

NACIONES UNIDAS

CONSEJO  
ECONOMICO  
Y SOCIAL



LIMITADO  
E/CN.12/CCE/SC.5/71/Add.1  
TAO/LAT/104/EI Salvador  
Octubre de 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 HIDRAULICOS

II. EL SALVADOR

Anexo A. Meteorología e hidrología

Informe elaborado para la Misión Centroamericana de Electrificación y Recursos Hidráulicos por el Sr. 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	1
Sumario	3
I. Características meteorológicas generales	6
1. Principales factores determinantes del clima	6
a) Situación geográfica y relieve orográfico	6
b) Las corrientes y masas oceánicas	7
c) Los principales sistemas béricos y masas de aire	8
2. Causas meteorológicas de las precipitaciones	9
a) La zona de convergencia intertropical o frente intertropical	10
b) Frentes fríos o polares	11
c) Ondas del este u ondas de inestabilidad	12
d) Circulaciones meteorológicas locales	12
e) Huracanes	13
f) Temporales	14
II. Regímenes de las precipitaciones	15
1. Distribución geográfica	15
2. Distribución de la precipitación a lo largo del año	15
3. Variabilidad de las lluvias	21
a) Variabilidad anual	22
b) Variabilidades mensuales	22
III. Hidrografía e hidrología	25
1. Descripción resumida de la hidrografía del país	25
a) Lagos	26
b) Ríos internacionales	28
2. Regímenes hidrológicos e irregularidad de los principales ríos	28
3. Estimación de los recursos hidráulicos superficiales	30
a) Aguas nacionales	34
b) De interés internacional	34

/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	41
1. El proyecto de ampliación y mejoramiento de los servicios hidrometeorológicos e hidrológicos en el Istmo Centroamericano del Fondo Especial de las Naciones Unidas	41
2. El servicio meteorológico nacional	42
3. Sección de aguas superficiales del Departamento de Recursos Hidráulicos	43
4. La Dirección de Grandes Obras de Riego	44
5. La Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)	44
6. La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados	44
7. Otros organismos	44
VI. Conclusiones y recomendaciones	46
1. Conclusiones	46
2. Recomendaciones	46
Bibliografía	51
Apéndice. Disponibilidades de agua subterránea en El Salvador	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), confirmada por otras posteriores, se recomendó a la secretaría que, con la colaboración de las diferentes agencias especializadas de las Naciones Unidas y de otros organismos internacionales, realizara "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 como saneamiento y demás beneficios que deriven de la construcción de las obras correspondientes y del uso del agua". Un experto de la Organización Meteorológica Mundial que cubre los aspectos de hidrometeorología e hidrología desde el año 1957, colaboró en esta tarea. Los gobiernos de los países del Istmo Centroamericano a través del Subcomité Centroamericano de Electrificación y Recursos Hidráulicos que pertenece al Comité de Cooperación Económica, solicitaron de la CEPAL, en agosto de 1966 una evaluación de los recursos hidráulicos regionales, que se ha llevado a cabo en distintos períodos, a partir de mayo de 1967.

Este informe contiene el trabajo efectuado por el experto de la OMM en El Salvador, como integrante de la Misión. Para tal fin efectuó breves visitas al país en 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.

/SUMARIO



## SUMARIO

El Salvador se encuentra en el hemisferio norte del continente americano, entre las latitudes de  $13^{\circ}20'$  y  $14^{\circ}35'$  y las longitudes de  $87^{\circ}40'$  y  $90^{\circ}05'$ , aproximadamente. Es el único país de la región con costas al océano Pacífico solamente. Su posición geográfica y su orografía determinan su clima, factores a los que se suman la circulación atmosférica que se manifiesta por los sistemas béricos y masas de aire que se desplazan sobre su territorio y sufren las influencias de las masas y corrientes oceánicas vecinas.

Diversos procesos meteorológicos son los que en última instancia originan las precipitaciones en el país. Los principales son la Zona de Convergencia Intertropical o Frente Intertropical; los temporales; las ondas del este u ondas de inestabilidad; las circulaciones meteorológicas locales; los huracanes y los frentes fríos o polares (poco frecuentes y de poca importancia).

Las precipitaciones anuales promedio varían entre unos 1 450 milímetros y algo más de 2 500 milímetros, siendo la media para todo el país de 1 820. De acuerdo a estos valores extremos, el rango de variación de las lluvias es el menor de todos los países del Istmo. Las mayores precipitaciones ocurren en la Sierra de Apaneca y en la región fronteriza con Honduras en la cuenca del río Torola. Las menores se registran en la zona del lago Güija y en el valle de Zapotitán. El régimen de precipitaciones presenta un período lluvioso de mayo a octubre y otro seco de noviembre a abril. En el primero cae entre el 93 y el 97 por ciento de la suma anual.

Los totales anuales de las lluvias tienen coeficientes de variación que van desde 14 a 25 por ciento.

Todos los ríos corresponden a la vertiente del Pacífico; el principal, con mucha diferencia, es el Lempa. Ríos importantes son también el Paz; el Grande de San Miguel; el Sirama y el Goascorán.

/Los caudales

Los caudales medios mensuales muestran una época de aguas altas que va de junio a octubre y una de aguas bajas, de diciembre a abril, siendo mayo y noviembre meses de transición. En el semestre de junio a noviembre escurre entre el 64 y el 94 por ciento del total anual, según los ríos. Los caudales mensuales mayores se presentan en septiembre y los menores de enero a abril. Los coeficientes de irregularidad varían desde 0.15 a 0.50, lo cual indica regímenes poco uniformes.

La disponibilidad de los recursos hidráulicos superficiales es conocida en gran parte, puesto que se mide en el 88 por ciento de las superficies de las cuencas del país. También se efectúa una estimación de la totalidad. El agua caída anualmente en el territorio nacional completo alcanza a  $36\,367 \times 10^6 \text{ m}^3$  de los cuales escurren  $14\,113 \times 10^6 \text{ m}^3$  o sean un caudal de  $448 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El volumen de agua superficial de que dispone el país distribuido por habitante, de acuerdo con la población de 1968, da  $4\,500 \text{ m}^3$  que equivale a  $0.15 \text{ l/s/hab}$ . Este caudal es originado por agua caída únicamente en el país. La disponibilidad por habitante es la más baja de todo el Istmo Centroamericano,  $1/6$  de la del país más inmediato.

El relieve favorece o perjudica, según los usos, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos. La parte de mayor relieve se encuentra hacia el occidente del país y la de menores alturas en las zonas costeras del océano Pacífico y en las cuencas de los ríos Grande de San Miguel, Sirama y Goascorán. El 42.6 por ciento del territorio nacional tiene alturas inferiores a 305 metros y el 69.9 inferiores a 610 metros.

Por evapotranspiración se pierde una parte importante de los recursos hidráulicos. La potencial estimada por la fórmula de Blaney-Criddle modificada, señala para las zonas bajas algo más de 2 000 milímetros al año y disminuye con la altura siendo en las tierras altas de 1 800 a 2 000 milímetros, salvo un pequeño sector del noroeste donde es inferior a 1 800.

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 de meteorología e hidrología son el Servicio Meteorológico Nacional; Aguas Superficiales del Departamento de Recursos Hidráulicos; la Dirección de Grandes

Obras de Riego; la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Rfo. Lempa (CEL) y la administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

En las actuales circunstancias institucionales, y dada la íntima relación técnica de la meteorología y de la hidrología, sería oportuno que los organismos que se dedican a la obtención de datos básicos, elaboración, estudio, investigación y divulgación pudieran centralizarse en uno sólo.

