículo 13, describe las fuentes de agua y el artículo 19 se refiere a la conservación de áreas protegidas.

6.17 Reflexión.

Por su propia naturaleza el derecho es un término medio entre la anarquía y el despotismo. Trata de crear y mantener un equilibrio entre esas dos formas extremas de la vida social. Para evitar la anarquía limita el poder de los individuos particulares e impide el despotismo delimitando el poder del gobierno. Es decir que la función general del derecho consiste en las restricciones al ejercicio arbitrario e ilimitado del poder (Bodenheimer. E. 1964).

6.18 Bibliografía.

Bodenheimer. E. 1964. Teoría del Derecho. 3era. Edición. Fondo de Cultura Económica. México. D.F. 350 p.

Guatemala. Leyes, Decretos, etc. 1997. Código Civil; Decreto no. 106 y sus reformas. Guatemala. Jimenez & Ayala. Guatemala. 210 p.

____. 1997. Código de Salud; Decreto no. 90-97. Guatemala. Librería Jurídica. Guatemala. 52 p.

 $\underline{\hspace{0.3in}}$. 1973. Código Penal; Decreto no. 17-73 y sus reformas. Guatemala.s.e. Guatemala.s.n.p.

_____. 1988, Código Municipal; Decreto 55-88, Guatemala, s.e. Guatemala, s.n.p.

_____. 1993. Constitución Política de la República de Guatemala; Decreto 18-93. Guatemala. Jimenez & Ayala. Guatemala. 78 p.

____. 1989. Ley del Organismo Judicial; Decreto no. 2-89. Guatemala. Jimenez & Ayala. Guatemala. 52 p.

. 1986. Ley de Amparo, Exhibición Personal y de Constitucionalidad; Decreto 1-86. Guatemala. Jimenez & Ayala. Guatemala. 50 p.

____. 1989. Ley de Areas Protegidas; Decreto no. 4-89. Guatemala. Compañeros de las Américas. Guatemala-Halabama. 21 p.

____. 1996. Ley de Lo Contencioso Administrativo; Decreto no. 119-96. Guatemala. s.e. Guatemala. s.n.p.

_____. 1985. Ley de Minería; Decreto 69-85. Guatemala. s.e. Guatemala. s.n.p.

. 1996. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente; Decreto no. 68-96 y sus reformas. Guatemala. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Guatemala. 19 p.

. 1972. Ley de Servidumbres Forzosas de Acueducto; Decreto no. 49-72. Guatemala. s.e. Guatemala. s.n.p.

____. 1975. Ley de Transformación Agraria; Decreto no. 1551-75. Guatemala. Instituto Nacional de Transformación Agraria. Guatemala. 62 p.

. 1997. Ley del Organismo Ejecutivo; Decreto no. 102-70 y Decreto no.114-97. Guatemala. s.e. Guatemala. 28 p.

____. 1994. Ley Orgánica del Instituto de Electrificación; Decreto no. 64-94. Guatemala. s.e. Guatemala. s.n.p.

_____. 1996. Ley Forestal; Decreto no. 101-96. Guatemala. Instituto Nacional de Bosques. Guatemala. 27 p.

GLOSARIO

Acuífero: Estrato de suelo que contiene agua.

Agua disponible en el suelo: La cantidad de agua disponible para las plantas, definida como la cantidad de agua retenida en el suelo que es menor que la capacidad de campo y mayor que el punto de marchites permanente.

Agua subterránea: Agua debajo de la superficie del suelo, en condiciones donde la presión en el agua es más grande o igual que la presión atmosférica, y donde todos los vacíos están llenos con agua.

Almacenamiento: El volumen de agua almacenado o descargado por unidad de área superficial de un acuífero confinado, por unidad de cambio en el componente de carga normal para esa área. Este depende de la compresibilidad del material del acuífero y del fluido.

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.

Base de drenaje: El nivel del agua en la salida de un área drenada.

Bomba centrífuga: Una bomba rotodinámica con flujo radial, su entrada esta cerca del centro de su inductor y su salida a lo largo de su periferia. El agua sigue la dirección curveada del vagón del inductor lejos del centro.

Canal de desvío: Un canal construido en contra de la pendiente para interceptar la escorrentía superficial y conducirla hacia una salida segura.

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.

Carga hidráulica: La elevación del nivel del agua en un piezómetro respecto a un nivel de referencia; es igual a la suma de la carga de presión y la elevación.

Coeficiente de drenaje: La descarga de un sistema subterráneo de drenaje, expresado como una profundidad de agua que debe ser removida dentro de un tiempo determinado.

