

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO
E/CN.12/CCE/SC.5/72/Add.1
Octubre 1970

ORIGINAL: ESPAÑOL

COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA
COMITE DE COOPERACION ECONOMICA DEL
ISTMO CENTROAMERICANO
SUBCOMITE CENTROAMERICANO DE ELECTRIFICACION
Y RECURSOS HIDRAULICOS

ISTMO CENTROAMERICANO. PROGRAMA DE EVALUACION DE RECURSOS HIDPAULICOS
III. GUATEMALA

Anexo A. Meteorología e hidrología

Informe elaborado para el Subcomité Centroamericano de Electrificación y Recursos Hidráulicos por el señor Alberto R. Martínez, experto de la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas.

Este informe no ha sido aprobado oficialmente por la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas, la que no comparte necesariamente las opiniones aquí expresadas.

INDICE

	<u>Página</u>
Presentación	v
Introducción	vii
Resumen	1
I. Características meteorológicas generales del Istmo Centroamericano	4
1. Principales factores determinantes del clima	4
a) La situación geográfica y el relieve orográfico	4
b) Las corrientes y masas oceánicas	5
c) Los principales sistemas béricos y masas de aire	6
2. Causas meteorológicas de las precipitaciones	7
a) La Zona de Convergencia Intertropical o Frente Intertropical	8
b) Frentes fríos o polares	9
c) Ondas del este u ondas de inestabilidad	10
d) Circulaciones meteorológicas locales	10
e) Huracanes	11
f) Temporales	12
II. Regímenes de las precipitaciones	13
1. Distribución geográfica	13
2. Distribución de la precipitación a lo largo del año	14
III. Hidrografía e hidrología	23
1. Descripción resumida de la hidrografía del país	23
a) Ríos	23
b) Lagos	24
c) Aguas internacionales	25
2. Regímenes hidrológicos e irregularidades de los principales ríos	26
3. Estimación de los recursos hidráulicos superficiales	31
a) Aguas nacionales	32
b) De interés internacional	35

/IV. Factores

	<u>Página</u>
IV. Factores naturales que afectan al uso del agua	36
1. Topografía	36
2. Evaporación y evapotranspiración	37
V. Las redes de observaciones y los organismos que las operan	40
a) Proyecto de ampliación y mejoramiento de los servicios hidrometeorológicos e hidrológicos del Istmo Centroamericano	41
b) El Instituto Nacional de Electrificación (INDE)	41
c) El Observatorio Nacional	43
d) La Municipalidad de Guatemala	44
e) La Dirección General de Aeronáutica Civil	45
f) El Instituto Geográfico Nacional	45
g) Otros organismos	46
h) El Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología	47
VI. Conclusiones y recomendaciones	47
a) Conclusiones	48
b) Recomendaciones	48
Bibliografía	51
Apéndice. Disponibilidades de agua subterránea en Guatemala	53

PRESENTACION

Este trabajo forma parte de la serie de 31 estudios que, bajo la dirección de la Misión Centroamericana de Electrificación y Recursos Hidráulicos de las Naciones Unidas, se ha llevado a cabo durante el período 1968-69 para la evaluación de los diversos problemas que plantea la utilización de las aguas disponibles para usos múltiples en el Istmo Centroamericano.

La serie consta de seis informes sobre los recursos hidráulicos de los países de esa zona (I. Costa Rica; II. El Salvador; III. Guatemala; IV. Honduras; V. Nicaragua, y VI. Panamá), a cada uno de los cuales acompañan cuatro anexos sobre temas específicos (A. Meteorología e hidrología; B. Abastecimiento de agua y desagües; C. Riego, y D. Aspectos legales e institucionales), elaborados por expertos de las Naciones Unidas en las respectivas materias.

Concluye la serie con el estudio regional (VII. Centroamérica y Panamá) donde se sintetiza y articula la información pormenorizada de los estudios anteriores y se incluye un resumen de conclusiones y recomendaciones aplicables al Istmo Centroamericano en conjunto.

INTRODUCCION

En la resolución 99 (VI) aprobada en el sexto período de sesiones de la Comisión Económica para América Latina (Bogotá, 1955) y reiterada en otras posteriores, se encomendó a la secretaría que, con la cooperación de las diferentes agencias especializadas de las Naciones Unidas y de otros organismos internacionales, llevara a cabo "un examen preliminar de la situación relativa a los recursos hidráulicos en América Latina, su aprovechamiento actual y futuro, en lo posible para fines múltiples, tales como energía, regadío y abastecimiento de aguas, defensa contra inundaciones, tomando en cuenta otros factores tales como saneamiento y demás beneficios que deriven de la construcción de las obras correspondientes y del uso del agua".

Una evaluación de los recursos hidráulicos del Istmo Centroamericano fue solicitada asimismo a la CEPAL en agosto de 1966 por los gobiernos de los países de dicha región, a través del Subcomité Centroamericano de Electrificación y Recursos Hidráulicos. El trabajo fue llevado a cabo en distintos períodos, a partir de mayo de 1967.

En este informe se recoge información referente a Guatemala reunida por un experto de la Organización Meteorológica Mundial sobre los aspectos de hidrometeorología e hidrología, que incluye datos desde 1957. El experto efectuó breves visitas al país durante los años de 1967 y 1968.

Un apéndice final sobre aguas subterráneas, preparado por el Sr. J. Roberto Jovel --funcionario del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano de las Naciones Unidas--, incluye datos referentes al estado actual de las investigaciones y a los aspectos hidrogeológicos, además de una estimación de los recursos hídricos del subsuelo.

El autor de este estudio desea expresar su agradecimiento por la ayuda recibida de los organismos visitados, que se citan en el informe, sin la cual hubiera sido más lenta y difícil la labor realizada.

RESUMEN

Guatemala se encuentra en el sector norte del Istmo Centroamericano, entre las latitudes $13^{\circ}40'$ y $18^{\circ}30'$ y entre las longitudes $88^{\circ}00'$ y $92^{\circ}15'$, aproximadamente.

Su clima está determinado por su posición geográfica y su orografía, por la circulación atmosférica manifestada por los sistemas béricos y por masas de aire que se desplazan sobre su territorio después de haber pasado sobre masas y corrientes oceánicas vecinas.

Diversos procesos meteorológicos, detectados frecuentemente en los análisis del tiempo son los que originan finalmente las precipitaciones en el país. Son principalmente la Zona de Convergencia Intertropical o Frente Intertropical; los temporales; las ondas del Este u ondas de inestabilidad; los huracanes; las circulaciones meteorológicas locales y los frentes fríos o polares.

Las precipitaciones anuales medias, entre 500 y 6 000 milímetros, arrojan un promedio para todo el país de 2 180 milímetros. Las regiones más lluviosas corresponden a las cuencas de los ríos San Juan, Ixcán y Xalbal, en los departamentos de Huehuetenango y El Quiché y al departamento de Suchitepéquez. La menos lluviosa está entre las localidades de El Progreso, Zacapa, Chiquimula y Jalapa.

En gran parte del país las precipitaciones presentan una época lluviosa y otra seca. En el semestre de mayo a octubre cae entre el 59 y el 98 por ciento del total anual, correspondiendo el menor porcentaje a la zona de Puerto Barrios y el mayor a la costa del Pacífico. Los coeficientes de variación de las precipitaciones anuales están comprendidos entre 10 y 18, pero el límite superior podría ser mayor por no haber incluido la totalidad del país las estaciones consideradas.

Los ríos pueden ser agrupados en dos grandes vertientes: la del Atlántico, o mar Caribe, y la del Pacífico. La primera representa el 82.3 por ciento (incluye Belice) de la superficie del país y la segunda el 17.7 por ciento. Por sus caudales los principales ríos son: Usumacinta-Salinas; Motagua; Sarstún; Polochic-Dulce; Suchiate; Madre Vieja; María Linda; Los Esclavos y Paz. Todos presentan un período de grandes caudales de

/mayo a

mayo a noviembre y uno de aguas bajas de diciembre a abril. Los meses de mayores caudales son septiembre y, en algunos casos, octubre. En el semestre de junio a noviembre fluye entre el 60 y el 90 por ciento del escurrimiento anual, según los ríos. Los coeficientes de irregularidad varían entre 0.10 y 0.39.

La medición de los recursos hidráulicos superficiales alcanzaba a principios de 1968, el 8 por ciento de la superficie del país, pero se efectuó una primera estimación de su totalidad. El agua caída anualmente sobre el territorio es $286\ 868 \times 10^6 \text{ m}^3$, de los cuales escurren $116\ 596 \times 10^6 \text{ m}^3$ equivalentes a un caudal de $3\ 693.8 \text{ m}^3/\text{s}$. De estos, $2\ 743.7 \text{ m}^3/\text{s}$ se dirigen al Atlántico y 950.1 al Pacífico.

La disponibilidad de agua anual distribuida, según la población de 1968, era de $24\ 531 \text{ m}^3$ por habitante o sea 0.777 l/s/hab .

El relieve favorece o perjudica, según los usos, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y por eso se señalan algunas de sus características.

La región de mayor relieve corresponde al oeste del país, a los departamentos de Huehuetenango, San Marcos y Quezaltenango. Las partes más llanas están en el Petén, en la planicie costera del Pacífico y en los valles de los ríos Motagua y Sarstún. El 51.4 por ciento del territorio nacional tiene alturas inferiores a 305 metros, y el 61.6, inferiores a 610 metros.

Por el proceso de evapotranspiración se pierde una parte importante de los recursos hidráulicos. La evapotranspiración potencial estimada por medio de la fórmula de Blaney-Criddle modificada, indica que en más del 50 por ciento del país, que comprende las zonas más bajas, es superior a 2 000 milímetros al año. En las partes más altas es inferior a 1 400 milímetros, variando en el resto en razón inversa a la altura. La evapotranspiración real es inferior y depende de la disponibilidad de agua de los suelos y plantas a lo largo del año.

Los principales organismos dedicados a las mediciones y estudios de meteorología e hidrología son el Instituto Nacional de Electrificación (INDE);

el Observatorio Nacional; la Municipalidad de Guatemala; la Dirección General de Aeronáutica Civil y el Instituto Geográfico Nacional. El Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología coordina y orienta esas disciplinas.

La situación institucional actual sugiere la conveniencia de concentrar las actividades meteorológicas e hidrológicas en el menor número de organismos, y de ser posible en uno solo.

I. CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS GENERALES DEL ISTMO CENTROAMERICANO

1. Principales factores determinantes del clima

Diversos factores geográficos, oceanográficos y meteorológicos contribuyen a formar el clima de Centroamérica.

Prescindiendo de los factores de orden general que determinan el clima en cualquier lugar del planeta, se consideran en este trabajo los que directamente se encuentran vinculados al de la región.

a) La situación geográfica y el relieve orográfico

Las repúblicas de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, están ubicadas en el hemisferio norte, entre el ecuador y el trópico de Cáncer, entre las latitudes $7^{\circ}13'$ y $18^{\circ}30'$ y las longitudes $77^{\circ}08'$ y $91^{\circ}26'$.

Su territorio está cruzado por una serie de cadenas montañosas o serranías que modifican las condiciones generales del clima tropical y establecen zonas con características locales, es decir, se observa variación de los parámetros climáticos a cortas distancias. Aquéllas favorecen en gran medida también la formación de circulaciones locales.

Los principales sistemas orográficos son:

Cordillera Volcánica de Guanacaste, Cordillera Volcánica Central y Cordillera de Talamanca, en Costa Rica;

Santa Ana, San Miguel, San Salvador y San Vicente, en El Salvador;

Sierra Madre o Cordillera de los Andes, Chuacus, Las Minas, Cuchumatanes y Santa Cruz, en Guatemala;

Merendón, Pacayas, Opalaca, Guajiquiro, Comayagua, Xicaque, Nombre de Dios, Pijol, Almendares, El Chile, Villa Santa, Agalta, Esperanza y San Pablo, en Honduras;

Isabella, Darién, Huapí y los Marrabios, en Nicaragua;

Talamanca, Playita, Tabasará, San Blas y Darién, en Panamá.

Dicho relieve, además de afectar al régimen térmico, produciendo disminución de temperatura con la altura, afecta a la circulación atmosférica de la región y modifica el régimen pluviométrico general.

A modo de ejemplo se pueden comprobar, en cada país centroamericano, en algunos lugares cercanos entre sí, diferencias entre las temperaturas medias anuales debidas a la altura:

Costa Rica: San José a 1 172 m, 20.4°C; Puntarenas a 3 m, 28.5°C.

El Salvador: Santa Tecla a 955 m, 20.9°C; Acajutla a 5 m, 26.8°C.

Guatemala: Observatorio Nacional a 1 502 m, 18.2°C; Chiquimula a 424 m, 26.3°C.

Honduras: La Esperanza, Intibucá a 1 980 m, 17.7°C; Comayagua a 578 m, 24.2°C.

Nicaragua: Los Robles a 990 m, 18.6°C; San Francisco del Carnicero a 50 m, 28.6°C.

Panamá: Cerro Punta a 1 859 m, 13.7°C; Altos de Balboa a 60 m, 26.8°C.

Los sistemas orográficos alteran asimismo las precipitaciones, produciendo fuertes variaciones entre zonas vecinas, comparadas con el resto de cada país, como sucede en Puerto Golfito, provincia de Puntarenas, en Costa Rica; Volacán y Santa Ana, en El Salvador; Suchitepéquez y Huehuetenango, en Guatemala; Lago Yojoa y la costa atlántica, en Honduras; San Juan del Norte, en Nicaragua; Cuenca del río Chiriquí Viejo, en Panamá.

b) Las corrientes y masas oceánicas

El conjunto de países continentales centroamericanos está rodeando en su mayor parte por grandes masas oceánicas que llegan totalmente de regiones continentales importantes.

Las corrientes oceánicas que fluyen a lo largo de las costas de Centroamérica ayudan a conformar el clima de la región por el intercambio de calor y humedad que tiene lugar con las circulaciones atmosféricas que pasan sobre ellas.

En el Océano Atlántico, la Corriente Ecuatorial Norte se une a una rama de la Corriente Ecuatorial Sur que atraviesa el ecuador y las aguas de ambas, luego de desplazarse a lo largo de la costa norte de Sudamérica, penetran en el mar Caribe a través de las islas de Sotavento y Barlovento, aunque parte corre a lo largo de la costa norte de las Grandes Antillas.

/La parte que

La parte que penetra en el Caribe fluye por dicho mar y sale por el estrecho de Yucatán, para pasar más tarde por el estrecho de Florida y convertirse en la Corriente del Golfo. Es importante para Centroamérica la circulación de tipo remolino que se produce entre esta gran corriente y las costas de Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia. En el Golfo de México también se forman otros remolinos.

Se debe señalar la alta temperatura de estas aguas así como su elevada salinidad.

En el Océano Pacífico, la corriente más importante es la Corriente Costanera de Costa Rica que se desplaza a lo largo de la costa oeste de Centroamérica con dirección principalmente noroeste, llegando hasta Cabo Corrientes en junio-julio y solamente a los 9° - 12° en enero-marzo, para luego dirigirse al oeste y formar parte de la Corriente Ecuatorial del Norte.

La Corriente Costanera de Costa Rica se forma en su mayor tiempo con las aguas de la Contracorriente Ecuatorial, corriente ésta cuyo desarrollo está vinculado con la posición de la convergencia intertropical.

c) Los principales sistemas béricos y masas de aire

El anticiclón semipermanente del Atlántico Norte, a veces llamado también alta de las Bermudas, extiende su influencia hasta Centroamérica y Panamá en forma notoria.

Su posición, forma e intensidad son variables de acuerdo principalmente con las estaciones del año, y su ubicación es más al sur en el invierno de ese hemisferio y más al norte en el verano.

Desde este anticiclón se generan los vientos alisios que en las capas bajas de la atmósfera llegan, con dirección prevalente del noroeste, al Golfo de México, el Caribe, Centroamérica y Panamá. Estos vientos se manifiestan en múltiples situaciones sinópticas con intensidad variada que dependen de estas últimas y de la época del año.

Se puede citar que la disminución de lluvias en agosto y a veces en julio, que se conoce con el nombre de "Canícula" o "El Veranillo de San Juan", es atribuido al fortalecimiento del anticiclón semipermanente de las Bermudas, que genera un movimiento general de subsidencia y el consiguiente calentamiento de la tropósfera que dificulta el desarrollo de sistemas convectivos de nubes.

/Las masas

Las masas de aire tropical que normalmente cubren la región son calientes y húmedas y generalmente condicionalmente inestables y los procesos dinámicos con que fácilmente liberan su humedad como precipitación, son ascenso producido por convergencia, calentamiento desde la superficie o ascenso favorecido por la topografía. Cualquiera de los tres procesos sería suficiente pero normalmente éstos se producen combinados.