## I. CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS GENERALES

### 1. Principales factores determinantes del clima

Diversos factores geográficos, oceanográficos y meteorológicos contribuyen a formar el clima de Centroamérica. Se consideran aquí los directamente vinculados con el de la región.

#### a) Situación geográfica y relieve orográfico

Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá están ubicados en el hemisferio norte entre el ecuador y el trópico de cancer, 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, o sea, variación de los parámetros climáticos a cortas distancias. Aquéllas favorecen en gran medida también la formación de circulaciones locales.

Los principales sistemas orográficos son:

Talamanca, Playita, Tabasará, San Blas y Darién, en Panamá;  
Cordillera volcánica de Guanacaste, Cordillera Volcánica Central y Cordillera de Talamanca, en Costa Rica;

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

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

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

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

Este relieve no sólo afecta el régimen térmico, produciendo disminución de temperatura con la altura, sino que también afecta a la circulación atmosférica de la región y modifica el régimen pluviométrico general.

A modo de ejemplo se citan a continuación, en cada país centroamericano algunos lugares cercanos por los que se pueden ver las diferencias entre las temperaturas medias anuales debidas a la altura:

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

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

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

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

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

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

Los sistemas orográficos también alteran el campo de las precipitaciones, produciendo fuertes variaciones entre zonas vecinas, comparadas con el resto de cada país, pudiendo citarse a modo de ejemplo:

Departamentos de Suchitepéquez y Huehuetenango, en Guatemala; Volcán de Santa Ana, en El Salvador; Lago Yojoa y costa atlántica, en Honduras, San Juan del Norte, en Nicaragua; Puerto Golfito, provincia de Puntarenas, en Costa Rica; Cuenca del río Chiriquí Viejo, en Panamá.

#### b) Las corrientes y masas oceánicas

El conjunto de países continentales centroamericanos está rodeado en su mayor parte por grandes masas oceánicas que las separan 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 las costas del Norte de Sudamérica,

/penetran en

penetran en el mar Caribe a través de las islas de Sotavento y Barlovento, aunque parte de ellas corre a lo largo de las costas norte de las grandes Antillas. La parte que penetra en el Caribe fluye en este mar, del que sale por el estrecho de Yucatán para más tarde pasar 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 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  $9^{\circ}$ - $12^{\circ}$  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 señalar 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 de aire tropical que normalmente cubre la región son calientes y húmedas, y por lo general inestables y los procesos dinámicos con que fácilmente liberan su humedad como precipitación, son de ascenso producido por convergencia, calentamiento desde la superficie o ascenso favorecido por la topografía. Cualquiera de los tres procesos sería suficiente pero además se producen combinados.

También llegan a Centroamérica masas de aire polar bastante modificadas a causa del largo recorrido que han debido efectuar. Si ha sido sobre el golfo de México adquieren mayor temperatura y humedad, pero si se han desplazado sobre la meseta mexicana conservan bastantes 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.

A estas interrupciones de aire se deben las temperaturas mínima absoluta y las heladas excepcionales que se producen en las más altas tierras en algunas partes de América Central y afectan a cultivos como el café. En las montañas de Guatemala y Costa Rica más altas se han observado temperaturas algo más bajas de cero grados. (1)\* En el año 1956, en el valle de los Naranjos del departamento de Sonsonate de El Salvador se registraron, por tres noches consecutivas, temperaturas mínimas de  $-4^{\circ}\text{C}$ .

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; es decir, cualquier tipo de precipitación, requiere que se aporte la suficiente humedad al proceso dinámico capaz de producir lluvia. Cuando la humedad es insuficiente, o el proceso dinámico productor no es lo necesariamente vigoroso, sólo se formarán sistemas nubosos sin que ocurra la precipitación.

\* Las referencias bibliográficas se indican en el texto con números entre paréntesis y remiten a la bibliografía que concluye el estudio.

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

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, queda a una altura de 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.

Inmediatamente se resumen los principales, y aunque se consideran hechos aislados no se descarta la posibilidad de que 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 la interacción entre las grandes corrientes de vientos alisios de ambos hemisferios. Esta zona no se ubica en una región geográfica fija pues experimenta una variación estacional al mismo tiempo que modifica su comportamiento. De una manera breve 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° norte. Las posiciones extremas norte pueden alcanzar hasta los 16° a 18° norte, 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° norte. En forma excepcional puede alcanzar la parte sur del Golfo de México.

/Los fenómenos

Los fenómenos de la ITC se manifiestan principalmente en un ancho de unos 50 kilómetros, donde se observan fuertes precipitaciones asociadas a sistemas nubosos compuestos por varias capas o filas de nubes de distintos tipos como 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 kilómetros.

La actividad de las nubes y fenómenos asociados como lluvias, turbulencia, vientos, etc., varía de día a día y también según las horas. Mayor actividad se observa en las horas de la tarde y menor en las primeras de la mañana.

Los cumulonimbus, cúmulos potentes, aparecen en líneas y sus cimas se extienden hasta los 4 000 metros o más, pudiendo con facilidad encontrarse 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 Estados Unidos de América, luego sobre México y el golfo homónimo y finalmente alcanzan a América Central.

Después de tan largo recorrido, pierden 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 extraordinarias situaciones los efectos parecen haberse detectado aún más al sur, (2,3), pero su acción es más frecuente hasta Guatemala y Honduras.

Su aparición se observa por lo general desde la segunda quincena de octubre y puede tener lugar hasta febrero, según las zonas. Los efectos de la precipitación, suelen traducirse en lluvias aisladas y ligeras que

/aumentan

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 ninguna repercusión 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 nordeste sobre el Caribe y que se desplazan hacia el oeste. Producen lluvias intensas a su paso. <sup>(4)</sup>

Gran importancia revisten estas ondas cuando se hacen estacionarias y su parte sur se asocia a la zona de convergencia intertropical. En la región de Honduras se forman temporales que se mantienen unos tres días y 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 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 variación 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 que 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 la topografía favorece además la formación de corrientes ascendentes dirigiendo abundante humedad hacia niveles más altos.

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 es una gran parte del Istmo.

#### e) Huracanes<sup>1/</sup>

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

<sup>1/</sup> 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, se denominan depresiones y tempestades tropicales.

septiembre, mes en el que en los últimos 75 años ha ocurrido el 36 por ciento. Los otros meses de mayor frecuencia son octubre y agosto, con 22 por ciento.

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 sin embargo, que las lluvias que originan en poco puedan alterar los promedios de un lugar, aunque 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 a decenas de miles de kilómetros cuadrados) 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 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 causan, debido a las crecidas de los ríos, deslizamientos de tierra, inundaciones, etc.

Este proceso, donde ocurre, puede ser el 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<sup>2/</sup>

### 1. Distribución geográfica<sup>(5)</sup>

Las precipitaciones se producen en su casi totalidad, en forma de lluvias. El granizo es muy raro, sólo se produce en áreas pequeñas y de pocos milímetros de tamaño por lo que generalmente no representa un problema para la agricultura ni para otras actividades.

Las precipitaciones anuales medias del país varían entre 1 450 mm y unos 2 500 mm (véase el cuadro 1).

La zona más árida corresponde a una faja sobre el lago de Güija, en el noroeste del país, con lluvias inferiores a 1 500 mm. La localidad de San Jerónimo tiene una precipitación de 1 459 mm. Esta faja se extiende hasta el valle de Zapotitán.<sup>(6)</sup>

La zona costera baja del país es bastante árida, especialmente en los departamentos de Ahuachapán, La Paz, San Vicente y Usulután. Las lluvias anuales alcanzan en ella desde 1 600 a 1 800 mm. Las partes centrales de los departamentos de San Miguel y La Unión son menos áridas y tienen precipitaciones de unos 1 700 mm.