Coeficiente de rugosidad: Un parámetro adimensional que aparece en la ecuación de Manning para flujos uniformes permanentes en canales abiertos, relativo a las irregularidades de la superficie, el arrastre vegetal, y materiales que retardan el humedecimiento del perímetro mojado.

Compuerta de drenaje: Una salida por gravedad provista con una compuerta de movimiento vertical o con una puerta o plato horizontal con bisagra (compuerta de tapa). También una salida por gravedad provista con una puerta vertical con bisagra, abriéndose cuando el nivel interno del agua es más alto en relación al nivel externo, y viceversa, de tal manera que el drenaje ocurre durante las mareas bajas.

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.

Criterio de drenaje: Un valor numérico específico de uno o más parámetros de drenaje que permiten elaborar un diseño utilizando las ecuaciones de drenaje.

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.

Decreto: Resolución del jefe de Estado o su gobierno.

Descarga de diseño: Un valor especifico de la razón de flujo, el cual, ha sido considerado después de la frecuencia y la duración de excedencia, es seleccionado para el diseño de las dimensiones de una estructura o un sistema, o una parte éstos.

Dique: Muro o reparo artificial hecho para contener las aguas.

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 colector: Un dren que colecta agua del sistema de drenaje de campo y que acarrea ésta hacia el canal principal por eliminación. Este puede ser una zanja abierto o un dren de tubo.

Dren de desagüe: Un dren que transporta agua colectada afuera del área de drenaje o proyecto, ya sea en forma de un canal natural o como un dren construido.

Dren de intercepción: Un dren instalado a través del flujo del agua subterránea para colectar 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 de tubo: Un tubo enterrado; indiferente de su material de construcción, forma o tamaño, que transporta agua de drenaje de una porción de tierra hacia un dren colector o a un dren principal.

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 con pozos de tubo: El control de un existente o potencial nivel freático, o agua artesiana, a través de un grupo de pozos adecuadamente distribuidos.

Drenaje horizontal: Un método de drenaje subterráneo en el cual los niveles freáticos bajos son mantenidos por drenes de tubo o canales abiertos.

Drenaje subterráneo: La remoción del exceso de agua y sal del suelo vía agua subterránea hacia los drenes, de tal manera que el nivel freático y la salinidad en la zona radicular son controladas.

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.

Drenaje Vertical: La utilización de bombeo de aguas subterráneas para controlar el nivel freático.

Drenes de campo: (1) En drenaje superficial, un canal cortado poco profundo, usualmente con lados de pendiente plana, que colectan agua dentro del campo. (2) En drenaje subterráneo, una zanja de campo, un dren topo, o un dren de tubo que colecta agua subterránea dentro del campo.

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

Elevación: La distancia vertical hacia un punto arriba de un nivel de referencia.

Escala: Una tècnica frecuentemente usada para contar variaciones espaciales.

Escorrentía: Esa porción del exceso de lluvia que se convierte en flujo superficial.

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

Espacio entre drenes: La distancia horizontal entre las líneas centrales de drenes paralelos adyacentes.

Estado permanente: (1) Una condición en la cual el input de energía es igual al output 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.

Estudio de reconocimiento: Un estudio inicial, exploratorio de las condiciones que afectan un problema existente. Sus resultados deben permitir concebir la extensión del problema para ser analizado y encontrar soluciones en términos generales.

Estudio de factibilidad: Un estudio de los parámetros existentes y futuros de un proyecto de drenaje (u otro proyecto), realizado en tal detalle que una estimación racional de su rentabilidad puede ser realizada.

Estudio de post autorización: Un estudio de diseño detallado que es desarrollado después que un proyecto ha sido aprobado.

Evaluación: La tasación del grado de éxito de un proyecto o proceso planeado, frecuentemente realizado en un momento determinado (p. ej. hasta la completación).

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.

Exceso de Iluvia: Esa parte de la precipitación de una tormenta determinada que cae a intensidades excediendo la capacidad de infiltración del suelo y que está disponible para la escorrentía directa.

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.

Hidrograma: Una gráfica que muestra, para un punto dado, el estado, descarga, velocidad, u otras propiedades del flujo del agua como una función del tiempo.

Hidrograma de descarga: Una gráfica o tabla mostrando la razón del flujo como una función del tiempo en una localidad dada en un arroyo.

Hidrograma unitario: El hidrograma de escorrentía directa resultado de un mm de exceso de lluvia, generado uniformemente sobre un área drenada a un índice constante, durante un período específico de tiempo o duración.

Hidrósfera: Parte líquida u oceánica de la tierra.

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).

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

Isohigras: Representación gráfica (por medio de líneas) de los registros de humedad relativa expresados en porcentaje.

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.