También llegan a Centroamérica masas de aire polar bastante modificadas a causa del largo recorrido que han debido efectuar para alcanzar la región. Si este ha sido sobre el Golfo de México adquieren mayor temperatura y humedad, pero si en cambio se han desplazado sobre la meseta mexicana conservan bastante sus características originales. La invasión de este aire, asociado con el desplazamiento frontal, es conocido como "Nortes" y aparece desde la segunda quincena de octubre hasta febrero. Produce descenso en la temperatura y precipitaciones.

Estas interrupciones de aire son responsables de las temperaturas mínimas absolutas y de las heladas excepcionales que se producen en las más altas tierras en algunas partes de América Central afectando cultivos como el café. En las más altas montañas de Guatemala y Costa Rica se han observado temperaturas un poco más bajas de cero grados ^{(1)*} En el año 1956 en el valle de Los Naranjos en el departamento de Sonsonate de El Salvador se registraron, por tres noches consecutivas, temperaturas mínimas de -4°C .

En las zonas montañosas da origen a nubosidad espesa más bien estratiforme con precipitaciones durante varios días.

2. Causas meteorológicas de las precipitaciones

Las masas de aire, portadoras de la humedad, necesitan de los mecanismos dinámicos para producir la precipitación, o sea que cualquier tipo de precipitación solamente es posible cuando se aporta suficiente humedad al proceso dinámico capaz de producir lluvia. Cuando la humedad es insuficiente, o cuando el proceso dinámico productor no es lo necesariamente vigoroso, solamente se formarán sistemas nubosos y la precipitación no ocurrirá.

* Las cifras entre paréntesis que aparecen en el texto remiten a la bibliografía que figura al final del estudio.

Aunque mucho es lo que falta conocer sobre las precipitaciones en América Central y Panamá, es oportuno citar algunos procesos de tipo frecuente que sin ser conocidos exhaustivamente pueden ser detectados en los mapas sinópticos con relativa facilidad.

Se debe señalar que más del 90 por ciento del vapor de agua que existe en la atmósfera en la región de Centroamérica, se encuentra bajo la superficie imaginaria de los 600 milibares que, de acuerdo con esa zona, está a una altura de unos 4 500 metros aproximadamente. Según esto, casi todo el transporte de humedad se lleva a cabo en las capas bajas de la atmósfera donde los vientos alisios constituyen la principal circulación de tipo general.

A continuación se describen someramente los principales y aunque se consideran como hechos aislados no se descarta la posibilidad de que algunos puedan ocurrir concomitantemente.

a) La Zona de Convergencia Intertropical o Frente Intertropical

La zona de convergencia intertropical, conocida muy comúnmente por su sigla ITCZ o ITC, es una zona en forma de banda ondulada, orientada principalmente de este a oeste, a lo largo de la que se produce el encuentro de las grandes corrientes de vientos alisios de ambos hemisferios. Esta zona no se localiza en una región geográfica fija; experimenta una variación estacional al mismo tiempo que modifica su comportamiento. En pocas palabras se puede decir que la ITCZ se desplaza hacia el norte durante el verano del hemisferio norte y hacia el sur en el invierno. Este desplazamiento no es uniforme, presentando oscilaciones alrededor de una región de predominio que van acompañadas por manifestaciones de mayores o menores actividades o perturbaciones atmosféricas (lluvias, tormentas eléctricas, turbulencias, etc.). Acompaña al sol en su movimiento anual con una inercia de dos a tres meses.

En la parte relativa a Centroamérica, este desplazamiento alcanza posiciones extremas hacia el sur en los meses de diciembre a febrero, pudiendo llegar hasta 2° o 3° N. Las posiciones extremas norte pueden alcanzar hasta los 16° a 18° N, que ocurren en los meses de julio a septiembre, aunque su desplazamiento normal no es tan al norte y llega desde los 10° a 12° N.

En forma excepcional puede alcanzar la parte sur del golfo de México.

Los fenómenos de la ITC se manifiestan principalmente en un ancho de unos 50 km, en los que se observan fuertes precipitaciones asociadas a sistemas nubosos compuestos por varias capas o filas de nubes de distintos tipos: cumulonimbus, cúmulos potentes, altoestratos, estratocúmulos, nimbostratos, etc. Es de señalar que en casos de fuerte convergencia, la franja de actividad puede ensancharse a unos 200 km.

La actividad de las nubes y fenómenos asociados como lluvias, turbulencia, vientos, etc., varía de día a día y también según las horas del mismo.

Se observa mayor actividad en las horas de la tarde y menor en las primeras de la mañana.

Los cumulonimbus, y cúmulos potentes aparecen en líneas y sus cimas se extienden hasta los 4 000 metros o más, pudiendo con facilidad encontrar cumulonimbus que superan los 10 000 metros. Los altoestratos se disponen en capas a alturas que varían entre 3 000 y 6 000 metros.

Aunque no hay estudios sobre el porcentaje de precipitación que está asociado con la zona de convergencia intertropical, puede decirse que una gran parte es atribuible a ésta.

b) Frentes fríos o polares

Los frentes fríos que aparecen en América del Norte se desplazan hacia el sur sobre los Estados Unidos de América, luego sobre México y el Golfo del mismo nombre y finalmente alcanzan a América Central.

Después de tan largo recorrido, estos han perdido gran parte de su empuje y de sus principales características, pero su presencia sobre América Central es importante.

Los desplazamientos observados más al sur llegan hasta Nicaragua, aunque en situaciones extraordinarias los efectos parecen haberse detectado aún más al sur, (2,3); su acción es más frecuente hasta Guatemala y Honduras.

Su aparición se observa en promedio desde la segunda quincena de octubre y pueden tener lugar hasta febrero, según las zonas. A los efectos

de la precipitación, su acción es de lluvias, en general, aisladas y ligeras, que aumentan en las zonas montañosas. Después del pasaje frontal se aprecia la invasión de los "Nortes" que es aire más fresco, cuyo contenido de humedad puede ser alto si su trayectoria ha pasado sobre el Golfo de México.

La influencia frontal es más evidente en las regiones del este de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

El porcentaje de lluvias atribuibles a la acción frontal no ha sido determinado, pero parece ser pequeño, puesto que en los meses en que su frecuencia es mayor las precipitaciones son reducidas.

Los frentes fríos sobre la vertiente del Pacífico tienen poco o ningún efecto debido al efecto de descenso que sufren las masas de aire después de pasar las montañas (efecto foehn o catabático) en su movimiento general hacia el sur.

c) Ondas del este u ondas de inestabilidad

Se denomina así a ondas que se presentan en la corriente de los alisios del noroeste sobre el Caribe y que se desplazan hacia el oeste. Producen lluvias intensas a su paso (4).

Revisten gran importancia cuando se hacen estacionarias y su parte sur se asocia a la zona de convergencia intertropical. En la región de Honduras se forman los temporales que se mantienen por unos tres días (en casos excepcionales llegan a una semana) produciendo lluvias intensas en una gran área.

d) Circulaciones meteorológicas locales

Las circulaciones locales constituyen importantes procesos en la evolución del tiempo en el Istmo Centroamericano. Se desarrollan a causa de la débil circulación general de la atmósfera que es característica de toda la región. Los fenómenos que aparecen se originan, desarrollan y desaparecen en decenas de kilómetros cuadrados y su evolución se produce en algunas horas, normalmente, en el ciclo del día; muy excepcionalmente pueden tener mayor duración; se producen periódicamente.

La variación diaria de temperatura es superior a la anual, y el rápido calentamiento durante el día, así como el enfriamiento nocturno, generan las circulaciones locales que se manifiestan diariamente.

La brisa marina es uno de esos procesos que se origina todas las tardes a lo largo de las costas, cuya influencia se observa hasta decenas de kilómetros tierra adentro.

Conviene destacar que el Istmo Centroamericano es relativamente angosto y por lo tanto este proceso comprende un buen porcentaje de su superficie.

En El Salvador, por ejemplo, esta circulación favorece la formación de chaparrones en las horas de la tarde y primeras de la noche. Fenómenos parecidos deben ocurrir en otras zonas, donde además la topografía favorece la formación de corrientes ascendentes proveyendo de abundante humedad hacia más altos niveles.

Son conocidas también las brisas de valle y de montaña generadas por el calentamiento y enfriamiento diarios del terreno. Por sus características se producen en regiones de relieve accidentado como lo es una gran parte del Istmo.

e) Huracanes^{1/}

Los huracanes que ocurren en el mar Caribe y el Golfo de México, afectan en sus recorridos algunas partes del Istmo Centroamericano, especialmente la zona de Guatemala, Honduras y noreste de Nicaragua.

En el Pacífico no se producen huracanes que afecten a Centroamérica, aunque ocasionalmente han atravesado el Istmo para volver a formarse en el Caribe o en el Golfo de México.

Para tener una idea de su frecuencia se puede decir, por ejemplo, que en la costa norte de Honduras pueden presentarse dos cada 30 años. Su época de ocurrencia es de mayo a noviembre, pero son más frecuentes en septiembre, mes en el que durante los últimos 75 años se ha producido el 36 por ciento. Los otros meses de más frecuencia son octubre y agosto, con 22 por ciento.

^{1/} Se denomina huracán a un centro de baja presión o ciclón tropical en el que se desarrollan fuertes vientos con velocidades superiores a 118 km/h. Otros tipos de ciclones tropicales, menos intensos, toman las denominaciones de depresiones y tempestades tropicales.

Aunque el fenómeno es altamente destructivo por las grandes velocidades de los vientos que se desarrollan y por las grandes precipitaciones, su reducida frecuencia y su relativa corta duración hacen que las lluvias que originan en poco puedan alterar los promedios de un lugar, pero deben ser tenidos en cuenta, en lo que se refiere a precipitaciones máximas de una cuenca, para el cálculo de máximas crecidas de los ríos.

f) Temporales

Los temporales son fenómenos meteorológicos, que producen importantes lluvias de larga duración, caracterizados por grandes extensiones nubosas principalmente del tipo estratiforme, sin descargas eléctricas de importancia, que tienen lugar en Centroamérica y mares vecinos. Están formados por extensas (desde miles de decenas de miles de km^2) y espesas capas de nimboestratos y altoestratos atravesadas por células convectivas de carácter local, formadas por cúmulos congestus o cumulonimbus con lluvias persistentes de moderada intensidad que pueden durar desde unas 30 horas a 5 días, pero con duración media de 2 a 3 días. Dentro del período, más o menos largo, se presentan chubascos de alta intensidad. Sus épocas de mayor ocurrencia son en septiembre y octubre, aunque también se presentan en junio o noviembre, es raro que ocurran en julio y agosto. En Costa Rica se observan con más frecuencia entre octubre y enero.

Tienen gran importancia por los grandes destrozos que acusan, debido a las crecidas de los ríos, deslizamientos de tierra, inundaciones, etc.

Este proceso, donde ocurre, puede ser responsable de un 15 por ciento de la precipitación media anual y en casos extremos llega a producir unos 250 mm en 24 horas.

Se ha vinculado la frecuencia de los temporales con los desplazamientos estacionales de la zona de convergencia intertropical.

II. REGIMENES DE LAS PRECIPITACIONES^{2/}

1. Distribución geográfica (5)

Las precipitaciones en Guatemala se producen en forma de lluvias en muy alto porcentaje. Aunque no es posible calcularlo, por el momento, se puede decir que las precipitaciones en forma de nieve ocurren solamente en forma ocasional en los más altos picos y, por lo tanto, el área es muy pequeña. Por otra parte, el período más frío del año coincide en todo el país con la época de precipitaciones menores o época seca.

El granizo es raro y por la característica del fenómeno ocurre en zonas reducidas, siendo su frecuencia mayor en los meses de marzo y abril.

Las precipitaciones anuales medias presentan características singulares en su distribución geográfica y varían entre 500 y 6 000 milímetros.

Una banda de altas precipitaciones de más de 3 000 mm se extiende de Este a Oeste, aproximadamente desde la Bahía de Amatique por sobre la Sierra de Santa Cruz, cuenca del río Cobán, hasta las cuencas de los ríos Ixcán, Xalbal y San Juan en los departamentos de Huehuetenango y El Quiché.

Otra banda, también de altas precipitaciones, paralela a la anterior se halla más al sur, estando su núcleo de 3 000 mm ubicado sobre la vertiente del Pacífico desde la frontera con México casi hasta el lago de Amatitlán y entre la divisoria continental de aguas y la carretera que pasa por Escuintla, Mazatenango y Coatepeque (6).

Entre ambas bandas queda definida una zona de precipitaciones inferiores a 1 000 mm que abarca una buena parte de la cuenca superior del río Motagua, casi todas las cuencas de los ríos que van al lago de Güija, las nacientes del río Chixoy y varios afluentes que luego forman el Grijalba.

Dentro de la primera banda citada de altas precipitaciones hay varios centros de más de 4 000 milímetros. El mayor de ellos, de 6 000 mm, está ubicado sobre el río San Juan, afluente del Lacantum, en la divisoria de los departamentos de Huehuetenango y El Quiché. Este es el lugar de mayor

^{2/} Véase la lámina 3 del informe general.

precipitación anual del país. Un centro de 4 000 mm se ubica sobre el río Cobán y otro en las costas de la bahía de Amatique.

En la banda de río más al sur hay un centro de 4 000 mm en el Departamento de San Marcos, uno de 5 000 al noroeste de Mazatenango y otro de 4 000 al noroeste de Escuintla.

El lugar con menores precipitaciones anuales del país se localiza en una zona comprendida entre las localidades de El Progreso, Zacapa, Chiquimula y Jalapa, o sea en la cuenca del río Motagua. En ella hay lugares con menos de 500 milímetros.

2. Distribución de la precipitación a lo largo del año

Gran parte del país, especialmente la más poblada, se caracteriza por una marcada estacionalidad de las lluvias a lo largo del año, que se acostumbra llamar la época lluviosa para diferenciarla de la que llaman seca. Hay zonas en las que llueve todo el año aunque en algunos meses sean bastante mayores que en el resto.

Con propósitos de comparación se han calculado los porcentajes de las lluvias ocurridas de mayo a octubre con respecto al total de las caídas en todo el año. Varían desde un 59 por ciento en Puerto Barrios hasta un 98 por ciento en las localidades de Zacapa y Chiquimula.

Aunque los registros disponibles no tienen aún la antigüedad necesaria para proporcionar porcentajes más estables, y además faltan en algunas zonas, como en el Petén, ya se puede apreciar una cierta distribución regional de aquéllos.

La zona costera que rodea el golfo de Amatique es la que tiene menores valores de ese porcentaje aumentando en forma más o menos progresiva hacia el interior del país. Belice tiene 62 por ciento y Puerto Barrios 59 y son los más bajos.

La región con porcentajes más altos está localizada en el triángulo formado por las carreteras de Puerto Barrios a Guatemala y la interamericana a San Salvador y la frontera con Honduras y El Salvador, donde en varios lugares se registra 98 por ciento. (Véase el cuadro 1.) La vertiente del Pacífico es igualmente una zona de gran estacionalidad y en casi toda ella los valores son mayores de 90 por ciento.