Las lluvias anuales mayores se registran en la Sierra de Apaneca --Santa Ana-- donde se pueden encontrar lugares con 2 400 mm; en la zona del volcán de San Vicente (Zacatecoluca 2 289 mm), y en las zonas fronterizas con Honduras, en la cuenca del Río Torola y en las partes norte de los departamentos de Morazán y La Unión (unos 2 500 mm) <sup>(7,8)</sup>.

### 2. Distribución de la precipitación a lo largo del año

De los totales medios mensuales de lluvias se deduce que en todo el país existe un período de altas precipitaciones que va de mayo a octubre, y otro de precipitaciones escasas o casi nulas, de noviembre a abril. Se acostumbra llamar al primero invierno y al segundo verano aunque astronómicamente les corresponda una demonimación inversa.

En los seis meses que comprende el período lluvioso cae entre el 93 y el 97 por ciento del total anual (véase de nuevo al cuadro 1) en las estaciones analizadas, porcentaje que no debe diferir apreciablemente en el resto del país.

/Cuadro 1

<sup>2/</sup> Véase la lámina 3 del Informe General.

Cuadro 1  
EL SALVADOR: 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>Ahuachapán (13° 55' 89° 51')</u>															
Promedios	2	2	4	41	168	365	344	338	388	223	35	7	1 915	1 826	95
Valores máximos	38	21	36	220	346	691	671	571	729	665	228	58	2 706		
Valores mínimos	-	-	-	-	53	173	142	150	234	18	-	-	1 386		
Desviaciones estándar	7	5	8	48	78	112	116	89	121	132	52	13	299		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	350	250	200	117	46	31	34	26	31	59	148	186	16		
Años de observación	35	35	35	36	36	36	36	35	35	35	35	35	35		
<u>Acajutla (13° 36' 89° 50')</u>															
Promedios	1	1	5	49	173	303	278	262	329	284	44	4	1 733	1 629	94
Valores máximos	24	33	43	248	401	740	540	496	686	731	397	38	2 347		
Valores mínimos	-	-	-	-	19	118	56	88	63	28	-	-	1 243		
Desviaciones estándar	4	5	10	60	95	115	114	98	136	161	82	9	310		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	400	500	200	122	55	38	41	37	41	57	186	225	18		
Años de observación	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49		
<u>Sonsonate (13° 41' 89° 44')</u>															
Promedios	2	2	5	45	191	332	309	299	370	314	37	9	1 915	1 815	95
Valores máximos	39	32	48	163	422	660	547	498	939	743	382	75	2 822		
Valores mínimos	-	-	-	-	66	181	73	102	123	97	-	-	1 205		
Desviaciones estándar	7	7	10	42	89	119	114	99	159	159	59	18	377		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	350	350	200	93	47	36	37	33	43	51	160	200	20		
Años de observación	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47		

/Continúa

Quadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- ciento
<u>Santa Ana (13° 54' 89° 33')</u>															
Promedios	2	2	4	52	197	305	292	302	333	184	25	5	1 706	1 613	95
Valores máximos	20	44	38	231	448	561	559	632	552	552	117	49	2 521		
Valores mínimos	-	-	-	-	46	114	81	82	118	23	-	-	660		
Desviaciones estándar	4	7	9	56	91	96	114	115	108	100	32	10	387		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	200	350	225	108	46	31	39	38	33	54	128	200	23		
Años de observación	48	48	48	48	48	48	48	48	48	49	49	49	48		
<u>Coatepeque (13° 54' 89° 30')</u>															
Promedios	3	1	5	51	197	335	306	306	329	197	31	7	1 774	1 670	94
Valores máximos	74	26	41	229	384	694	504	513	642	502	151	90	2 347		
Valores mínimos	-	-	-	-	32	130	96	122	219	62	-	-	1 241		
Desviaciones estándar	11	4	10	54	84	113	96	86	89	89	38	18	271		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	368	400	200	106	43	34	31	28	27	45	123	257	15		
Años de observación	45	45	45	45	45	45	44	44	44	44	44	44	44		
<u>Santa Tecla (13° 41' 89° 17')</u>															
Promedios	5	4	7	55	155	314	330	317	400	241	49	8	1 886	1 757	93
Valores máximos	22	35	32	431	286	596	473	567	937	382	146	81	2 697		
Valores mínimos	-	-	-	2	74	129	126	181	231	80	-	-	1 527		
Desviaciones estándar	6	10	9	86	61	101	96	92	169	103	42	18	262		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	120	250	128	156	39	32	29	29	42	43	86	225	14		
Años de observación	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22		
<u>La Toma (13° 58' 89° 11')</u>															
Promedios	4	4	9	53	213	335	362	327	387	200	35	8	1 937	1 824	94
Valores máximos	30	33	84	203	513	622	625	472	526	343	156	99	2 659		
Valores mínimos	-	-	-	-	81	134	135	160	256	61	-	-	1 302		
Desviaciones estándar	8	8	18	50	93	96	108	83	73	77	42	20	330		
Coefficiente de variación <sup>a/</sup>	200	200	200	93	44	29	30	25	19	38	120	250	17		
Años de observación	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a	octubre
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- ciento
<u>Cojutepeque (13° 43' 88" 56')</u>															
Promedios	3	1	9	43	212	367	383	353	370	273	40	8	2 078	1 958	94
Valores máximos	25	8	56	264	757	1 229	1 133	1 102	686	538	118	70	3 844		
Valores mínimos	-	-	-	-	39	163	180	160	122	107	-	-	1 368		
Desviaciones estándar	6	2	15	48	114	216	157	151	138	105	41	15	496		
Coefficiente de variación <sup>a/</sup>	200	200	167	112	54	59	41	43	37	39	102	188	24		
Años de observación	35	35	35	38	39	39	39	38	38	38	38	38	35		
<u>Zacatecoluca (13° 30' 88" 52')</u>															
Promedios	2	2	7	39	232	392	353	358	462	366	59	11	2 289	2 163	95
Valores máximos	28	28	51	165	404	876	601	680	889	779	228	51	3 149		
Valores mínimos	-	-	-	-	53	194	122	167	229	85	-	-	1 576		
Desviaciones estándar	6	6	14	40	83	159	129	129	162	154	63	16	385		
Coefficiente de variación <sup>a/</sup>	300	300	200	117	36	41	37	36	35	42	107	145	17		
Años de observación	34	34	34	37	38	38	38	37	37	37	37	34	34		
<u>San Vicente (13° 39' 88" 47')</u>															
Promedios	4	3	4	43	210	367	350	342	392	286	46	6	2 071	1 947	94
Valores máximos	41	25	33	274	459	769	655	622	853	549	216	48	2 694		
Valores mínimos	-	-	-	-	41	86	132	154	137	86	-	-	1 393		
Desviaciones estándar	8	6	8	48	92	140	116	108	140	101	50	12	314		
Coefficiente de variación <sup>a/</sup>	200	200	200	112	44	38	33	32	36	35	109	200	15		
Años de observación	36	36	36	39	40	40	40	39	39	39	39	36	36		
<u>Jiquilisco (13° 20' 88" 34')</u>															
Promedios	-	2	4	23	192	326	299	291	389	345	63	4	1 952	1 602	94
Valores máximos	3	18	53	96	517	597	518	589	719	705	213	27	2 685		
Valores mínimos	-	-	-	-	16	188	137	140	188	71	-	-	1 418		
Desviaciones estándar	1	4	11	26	122	125	105	109	138	166	61	7	345		
Coefficiente de variación <sup>a/</sup>	200	200	276	113	64	38	35	38	35	48	97	175	18		
Años de observación	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	26		