Karst: En general de los fenómenos propios de las regiones calcáreas, consistente en el conjunto de las características topográficas superficiales o subterráneas como simas, conductos y cavernas.

Línea de flujo: Una línea cuya tangente en cualquier punto de un fluido es paralela a la velocidad instantánea del fluido en ese punto, en estado permanente de flujo coincide con la trayectoria de las partículas del fluido.

Limnología: Ciencia del estudio de los lagos.

Litósfera: Parte sólida o tierra firme.

Ley: Regla y norma constante e invariable, que regula los derechos y los deberes mutuos de los ciudadanos.

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

Modelaje: La simulación de algunos fenómenos físicos o abstractos, o sistemas con otros sistemas partidarios de respetar las mismas leyes físicas reales, lógicas y abstractas, en orden de predecir el comportamiento de fenómenos antiguos por experimentación con el último o más reciente.

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.

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 aqua 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.

Pozo de tubo: Un pozo circular que puede ser usado para descargar agua superficial, para controlar los niveles del agua subterránea, o para aliviar presiones hidráulicas, donde las condiciones físicas locales son apropiadas para su uso.

Pozos de observación: Un tubo de diámetro pequeño, por lo menos de 25 mm de diámetro, en el cual la profundidad del nivel freático puede ser observado. Este se realiza en el suelo y es perforado sobre un largo igual a la distancia en que se estima que el nivel freático puede fluctuar.

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.

Propiedades hidráulicas del suelo: Propiedades del perfil del suelo que afectan el flujo del agua (p. ej. Conductividad hidráulica, contenido de agua del suelo, capacidad específica del agua, o difusibilidad), usualmente como una función de la carga hidráulica.

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.

Reconocimiento de drenaje: Un inventario de las condiciones que afectan el drenaje de un área, realizado a diferentes estratos, variando de niveles de reconocimiento hasta de diseño.

Reconocimiento de suelos: La examinación sistemática de suelos en el campo, incluyendo el análisis de laboratorio de muestras específicas, su descripción y su mapeo.

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.

Salida o desfogue: El punto terminal del sistema de drenaje completo, donde este descarga dentro de un elemento mayor de un sistema natural de agua expuesta de la región (p. ej. río, lago o mar).

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

Sistema de drenaje: (1) Un sistema natural de ríos y/o cuerpos de agua por el cual un área es drenada. (2) Un sistema artificial de formación de tierras, drenes superficiales y subterráneos, estructuras relacionadas, y bombas (si hay alguna), por medio de los cuales el exceso de agua es removido de un área.

Sistema de drenaje compuesto: Un sistema de drenaje en el cual los drenes de campo y los colectores están enterrados.

Sistema de drenaje de campo: Una red que reúne el exceso de agua de la tierra a través de drenes de campo, posiblemente suplementado por medidas para promover el flujo del exceso de agua hacia estos drenes.

Sistema de drenaje superficial: Un sistema de medidas de drenaje, tales como canales y formaciones de tierra, con el propósito de desviar los excesos de agua superficial afuera de un área agrícola en orden de prever inundaciones.

Sistema principal de drenaje: Un sistema de transporte de agua que recibe agua de los drenes del sistema de campo, escorrentía, flujo interno, y flujo de agua subterránea, transportando ésta hacia el punto de salida.

Sistemas de drenaje con pozos de tubo: Una red de pozos de tubo para bajar el nivel freático, incluyendo provisiones para correr las bombas, y drenes para descargar los excesos de agua.

Sistemas de drenaje subterráneo: Un sistema hecho por el hombre que induce los excesos de agua y sales a fluir vía el suelo hacia pozos, drenes topo, drenes de tubo, y/o drenes abiertos, de donde ésta puede ser evacuada.

Técnicas de drenaje: Los diversos métodos físicos que han sido concebidos para mejorar el drenaje de un área.

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.

Textura del suelo: La proporción relativa de los varios grupos por tamaño de los granos individuales del suelo en una masa de suelo. Específicamente, ésta se refiere a la proporción de arcilla, limo y arena menor de 2 mm. de diámetro (fracción fina de la tierra).

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.

Y cuando las cañas de maíz volvieron a retoñar, la vieja adivina Ixmucané se alegro mucho, quemó copal delante de las cañas y comenzó la abuela la idolatría: así quedará todo limpio y se podrá sembrar en el Cielo y la Tierra y de esa manera las criaturas que nazcan no tendrán obstáculos, ni existirán éstos cuando nazcan los hombres.

Adaptado del: Popol Vuh.

Esta obra se terminó de imprimir el 05 de Octubre de 1,998, en el Taller de Reproducciones de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Edificio T-9. Primer Nivel, Ciudad Universitaria zona 12.

La edición consta de 300 ejemplares.