Cuadro 1

GUATEMALA: PRECIPITACIONES MENSUALES Y ANUALES Y COEFICIENTES MENSUALES
DE VARIACION, EN ESTACIONES SELECCIONADAS

(Milímetros)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por ciento
<u>Puerto Barrios (15° 43' 88° 36')</u>															
Promedios	292	112	156	213	269	346	494	404	305	324	418	307	3 634	2 142	59
Valores máximos	609	211	321	448	724	670	741	661	454	673	581	812	4 522		
Valores mínimos	75	53	71	19	47	193	294	229	152	114	193	100	2 814		
Desviaciones estándar	163	46	80	140	184	152	121	140	111	157	118	196	519		
Coefficiente de variación ^{a/}	56	41	51	66	69	44	25	35	36	48	28	64	14		
Años de observación	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	9	10	9		
<u>Bananera (15° 28' 88° 49')</u>															
Promedios	133	52	75	82	104	216	243	204	196	216	199	130	1 773	1 179	66
Valores máximos	382	86	149	250	191	371	547	300	320	312	326	230	2 043		
Valores Mínimos	7	22	-	5	18	36	117	127	74	97	104	62	1 410		
Desviaciones estándar	100	23	49	78	48	84	110	54	75	76	67	51	226		
Coefficiente de variación ^{a/}	76	44	65	95	46	39	45	26	38	35	34	39	13		
Años de observación	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	9	10	9		
<u>El Pilar (15° 18' 88° 57')</u>															
Promedios	134	59	100	101	113	288	311	246	292	226	192	133	2 211	1 476	67
Valores máximos	303	129	194	220	193	439	500	390	488	321	279	305	2 795		
Valores mínimos	42	13	40	4	50	59	196	152	160	126	86	68	1 848		
Desviaciones estándar	74	37	56	85	51	113	86	60	93	57	67	68	318		
Coefficiente de variación ^{a/}	55	63	56	84	45	39	28	24	32	25	35	51	14		
Años de observación	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	11		

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por ciento
<u>Belice (17° 31' 88° 11')</u>															
Promedios	97	84	49	73	19	171	179	217	117	365	221	119	1 711	1 068	62
<u>Flores (Petén) (16° 55' 89° 53')</u>															
Promedios	50	36	45	179	240	249	240	214	362	204	88	100	2 007	1 509	75
Años de observación	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
<u>Cobán (15° 25' 90° 22')</u>															
Promedios	109	86	81	110	152	318	296	218	299	303	211	186	2 368	1 586	67
Años de observación	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
<u>Salamá (15° 06' 90° 19')</u>															
Promedios	20	6	15	24	71	284	134	75	102	74	34	13	850	740	87
Años de observación	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
<u>Zacapa (14° 50' 89° 31')</u>															
Promedios	-	-	2	3	42	116	82	59	106	55	5	1	471	460	98
Años de observación	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26		
<u>Quezaltenango (14° 50' 91° 31')</u>															
Promedios	1	2	1	11	30	136	234	167	230	91	11	3	917	888	97
Años de observación	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22		
<u>Chiquimula (19° 47' 89° 32')</u>															
Promedios	1	-	2	5	39	123	94	96	123	53	4	1	541	528	98
Años de observación	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26		
<u>Chimaltenango (14° 39' 90° 49')</u>															
Promedios	7	8	5	101	132	298	268	238	312	96	124	-	1 589	1 344	85
Años de observación	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		

Cuadro 1 (Conclusión)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por ciento
<u>Mazatenango (14° 32' 91° 30')</u>															
Promedios	6	8	33	94	350	484	365	413	505	487	136	26	2 907	2 604	90
Años de observación	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26		
<u>Escuintla (14° 18' 90° 47')</u>															
Promedios	2	51	44	160	370	520	314	349	608	616	113	10	3 157	2 777	88
Años de observación	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		

a/ Se subrayan los coeficientes máximos y mínimos.

La región del Petén, aunque dispone de poca información, parece recibir de mayo a octubre más del 70 por ciento de las lluvias anuales.

En la época lluviosa se observan dos máximos mensuales que ocurren con mayor frecuencia en junio, julio, septiembre y octubre. Conviene señalar sin embargo que el máximo maximarum se presenta más a menudo en septiembre y octubre en la parte baja de la vertiente del Pacífico, en los departamentos de Chiquimula y Jalapa y en el Petén. En el resto del país de preferencia ocurre en junio o julio.

El promedio mensual más alto se observa, entre los lugares considerados, en el Porvenir, en el mes de junio, con 708 mm, en un registro de 14 años.

Los menores valores mensuales medios aparecen en todo el país, de enero a marzo, siendo febrero el mes en que son más frecuentes. Los más bajos se registran en Zacapa y Chiquimula que están en la zona de menores precipitaciones anuales del país. (7,8)

Variabilidad de las lluvias

Uno de los registros continuos de precipitación más antiguos es el de El Potrero en el municipio de Ciudad Vieja, en el departamento de Sacatepéquez, que tiene observaciones desde 1910. Para esta estación se calculó el promedio anual a base del registro de 57 años y se obtuvieron 919 milímetros. Con el objeto de apreciar las diferencias que podían resultar de disponer de un registro corto, tomando el total como base de compensación, se calcularon los promedios decádicos correlativos. Para la década 1910-19 resultó 833; para 1920-29, 882; para 1930-39, 919; para 1940-49, 956 y para 1950-59, 953 milímetros.

Para el decenio menor, la diferencia representa el 9.4 por ciento, y para el más alto, el 4.0 por ciento.

Al considerar los años individualmente, estas desviaciones llegan al 48.6 por ciento para el año menos lluvioso y al 65.3 por ciento para el más lluvioso.

Puede verse que las diferencias con los decenios no son grandes.

Como una primera medida de las variaciones que experimentan las lluvias de un año a otro en lapsos iguales se han calculado las desviaciones

estándar y los coeficientes de variación de los valores mensuales y anuales. Estas variaciones de las precipitaciones, así como su distribución a lo largo del año, permiten apreciar su posible utilidad a fines diversos.

a) Variabilidad anual

Los coeficientes de variación calculados para los valores anuales están comprendidos entre 10 y 18 para las estaciones consideradas. (Véase de nuevo el cuadro 1.) Puesto que éstas son solamente siete, y no se encuentran distribuidas en todas las regiones características del país, cabe esperar que en una comparación con otras estaciones puedan aparecer valores más altos, con preferencia en las zonas más áridas. La mayor desviación estándar es de 580 milímetros obtenida en El Porvenir, que representa un coeficiente de variación de 14 por ciento.

La menor desviación estándar se registró en la estación Aztec (Izabal) con 22 milímetros, o sea un coeficiente de variación de 10 por ciento, el más bajo de los calculados.

b) Variabilidades mensuales

Los valores de las desviaciones estándar y de los coeficientes de variación obtenidos para las siete estaciones anteriormente citadas no permiten señalar intervalos más o menos definitivos entre los que varían, sobre todo teniendo en cuenta que los valores mensuales en climas como los de Guatemala pueden tener gran amplitud.

Los resultados obtenidos en estos pocos lugares dan como menor valor de los coeficientes de variación 18 por ciento en el mes de junio en El Porvenir (véase el cuadro 2), y como más alto 211, en febrero, en Las Delicias. El período en que aparecen los menores coeficientes es en junio y julio y los mayores, de febrero a mayo.

Aunque los promedios mensuales de la precipitación son muy importantes para apreciar las posibilidades de su aprovechamiento, también es preciso conocer cómo se distribuyen los totales mensuales individuales alrededor del promedio.

Quadro 2

GUATEMALA: FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE TOTALES MENSUALES DE LLUVIA EN EL POTRERO, SACATEPEQUEZ (14° 31' - 30° 45') a/

Entornos (mm)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O ^{b/}	N ^{b/}	D ^{b/}	Total de casos
<u>Total</u>													693
0 - 25	58	56	57	46	2		2	1		2	47	54	325
26 - 50		1		7	13		2	2		7	5	3	40
51 - 75		1		3	6		8	11	1	8	3		41
76 - 100			1	2	8	3	8	9	5	10			46
101 - 125					13	5	9	4	9	7	2		49
126 - 150					7	5	5	11	6	7			41
151 - 175					2	12	5	9	9	6			43
176 - 200					3	3	8	3	3	2			22
201 - 225					3	6	4	2	6	2			23
226 - 250						3	1	5	3	1			13
251 - 275					1	7	3	1	4	1			17
276 - 300						6	2		3	1			12
301 - 325						2			4	1			7
326 - 350						3			2				5
351 - 375						1				1			2
376 - 400							1		1	1			3
401 - 425						2							2
426 - 450									1				1
451 - 475									1				1

Fuente: Observatorio Nacional.

a/ Período 1910-67.

b/ Hasta 1966.

Para la estación El Potrero se ha efectuado la distribución de frecuencia de esos totales agrupados en entornos de 25 milímetros a los que se ha sobrepuesto el histograma de precipitación del lugar. (Véase de nuevo el cuadro 2.)

De los 693 meses considerados, en 325 la lluvia fue inferior a 25 mm, ocurriendo la mayoría de éstos de noviembre a abril; sin embargo, algunos casos se producen en mayo (2), julio (2), agosto (1) y octubre (2); es decir, que únicamente en junio y septiembre no hay casos con menos de 25 mm mensuales. En 65 meses, los totales superaron al mes más lluvioso y se presentaron de mayo a octubre.

Llama la atención el hecho de que incluso en los meses más lluviosos (o sea de mayo a octubre) ocurran con frecuencia totales bajos que pueden afectar a la agricultura (10).

III. HIDROGRAFIA E HIDROLOGIA^{3/}

1. Descripción resumida de la hidrografía del país

Desde un punto de vista muy general los ríos de Guatemala pueden clasificarse en dos grandes grupos, los de la vertiente del Pacífico y los de la vertiente del Atlántico. Esta última admite una primera subdivisión que facilita el estudio de la hidrografía, la del golfo de Honduras o mar de las Antillas, y la del Golfo de México (9).

El magna divortium aquarum se encuentra cerca del pueblo Encuentro, en el departamento de Sololá, punto desde el que se desprende hacia el norte de la Sierra Madre o Cordillera de los Andes un cordón que se une con la Sierra Chuacús. Desde este punto las aguas se trifurcan hacia el Pacífico, el golfo de Honduras y el de México.

De los 131 800 kilómetros cuadrados que aproximadamente constituyen la superficie del país, unos 23 380 pertenecen a la vertiente del Pacífico, 55 510 a la del golfo de Honduras (en ellos se incluyen los 22 900 kilómetros cuadrados de Belice) y 52 910 a la del golfo de México. La vertiente del Atlántico tiene por lo tanto una extensión de 108 420 kilómetros².

a) Ríos

Los ríos de la vertiente del Pacífico tienen sus nacientes en la Sierra Madre, son de corto recorrido, con fuertes pendientes al descender del Altiplano Central en la primera mitad de dicho recorrido, y sus cursos están orientados en líneas generales perpendicularmente a la costa donde desembocan. Sus cauces son inestables y sus regímenes muy variables, con alto contenido de material de arrastre por provenir de zonas desforestadas y sometidas a cultivos temporales. Entre los principales ríos de esta vertiente se pueden mencionar el Suchiate, el Naranjo, el Samalá, el Sis, el Nahualate, el río Madre Vieja, el Coyolate, el Guacalate, el Achiguate, el de Los Esclavos y el de Paz. La vertiente del golfo de Honduras o Mar de las Antillas tiene ríos de bastante mayor longitud que los de la del Pacífico, de menor pendiente media y de caudales más regulares.

^{3/} Véase la lámina 1 del informe general.

La vertiente del Golfo de México tiene como principal colector el río Usumacinta, ya que su cuenca llega a 47 330 kilómetros cuadrados, o sea el 89.5 por ciento de esa vertiente.

El río más importante del país, por su extensión y por su caudal, es el Usumacinta. Se estima el caudal en 1 260 metros cúbicos por segundo hasta la confluencia con el río Lacantún. En sus nacientes, en el municipio de Malacatancito, recibe el nombre de Chixoy o Negro, que luego cambia por el de Salinas, tomando finalmente el de Usumacinta después de afluirle el río de la Pasión. El Usumacinta, así como el Salinas, forman parte de la frontera con México. Sus afluentes principales son el Lacantún, que a su vez recibe el aporte de ríos menores como el Ixcán y el Xalbal que bajan del flanco norte del sistema de los Cuchumatanes para luego entrar en territorio mexicano, y el San Pedro, que drena la parte norte del Petén. La navegación es practicable por el Usumacinta y el río de la Pasión en unos 460 kilómetros.

Otro río de importancia es el Motagua, en la vertiente del golfo de Honduras, el de mayor recorrido dentro del territorio nacional. Fluye en una dirección general de oeste a este, teniendo sus nacientes entre la Sierra Madre y la de Chuacús. Desciende con una pendiente más o menos uniforme y van incorporándosele los numerosos afluentes que descienden bruscamente de las montañas. Unos 15 kilómetros antes de su desembocadura constituye el límite con la República de Honduras y algunos de sus afluentes tienen sus cabeceras en ese país. Es navegable en unos 200 kilómetros. El río Sarstún, en esta misma vertiente, resulta importante, por ser navegable en 58 kilómetros de su curso.

b) Lagos

Cabe citar, dentro de esta descripción, 23 lagos o lagunas de importancia, y unas 119 lagunas menores. Sus superficies suman aproximadamente 950 kilómetros cuadrados. El lago mayor es el del Ixabal en el Este del país, de 590 kilómetros cuadrados, siendo su altura sobre el nivel del mar algo menos de un metro. La cuenca hasta la salida del lago tiene

6 850 kilómetros cuadrados. En unión del río Dulce y del Polochic constituye un sistema de importancia para la navegación. Le sigue en extensión el lago de Atitlán, de 138 kilómetros cuadrados, ubicado en el altiplano de la Sierra Madre, a 1 562 metros de altitud. Su cuenca, que es cerrada, tiene unos 540 km², pero existen indicios de que los manantiales que aparecen en el Valle del río Madre Vieja y sus afluentes, así como en los tributarios del Nahualate, provienen del lago Atitlán. Aunque el nivel del lago experimenta variaciones, se puede afirmar que en un período muy largo mantiene su equilibrio hídrico.

El lago de Amatitlán en el altiplano central de la Sierra Madre, próximo a la ciudad de Guatemala, tiene 14 kilómetros cuadrados y está a 1 186 metros de altitud. El lago recibe principalmente el aporte del río Villalobos y desagua hacia el Pacífico por el río Michatoya. Parte de la ciudad de Guatemala está en la cuenca del primer río nombrado. El proyecto hidroeléctrico Jurún-Marinalá se realizará aprovechando la cuenca superior del Michatoya-Amatitlán-Villalobos, de 567.6 kilómetros cuadrados, y descargará sus aguas en el río Marinalá, todos ellos pertenecientes a la cuenca del río María Linda que desemboca en el Pacífico.

Otros lagos de importancia son: a) el de Güija en el límite con El Salvador, sobre la cuenca del río Lempa; b) el de Petén Itzá, en el norte en el Departamento del Petén y c) la laguna de Ayarza en el Departamento de Santa Rosa, que constituye una cuenca cerrada.

c) Aguas internacionales

Diversos ríos del país tienen características internacionales. Las superficies de las cuencas de estos ríos, que constituyen una gran parte del país son compartidas con sus tres países limítrofes.

Toda la vertiente del Golfo de México, 52 910 kilómetros cuadrados, está formada por ríos que, originados en Guatemala, penetran más tarde en territorio mexicano, ya sea para formar el río Usumacinta, el Grijalva o el Gandelaria.

El río Suchiate, con una extensión de 80 kilómetros, forma el límite con México en 65 de ellos. En la parte noroeste, el sistema Salinas-Usumacinta forma el límite con México en una extensión de 304 kilómetros.

En el norte, el río Azul-Hondo forma también parte del límite con México y tiene una extensa cuenca en el país.

El río de Paz y su afluente, el Chingo, constituyen parte del límite con El Salvador, lo mismo que los ríos Anguiatú, Cusmapa y Ostúa, que desagúan en el lago Güija. El último de los ríos nombrados tiene gran parte de su cuenca en el país.

Muchos afluentes de la margen derecha del río Motagua tienen sus nacientes en Honduras y poco antes de su desembocadura este río forma parte del límite con ese país.

2. Regímenes hidrológicos e irregularidades de los principales ríos

Se necesita conocer las variaciones que experimentan los caudales de los ríos a lo largo del año para poder conocer las posibilidades de sus aprovechamientos.

La disponibilidad de mediciones que permitan obtener promedios aceptables de los caudales mensuales ha logrado establecer para algunos su variación a lo largo del año, pero como los registros tienen a lo sumo 5 años, deben esperarse algunas variaciones a medida que se vayan computando más años.

Los caudales anuales promedio deben en cualquier caso tener mayor representatividad por la menor variabilidad relativa de los valores anuales en comparación con los mensuales.

En Guatemala todos los ríos son exclusivamente de alimentación pluvial y por lo tanto, acusan a lo largo del año las variaciones que impone el régimen de precipitaciones.

Los caudales mensuales promedio experimentan una marcada variación a lo largo del año a consecuencia del régimen de precipitaciones que afecta en general a todo el país. Ya se ha señalado que existe una época muy lluviosa, de mayo a octubre con algunas variaciones según las zonas, y

otra de escasas precipitaciones, o época "seca", en el resto del año. No puede esperarse, sin embargo, que las características señaladas coinciden en años aislados ni tengan similar amplitud, puesto que dependen de las lluvias, que experimentan variaciones de un año a otro.

En el cuadro 3 se presentan los caudales mensuales medios y los máximos y mínimos absolutos de aquellas estaciones de aforos cuyas observaciones ya permiten obtener valores medios provisionales. Algunos se han valuado en el gráfico 1, que aparece al final del estudio, para que puedan apreciarse mejor (9).