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Mayo a octubre		
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual	Total	Por- ciento
<u>Usulután (13° 20' 88° 26')</u>															
Promedios	1	1	4	25	199	353	296	297	401	353	48	6	1 975	1 899	96
Valores máximos	13	8	36	279	597	709	516	564	710	1 018	173	48	2 909		
Valores mínimos	-	-	-	-	11	84	132	147	180	105	-	-	1 279		
Desviaciones estándar	3	2	10	47	136	144	105	108	132	181	45	13	355		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	300	200	250	188	68	41	36	36	33	51	94	217	18		
Años de observación	33	33	33	37	38	38	38	37	37	37	37	33	33		
<u>San Miguel (13° 29' 88° 11')</u>															
Promedios	1	-	3	30	206	306	243	258	372	297	46	7	1 765	1 682	95
Valores máximos	28	11	41	290	476	518	559	589	545	533	233	89	2 570		
Valores mínimos	-	-	-	-	20	21	66	91	168	113	-	-	1 040		
Desviaciones estándar	5	2	8	49	104	119	113	85	99	110	50	18	317		
Coefficiente de variación <sup>a/</sup>	500	300	266	163	51	39	47	33	27	37	109	257	18		
Años de observación	36	36	36	39	40	40	40	39	39	39	39	36	36		
<u>Olomega (13° 18' 88° 02')</u>															
Promedios	1	1	2	19	207	299	204	237	398	327	41	3	1 730	1 672	97
Valores máximos	15	25	23	96	535	696	522	682	614	778	146	28	2 343		
Valores mínimos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Desviaciones estándar	3	5	5	25	121	153	122	124	133	190	41	7	434		
Coefficiente de variación <sup>a/</sup>	300	500	250	132	59	51	60	52	33	58	100	234	25		
Años de observación	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36		

Quadro 1 (Conclusión)

	Mensual												Mayo a octubre		
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual	Total	Por- ciento
<u>San Salvador (13° 42' 89° 11')</u>															
Promedios	5	4	9	55	187	321	313	301	319	235	41	10	1 800	1 676	93
Valores máximos	40	35	80	511	380	617	492	471	611	505	130	57	2 284		
Valores mínimos	-	-	-	-	56	154	117	82	148	25	-	-	1 020		
Desviaciones estándar	8	8	16	82	67	108	89	84	99	93	36	13	252		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	160	200	178	149	36	34	28	28	31	40	88	130	14		
Años de observación	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51		
<u>La Unión (13° 20' 87° 50')</u>															
Promedios	1	1	8	27	194	368	213	203	377	380	56	63	1 892	1 735	92
Valores máximos	11	11	48	91	595	632	492	371	712	840	254	1 000	2 762		
Valores mínimos	-	-	-	-	8	97	94	65	173	102	-	-	1 332		
Desviaciones estándar	3	3	14	28	139	151	93	86	143	183	62	234	345		
Coefficientes de variación <sup>a/</sup>	300	300	175	104	72	41	44	42	38	48	111	372	18		
Años de observación	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17		

<sup>a/</sup> Se subrayan los coeficientes máximos y mínimos.

Aunque en el cuadro 1 se presentan los totales mensuales medios reales, sin reducirse a meses uniformes de 30 días, se ve que el mes de mayores lluvias es septiembre, con un máximo secundario que ocurre en junio con una ligera excepción en Santa Tecla, la Toma y Cojutepeque que es en julio. Entre los lugares con registros prolongados, Zacatecoluca tiene el máximo medio mensual del país con 469 mm y en la misma estación se observa el valor más alto para el máximo secundario, con 398 mm, en junio. En la segunda quincena de julio y agosto, o sea entre ambos máximos, se presenta una disminución en las precipitaciones.

Los meses de abril y noviembre, por sus valores medios, podrían ser considerados como de transición entre la época lluviosa y la seca y los meses de menos precipitaciones son, con marcada uniformidad, enero y febrero. En ninguno de ellos se superan los 5 mm de precipitación media, siendo en varios casos inferiores a 0.5 mm. (En el cuadro 1 figuran como 0.)

### 3. Variabilidad de las lluvias

Las observaciones de lluvia más antiguas de El Salvador son las de San Salvador; por ellas se han podido calcular promedios decádicos anuales correlativos desde 1920 a 1960 y compararse con el de 50 años (1918-67).

El promedio anual para dicho período fue de 1 795 mm y los promedios decádicos, por orden de antigüedad, son: 1 962, 1 814, 1 654, y 1 828 para las décadas 1920-29, 1930-39, 1940-49 y 1950-59 respectivamente. Para el decenio más bajo, la desviación con respecto al promedio de 50 años, es 141 mm (7.9 por ciento) y para el más alto 167 mm (9.3 por ciento)

Las desviaciones de años individuales son mucho mayores, tanto en sentido positivo como negativo y calculándose en menos de 42.6 por ciento y en más de 27.2 por ciento.

Variaciones similares a las obtenidas para San Salvador son de suponer para los lugares con precipitaciones anuales comparables a las de la capital.

El conocimiento de la distribución de las lluvias a lo largo del año tiene tanta importancia como el de las variaciones que experimentan de un año a otro en iguales épocas.

/Para dar

Para dar una medida de estas variaciones mensuales y anuales, se presentan en el cuadro 1 para algunas estaciones los valores de las desviaciones estándar y de los coeficientes de variaciones.

a) Variabilidad anual

Los totales anuales de la precipitación tienen coeficientes de variación que van desde el 14 por ciento (San Salvador y Santa Tecla) hasta el 25 por ciento (Olomega). Se debe señalar, sin embargo, que en el país predominan coeficientes de variación inferiores a 20 y valores mayores se registran más bien en zonas de menos precipitaciones. Las desviaciones estándar para San Salvador y Santa Tecla son del orden de 260 mm, y para Olomega de 434 mm, pero la mayor de las estaciones consideradas es de 496 mm, en Cojutepeque.

b) Variabilidades mensuales

Las variabilidades mensuales tienen rangos de variaciones mucho mayores que las anuales normalmente. En el país van desde el 19 por ciento hasta valores muy altos, que en el cuadro 1 figuran como infinito, por haber sido redondeados al milímetro los valores medios mensuales y, por lo tanto, ser cero en algunos casos.

La disparidad de valores obtenidos es de cierta manera lógica, puesto que responde a dos regímenes de precipitaciones totalmente distintos (época lluviosa y época seca). En el cuadro 1 se puede apreciar que el valor mayor para los meses de mayo a octubre es 68 por ciento (Usulután) y el menor 19 por ciento (La Toma). La menor variabilidad se registra principalmente en agosto.

En los meses de transición, abril y noviembre, los valores varían entre 86 por ciento (Santa Tecla) y 188 por ciento (Usulután). En los meses restantes, diciembre, enero, febrero y marzo, los coeficientes de variación superan al 128 por ciento (Santa Tecla). La mayor variabilidad se observa en febrero.

/Los promedios

Los promedios mensuales de las lluvias son importantes porque permiten valorar en parte sus utilidades para diversos usos; sin embargo, también se debe conocer la distribución de los totales de un mismo mes, o sea saber como se integran aquellos promedios.

En el cuadro 2 se presenta la distribución de frecuencia de los totales mensuales de San Salvador, agrupados en entornos de 25 mm hasta 500 mm y luego en entornos de 50. Con la misma escala se ha sobrepuesto el histograma de la precipitación del lugar.

De los 598 meses las lluvias fueron inferiores a 25 mm en 233, que ocurrieron de noviembre a abril, con un sólo caso que sucedió en octubre. En 91 superaron el promedio mensual más alto. Desde el punto de vista agrícola debe señalarse que de junio a septiembre sólo hay 4 meses en los que las lluvias fueron inferiores a 150 mm. Inversamente, de noviembre a marzo nunca superaron esa cantidad.

Quadro 2

EL SALVADOR: FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE TOTALES MENSUALES DE LLUVIA EN SAN SALVADOR<sup>a/</sup>

Entornos (mm)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N <sup>b/</sup>	D <sup>b/</sup>	Total de casos
<b>Total</b>													<b>598</b>
0- 25	49	48	45	20						1	23	47	233
26- 50	1	2	2	11	1						9	1	27
51- 75			2	9	1						8	1	21
76-100			1	2	2			2		2	6		15
101-125				5	3		1	-		4	2		15
126-150					7	1		-		5	1		14
151-175				1	6	1	4	1		5			18
176-200					12	2	1	2	2	4			23
201-225					7	4	1	3	3	5			23
226-250					4	5	2	4	10	3			28
251-275					2	3	7	8	7	8			35
276-300				1	1	6	4	8	2	1			23
301-325					2	7	8	5	3	7			32
326-350					1	6	4	4	7	2			24
351-375					-	3	3	6	4	2			18
376-400					1	3	7	2	3				16
401-425						2	3		1				6
426-450						1	2	2	1				6
451-475						1	1	3	2				7
476-500						-	2		1				3
501-550				1		2			3	1			7
551-600						2							2
601-650						1			1				2

Fuente: Boletín Meteorológico de El Salvador.

a/ Período 1918-1967.

b/ Hasta 1966.

### III. HIDROGRAFIA E HIDROLOGIA

#### 1. Descripción resumida de la hidrografía del país (9)

El Salvador es el único país centroamericano cuyo territorio se encuentra totalmente en la vertiente del Atlántico. Sus 20 000 km<sup>2</sup> drenan en el océano Pacífico; sus ríos pueden dividirse en los que fluyen directamente al Pacífico y los que desembocan en el río Lempa y constituyen sus afluentes.

El Lempa es el río más importante de El Salvador y también el mayor de los de Centroamérica que desagua en el Pacífico. Su cuenca total, incluyendo la parte de Honduras y Guatemala, tiene aproximadamente 18 000 km<sup>2</sup>, de los cuales pertenecen a El Salvador unos 13 500 km<sup>2</sup>. El mismo río Lempa sirve de límite internacional con Honduras en buena parte de la frontera.

Los principales afluentes del Lempa son, por la margen izquierda, Nunuapa, Agua Caliente, Potenciano, Matayate, Soyate, Grande, Tamulasco, Sumpul, Torola, Jiotique y Umaña; por la margen derecha, Tahuilapa, Desagüe, Suquiapa, Sucio, Acelhuate, Quezaiapa, Copinolapa, Gualpuco, Titihuapa y Acahuapa. El Torola es el principal por su cuenca y caudal.

Los ríos que desaguan directamente al Pacífico tienen cursos cortos que corren perpendicularmente en general a la costa donde desaguan. Son de régimen muy irregular y de fuerte pendiente en sus tramos iniciales. De ellos, el de mayor cuenca es el río Grande San Miguel que nace en la ladera sur de la Cordillera de Cacaguatique que la separa del río Torola. En la parte baja de su cuenca se encuentran varias lagunas, las mayores de las cuales son las de Olomega, San Juan y El Jocotal.

Otros ríos importantes dentro de esta subdivisión son: el Grande de Sonsonate, el Banderas y el Jiboa. Los dos primeros nacen en las laderas sur de la cadena occidental de volcanes. El Jiboa es el desague del lago de Ilopango.

En el golfo de Fonseca desaguan dos importantes ríos, el Goascorán, que forma el límite con Honduras y el Sirama. Entre ambos drenan parte del este del país.

/Los demás

Los demás ríos o arroyos que van al Pacífico son de poca importancia y tienen menos de 50 km de longitud.

Algunas características de las principales cuencas se dan en el cuadro 3.

a) Lagos (10)

Cuatro importantes lagos naturales existen en diferentes zonas del país. El de Guija está en el Noroeste, sobre la frontera con Guatemala, y de su superficie un 80 por ciento pertenece a El Salvador. Se halla representado, con lo cual se obtiene una cierta regulación del río Desagüe. Sus dos afluentes mayores son el Ostúa, con una cuenca de 1 530 km<sup>2</sup>, y el Angue, con una cuenca de 559 km<sup>2</sup>. La cuenca total correspondiente al lago es 2 562 km<sup>2</sup> y el área del mismo, de 47.5 km<sup>2</sup>.

El lago de Coatepeque, al pie del volcán Santa Ana, pertenece a una cuenca cerrada (por lo menos superficialmente) de la que el mismo lago ocupa el 41 por ciento. La superficie total de la misma es de 60 km<sup>2</sup>, siendo la del lago 24.5 km<sup>2</sup>. Se encuentra éste a 740 m sobre el nivel del mar y su volumen es de 1 806 km<sup>3</sup>.

El lago de Ilopango es el más grande de El Salvador con mucha diferencia; su superficie es de 68.5 km<sup>2</sup>. La cuenca que converge en el lago a través de pequeñas corrientes tiene 185 km<sup>2</sup> y el lago drena superficialmente por el río Desagüe, el que se une al Jiboa tras unos 7 km de recorrido. El lago está a unos 470 m sobre el nivel del mar, encontrándose la ciudad de San Salvador a 10 km al Oeste del mismo. Véase la lámina 1 del informe General.

El lago de Olomega, en el Sudeste del país, se halla en la cuenca del río Grande de San Miguel, al que desagua. Su área es de 16.3 km<sup>2</sup> y está a unos 90 m sobre el nivel del mar. El lago es alimentado por unos 20 pequeños arroyos.

La construcción de la presa 5 de Noviembre sobre el cauce del río Lempa ha formado un lago de 17 km<sup>2</sup> de superficie y un volumen de 115 km<sup>3</sup> sobre los cauces de este río y del Sumpul. Sus aguas son aprovechadas para la generación hidroeléctrica en la central Chorrera del Guayabo.

Cuadro 3

## EL SALVADOR: CARACTERISTICAS DE ALGUNAS CUENCAS

Ríos	Cuenca (superficie en km <sup>2</sup> )	Pendiente media (por ciento)	Perímetro de la cuenca (kilómetros)	Elevación media (metros)
<b>Paz</b>				
Agua Caliente	211.90	15.77	78.30	763.52
San Lorenzo	77.22	17.00	53.20	839.79
El Molino y Tacuba	138.49	33.02	59.00	877.66
San Francisco	16.90	33.00	31.50	416.42
Cara Sucia	69.67	25.00	45.10	303.26
Aguachapía	16.86	19.00	32.00	230.92
Guayapa	36.93	32.60	47.75	433.00
El Naranjo y El Rosario	118.85	24.10	57.00	407.00
Sunza	114.22	21.76	68.80	557.22
San Pedro	80.63	28.00	69.10	345.00
Chilama	76.50	35.42	57.00	701.28
Huiza	146.00	36.06	64.00	522.03
Tihuapa	94.88	30.31	57.80	408.00
Jiboa	389.45	22.00	138.90	440.00
Jalponga	165.65	18.54	75.20	258.38
El Molino	28.30	6.10	38.00	101.00
Chapeltique	225.46	18.00	91.00	442.12
San Francisco	112.09	38.54	62.50	474.11
Sirama	328.70	15.00	100.00	158.00
<b>Lempa</b>	18 000.00	11.00	842.00	875.00
Miraflores	61.13	24.70	40.00	558.00
Suquiapa	453.00	21.00	135.00	600.00
Sucio	843.00	17.00	175.00	615.00
Talnique	118.80	39.00	51.50	763.00
Agua Caliente	111.95	25.00	53.00	648.23
Acelhuate	709.48	19.00	129.00	574.00
Paso Hondo	31.48	25.83	27.70	428.57
Jiotique	621.25	19.20	149.00	394.00
Sesori	63.72	26.50	42.25	558.78
Acahuapa	227.37	19.00	73.50	368.00

b) Ríos internacionales

Toda la cuenca del río Lempatiene carácter internacional al ser el colector de las aguas que caen en subcuencas de Guatemala, Honduras y El Salvador. Además el curso principal del río sirve de límite entre los dos últimos países, aguas abajo de la presa 5 de Noviembre, en un tramo de unos 40 km. Los cauces de algunos de sus afluentes como el Torola y el Simpul, constituyen en parte la frontera con Honduras.