Los regímenes de los ríos presentan un período de grandes caudales, de mayo a noviembre, y uno de aguas bajas, de diciembre a abril. Los caudales mensuales medios mayores se observan en septiembre y, en algunos casos, en octubre (ríos Cahabón y Samalá); sin embargo, un máximo secundario aparece en julio, y en ciertos ríos en junio. Los caudales mensuales menores se presentan más frecuentemente en marzo, pero podría hablarse de la existencia de una época que va de enero a mayo en la que los caudales mensuales medios son mínimos y bastante uniformes.

Como características comunes de los caudales mensuales promedio para todos los ríos se puede agregar que: a) aumentan de mayo a julio y de agosto a septiembre y b) decrecen de octubre a marzo.

La relación entre los caudales mensuales promedio mayor y menor es muy variable para cada río y para los ríos del cuadro 3 van desde 29.91 a 2.20. Los valores individuales son los siguientes: Samalá 2.20; Nahualate, 5.87; Madre Vieja, 2.36; Kajá 4.77; Aguacapa 6.59; Tapalapa, 29.91; Cahabón, 8.47; Pixcayá, 3.10 y Chixoy, 6.66.

Influyen en esta amplia gama de valores los tamaños de las cuencas, sus características topográficas y geológicas, sus cubiertas vegetales y, lógicamente, diferentes regímenes de precipitación.

Para obtener una mejor idea de la estacionabilidad de los escurrimientos se han calculado los volúmenes de los derrames en los seis meses del año que van de junio a noviembre y el porcentaje que representan éstos del total anual.

Para algunos ríos estos porcentajes se anotan en el cuadro 4, y se ve que van desde 60 en el río Madre Vieja en el lugar Palmira, al 90 en

Cuadro 3

GUATEMALA: CAUDALES MENSUALES Y ANUALES DE ALGUNOS RIOS

Río	Lugar	Cuenca (Superficie en km ²)	Caudal	Mensual												Anual	Periodo
				E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
<u>Vertiente del Atlántico</u>																	
<u>Golfo de México</u>																	
Chixoy	Pto. Chixoy	6 020 ^{a/}	Medio	24.34	19.31	16.35	18.33	18.58	55.38	74.47	60.41	108.92	98.06	48.83	32.11	47.90	1962-66
			Máximo	33.30	29.80	38.70	64.20	87.00	201.00	215.00	182.00	297.00	443.00	124.40	49.50	443.00	
			Mínimo	18.00	16.13	12.65	11.25	10.50	12.60	26.45	28.55	32.30	41.50	33.40	24.00	10.50	
<u>Golfo de Honduras</u>																	
Cahabón	Finca Chajear	380 ^{a/}	Medio	18.88	13.25	11.32	9.11	5.23	17.26	37.80	25.80	36.70	44.32	31.67	24.00	23.61	1962-66
			Máximo	49.40	41.48	47.00	55.25	10.05	71.00	66.80	59.00	88.25	100.00	100.00	86.92	100.00	
			Mínimo	9.37	8.25	6.20	4.45	3.85	3.85	13.45	9.35	9.62	18.10	14.00	9.70	3.85	
Pizcaya	El Tesoro	155	Medio	0.88	0.82	0.83	0.84	0.73	1.11	1.42	1.23	2.26	2.15	1.08	0.93	1.19	1963-66
			Máximo	1.34	1.15	1.15	1.65	2.03	6.15	3.03	2.18	8.85	5.40	1.59	1.34	8.85	
			Mínimo	0.70	0.65	0.70	0.70	0.57	0.59	0.70	0.85	0.80	0.99	0.71	0.75	0.57	
<u>Vertiente del Pacífico</u>																	
Samaia	Candelaria	849	Medio	8.06	7.28	6.74	6.80	7.45	11.57	11.67	9.76	12.93	14.84	11.07	8.86	9.75	1962-66
			Máximo	14.00	12.75	29.20	19.90	10.90	27.00	36.00	30.00	46.00	24.90	22.20	13.25	46.00	
			Mínimo	4.48	5.40	3.35	4.65	6.80	8.15	5.90	5.10	6.75	8.49	7.58	3.00	3.00	
Nahualate	Santa Catarina Ixthahuacán	145	Medio	1.19	1.01	0.86	0.87	0.88	2.87	2.85	1.82	5.05	4.63	2.27	1.43	2.15	1962-66
			Máximo	1.44	1.42	1.21	7.25	10.80	23.30	10.80	4.40	50.00	30.50	12.00	3.78	50.00	
			Mínimo	0.82	0.82	0.59	0.59	0.64	0.64	1.10	1.21	1.21	1.65	1.10	0.98	1.65	
Madre Vieja	Palmira	344	Medio	9.11	6.57	6.42	6.63	7.24	11.34	10.90	9.75	14.14	15.17	10.85	8.23	9.82	1963-66
			Máximo	27.50	7.66	11.20	8.35	21.10	46.00	40.00	38.00	41.00	52.00	28.60	11.40	52.00	
			Mínimo	5.97	5.40	5.40	2.73	2.31	6.22	6.78	7.07	7.36	10.38	7.66	7.36	2.31	
Madre Vieja	Panibaj	165	Medio	0.95	0.86	0.85	0.81	0.84	2.92	1.92	1.38	2.77	1.57	1.02	0.91	1.40	1962-66
			Máximo	1.17	1.22	1.22	2.50	2.78	45.00	13.00	9.15	15.00	15.75	1.90	1.07	45.00	
			Mínimo	0.75	0.69	0.69	0.63	0.72	0.72	0.58	0.72	0.72	0.72	0.72	0.92	0.58	
Kayá	La Sierra	86	Medio	0.32	0.33	0.31	0.31	0.34	0.62	0.81	0.91	1.48	1.12	0.49	0.37	0.62	1963-66
			Máximo	0.55	0.57	0.37	0.55	0.87	2.39	1.56	2.04	3.00	3.39	0.97	0.77	3.39	
			Mínimo	0.22	0.24	0.17	0.21	0.21	0.27	0.25	0.29	0.32	0.33	0.29	0.26	0.17	

Cuadro 3 (Conclusión)

País	Lugar	Cuenca (Superficie en Km ²)	Caudal	Mensual												Anual	Periodo
				E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Aguacapa	Agua caliente	351	Medio	4.80	4.80	4.72	4.76	5.00	10.10	16.44	15.16	31.12	19.14	9.26	5.72	10.88	1962-66
			Máximo	5.90	7.15	7.15	6.85	10.00	48.05	105.00	115.00	<u>115.00</u>	115.00	28.00	9.35	115.00	
			Mínimo	3.55	<u>3.55</u>	4.10	3.80	3.90	2.60	3.80	4.92	6.30	5.55	5.35	4.80	3.55	
Los Encinos	La Serranía y C. de Mapaches	1 552 ^{a/}	Medio	3.34	3.19	2.83	3.51	4.30	17.78	19.19	11.02	27.63	25.53	6.65	3.93	10.62	1962-65
			Máximo	3.95	3.72	3.25	4.59	5.10	24.90	26.40	13.30	39.80	30.40	8.90	4.44	39.80	
			Mínimo	2.95	2.47	2.36	2.70	3.34	9.29	7.98	9.81	20.90	18.00	5.20	3.54	2.96	
Tepic	Poza Escondida	95 ^{a/}	Medio	0.37	0.22	0.24	0.53	0.47	3.62	3.51	1.88	6.58	5.57	1.04	0.50	2.04	1963-66
			Máximo	0.16	0.07	0.31	0.57	3.70	<u>12.00</u>	7.50	3.00	5.10	5.45	0.45	0.25	12.00	
			Mínimo	0.04	0.05	0.05	0.05	0.25	<u>0.26</u>	0.11	0.08	0.05	0.04	<u>0.03</u>	0.03	0.03	

a/ Cálculo aproximado.

Cuadro 4

GUATEMALA: CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE ALGUNOS RIOS

Río	Lugar	Superficie de cuenca (km ²)	Gaudales en m ³ /s			Coeficiente de irregularidad	Porcentaje escurrido de junio a noviembre	Periodo del registro (año)
			Medios	Máximos	Mínimos			
<u>Vertiente del Atlántico</u>								
Golfo de México								
Chixoy	Pte. de Chixoy	6 020	47.90	443.00	10.50	0.39	77.0	1962/66
Golfo de Honduras								
Chahabón	Finca Chajcar	380	23.61	100.00	3.85	0.18	69.0	1962/66
Pixcaya	El Tesoro	155	1.19	8.85	0.57	0.14	68.0	1963/66
<u>Vertiente del Pacífico</u>								
Ssmalá	Candelaria	849	9.75	46.00	3.00	0.13	62.0	1962/66
Nahualate	Santa Catarina							
	Ixtahuacán	145	2.15	50.00	1.65	0.27	76.0	1962/66
Madre Vieja	Palmira	344	9.82	52.00	2.31	0.10	60.0	1963/66
Madre Vieja	Zanibaj	165	1.40	45.00	0.58	0.21	69.0	1962/66
Xayá	La Sierra	86	0.62	3.39	0.17	0.20	76.0	1963/66
Aguacapa	Agua Caliente	751	10.88	115.00	3.55	0.30	78.0	1962/66
Tapalapa	Poza Escondida	95	2.04	12.00	0.03	0.31	90.0	1963/66

el Zapalapa en Poza Escondida, pero se puede apreciar que la mayoría está comprendida entre 68 y 78 por ciento.

Para dar otra idea de la irregularidad de los regímenes de los ríos y cierta apreciación sobre las posibilidades del aprovechamiento económico de sus aguas, se calcularon los coeficientes de irregularidad, que se determinan como el cociente entre la cantidad de agua que sería necesario embalsar para obtener una regulación total dentro del año y el escurrimiento anual. Se calculan para cada año, y el promedio del registro proporciona el coeficiente de irregularidad.

La Comisión Económica para América Latina ha usado este coeficiente en misiones similares en otros países de la región.

Para simplificar el cálculo, los coeficientes se calcularon a base de los caudales promedio mensuales, y para obtener los verdaderos se necesitaría una corrección superior a 1.

En los ríos considerados, los coeficientes de irregularidad obtenidos están comprendidos entre 0.10 en el río Madre Vieja (Palmira) y 0.39 en el río Chixoy (Pte. Chixoy). Se aprecia la gran variación que existe en los coeficientes, por lo que resulta difícil establecer tendencias; esa variación podría tener influencia incluso en registros cortos.

3. Estimación de los recursos hidráulicos superficiales

Los recursos hidráulicos superficiales son conocidos en parte, pero quedan aún muchos ríos o tramos de ellos pendientes de medición. A comienzos de 1968, las superficies de las cuencas de los ríos que se medían alcanzaban unos 11 000 km², algo más del 8 por ciento del país.

Para obtener una primera estimación de los recursos totales del país se han realizado algunos cálculos sobre la parte que no se mide en la actualidad.

A base del mapa de isoyetas medias anuales, y de los caudales conocidos, se obtuvieron algunos coeficientes de escurrimiento medio anual hasta los lugares de afloros. Con estos coeficientes, y teniendo en cuenta las precipitaciones en el resto de la cuenca, sus características físicas, y los coeficientes de ríos vecinos o similares, etc., se estimaron los escurrimientos para toda la cuenca.

/La estimación

La estimación se efectuó sólo para grandes cuencas o grupos de algunas pequeñas, porque de haberse considerado superficies menores, la imprecisión de las isoyetas habría afectado al agua caída y el aporte de agua subterránea que pueden recibir de cuencas vecinas hubiera podido ser significativo.

Solamente se evaluaron individualmente los ríos Selegua, Usumacinta, Hondo, Polochic-Dulce y Motagua en la vertiente del Atlántico y Lempa, Suchiate, María Linda, Los Escalvos y Paz en la del Pacífico (11).

a) Aguas nacionales

El agua que cae anualmente sobre todo el país, incluyendo Belice, fue calculada con base en el mapa de isoyetas del Atlas Climatológico de Guatemala de 1964, (5) publicado por el Observatorio Nacional y dio un total de $286\ 868 \times 10^6 \text{ m}^3$, equivalente a una altura media de 2.18 metros. (Véase el cuadro 5.)

Considerando separadamente las vertientes del Atlántico y del Pacífico, se aprecia poca diferencia entre ambas. Sus alturas son de 2.16 y 2.24 metros respectivamente.

Entre las cuencas o grupos de ellas consideradas, las alturas de las lluvias varían entre 0.87, en la cuenca del río Lempa, y 2.99 metros en ríos de la zona de Puerto Barrios.

Se ha estimado que del total caído, $116\ 596 \times 10^6 \text{ m}^3$ se convierten en escurrimiento superficial que llega a los océanos, representando un caudal de $3\ 693.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Este caudal se partiría en $2\ 743.7 \text{ m}^3/\text{s}$ de la vertiente del Atlántico y 950.1 de la del Pacífico, que representarían escurrimientos específicos de 25.3 l/s/km^2 y 40.6 l/s/km^2 , respectivamente. A diferencia de los otros países centroamericanos, el escurrimiento específico es mayor en esta última vertiente.

Evaluando la disponibilidad promedio de agua por habitante, de acuerdo con la población de 1968, se obtuvieron $24\ 531 \text{ m}^3$ por habitante al año, equivalentes a $0\ 777 \text{ l/s/hab}$.

Cuadro 5

GUATEMALA: ESTIMACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUPERFICIALES

Gran cuenca	Cuenca	Río	Superficie (km ²)	Agua caída		Coeficiente de escurri- miento	Agua escurrida	
				Volumen (Millones m ³)	Altura (metros)		Volumen (Millones m ³)	Caudal (m ³ /s)
<u>Total nacional</u>			<u>131 800</u>	<u>286 868</u>	2.18		<u>116 681</u>	<u>3 696.5</u>
Vertiente Atlántico			<u>108 420</u>	<u>234 393</u>	2.16		<u>86 522</u>	<u>2 743.6</u>
A ^{a/}			<u>59 400</u>	<u>140 985</u>	2.37	0.30	42 295	1 341.2
	1 ^{a/}	Selegua	5 580	9 207	1.65			
	3 ^{a/}	Usumacinta	47 330	118 798	2.51			
	5 ^{a/}	Hondo	6 490	12 980	2.00			
B	7, 9, 11	Nuevo, Belice y otros	21 487	37 817	1.76	0.40	15 127	479.7
C			<u>13 583</u>	<u>38 572</u>	2.84	0.60	23 143	733.9
	13	Moho	4 103	11 406	2.78			
	15	Dulce	8 420	23 997	2.85			
	17	Zona, Puerto Barrios	1 060	3 169	2.99			
D ₁ ^{a/}	19 ^{a/}	Motagua	13 950	17 019	1.22	0.35	5 957	188.9

Cuadro 5 (Conclusión)

Gran cuenca	Cuenca	Río	Superficie (km ²)	Agua caída		Coeficiente de escurri- miento	Agua escurrida	
				Volumen (Millones de m ³)	Altura (metros)		Volumen (Millones de m ³)	Caudal (m ³ /s)
Vertiente Pacífico			23 380	52 475	2.24	30 159	952.9	
E ₁ ^{a/}	2 ^{a/}	Suchiate	1 270	3 556	2.80	2 134	67.7	
E ₂	Area intermedia entre 2 y 4		3 276	8 583	2.62	5 579	176.9	
F	4, 6, 8, 10 y 12	Samalá, Nahualate Madre Vieja, Coyo- late y otros	7 714	20 211	2.62	13 137	416.6	
G	14 y 16	Achiguate, María Linda y otros	3 950	10 349	2.62	5 692	180.5	
H	18	Los Esclavos y otros	3 200	5 248	1.64	1 837	58.2	
I ₁ ^{a/}	20 ^{a/}	Paz	1 310	2 214	1.69	886	24.6	
J ₁ ^{a/}	46 ^{a/}	Lempa	2 660	2 314	0.87	895	28.5	

^{a/} Cuenca internacional correspondiente a Guatemala únicamente.

b) De interés internacional

Varios ríos del país que abarcan una parte importante de su territorio, tienen interés internacional, unas veces porque sus cauces constituyen límites internacionales, otras porque las partes altas de sus cuencas le pertenecen. En estas condiciones están los ríos Selegua, Salinas-Usumacinta, Azul-Hondo, Motagua, Lempa, Suchiate y Paz (11). Las superficies de las cuencas de dichos ríos que corresponden a Guatemala suman $78\,590\text{ km}^2$ ^{4/} que dan idea de su importancia.

En el cuadro 5 se presentan, con las estimaciones hechas, los valores de caudales de todos estos ríos que suman $1\,648.1\text{ m}^3/\text{s}$ o sea aproximadamente el 44.6 del total del país, incluyendo Belice.

Por la escasez de datos utilizados en todas estas estimaciones, los valores indicados deben considerarse de un orden de magnitud lo más aproximado posible, pero de ninguna manera pueden ser tomados como valores exactos.

^{4/} Incluye parte de Belice.

IV. FACTORES NATURALES QUE AFECTAN AL USO DEL AGUA

1. Topografía

El relieve del país es mucho más accidentado en su parte meridional, al sur del paralelo de 16°, que en la parte norte.

Los sistemas montañosos más importantes son los dos ramales de la cordillera de los Andes en que la misma se divide al pasar el Istmo de Tehuantepec. Uno, el de la Sierra Madre, que corre paralelo a la costa del Pacífico, con su divisoria continental de aguas ubicada entre 70 y 90 km de aquélla, y el otro, la sierra de los Cuchumatanes, más al norte, cuyas estribaciones más bajas llegan al océano Atlántico, al norte del lago de Izabal.

La región de mayor relieve está en el oeste del país en los departamentos de Huehuetenango, San Marcos y Quezaltenango y aunque el territorio continúa accidentado hacia el este, va disminuyendo de altura.

Las mayores cumbres del país son: el volcán de Tajumulco de 4 220 metros sobre el nivel del mar; el volcán de Tacaná de 4 092 metros, ambos en el departamento de San Marcos; el volcán de Acatenango, de 3 995 metros, en el departamento de Sacatepequez y el volcán de Santa María, de 3 772 metros, en el departamento de Quezaltenango.

Las zonas más bajas y planas se hallan en varias partes del país. Una es la planicie costera del Pacífico que comprende hasta los 600 metros de altura y tiene un ancho promedio de 50 kilómetros. Las tierras bajas del norte incluyen la mayor parte del Petén y por lo general no sobrepasan los 300 metros sobre el nivel del mar, pero las Montañas Mayas, en el sur de Belice, alcanzan en algunos picos hasta los 1 100 metros. El valle del río Motagua, así como los alrededores del lago de Izabal y casi toda la cuenca del río Sarstún, están igualmente por debajo de los 300 metros de altura.

Para obtener una imagen más definida de la topografía se calculó en forma aproximada, para grandes zonas, la distribución del territorio nacional por sus alturas sobre el nivel del mar, a base de un mapa con curvas de nivel en pies con los siguientes intervalos: 1 000, 2 000, 3 000, 5 000, 7 000, 9 000 y 12 000 pies.

/Según dicho

Según dicho cálculo, el 51.4 por ciento del país tiene alturas inferiores a 305 metros; el 61.6, inferiores a 610 metros; el 68.9, inferiores a 914 metros; el 80.6, inferiores a 1 524; el 91.3, inferiores a 2 134 metros; el 96.6, inferiores a 2 743 metros y el 99.9, inferiores a 3 658 metros. El 0.1 restante supera ese nivel, llegando hasta las alturas más altas ya citadas.

La distribución de superficies por grandes vertientes, para los mismos intervalos de niveles anteriores, tiene diferencias con las totales del país. Así, bajo los 305 metros de altura están el 54.8 por ciento en la del Atlántico y el 36.9 por ciento en la del Pacífico. Para los otros niveles, los porcentajes son, en el mismo orden, para 610 metros, 65.5 y 45.3; para 914 metros, 72.3 y 54.7 y para 1 524 metros, 81.6 y 76.7 por ciento, que señalan porcentualmente menos tierras bajas para la vertiente del Pacífico.

Entre los ríos importantes, varios tienen grandes superficies a altos niveles. En las cabeceras del Selegua y del Usumacinta, 3 448 km² están en conjunto sobre los 2 743 metros y, de aquellos, 157 km² lo están sobre los 3 658 metros. Sobre los 2 743 metros, el Motagua tiene 190 km² y el Suchiate 420 km².

Mayores detalles del cálculo aproximado figuran en el cuadro 6, con indicación de superficies y porcentajes entre niveles.

2. Evaporación y evapotranspiración

El conocimiento de la evaporación, proceso durante el cual el agua en estado líquido pasa a la atmósfera transformada en vapor, es imprescindible en estudios y proyectos de obras hidráulicas, especialmente en aquellos que incluyen almacenamiento de agua.

Las mediciones de evaporación en el país se efectuaban, a fines de 1967, en unos 8 lugares, pero la mayoría tenían registros cortos y en algunas se realizaban con evaporímetros tipo Piche. Además, el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, en ejecución, instalará 10 estaciones tipo A que incluirán entre sus observaciones la medición de la evaporación.

La evaporación en la zona de la ciudad de Guatemala varía a lo largo del año observándose los valores más altos en los meses de marzo, abril y mayo, con promedios de unos 5 milímetros diarios, y los más bajos al final

Cuadro 6

GUATEMALA: DISTRIBUCION DE LA SUPERFICIE SEGUN CURVAS DE NIVEL EN VERTIENTES Y CUENCAS PRINCIPALES (Km²)

Vertientes y cuencas principales	Menos de 304.8	304.8 a 609.6	609.6 a 914.4	914.4 a 1 524.0	1 524.0 a 2 133.6	2 133.6 a 2 743.2	2 743.2 a 3 657.6	Mayor de 3 657.6	Total
<u>Vertiente del Atlántico</u>	<u>58 582</u>	<u>11 384</u>	<u>7 297</u>	<u>9 884</u>	<u>10 323</u>	<u>5 289</u>	<u>3 514</u>	<u>157</u>	<u>106 930</u>
Selegua-Usumacinta	21 963	4 647	1 796	3 205	6 149	3 304	3 291	157	
Zona Usumacinta-Frontera Belice	10 226	695	209	26					
Belice al Norte Río Grande	16 500	1 000	2 500						
Grande en Guatemala	281	367	7						
Grande en Belice	2 500	500							
Sarstún y Moho	1 540	1 468	393	433					
Dulce	2 636	898	793	2 137	1 075	386	33		
Motagua	2 936	1 809	1 599	4 083	3 599	1 599	190		
Porcentaje de la vertiente del Atlántico	54.8	10.7	6.8	9.3	10.1	4.9	3.3	0.1	100.0
Porcentaje acumulado	54.8	65.5	72.3	81.6	91.7	96.6	99.9	100.0	
<u>Vertiente del Pacífico</u>	<u>9 178</u>	<u>2 077</u>	<u>2 347</u>	<u>5 473</u>	<u>3 252</u>	<u>1 678</u>	<u>865</u>		<u>24 870</u>
Suchiate	340	125	78	72	53	400	420		
Samalá y otros	2 425	347	400	249	223	735	412		
Madre Vieja-Mahualate-Coyolate	3 654	616	446	1 166	925	289	26		
Achiguate - Marfa Linda	1 842	302	354	950	708	170	7		
Zona Marfa Linda-Frontera El Salvador	917	478	537	1 449	636	13			
Lempa	-	209	532	1 587	707	71			
Porcentaje de la vertiente del Pacífico	36.9	8.4	9.4	22.0	13.1	6.7	3.5		100.0
Porcentaje acumulado	36.9	45.3	54.7	76.7	89.8	96.5	100.0		
<u>Total del país</u>	<u>67 760</u>	<u>13 461</u>	<u>9 644</u>	<u>15 357</u>	<u>14 075</u>	<u>6 967</u>	<u>4 379</u>	<u>157</u>	<u>131 800</u>
Porcentajes del total del país	51.4	10.2	7.3	11.7	10.7	5.3	3.3	0.1	100.0
Porcentajes acumulados	51.4	61.6	68.9	80.6	91.3	96.6	99.9	100.0	

de la época de lluvia con unos 3 milímetros diarios. Variaciones similares deben ocurrir en otras zonas del altiplano.

Aunque la evaporación tiende a ser mayor en la época seca, sus variaciones a lo largo del año sufren alteraciones a veces no sólo atribuibles a la humedad sino a otras variables que influyen en este proceso como el viento, la temperatura y humedad del aire y la radiación solar.

La evapotranspiración constituye el proceso por el cual el agua contenida en el suelo pasa a la atmósfera en estado gaseoso. En éste se incluye el agua que se evapora de los suelos y de las superficies libres de agua, así como de la transpiración de las plantas. Su determinación es importante en el cálculo de balances hídricos.

Se define como evapotranspiración potencial la que se produciría si hubiera abundante humedad en el suelo, es decir, si el proceso no se restringiera por escasez de agua.

En el país no se realizan mediciones de la evapotranspiración real y la evapotranspiración potencial ha sido estimada a base de la fórmula de Blaney-Criddle modificada.

Los valores obtenidos por medio de esta fórmula se relacionaron con la altura del terreno y en esa forma pudieron trazarse isolíneas de evapotranspiración potencial anual para todo el país (12). Más del 50 por ciento del país, que comprende las zonas más bajas del mismo, tiene valores superiores a 2 000 milímetros. Se incluyen en ese porcentaje la región costera del Pacífico, el Petén y Belice con la excepción de las montañas Maya, el norte de los departamentos de El Quiché, Alta Verapaz e Izábal y las partes bajas de las cuencas de los ríos Polochic-Dulce, Motagua y Selegua.

Los valores más bajos, inferiores a 1 400 milímetros al año, se obtuvieron en las partes más altas de las sierras Madre y Cuchumatanes, en el oeste del país.

Los valores intermedios varían en relación inversa con la altura. Por ejemplo, las zonas con evapotranspiración entre 1 400 y 1 600 milímetros se agrupan aproximadamente en las alturas comprendidas entre 2 400 y 1 800 metros sobre el nivel del mar en las sierras Madre, Cuchumatanes, Chuacús y de Las Minas.

V. LAS REDES DE OBSERVACIONES Y LOS ORGANISMOS QUE LAS OPERAN

Las primeras mediciones u observaciones meteorológicas sistemáticas comenzaron en Guatemala entre los años 1840 y 1850 cuando los jesuitas empezaron a medir temperatura y precipitación. Los registros se han perdido.

Posteriormente algunos particulares realizaron algunas mediciones termoplumiométricas en sus fincas y por su cuenta.

Los registros más antiguos de que se dispone en el país son de precipitación y comienzan en 1908 y 1909. Las observaciones en el actual Observatorio Nacional empezaron en 1928.

Las mediciones hidrométricas efectuadas antes de 1950 fueron llevadas a cabo con fines científicos o con propósitos agrícolas y se realizaron en pocos lugares y sin carácter permanente. Durante los años de 1946 y 1947 el Departamento del Interior de Estados Unidos llevó a cabo una serie de aforos en numerosos ríos.

La Empresa Eléctrica de Guatemala efectuó, posteriormente, aforos más sistemáticos en algunos ríos, con proyectos existentes o en los que se consideró su aprovechamiento. También realizó mediciones de precipitación y niveles de los lagos. Hoy restringe sus actividades de aforos a la cuenca del río Michatoya.

A partir de 1957 la Municipalidad de Guatemala comenzó a hacer mediciones en ríos que podrían ser utilizados para el futuro abastecimientos de la ciudad.

Estas mediciones tendían a determinar por lo general los caudales mínimos en la época de estiaje.

Puede afirmarse que las mediciones hidrológicas sistemáticas acaban de iniciarse en el país, después de la creación del INDE en abril de 1962.

a) Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos del Istmo Centroamericano (13) (14)

Guatemala participa con los otros cinco países del Istmo en el "Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos" de la región.

Según el mismo, que se inició a fines de 1967, se instalarán durante los cinco años de su duración 55 estaciones hidrológicas, 10 meteorológicas tipo A (sinópticas), 40 tipo B (miden 4 o más elementos), 11 opcionales de tres elementos y 43 tipo C, o pluviométricas (15). Este proyecto es en parte una contribución del Fondo Especial de las Naciones Unidas, que tiene como agencia ejecutora la Organización Meteorológica Mundial, y el Gobierno de Guatemala contribuirá con 628 390 dólares como contraparte. Esta contraparte será sufragada en un 50 por ciento por el Instituto Nacional de Electrificación, en un 25 por ciento por el Observatorio Nacional y en el 25 restante por el Instituto Geográfico Nacional. La contribución del Fondo Especial incluirá, además de la labor de los expertos, la importación de instrumental y equipos, y becas por 382 200 dólares.

Cuando quede concluido el proyecto, Guatemala dispondrá de 113 estaciones hidrológicas y 344 pluviométricas.

b) El Instituto Nacional de Electrificación (INDE)

El Instituto Nacional de Electrificación fue creado por el Decreto No. 1287 del 17 de junio de 1959, con el carácter de entidad estatal descentralizada, con autonomía funcional y personería jurídica.

Aunque los fines y obligaciones del INDE están principalmente dirigidas hacia la energía eléctrica, algunos tienen relación directa con los recursos hidráulicos y se pueden citar como figuran en el texto de la Ley:

1) Procurar la utilización racional de los recursos naturales a efectos de terminar con la explotación destructiva de los mismos; a ese fin tratará de promover el uso doméstico de la electricidad para calefacción, en sustitución de materias importadas y de los combustibles obtenidos de los bosques nacionales;

/ii) Conservar

ii) Conservar y defender los recursos hidráulicos del país, protegiendo las cuencas, las fuentes y los cauces de los ríos y corrientes de agua;

iii) Cooperar con el Ministerio del Ramo, en la rehabilitación de tierras, dentro de un programa de desarrollo integral, de manera que se aprovechan conjuntamente los recursos hidráulicos para fines de irrigación y de producción en energía eléctrica;

iv) Determinar técnica y jurídicamente la capacidad hidroeléctrica del país con base en los recursos hidráulicos nacionales, para que sus estudios puedan servir de base segura a los proyectos de nuevas industrias eléctricas.

Para el cumplimiento de estos objetivos hidráulicos el INDE formó el 26 de abril de 1962 su sección de hidrometeorología, que se encarga actualmente de efectuar todas las mediciones hidrológicas y meteorológicas de esa institución. Su actividad se ha concentrado por el momento a las regiones montañosas de la Sierra Madre (los Andes), en la sierra de Chamá y en la sierra los Cuchumatanes donde se encuentra el potencial hidroeléctrico a utilizarse en los proyectos más inmediatos y los que se proyecta desarrollar en un futuro cercano.

La Sección de Hidrometeorología depende del Departamento de Financiamiento y Estudios Básicos y éste, a su vez, de la Gerencia.

A mediados de 1967, el INDE tenía bajo su control 18 estaciones limnométricas y 10 limnigráficas, de las cuales 4 medían los niveles de lagos.

En lo referente a las mediciones meteorológicas, el INDE tenía una estación de segundo orden o tipo E (mide viento, precipitación, temperatura, presión y humedad) y 25 de tercer orden o tipo C, (21 pluviométricas, dos pluviográficas y dos pluviométricas y evaporimétricas). Mediciones conjuntas de niveles de agua y meteorológicas se efectúan en una estación de primer orden o tipo A y en otra de segundo orden, o tipo B.

Aunque las mediciones de sedimentos en suspensión se comenzaron en 1962, fueron suspendidas en 1964. Se reanudarán con el Proyecto Hidrometeorológico.

El INDE publica anualmente los resultados de los datos hidrológicos obtenidos en boletines anuales de los que ya lleva publicados tres.

/El presupuesto

El presupuesto dedicado a la sección de hidrometeorología para el año 1967 era de 103 831 quetzales^{5/} y los programados eran: 1968, 120 500 quetzales; 1969, 136 000 quetzales, 1970, 150 500 quetzales y 1971, 166 000 quetzales.

Se dedican a estas tareas 63 funcionarios; 2 ingenieros civiles, 4 calculistas y dibujantes, 3 aforadores, 52 observadores y 2 auxiliares.

c) El Observatorio Nacional

El Observatorio Nacional fue creado el 15 de septiembre de 1925. Es actualmente una división de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y hasta 1965 perteneció a la Dirección de Investigaciones Agropecuarias. Ese año se le incorporó la sección de hidrología que pertenecía a Recursos Hidráulicos.

El Observatorio Nacional está dividido en tres departamentos: Meteorología, Sismología e Hidrología. El departamento de Meteorología concentra las observaciones que se realizan en el país tanto de organizaciones gubernamentales como privadas. Ha publicado anales de los años 1928/31 y 1945/46 y en el año de 1964 editó el Atlas Climatológico de Guatemala. Las estaciones pluviométricas en operación son 240, pero hay otras 263 que han proporcionado observación en distintos períodos.

El departamento de Hidrología cuenta con 26 estaciones hidrológicas limnigráficas (9 limnigráficas y 17 limnimétricas), ubicadas en la vertiente del Pacífico.

El personal consta de 35 empleados, 2 universitarios, 14 técnicos, 10 administrativos, 3 observadores y 6 peones.

Sus presupuestos han sido reducidos generalmente para poder realizar una tarea que pueda abarcar con eficiencia a todo el país. En 1955 recibió un importante aumento y el de 1967 llegó a 9 180 000 quetzales para su funcionamiento o inversiones.