El río Goascorán, que nace en Honduras y desemboca en el golfo de Fonseca, es el límite internacional con esta república en el este del país.

El río Paz, que se origina en Guatemala, es el límite con este país en el oeste. Su afluente el Chingo, Coco o Jeréz, continúa como frontera internacional hasta el volcán del Chingo.

2. Regímenes hidrológicos e irregularidad de los principales ríos (II)

Como las variaciones que experimentan los caudales de los ríos a lo largo del año, limitan las posibilidades del aprovechamiento, es necesario conocerlas a base de algunos parámetros.

La alimentación de todos los ríos es exclusivamente pluvial por lo que responden rápidamente a las lluvias, aunque en algunas cuencas la existencia de lagos naturales regule el escurrimiento. Los ríos con cuencas inferiores a 300 km<sup>2</sup> tienden a ser periódicos en la época seca. En la época lluviosa, o de invierno, la respuesta es más rápida que en la seca o de verano, por la saturación de los suelos y el llenado de pequeñas retenciones. En la época seca, las menores lluvias, la menor humedad de los suelos y la mayor evaporación provocan reacciones más lentas de los ríos.

Los regímenes de las precipitaciones sobre El Salvador son en general similares y con una bien marcada estacionalidad a lo largo del año, que se refleja en los caudales de los ríos en forma amortiguada.

La marcha de los caudales medios mensuales muestra una época de aguas altas que va de junio a octubre y una de aguas bajas de diciembre a abril, siendo mayo y noviembre meses de transición. En el gráfico 1 que se incluye al final del estudio se pueden apreciar estas características en los ríos de mayores cuencas.

/En la

En la época de aguas altas o mayores caudales se registra una doble onda en la que el caudal mensual medio mayor aparece en septiembre (cuadro 4), con la excepción del río Grande de San Miguel en la estación Luis de Moscoso, donde es en octubre. (12)

El máximo secundario tiene lugar en julio, pero en algunos ríos se presenta en junio. Tan rápido es el ascenso de mayo a junio como el descenso, de octubre a noviembre.

En la época de aguas bajas el caudal mensual medio mínimo puede producirse desde enero hasta abril, teniendo como característica que las variaciones en esos meses es pequeña, especialmente si se comparan con las del resto del año.

La secuencia de caudales en un año individual se compone de ascensos y descensos en la época lluviosa, y finalizada ésta se observa un descenso uniforme durante el período seco.

Para valorar numéricamente la estacionalidad de los caudales mensuales medios, se calcularon los escurrimientos de los seis meses mayores, determinando el porcentaje que representaban del anual.

Se consideraron uniformemente los meses de junio a noviembre para todos los ríos y los porcentajes así obtenidos varían entre 64 (río Suquiapa) y 94 por ciento (río Angue), aunque la mayoría está comprendida entre 70 y 90.

Otra forma de apreciar las variaciones de los caudales es mediante el coeficiente de irregularidad dentro del año. La Comisión Económica para América Latina lo ha usado en otras misiones similares en países de la región para apreciar y comparar las posibilidades de aprovechamiento.

Este coeficiente se calcula, para cada año, por el cociente entre la cantidad de agua que se precisaría embalsar para obtener una regulación total y el escurrimiento total anual.

Para simplificar el cálculo, se determinaron los coeficientes de irregularidad, de los ríos del cuadro 5, a base de los caudales mensuales medios. Se habría necesitado una corrección superior a 1 para obtener los reales, pero el mismo ajuste se debía haber efectuado aproximadamente para todos los ríos. Los coeficientes de irregularidad obtenidos varían desde 0.15 en el río Suquiapa hasta 0.50 en el río Angue (véase de nuevo el cuadro 5), pero la mayoría está comprendida entre 0.28 y 0.43.

/Debe señalarse

Debe señalarse que los valores del río Suquiapa, tanto el porcentaje escurrido de junio a noviembre (64 por ciento) como el coeficiente de irregularidad (0.15), son muy bajos con respecto a los otros del país. La diferencia tal vez sea atribuible a aportes importantes de agua subterránea de zonas vecinas, que en cierta manera se confirman por la pequeña relación que hay entre el caudal medio mensual más alto en la época lluviosa (11.91 m<sup>3</sup>/s) y el más bajo en la época seca (5.03 m<sup>3</sup>/s). (Véase de nuevo el cuadro 5.)

Se puede agregar que los coeficientes de irregularidad son en general más bien altos.

### 3. Estimación de los recursos hidráulicos superficiales

Parte importante de las principales corrientes de agua superficiales del país son medidas o estimadas, representando aproximadamente sus cuencas el 88 por ciento del país. (13)

Para hacer una primera estimación de la totalidad de los recursos superficiales se procedió a determinar algunos coeficientes de escurrimiento medio anual, con base en el mapa 3 de isoyetas medias anuales del informe general y los caudales medios de algunos ríos. Con estos coeficientes se estimaron otros hasta la desembocadura en el océano, teniendo en cuenta las precipitaciones de aguas abajo, la pendiente y extensión de las cuencas, otros datos físicos y valores de coeficientes de ríos similares o vecinos.

Únicamente se tomaron en consideración cuencas importantes por su extensión o por alguna característica especial, agrupándose los ríos pequeños como si fueran uno solo. Considerar cuencas pequeñas aisladas, en este caso, habrían dado lugar a errores mayores, teniendo en cuenta la posibilidad de aportes subterráneos importantes de zonas vecinas y la necesidad de contar con datos de lluvias más precisos.

Los únicos ríos evaluados en particular fueron el Paz; Grande de Sonsonate; Lempa; Grande de San Miguel; Sirama; Goascorán y Jiboa.