^{5/} El quetzal equivale al dólar de los Estados Unidos.

d) La Municipalidad de Guatemala

La Municipalidad de Guatemala, con motivo del servicio de agua potable que proporciona, realiza una serie de mediciones de lluvias y de caudales. Tiene instalados 4 pluviómetros y 4 pluviógrafos en la región de San José Pinula y en la ciudad de Guatemala, algunos de ellos ya con 14 años de observaciones.

En afluentes del río Motagua instala cada año vertederos aforadores triangulares y rectangulares de maderas para controlar los caudales mínimos de "verano". En varios de ellos ya tenían registros de ocho años.

La sección de Hidrometeorología encargada de estas mediciones depende de la subsección Estudios Preliminares en el Departamento de Planeamiento de la Dirección de Aguas y Drenajes.

El presupuesto para esta sección del año 1967 fue de 12 000 quetzales que se proyecta ampliar a 15 000. El personal está dedicado parte del tiempo a estas tareas.

e) La Dirección General de Aeronáutica Civil

La Dirección General de Aeronáutica Civil mantiene un servicio de meteorología para atender las necesidades de la especialidad de la aviación, que constituye una sección dentro del departamento de Operaciones.

Tiene instaladas 6 estaciones meteorológicas sinópticas (Guatemala, Puerto San José, Puerto Barrios, Flores, Retalhuleu y El Caobanal). El funcionamiento en tres de ellas ha sido irregular por falta de fondos, principalmente.

En la estación de Guatemala, del aeropuerto, era la única del país donde se hacían observaciones con globos pilotos, aunque se planeaba para 1968 realizarlas en otras tres.

El personal de este servicio se compone de 35 empleados (1 jefe, 6 previsores, 10 técnicos y 18 observadores) y el presupuesto total asignado para 1967 fue de 60 876 quetzales.

La Oficina de Análisis y Pronósticos, ubicada en el aeropuerto "La Aurora", elabora cartas sinópticas de superficies tres veces al día y 6 cartas de altura (850, 700, 500, 400, 300 y 250 mb.) una vez al día, suministrando pronósticos del tiempo para la aviación y al público en general.

/Recibe

Recibe la información internacional a través de la emisión subcontinental de la OMM y de la Caribbean Meteorological Broadcast (CARNET). No dispone de equipo de radiofacsimil.

Trabaja en estrecha colaboración con el Observatorio Nacional del Ministerio de Agricultura.

f) El Instituto Geográfico Nacional

El Instituto Geográfico Nacional tiene una división hidrológica, cuya finalidad en este campo es la investigación y divulgación. Ya ha realizado varias publicaciones de esta especialidad, resultado del Convenio para el Estudio de los Recursos de Agua de la República de Guatemala que está desarrollando conjuntamente con la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. Efectúa mediciones de niveles de agua en los lagos Atezcotelba; San Cristobal, el Pino y Calderas y tiene instalados dos mareógrafos en Matías de Gálvez (Atlántico) y San José Champerico (Pacífico).

Su personal se compone de 21 empleados entre los que figuran dos ingenieros y 6 observadores.

g) Otros organismos

Además de los organismos descritos, hay en el país otros que se dedican en parte a efectuar mediciones meteorológicas, en su gran mayoría de precipitación.

Los Ferrocarriles Internacionales de Centroamérica tienen diseminadas a lo largo de su red unas 29 estaciones, gran parte sólo con pluviómetro.

La Secretaría de Bienestar Social, dependiente de la Presidencia de la Nación, instaló en 1967 unas 9 estaciones termopluviométricas.

La Empresa Eléctrica de Guatemala tiene 11 estaciones en los departamentos de Escuintla, Guatemala y Sacatepeque.

La Dirección General de Caminos tiene una estación termopluviométrica en la Zona Vial 7.

Gran cantidad de quinteros, especialmente en fincas de café, hacen observaciones de lluvia y envían mensualmente sus datos al Observatorio Nacional. La mayor parte de ellos están ubicados a lo largo de la faja cafetalera del lado del Pacífico de la Cordillera Central.

h) El Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología

El Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología fue creado por el Poder Ejecutivo en noviembre de 1966, para "coordinar los programas que para la obtención de datos hidrológicos, meteorológicos y oceanográficos lleven a cabo los organismos del estado". Además, entre sus atribuciones figuran "recomendar prioridades y programas a los diferentes organismos que deban intervenir en la ejecución de planes de ayuda de carácter internacional en el campo específico de la Hidrología, Meteorología y Oceanografía" y "coordinar actividades con el Comité Nacional del Estudio sobre el Decenio Hidrológico Internacional".

El Comité Coordinador estará integrado por un representante del Instituto Nacional de Electrificación; uno del Ministerio de Agricultura y uno del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas.

Por las atribuciones citadas se ve la amplitud de las tareas que debe realizar y el importante papel que tiene en la ejecución del Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a) Conclusiones

Para poder lograr un desarrollo planificado y económico de los recursos hidráulicos, el primer paso es disponer de la información necesaria y fidedigna, en espacio y tiempo, tanto de meteorología como de hidrología.

A comienzos de 1968 en Guatemala se efectuaban mediciones de caudales de ríos solamente en el 8 por ciento del territorio^{6/} hecho que da idea de la cantidad de estaciones que se requería instalar para obtener un conocimiento más completo de sus recursos hidráulicos.

Las observaciones y estudios meteorológicos han estado hasta hace pocos años a cargo del Observatorio Nacional, que recibe datos de diferentes fuentes estatales y privadas. Los datos de lluvias son los más comunes, pero las ubicaciones de las estaciones, por diferentes motivos, no se han ajustado a una distribución meteorológicamente homogénea que proporcionaría una mayor representatividad y favorecería el conocimiento uniforme del país. La zona del Petén disponía de escasas mediciones de precipitación.

Los datos de insolación, radiación, evaporación, humedad y viento han sido registrados en pocos lugares, y solamente en períodos cortos, en años recientes.

En meteorología sinóptica se carecía de equipo de radiofacsimil para poder recibir las cartas sinópticas elaboradas por los centros de Washington y Miami.

La actividad agrometeorológica se encuentra rezagada en el país por falta de estaciones de la especialidad.

El ambicioso Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano, ya en ejecución, del que Guatemala forma parte, subsanará algunas de las observaciones señaladas, pero se deberá perseverar también en otras tareas que el proyecto no contempla.

^{6/} Incluyendo Belice.

b) Recomendaciones

Las tareas de meteorología e hidrología, van siendo incrementadas a medida que avanza el Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos del Istmo Centroamericano. A su terminación, las redes de observaciones habrán aumentando considerablemente y las tareas de mantenimiento, de procesamiento de datos y de estudios demandarán esfuerzos que deberán ser realizados para aprovechar en su totalidad la inversión realizada.

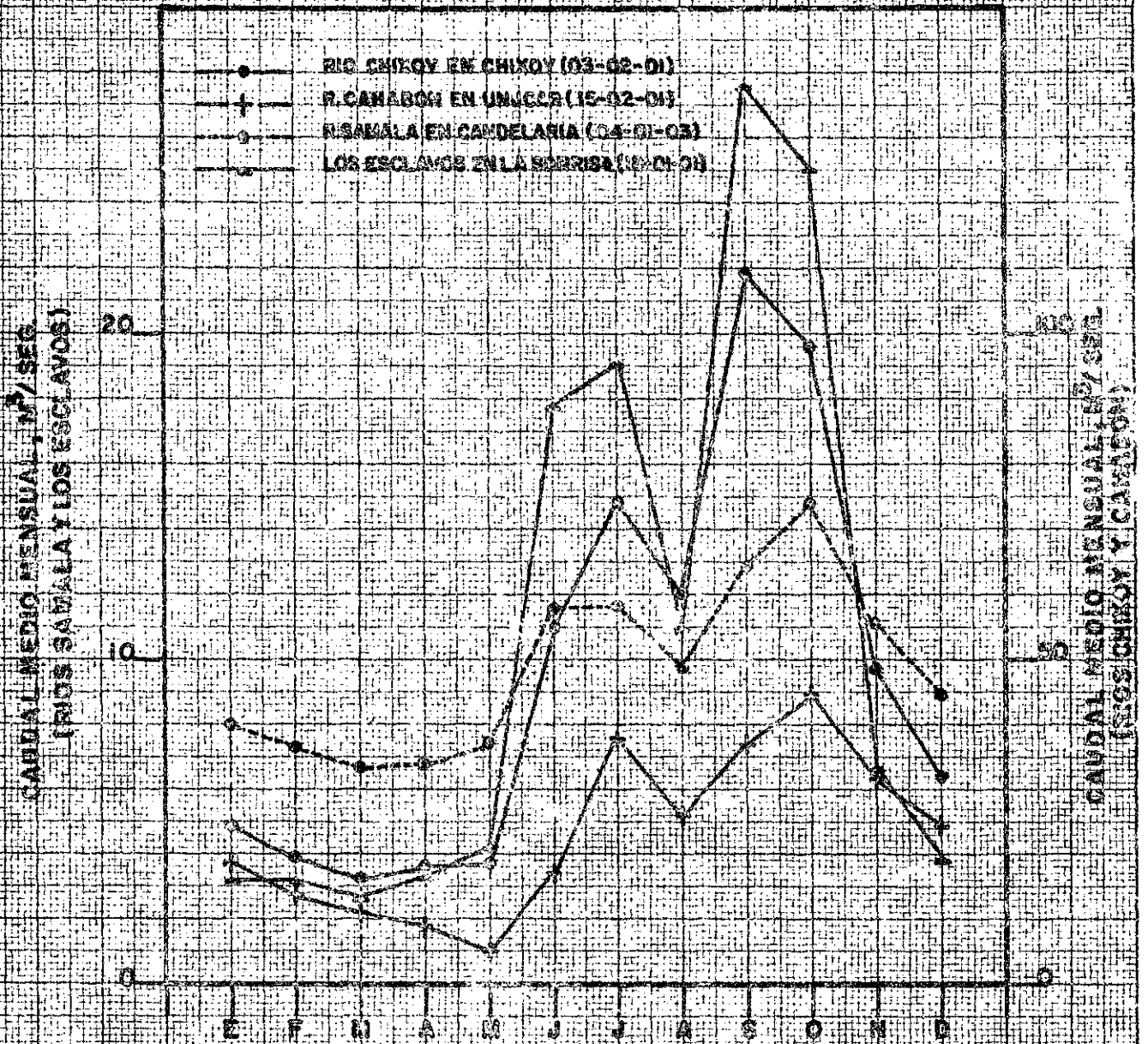
Para satisfacer esos requerimientos parece prudente tratar de concentrar las actividades meteorológicas e hidrológicas en pocos organismos, y de ser posible en uno solo (15).

Como primer paso, se debe lograr la unificación del Observatorio Nacional con la sección de Meteorología de la Dirección General de Aeronáutica Civil, separación que no tiene explicación técnica. Secciones de otros organismos podrían incorporarse a esta primera unión.

En el país se debe estimular la necesidad de realizar estudios e investigaciones, tanto de meteorología como de hidrología.

Guatemala, con los otros países del Istmo, debe obtener de la CACESNA (Corporación Centroamericana de Servicio de Navegación Aérea) que se destine un canal de radio, con carácter exclusivo, a la meteorología. Así podrán quedar unidas las capitales centroamericanas con Balboa, en la Zona del Canal de Panamá y se dispondrá de una transmisión y recepción de informaciones más segura.

Para la ejecución del "Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano" se formó un Comité Regional de Recursos Hidráulicos en el que están representados los seis países del mismo y al que asesoran los expertos de la OIM a cargo de su realización. Finalizado este proyecto, es aconsejable que el Comité continúe operando para seguir orientando y resolviendo labores regionales, en especial las que se relacionan con las cuentas internacionales.



G U A T E M A L A
 CAUDAL MEDIO MENSUAL
 DE RIOS SELECTOS.

GRAFICO 1

BIBLIOGRAFIA

1. Hoffmann, G. "Die Mittleren jährlichen und absoluten Extremtemperaturen der Erde". Meteorologische Abhandlungen des Institute für Meteorologie und Geophysik Freien Universität Berlin, Vol. 8, pt 3, 1960.
2. Department of Commerce, Weather Bureau, Hydrometeorological Report No.4, 1943.
3. Henry, W.K., "An excessive rainfall in Panama, October 1954". Water Resources Research, Vol. 2, No. 4, 1966.
4. Lessmann, H. "Sistemas de Escala Media de Lluvia en El Salvador", Publicación Técnica No. 8, 1967.
5. Observatorio Nacional. "Atlas Climatológico de Guatemala", octubre 1964.
6. Andrade Guillifoli J. N. "Régimen de Lluvias de la Vertiente Pacífico-Occidental de la República de Guatemala" Universidad de San Carlos de Guatemala. Abril 1966.
7. Rosales Padilla J. L. "Evaluación de sequías en la República de Guatemala con base en datos de precipitación mensual", Instituto Geográfico Nacional. Septiembre de 1967.
8. Obiols del Cid R. "Clasificación preliminar de climas en la República de Guatemala". Universidad de San Carlos de Guatemala. Noviembre 1966.
9. Comisión Nacional para la Conferencia Internacional sobre Agua para la Paz. "Los Recursos de Agua en Guatemala", febrero 1967.
10. INDE. Boletines hidrológicos Nos. 1 a 3.
11. Bendix J. A. "Recursos hidráulicos de El Petén". INDE, julio 1965 y abril 1966.
12. Ahlgren L., Basso E. and Jovel R. "A Preliminary Evaluation of the Water Balance in the Central American Isthmus". Symposium of the water balance of North America. American Water Resources Association. Urbana, Illinois, 1969.

13. Naciones Unidas. Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano. "Programa Preliminar de Instalaciones Fluviométricas y Meteorológicas en Guatemala". Publicación No. 17, octubre de 1967.
14. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. Publicación No. 23 "Rol de Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas en el Istmo Centroamericano". Naciones Unidas.
15. Prohaska, F. J. "Informe sobre el Establecimiento de una División de Hidrometeorología en el Servicio Meteorológico de Guatemala". Abril 1963.

Apéndice

DISPONIBILIDADES DE AGUA SUBTERRANEA EN GUATEMALA

INDICE

	<u>Página</u>
Resumen	57
I. Estado actual de la investigación de aguas subterráneas	60
1. Municipalidad de Guatemala	60
2. Dirección de Recursos Naturales Renovables	60
3. Instituto Geográfico Nacional	61
4. Dirección General de Minería e Hidrocarburos	61
5. Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología	61
6. Conclusiones	61
II. Hidrogeología	62
1. Introducción	62
2. Ocurrencia del agua subterránea	63
III. Estimación preliminar de los recursos hídricos del subsuelo	67
1. Introducción	67
2. Evaluación de la ecuación hidrológica subterránea	68
3. Estimación del rendimiento seguro	71
Bibliografía	74

RESUMEN

En este informe, parte del estudio sobre la evaluación de los recursos hidráulicos del Istmo Centroamericano encomendado a la CEPAL, se examina el estado en que se encuentra actualmente la investigación sobre aguas subterráneas en Guatemala, se presenta una breve descripción de la hidrogeología de la vertiente del Pacífico dirigida especialmente a la identificación de áreas que garanticen aprovechamientos en gran escala, y se hace por último una estimación provisional de la cantidad de agua subterránea disponible en esa vertiente, única zona a que se refiere el trabajo por sólo haberse dispuesto de información geológica detallada a su respecto y ser el lugar donde se concentra el más alto potencial de aguas subterráneas del país. (Véase la lámina 2 del informe general.)

Con base en estudios detallados llevados a cabo en áreas hidrogeológicamente similares de países vecinos, y en un mapa geológico provisional, se han localizado las áreas de recarga, almacenamiento y descarga del agua subterránea en la vertiente del Pacífico. Las áreas de recarga están constituidas por materiales volcánicos del Cuaternario, en la cadena costera. Los depósitos principales de agua subterránea están formados por sedimentos aluvionales en la planicie costera y por acumulaciones de pómez en algunos valles intramontanos del interior del país. Estos depósitos reciben también altas tasas de recarga pero su función principal por el lugar en que se encuentran es la de almacenadoras del agua infiltrada. Se identificaron áreas de descarga natural del agua subterránea a lo largo de la costa, por lo que se produce un considerable deflujo hacia el océano Pacífico, y en numerosas áreas de bajo relieve donde la profundidad de la tabla freática es mínima y da lugar a evapotranspiración directa del agua subterránea.