Cuadro 4  
EL SALVADOR: CAUDALES MENSUALES Y ANUALES DE ALGUNOS RIOS  
(m<sup>3</sup>/s)

E/CN.12/GCE/SC.5/71/Add.1  
Pág. 31

Río	Lugar de medición	Cuenca (superficie en km <sup>2</sup> )	Caudal	Mensual												Anual	Período
				E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Paz	La Hachadura	795 a/	Medio	15.00	15.35	14.10	24.60	72.45	389.15	224.02	383.49	202.40	102.50	33.25	34.00	389.15	1962-66
			Máximo	12.89	12.44	11.96	16.56	36.43	198.79	133.47	172.21	120.17	71.66	22.41	16.64	27.18	
			Mínimo	12.49	12.12	11.69	13.50	16.77	50.24	46.74	43.32	47.19	35.79	19.37	15.02	15.02	
Paz	San Lorenzo	-	Medio	3.75	3.38	3.75	4.56	11.70	34.40	24.40	36.50	233.00	17.40	5.00	2.96	233.00	1961-66
			Máximo	2.75	2.54	2.58	2.98	4.95	13.90	17.40	22.30	57.70	9.76	3.33	2.41	3.88	
			Mínimo	2.56	2.46	2.40	2.36	2.58	4.51	5.30	6.44	8.54	4.69	2.45	2.27	2.27	
Sensunapán	Sensunapán	219	Medio	6.20	4.00	4.04	13.40	32.00	64.30	54.50	46.40	253.00	42.00	18.80	16.90	253.00	1959-66
			Máximo	2.50	2.45	2.75	7.55	17.60	27.60	23.61	22.50	63.00	21.51	9.13	4.74	4.74	
			Mínimo	2.00	2.01	1.96	3.73	5.77	9.31	8.92	10.30	14.20	8.68	4.30	2.12	2.12	
Banderae	Carretera Litoral	433	Medio	2.81	2.90	4.36	14.27	16.45	140.00	58.77	72.00	285.00	38.90	57.25	10.80	285.00	1961-66
			Máximo	2.04	1.60	2.15	59.85	9.88	41.95	40.93	34.05	82.09	26.57	17.11	4.05	4.05	
			Mínimo	1.58	1.25	1.41	2.04	5.11	14.10	16.38	12.96	18.52	11.71	7.21	2.93	2.93	
Jiboa	Carretera Litoral	229	Medio	44.50	7.05	5.80	13.29	14.63	49.80	47.31	97.33	99.30	56.40	68.50	18.84	99.30	1961-66
			Máximo	11.41	4.00	3.55	6.13	8.86	24.00	29.26	34.89	55.87	31.77	25.25	8.12	8.12	
			Mínimo	4.19	3.70	3.31	3.21	3.88	6.90	10.32	13.47	14.77	14.77	12.48	8.12	6.31	
Lempa	San Marcos	18 000	Medio	116.00	100.00	108.00	130.00	717.60	2 873.00	1 961.00	3 516.00	1 843.00	1 837.00	1 284.00	3 516.00	1961-66	
			Máximo	79.20	71.10	83.40	96.70	326.00	1 373.00	2 009.00	1 381.00	2 713.00	1 332.00	520.00	94.40		94.40
			Mínimo	69.20	59.80	65.50	60.30	131.00	545.00	943.00	616.00	1 104.00	691.00	171.00	75.10		75.10
Lempa	Lempira	6 419	Medio	173.00	142.00	366.00	81.10	296.00	858.00	2 480.00	1 407.00	963.00	861.00	124.00	131.00	2 480.00	1961-66
			Máximo	90.10	82.80	139.00	62.90	120.00	529.00	869.00	628.00	748.00	462.00	73.90	73.90	73.90	
			Mínimo	58.50	58.60	59.90	41.70	53.80	155.00	290.00	224.00	288.00	163.00	51.60	48.40	48.40	
Torola	Cauala	760 a/	Medio	10.00	9.00	7.75	102.00	228.00	745.00	400.00	400.00	998.00	498.00	129.00	11.10	992.00	1962-66
			Máximo	8.10	7.80	6.96	35.70	130.00	342.00	275.00	290.00	593.00	345.00	42.30	10.00	10.00	
			Mínimo	7.79	7.17	5.95	7.50	24.90	80.10	51.70	50.80	199.00	81.70	16.10	8.57	8.57	
Avejuate	Garita Lempa	709	Medio	10.00	9.85	8.95	13.60	30.60	46.07	60.10	62.28	187.15	61.10	12.20	6.96	187.15	1962-66
			Máximo	6.09	6.15	5.87	8.75	21.70	39.50	48.10	38.10	80.00	47.90	6.80	3.87	3.87	
			Mínimo	5.57	5.36	4.32	5.14	9.90	15.20	25.10	18.00	23.30	18.70	3.70	3.35	3.35	
Suelo	Boschocadura	843	Medio	6.15	5.70	6.02	12.20	64.00	94.00	107.70	125.00	271.00	121.00	34.00	14.70	271.00	1961-66
			Máximo	5.24	4.47	4.73	6.47	23.90	67.20	79.90	71.20	112.80	55.40	17.00	8.73	8.73	
			Mínimo	4.41	4.11	4.22	4.12	7.05	16.80	37.50	26.50	41.40	20.20	9.20	6.29	6.29	

/(Continúa)

Cuadro 4 (Conclusión)

Rfo	Lugar de medición	Cuenca (superficie km <sup>2</sup> )	Caudal	Mensual												Anual	Período
				E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Suelo	San Andrés	321	Medio	4.10	2.12	4.10	4.23	13.70	237.40	76.70	45.50	201.66	38.86	24.40	8.26	237.40	1959-66
			Máximo	2.15	1.52	2.43	3.18	8.53	24.01	31.61	25.64	57.81	24.76	8.34	3.63		
			Mínimo	1.68	1.41	1.71	1.65	3.22	10.82	11.60	9.75	14.76	7.87	4.31	2.49	5.93	
Suquiapa	Tacachico	308	Medio	8.70	8.70	8.40	11.15	27.83	42.28	133.61	30.10	55.66	30.33	11.40	9.05	133.61	1961-66
			Máximo	5.53	5.43	5.59	7.25	13.61	24.30	41.37	22.39	37.62	17.73	7.76	6.36		
			Mínimo	5.24	5.09	5.03	5.05	5.87	8.66	11.09	9.16	11.91	8.29	6.68	5.68	7.31	
GuaJoyo	Carretera Metapán a/	450 a/	Medio	1.10	4.20	4.73	3.15	18.85	80.30	86.18	42.40	74.00	41.50	4.34	2.16	86.18	1961-66
			Máximo	0.79	1.58	2.16	2.05	5.69	30.03	40.73	27.40	41.73	13.23	1.92	1.16		
			Mínimo	0.57	1.21	1.36	1.28	1.87	6.47	7.12	5.48	7.24	1.99	1.08	0.93	3.05	
Angue	Puente Irca	350 a/	Medio	1.55	3.12	1.20	1.89	13.60	194.00	210.00	200.90	95.10	64.90	6.66	4.18	210.00	1959-66
			Máximo	0.88	1.00	0.55	1.02	4.56	68.29	86.40	51.15	52.98	34.85	3.29	1.85		
			Mínimo	0.70	0.56	0.31	0.38	1.14	11.74	19.16	8.71	15.65	8.71	1.84	1.07	5.83	
Grande de San Miguel	Vado Marín	2 027	Medio	9.00	11.80	16.20	16.60	36.20	234.00	284.00	100.10	216.00	202.00	246.00	17.64	284.00	1959-66
			Máximo	8.17	8.54	9.37	10.00	22.80	73.60	101.00	52.50	146.00	134.00	79.70	10.40		
			Mínimo	7.62	7.63	7.98	8.49	11.70	30.40	44.70	26.80	77.70	77.50	24.90	8.47	27.82	
Grande de San Miguel	Luis de Moscoso	1 074	Medio	26.00	11.90	24.10	24.10	213.00	357.00	208.00	156.00	366.00	530.00	269.00	22.50	530.00	1959-66
			Máximo	10.30	6.86	7.98	11.30	64.40	129.00	127.00	75.30	200.00	239.00	64.70	13.60		
			Mínimo	7.08	5.42	5.44	6.20	14.20	32.20	39.30	24.60	54.30	69.80	18.80	11.30	24.05	
Sirama	Sirama	329	Medio	0.70	0.56	0.41	0.42	110.71	720.59	275.98	208.54	496.00	94.43	174.41	1.24	720.59	1961-66
			Máximo	0.47	0.37	0.23	0.33	25.30	147.86	64.09	54.67	157.54	54.45	31.10	0.64		
			Mínimo	0.29	0.21	0.17	0.18	2.81	15.13	9.24	5.31	20.16	8.62	2.66	0.43	5.43	
Goascorán	Goascorán	1 750 a/	Medio	7.60	4.80	3.83	23.25	439.00	290.00	577.00	158.00	670.00	254.00	207.00	12.00	670.00	1962-66
			Máximo	4.69	2.95	2.24	7.79	118.00	167.00	267.00	132.00	291.00	195.00	66.38	8.48		
			Mínimo	3.72	2.51	1.85	2.22	28.46	64.80	66.00	36.30	93.60	79.40	19.60	6.09	33.71	

a/ Cálculo aproximado.