Con base en algunos datos sobre capacidad específica de pozos de producción, y en resultados de áreas vecinas de hidrogeología similar, puede hacerse la siguiente generalización sobre la variación del coeficiente de permeabilidad de las unidades hidrogeológicas identificadas: a) materiales volcánicos del Cuaternario, 24 a 122 litros por día, por metro cuadrado (1 000 a 5 000 GPD/pie²); b) depósitos aluvionales de las planicies costeras,

12 a 24 litros por día, por metro cuadrado (500 - 1 000 GPD/pie²); y c) depósitos de pómez, menos de 12 litros por día, por metro cuadrado (menos de 500 GPD/pie²).

De acuerdo con esas permeabilidades, de pozos de adecuado diseño y construcción, que penetrasen efectivamente 30 metros por lo menos en las formaciones saturadas, se estimó que de los materiales volcánicos podrían obtenerse caudales de entre 60 y 160 litros por segundo; de los materiales aluvionales, entre 44 y 95 litros por segundo, y de los depósitos de pómez entre 6 y 44 litros por segundo. Las formaciones del Terciario, Cretácico y Pre-Cretácico se consideraron inadecuadas para almacenar caudales de agua suficientes para garantizar aprovechamientos en gran escala.

Se efectuó una estimación preliminar de la disponibilidad de aguas subterráneas en la vertiente del Pacífico evaluando la ecuación de balance hidrológico de los depósitos subterráneos. Con base en los resultados obtenidos en áreas hidrogeológicamente similares de países vecinos, teniendo en cuenta las características geológicas generales del área del estudio, y asignando valores conservadores de infiltración a cada una de las formaciones identificadas, al relacionar valores de infiltración con las extensiones medidas de cada unidad hidrogeológica, se llegó a la conclusión de que se infiltran a los depósitos subterráneos durante un año de lluvia normal 15 550 millones de metros cúbicos, que equivalen al 29,5 por ciento de la precipitación total. Por la extensión aproximada de las áreas de tabla freática somera, se consideró que la evapotranspiración directa de los depósitos subterráneos implica en la actualidad la pérdida de unos 1 030 millones de metros cúbicos. El deflujo subterráneo hacia el océano, estimado con base en las características físicas e hidráulicas de los acuíferos, parece ascender a 3 600 millones de metros cúbicos anuales. Con respecto al caudal base, teniendo en cuenta que sólo existen extracciones efectivas muy reducidas y cambios netos sin importancia en el almacenamiento, se estimó que podrían recuperarse 10 930 millones de metros cúbicos, por diferencia entre aflujos y deflujos en la ecuación de balance hidrológico subterráneo.

Para ilustrar el orden de magnitud del rendimiento seguro de los acuíferos de la vertiente pacífica se estimó que podría recuperarse por lo menos un 30 por ciento de la evapotranspiración directa del agua subterránea actual como respuesta a la subsidencia general del nivel freático ante las extracciones anticipadas, equivalente a unos 310 millones de metros cúbicos anuales; de sistemas de pozos situados en la divisoria entre las áreas de recarga y los depósitos aluvionales de la planicie costera, que operarían durante la estación seca, unos 340 millones de metros cúbicos del actual deflujo subterráneo al océano; y del caudal base, 5 460 millones de metros cúbicos anuales por medio de sistemas que interceptasen el agua subterránea antes de que llegase a los ríos, en combinación con algún sistema de captación de manantiales y ríos menores. El rendimiento seguro, equivalente a la suma de los ítems recuperables antes descritos, se estimó en definitiva en 6 110 millones de metros cúbicos por año, equivalentes a 194 metros cúbicos por segundo, que representan un 39 por ciento de la infiltración anual y un 11.5 por ciento de la precipitación.

Las cuencas de más alto potencial aprovechable, según las estimaciones efectuadas, son las siguientes:

Gran cuenca	Cuenca	Ríos	Rendimiento seguro estimado	
			Millones de m^3	(m^3 /seg)
F	4,6,8	Samalá, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate y otros	2 400	76
G	14,16	Achiguate, María Linda y otros	1 650	52
E ₂		Intermedia entre 2 y 4	1 100	35

I. ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

No existe al presente ningún organismo que realice estudios sistemáticos integrales sobre los recursos de agua subterránea en el país; tampoco existe personal adiestrado en las diferentes disciplinas de la hidrogeología. La coordinación entre organismos estatales y privados, usuarios del recurso agua es de muy limitado alcance.

Los siguientes organismos estatales realizan, o han realizado en algún momento, investigaciones y/o aprovechamientos aislados de agua subterránea.

1. Municipalidad de Guatemala

Mediante su Dirección de Aguas y Drenajes, ha realizado estudios aislados sobre posibilidades de agua subterránea en la capital. En los últimos años han perforado varios pozos que han permitido afirmar el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Guatemala. Recientemente han iniciado un programa de inventario de pozos perforados en la capital. En su plan de desarrollo futuro, se incluye la perforación de pozos profundos adicionales. Cuenta con ingenieros civiles y sanitarios, con conocimientos adecuados en materia de hidráulica de pozos.

2. Dirección de Recursos Naturales Renovables

A través de su Departamento de Recursos Hidráulicos está realizando estudios y construyendo proyectos de pequeña y mediana irrigación. En el pasado, realizó algunas investigaciones sobre aguas subterráneas en la costa pacífica y en los Llanos de la Fragua. Se prevé la necesidad de regar con pozos grandes extensiones de excelentes suelos agrícolas de la costa pacífica. No cuenta con personal adiestrado en hidrogeología.

/3. Instituto

3. Instituto Geográfico Nacional

Utilizando personal de su Sección de Geología, así como profesionales colaboradores de otros organismos, está realizando el mapeo geológico de Guatemala, a escala detallada. No han realizado hasta la fecha ningún estudio de aguas subterráneas. Cuenta con varios geólogos profesionales de excelente preparación. Existe la posibilidad de que la Misión Geológica Alemana brinde asesoría en hidrogeología.

4. Dirección General de Minería e Hidrocarburos

Este organismo estatal tiene a su cargo la investigación y explotación de los recursos mineros y del petróleo del país. Por razón de su conexión con la geología del país, aporta valiosa información que puede ser provechosa para los estudios de agua subterránea. No cuenta con personal adiestrado en hidrogeología.

5. Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología

Organismo intergubernamental, creado para coordinar las actividades del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano en Guatemala. Está interesado en preparar una solicitud de asesoría técnico-financiera ante las Naciones Unidas, con objeto de realizar estudios sobre disponibilidades de agua subterránea en el país. Existen al presente numerosas empresas privadas dedicadas a la perforación de pozos para agua; estas empresas cuentan con muy poca o ninguna asesoría técnica que les permita ubicar y completar los pozos, y los registros de perforación están generalmente incompletos.

6. Conclusiones

Es evidente la necesidad de proporcionar asesoría a Guatemala para iniciar un estudio sistemático de los recursos hídricos de su subsuelo, posiblemente a través de alguno de los organismos especializados de las Naciones Unidas. Convendrá además adiestrar personal profesional y subprofesional en las diferentes disciplinas relacionadas con la investigación y aprovechamiento del agua subterránea y crear lo antes posible un organismo centralizado encargado de dichos estudios y de coordinar todas las actividades relacionadas con este recurso.

II. HIDROGEOLOGIA

1. Introducción

Figura a continuación una descripción cualitativa de la hidrogeología de la vertiente del Pacífico de Guatemala, especialmente dirigida al señalamiento de las áreas susceptibles de obtener aprovechamientos en gran escala del agua subterránea, así como de las que carecen del potencial suficiente aunque de ellas puedan obtenerse caudales o rendimientos limitados que permitirían abastecer necesidades de reducida magnitud.

El estudio se refiere únicamente a la vertiente pacífica y a su vecindad inmediata, que puede considerarse un depósito prácticamente continuo de aguas subterráneas, aparte de que la información geológica sobre el resto del país es menos completa. Las posibilidades de alumbrar mantos de agua subterránea en la vertiente atlántica están limitadas en cualquier caso a áreas aisladas de reducida extensión.

Para los propósitos de este estudio general se han utilizado los mapas geológicos preparados por Williams et al (1)*, Williams (2), la Dirección General de Minería e Hidrocarburos (3) y Dengo (4). Con dichos trabajos, la colaboración del Dr. Samuel Bonis (5), y a base de las características de formaciones geológicas similares de países vecinos sobre los que se han realizado estudios cuantitativos detallados, se preparó la lámina 2 del informe general donde se delimitan las áreas de recarga y almacenamiento de agua subterránea de la vertiente del Pacífico, así como las formaciones geológicas de cuyo potencial acuífero no pueden esperarse aprovechamientos en gran escala. Dicha lámina también señala la ubicación de depósitos existentes en la vertiente atlántica.

* Los números remiten a la bibliografía que se incluye al final del informe.

2. Ocurrencia del agua subterránea

a) Áreas principales de recarga

Bajo esta unidad se han agrupado en la lámina 2 todas las formaciones correspondientes al Cuaternario volcánico (Qv), ubicadas en la cadena costera, y constituidas generalmente por rocas ígneas extrusivas de carácter andesítico y/o basáltico. En estricto rigor existen otras formaciones que son capaces de admitir recarga en altas proporciones; cumplen una función eminentemente de almacenamiento y por ello han sido incluidas en la siguiente unidad.

b) Depósitos de agua subterránea

Los principales depósitos de agua subterránea en la vertiente del Pacífico de Guatemala están constituidos por formaciones aluvionales recientes (Qal) con materiales volcánicos entremezclados, que cubren gran parte de la planicie costera. Aunque reciben considerables volúmenes de recarga su función principal, por razón de su ubicación, es la de almacenar agua infiltrada.

Depósitos importantes existen también en las formaciones Cuaternarias de pómez (Qp) de algunos valles intramontanos como los de la ciudad de Guatemala, Quezaltenango, etc. Estos depósitos de pómez admiten también considerables volúmenes de recarga.

En términos generales, puede decirse que en los depósitos antes mencionados el agua subterránea ocurre bajo condiciones de acuífero libre, donde el nivel superior del manto freático se encuentra a una presión igual a la atmosférica. En estos depósitos, compuestos generalmente por más de un horizonte saturado, el agua bombeada se extrae mediante un lento proceso de drenaje gravitacional de los intersticios de la formación saturada, razón por la cual se hace necesario emplear procedimientos especiales para analizar los datos obtenidos en ensayos de bombeo. Según informan algunos perforadores (6), pozos artesianos surgentes han sido perforados en Antigua y Quezaltenango, después de atravesar los depósitos de pómez; parece que existe también un estrato bajo presión artesiana en la vecindad de Puerto San José, a una profundidad de más de 600 pies (7). No puede descartarse ni afirmarse la posibilidad de que estas condiciones se extiendan a una región mucho más amplia.

En los depósitos aluvionales de la planicie costera, el agua subterránea se mueve en dirección al mar, siendo su magnitud gobernada por el gradiente hidráulico y la permeabilidad y dimensiones físicas de los materiales saturados; ocurren, sin embargo, modificaciones locales en la dirección de circulación del agua subterránea, que se deben a la presencia de ríos, fuentes, lagunas y/o cambios locales en la permeabilidad de los materiales. Estos depósitos se encuentran en conexión hidráulica con el océano, existiendo al presente eliminaciones considerables de agua subterránea hacia el Pacífico. En los valles intramontanos el agua subterránea se mueve probablemente partiendo de las áreas de recarga y siguiendo la dirección del drenaje superficial.

El volumen total saturado y el de agua almacenada en los depósitos es hasta la fecha desconocido; sin embargo, en la costa se han perforado pozos de más de 300 metros de profundidad, lo que hace suponer la existencia de vastos volúmenes almacenados. Por otra parte, es evidente que la extracción máxima posible no habrá de depender del volumen almacenado sino más bien de las tasas de recarga y/o la capacidad de transmisión de los depósitos, sin contar con la posibilidad de intrusión salina en la vecindad de la costa.

Aunque hasta la fecha no se han realizado estudios detallados al respecto, algunos datos permiten estimar que la profundidad al agua subterránea en los depósitos aluvionales de la costa puede oscilar entre 50 metros a la altura del contacto con los materiales volcánicos, y menos de un metro en la vecindad inmediata de la costa. En el área de la ciudad de Guatemala el agua está por lo general a más de 50 metros de profundidad; lo mismo puede afirmarse con respecto a los materiales que constituyen las áreas de recarga. En lo referente a los gradientes de la tabla freática, en los depósitos aluvionales la pendiente puede oscilar entre 2 y 5 por mil, ocurriendo valores superiores al uno por ciento en las áreas de recarga.

Algunos informes (6,8) sobre capacidades específicas de pozos de producción permiten suponer que la permeabilidad de los materiales aluvionales puede oscilar entre 500 y 1 000 GPD/pie², o su equivalente de 12 a 24 litros por día por metro cuadrado (LPD/m²), con un valor promedio de unos 15 LPD/m² (600 GPD/pie²). En los materiales volcánicos que constituyen las áreas de

/recarga

recarga parecen ocurrir permeabilidades de entre 1 000 y 5 000 GPD/pie², dependiendo del grado de intemperización de estos materiales. En los depósitos de pómez pueden anticiparse permeabilidades de menos de 12 LPD/m², (500 GPD/pie²), a menos que existan estratos intercalados de otros materiales de mayor permeabilidad. El rango del coeficiente de almacenamiento, al tratarse de acuíferos libres y una vez ocurrido un completo drenaje gravitacional de los intersticios, puede ser de entre 2 y 30 por ciento. Los valores de permeabilidad antedichos corresponden a los encontrados en formaciones geológicas similares en El Salvador (9, 10,11,12,13,14,15), y en Nicaragua (16,17,18).

Teniendo en cuenta los valores anteriores, podría aspirarse a obtener caudales individuales de entre 700 y 1 500 galones por minuto (44 y 95 litros por segundo) en pozos diseñados y construidos adecuadamente que penetran por lo menos 30 metros en los depósitos aluvionales; en los materiales volcánicos de las áreas de recarga podrían obtenerse entre 1 000 y más de 2 500 GPM (63 y más de 158 LPS) y en los depósitos de pómez entre 100 y 700 GPM (6 y 44 LPS). Estos rendimientos han sido calculados mediante un procedimiento para pozos (19) que además de penetrar por lo menos 30 metros en la formación saturada, operen con una eficiencia mínima del 60 por ciento y que no sean abatidos en más del 50 por ciento disponible; estos rendimientos concuerdan también con los obtenidos en algunos pozos de producción existentes (6,7,8,20).

c) Áreas de descarga natural

Las áreas principales de descarga natural directa del agua subterránea están ubicadas en la costa, donde los acuíferos se encuentran conectados directamente con el océano y ocurre descarga libre del agua dulce. Por otra parte, en la vecindad de la costa existen áreas donde la tabla freática se encuentra a escasa profundidad de la superficie, ocurriendo entonces pérdidas por evaporación directa y por transpiración de vegetación freatófita.

En la ciudad de Guatemala y en las ciudades de Antigua y Quezaltenango existen áreas de extracción artificial limitada, por lo que no influye significativamente en un balance.

/En los

En los acuíferos costeros que están en conexión hidráulica con el océano y donde el gradiente freático es bajo por lo general, existiría la posibilidad de que un aprovechamiento en gran escala alterase el actual equilibrio dinámico entre el agua subterránea dulce que descarga hacia el mar, y la cuña de agua salada que permanece generalmente estática. Cualquier extracción que haga quedar el nivel de bombeo más bajo que el nivel del mar puede causar intrusión de agua salada en los acuíferos y el deterioro consiguiente de la calidad del agua.

d) Formaciones no saturadas e impermeables

Dentro de este grupo o unidad en la lámina 2 se han incluido todas las formaciones que poseen características que impiden tanto la infiltración como el almacenamiento y flujo del agua subterránea, y que por lo tanto no pueden considerarse saturadas; también se incluyen formaciones que aunque pueden absorber y almacenar agua, no pueden transmitirla en las cantidades requeridas para proporcionar aprovechamientos en gran escala; volúmenes menores pueden obtenerse sin embargo para necesidades menores.

Estas formaciones pertenecen por lo general al Terciario volcánico, al Cretácico sedimentario, y al Terciario Cretácico intrusivo y metamórfico, y se encuentran ubicadas en la parte norte de la vertiente del Pacífico.

e) Información disponible sobre la Vertiente del Atlántico

Puede asegurarse que más del 85 por ciento de la extensión de la vertiente atlántica está constituida por formaciones volcánicas, sedimentarias y metamórficas del Terciario y anteriores, por lo que el potencial de aprovechamiento es limitado. En el 15 por ciento restante se observan aluviones Cuaternarios y recientes que pueden constituir depósitos subterráneos de alguna importancia; su ubicación aparece en la lámina 2. Sólo se dispone en la actualidad de reducida información cuantitativa sobre las características hidráulicas y físicas de estos depósitos (20); parece razonable suponerles una permeabilidad inferior a la de los depósitos aluvionales de la costa del Pacífico por tratarse de materiales producto de la erosión de otros más antiguos.

III. ESTIMACION PRELIMINAR DE LOS RECURSOS HIDRICOS DEL SUBSUELO

1. Introducción

La estimación de las disponibilidades de agua subterránea para la vertiente del Pacífico de Guatemala que se presenta a continuación sólo es una primera aproximación del orden de magnitud de su verdadero valor, dada la información disponible. La estimación se ha realizado extrapolando a los resultados obtenidos en áreas específicas de países vecinos con base en las características geológicas e hidrológicas de las formaciones saturadas de la región identificadas con anterioridad, que se señalan en la lámina 2 del informe general.

Para los efectos de la disponibilidad de aguas del subsuelo debe recordarse que los depósitos subterráneos deben aprovecharse a una tasa de extracción no determinada por el volumen almacenado sino por la tasa de renovación o recarga del depósito. Es decir, el abastecimiento perenne de agua subterránea sólo puede asegurarse mientras la extracción no exceda la capacidad de recarga del recurso.

Para estimar el rendimiento seguro debe considerarse cada depósito subterráneo como una unidad y hacerse un balance hidrológico para el mismo. También debe distinguirse entre los términos "rendimiento máximo perenne" y "rendimiento permisible perenne". El primero se refiere al valor máximo que teóricamente podría extraerse de un depósito subterráneo; el segundo, al valor del rendimiento que puede extraerse perennemente sin que ello conduzca a resultados indeseables. Por rendimiento máximo perenne debe entenderse el volumen que físicamente podría extraerse en condiciones ideales; su valor está fijado por la naturaleza y no por las obras o medios de aprovechamiento establecidos por el hombre; el rendimiento perenne permisible, o rendimiento seguro, es el volumen que puede aprovecharse teniendo en cuenta las limitaciones económicas, legales, y de calidad impuestas por el uso a que se destinará el agua (21).

/2. Evaluación

2. Evaluación de la ecuación hidrológica subterránea

a) Generalidades

Para estimar después el valor del rendimiento seguro de los depósitos de agua subterránea existentes en la vertiente pacífica de Guatemala, se efectuará una evaluación de la ecuación de balance hidrológico de dichos depósitos. La expresión matemática simplificada de la ecuación que deberá evaluarse, considerando todos los depósitos incluidos en una sola unidad, es la siguiente:

$$P_i = ET_{sb} = D_{sb} + CB + D_{ae} + \Delta s$$

en donde P_i es la precipitación que se infiltra hasta los depósitos; ET_{sb} , la evapotranspiración directa del agua subterránea en áreas donde la tabla freática se encuentra a escasa profundidad y existe vegetación freatófita; D_{sb} , el deflujo subterráneo hacia el océano; CB , la descarga efluente de los depósitos que constituye el caudal base de los ríos; D_{ae} , es la extracción artificial efectiva del depósito, equivalente al volumen bombeado en pozos que no es devuelto por infiltración posterior y/o medio como escorrentía subterránea en los ríos; y Δs es cualquier cambio neto en el almacenamiento de los depósitos.

Todos los items de dicha ecuación deben ser objeto de evaluación individual para cada depósito existente en el país, tal como aparece a continuación.

b) Estimación de la infiltración

La estimación de la infiltración que procede de la precipitación es de singular importancia, porque es la que genera, por así decirlo, el resto de los items de la ecuación en función de los parámetros hidráulicos y de las dimensiones físicas de las formaciones saturadas que componen los depósitos.

Con base en los resultados de estudios detallados realizados en cuencas hidrogeológicamente similares de El Salvador (14,15,22,23) y de Costa Rica (24,25,26), se pueden asignar los siguientes valores

/conservadores

conservadores de tasas de infiltración en función de la lluvia, para las diversas unidades hidrogeológicas anteriormente definidas:

	<u>Por ciento</u>
Cuaternario volcánico (Qv)	45
Aluvión reciente (Qal)	35
Depósitos de pómez (Qp)	35
Materiales Terciarios, Cretácicos y anteriores (T,K)	5

Por medición directa sobre el mapa geológico preliminar, se determinaron las áreas correspondientes a cada unidad hidrogeológica antes descritas, empleándose los valores de infiltración ya citados para obtener el coeficiente ponderado de infiltración para el país que aparece a continuación:

Unidad hidrogeológica	Extensión (km ²)	Por ciento del área	Porcentaje ponderado de infiltración sobre precipitación
Material volcánico del Cuaternario (Qv)	6 540	28.0	12.6
Depósitos aluvionales (Qal) y de pómez (Qp)	10 430	44.5	15.6
Materiales del Terciario y anteriores	6 410	27.5	1.4
Total	<u>23 380</u>	-	<u>29.6</u>

Se estima que un 29.6 por ciento de la precipitación caída en la vertiente pacífica se infiltra anualmente hasta los depósitos subterráneos y equivale a un volumen de 15 550 millones de metros cúbicos y a una lámina de 665 milímetros en el área en referencia. Cabe señalar el hecho de que en los cálculos anteriores se ha supuesto una distribución espacial uniforme de los 52 475 millones de metros cúbicos que precipitan en el área, con lo cual se introdujo un margen adicional de seguridad en los resultados, ya que por lo general a las áreas de más alta infiltración corresponde una lámina anual de precipitación mayor.

c) Evapotranspiración

c) Evapotranspiración directa de los depósitos

Las áreas de tabla freática somera y aquellas en que existen condiciones pantanosas en las que ocurre pérdida directa de agua subterránea, han sido estimadas por Ahlgren et al (27). Empleando el método de Blaney Criddle (28) se ha podido estimar la tasa anual de evapotranspiración en estas áreas debida únicamente a utilización de agua subterránea, calculándose que unos 1 030 millones de metros cúbicos se pierden por este concepto.

d) Deflujo subterráneo hacia el océano

El volumen que anualmente defluye subterráneamente hacia el Pacífico, a través de los sedimentos aluvionales, ha sido estimado mediante la fórmula de Darcy, considerando una permeabilidad media asumida de 600 GPD/pie² (15 LPD/m²), un espesor saturado de 914 metros, estimado con base en el mapa topográfico-batimétrico recientemente publicado por Dengo (4); un gradiente hidráulico supuesto del 2 por mil; y un ancho de sección de 220 kilómetros. Así, se calcula que unos 3 600 millones de metros cúbicos defluyen anualmente hacia el Pacífico.

e) Extracción anual efectiva y cambios netos en almacenamiento

Teniendo en cuenta que únicamente existen extracciones muy reducidas, los depósitos pueden considerarse vírgenes en cuanto a desarrollo se refiere; en ellos existe un equilibrio natural entre recarga y descarga, siendo insignificantes en el balance general la extracción anual efectiva y los cambios netos en almacenamiento.

f) Descarga efluente de los depósitos a los ríos

Es el rebalse de los depósitos actualmente llenos, en respuesta a la recarga anual, y constituye el caudal base de los ríos. Se admite generalmente que durante el estiaje el caudal total de los ríos es derivado exclusivamente de los depósitos subterráneos, pero debe señalarse que durante

la época lluviosa el caudal base aumenta considerablemente, representando una buena fracción del caudal total especialmente en el caso de la vertiente del Pacífico de Guatemala, por la presencia de materiales volcánicos altamente permeables en las áreas de recarga.

Para los propósitos de este estudio, se ha estimado el caudal base por diferencia entre aflujos y deflujos dentro de la ecuación hidrológica subterránea, al no haberse contado con información y tiempo para realizar estimaciones más ajustadas con base, por ejemplo, en una separación analítica de las componentes del hidrograma.

Así, se ha estimado que unos 10 930 millones de metros cúbicos constituyen el caudal base anual de los ríos, equivalentes a un caudal medio de 347 metros cúbicos aproximadamente.

3. Estimación del rendimiento seguro

a) Generalidades

El rendimiento seguro de un depósito es sólo una fracción del rendimiento máximo perenne, y su magnitud depende de la eficiencia con que el sistema de aprovechamiento que se implante pueda convertir en uso benéfico para uso humano todos los items de deflujo de la ecuación hidrológica subterránea, manteniendo a la vez un balance a largo plazo en el almacenamiento del depósito (21).

El valor del rendimiento seguro para el caso en referencia puede cuantificarse resolviendo la siguiente ecuación:

$$R.S. = A(ETsb) + B(CB) + C(Dsb)$$

en donde A, B y C son coeficientes que indican la porción recuperable de cada item de deflujo en la ecuación, cuyo valor se estima a continuación.

b) Evapotranspiración recuperable

La evapotranspiración directa del agua subterránea ocurre principalmente en las áreas donde el nivel freático se encuentra a escasa profundidad de la superficie. Si se tiene en cuenta que con la extracción de

/agua subterránea

agua subterránea en gran escala se hará descender el nivel freático regional, podría aspirarse a recuperar por lo menos un 30 por ciento de la que se pierde actualmente por este concepto.

c) Deflujos subterráneos recuperables

Al implantar sistemas de pozos en el límite preciso entre las áreas de recarga de la cadena volcánica y los sedimentos aluvionales de la planicie costera, podría recuperarse parte del presente deflujo subterráneo al Pacífico, por ser en ese sector elevados tanto la permeabilidad de los materiales saturados como el gradiente hidráulico, menor que en la costa el espesor saturado total y razonables todavía las profundidades al agua.

Con base en las características físicas e hidráulicas de las formaciones señaladas, asumiendo la utilización de pozos de producción cuya profundidad no exceda los 92 metros --que se considera un límite económico para los usos agropecuarios-- y que operen durante la estación seca, se estima posible recuperar unos 340 millones de metros cúbicos, que equivalen a un 9.4 por ciento del deflujo total actual.

d) Caudal base susceptible de recuperar

Admitiendo la posibilidad de interceptar el flujo de agua subterránea antes de que aparezca como efluente en los ríos, mediante la implantación de un sistema de pozos eficiente que induzca notables descensos en el nivel freático, y mediante la captación de nacimientos y otros cuerpos menores de agua, se considera factible recuperar entre un 40 y un 75 por ciento del caudal base de los ríos (29, 30).

La magnitud del volumen recuperable es una función directa de la eficiencia del sistema de aprovechamiento que se implante, y de las características físicas e hidrogeológicas de cada cuenca en particular. Para dar una idea, se ha supuesto que podría recuperarse un 50 por ciento de los caudales base en atención a la limitación impuesta por la posibilidad de inducir la intrusión salina con la extracción. Ello equivale a un volumen anual de 5 460 millones de metros cúbicos.

e) Sumario de items recuperables: rendimiento seguro

Como se señaló con anterioridad, el rendimiento seguro equivale a la suma de las porciones recuperables de los items de deflujo en la ecuación hidrológica subterránea. Parece factible recuperar un volumen anual de 6 110 millones de metros cúbicos, 39 por ciento de la infiltración anual, equivalentes a un caudal medio de 194 metros cúbicos por segundo.

El rendimiento seguro así estimado podría distribuirse, con base en las características particulares de las grandes cuencas consideradas, de la manera siguiente:

Gran cuenca	Nomenclatura		Rendimiento seguro estimado	
	Cuenca	Ríos	$m^3 \times 10^6$	m^3/seg
E ₁	2	Suchiate	400	13
E ₂		Int. entre 2 y 4	1 100	35
F	4,6,8	Samalá, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate y otros	2 400	76
G	14,16	Achiguate, María Linda y otros	1 650	52
H	18	Los Esclavos y otros	350	11
I	20	Río Paz	150	5
J	46	Río Lempa	50	1.5

BIBLIOGRAFIA

1. Williams, H., McBirney, A.R., y Dengo, G., 1964. Geologic reconnaissance of Southeastern Guatemala, University of California Publications in Geological Sciences. Vol. 50 Berkely, California.
2. Williams, Howel, 1960. Volcanic history of the Guatemalan Highlands. University of California Publications in Geological Sciences. Vol. 38. Berkely, California.
3. Dirección General de Minería e Hidrocarburos, 1968. Compilación geológica provisional de la República de Guatemala. Guatemala.
4. Dengo, Gabriel, 1968. Estructura Geológica, historia tectónica y morfología de América Central. Centro Regional de Ayuda Técnica de AID. México, D.F.
5. Bonis, Samuel, 1969. Comunicación personal. Instituto Geográfico Nacional. Guatemala.
6. Pivaral, Francisco, 1967. Comunicación personal sobre experiencias en perforación de pozos en Guatemala.
7. Ventura, Mariano, 1969. Comunicación verbal sobre el estado de la hidrogeología en Guatemala. Dirección General de Minería e Hidrocarburos. Guatemala.
8. Quan, Raúl, 1969. Comunicación verbal sobre trabajos de agua subterránea en la Dirección de Aguas y Drenajes de la Municipalidad de Guatemala.
9. Jovel, Roberto, 1966. Hidrogeología de la Cuenca del Río Sucio, El Salvador. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
10. Jovel, Roberto, 1967. Feasibility of Well-Point Irrigation in Hacienda Metalfo, Sonsonate. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
11. Jovel, R., Martínez, H., y Martínez, M., 1967. Reconocimiento hidrogeológico de la Planicie Costera Central, El Salvador. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
12. Solórzano, Andrés, et al, 1966. Posibilidades de desarrollo agrícola en los valles altos de Ahuachapán y Santa Ana. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.

13. Prickett, Thomas, A., 1966. Schemes of ground water development in Zapotitan Valley, El Salvador. Consultant's report to Harza Engineering Co., Urbana, Illinois.
14. Wozab, David, et al, 1964. Final report, ground water exploratory project, Lower San Miguel River Basin, El Salvador. United Nations, Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.
15. Wozab, David y Jovel, Roberto, 1968. Hydrological analysis of volcanic terrain: Lower Basin of San Miguel River, El Salvador. (Inédito).
16. Hazen and Sawyer, 1964. Fuentes de abastecimiento de agua para Managua, Nicaragua. Informe para Empresa Aguadora de Managua. New York, N. Y.
17. Soto, Fernando, 1966. Estudio preliminar sobre los recursos de agua subterránea del sureste de León, Nicaragua. Servicio Geológico Nacional. Managua, Nicaragua.
18. Soto, Fernando, 1968. Resultados del programa de perforación de pozos exploratorios, y análisis de los ensayos de bombeo en Telica y León. Servicio Geológico Nacional. Managua, Nicaragua.
19. Jovel, Roberto, 1967. Computation of drawdowns under intermitent pumping conditions. Publicación No. 15, Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. San José, Costa Rica.
20. Porres, Oswaldo, 1961. Reporte final del proyecto de riego por pozos en el área de la Fragua, Zacapa. Ministerio de Agricultura de Guatemala.
21. Committee on Ground Water, 1960. Ground Water Basin Management. American Society of Civil Engineers. New York, N. Y.
22. Jerez, Roberto, J., 1967. Estudio hidrogeológico preliminar de la Planicie Costera Oriental. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad de El Salvador.
23. Jovel, Roberto, 1962. Rainfall-runoff relationship and annual discharge, Santa Alicia experimental watershed. Comisión para la exploración de aguas subterráneas, Valle Bajo del Río Grande de San Miguel, El Salvador.
24. Ahlgren, L., Fernández, M., y Jovel, R., 1968. Estudio hidrológico de la cuenca del río Virilla, Costa Rica. Informe conjunto: Proyecto Investigación Aguas Subterráneas de Costa Rica y Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. San José, Costa Rica.

25. Ahlgren, L., y Jovel, Roberto, 1969. Evaluation of the water balance in an inland Costa-Rican river basin. Inédito.
26. Jovel, Roberto, 1969. Estudio hidrológico de tres cuencas seleccionadas en Costa Rica. Publicación No. 50 (en preparación). Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. San José, Costa Rica.
27. Ahlgren, L., Basso, E., y Jovel, R., 1969. Preliminary evaluation of the water balance in the Central American Isthmus. Proceedings, Symposium on the water balance of North America. American Water Resources Association.
28. Blaney, Harry y Criddle, Wayne, 1966. Determining consumptive use for planning water developments. En: Methods for estimating evapotranspiration. Irrigation and Drainage Specialty Conference. American Society of Civil Engineers, New York.
29. Walton, William, C., 1965. Comunicación verbal sobre rangos usuales de rendimiento seguro. Illinois State Water Survey. Urbana, Illinois.
30. Wang, K.T., 1962. Ground water development in Taiwan. Transactions, Regional seminar on the development of ground water resources. UNESCO/ECAFE. Bangkok, Thailand.