Quadro 5

EL SALVADOR: CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE ALGUNOS RIOS

Río	Lugar	Cuenca (superficie en km <sup>2</sup> )	Caudales (m <sup>3</sup> /s)			Coeficiente de irregularidad	Porcentaje escurrido de junio a noviembre	Período del registro (años)
			Medios	Máximos	Mínimos			
Paz	La Hachadura	795	27.18	389.15	9.50	0.28	75	1962/66
Paz	San Lorenzo	-	3.88	233.00	1.95	0.22	69	1961/66
Sansunapán	Sansunapán	219	6.10	253.00	0.40	0.29	76	1959/66
Banderas	Carr. Litoral	433	13.34	285.00	0.16	0.34	91	1961/66
Jiboa	Carr. Litoral	229	7.55	99.30	1.05	0.24	73	1961/66
Lempa	San Marcos	18 000	377.50	3 516.00	31.00	0.44	90	1961/66
Lempa	Lempira	6 419	124.30	2 480.00	11.90	0.34	78	1961/66
Torola	Osicala	760	40.10	992.00	1.80	0.42	87	1962/66
Acalhuate	Junta Lempa	709	11.47	187.15	1.60	0.26	70	1962/66
Sucio	Desembocadura	843	15.15	271.00	2.08	0.35	83	1961/66
Sucio	San Andrés	321	5.93	237.40	0.73	0.37	83	1959/66
Suquiapa	Tacachico	308	7.31	133.61	2.38	0.15	64	1961/66
Guajoyo	Carr. Metapán	450	3.05	86.18	0.17	0.39	80	1961/66
Angue	Puente Irca	350	5.83	210.00	0.01	0.50	94	1959/66
Grande de San Miguel	Vado Marín	2 027	27.82	284.00	3.30	0.43	85	1959/66
Grande de San Miguel	Luis de Moscoso	1 074	24.05	530.00	0.77	0.35	83	1959/66
Sirama	Sirama	329	5.43	720.59	0.05	0.29	72	1961/66
Goascorán	Goascorán	1 750	33.71	670.00	0.56	0.42	89	1962/66

a) Aguas nacionales

Sobre el país cae anualmente un total de  $36\,367 \times 10^6 \text{ m}^3$ , que representa una precipitación media de 1.82 metros. (Véase el cuadro 6.)

De este total pertenecen al Lempa  $16\,441 \times 10^6 \text{ m}^3$  (casi el 50 por ciento del total).

En las cuencas o grupos de éstas consideradas, las alturas del agua caída varían entre 1.73, en las cuencas de los ríos que están entre el Paz y el Grande de Sonsonate, y 1.83 metros en los ríos Chilama, Huisa, Tihuapa, Comalapa y Jiboa. Variación relativamente pequeña.

El caudal medio anual que genera el agua caída en el país representaría un caudal de  $448 \text{ m}^3/\text{s}$ , o sean  $14\,113 \times 10^6 \text{ m}^3$  al año, de los cuales  $224 \text{ m}^3/\text{s}$  se juntan en el Lempa. El caudal específico para todo el país es  $20.3 \text{ l/s/km}^2$ .

El volumen de agua superficial de que dispone el país, distribuido por habitante de acuerdo con la población de 1968 da  $4\,500 \text{ m}^3$ , que equivale a  $0.15 \text{ l/s/hab}$ .

El país dispone por consiguiente de bastantemenos agua por habitante que los demás del Istmo Centroamericano.

b) De interés internacional

Varios ríos de El Salvador son de interés internacional por pertenecer partes de sus cuencas a los países vecinos. El más importante es el Lempa, que recibe aguas de Guatemala y Honduras. Según la estimación hecha, el caudal que se generaría por el agua caída en Guatemala sería de  $28.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y el producido en Honduras de  $125.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , aproximadamente, que posteriormente ingresarían al territorio nacional. (Véase de nuevo el cuadro 6.)

El río Paz es límite con Guatemala y por lo tanto los  $25.2 \text{ m}^3/\text{s}$  que se forman en El Salvador al ingresar al curso principal del río se convierten en aguas de interés internacional. En igual situación está el río Goascorán pero en este caso es límite con Honduras y el caudal originado en el país, de  $17.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Cuadro 6

## EL SALVADOR: ESTIMACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUPERFICIALES

Gran cuenca	Cuenca	Río	Superficie (km <sup>2</sup> )	Agua caída		Coeficiente de escurrimiento	Agua escurrida		
				Volumen (millones de m <sup>3</sup> )	Altura (metros)		Volumen (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
<b>Total nacional</b>			<b>20 000</b>	<b>36 367</b>	<b>1.82</b>	<b>14 113</b>	<b>454.0</b>		
Vertiente del Pacífico			20 000	36 367	1.82	14 113	454.0		
	I <sub>2</sub> <sup>a/</sup>	20 <sup>a/</sup>	Paz	1 052	1 919	1.83	0.40	796	25.2
1	K	22,24,26,28	Cara Sucia, Rosario, San Pedro y Sunza	756	1 307	1.73	0.30	392	12.4
	L	30,32	Grande de Sonsonate, Banderas y otros	1 615	2 955	1.83	0.30	887	28.1
	M	34,36,38,40,42	Ohilama, Huiza, Tihuapa, Comalapa, Jiboa y otros	1 380	2 553	1.85	0.50	1 277	40.5
	J <sub>2</sub>			10 581	19 271	1.82	0.35	8 042	255.4
		44	Jalponga y otros	1 597	2 830	1.76	0.35	991	31.4
		46 <sup>a/</sup>	Lempa	8 984	16 441	1.83	0.43	7 050	224.0
	N	48	Grande de San Miguel	2 363	4 256	1.80	0.42	1 790	56.8
	O <sub>1</sub>	50	Sirama y otros	1 068	1 937	1.80	0.20	387	12.3
	O <sub>2</sub> <sup>a/</sup>	52 <sup>a/</sup>	Goascorán	1 185	2 169	1.83	0.25	542	17.2

<sup>a/</sup> Cuenca internacional, valores correspondientes a El Salvador únicamente.

#### IV. FACTORES NATURALES QUE AFECTAN AL USO DEL AGUA

##### 1. Topografía

El Salvador es un país montañoso en el que por todas partes se observan las irregularidades del terreno. Incluso hasta las zonas costeras sobre el océano Pacífico llegan las ondulaciones menores que se observan en su topografía. La misma se conforma alrededor de unas 20 cumbres altas distribuidas en todo el territorio.

La parte de mayor relieve corresponde al occidente del país y la de menores alturas, a las zonas costeras del océano Pacífico, y a las cuencas de los ríos Grande de San Miguel, Sirama y Goascorán. Algunas partes del valle del río Lempa tienen también poca altura.

Entre los puntos más altos figuran el volcán de Santa Ana, con 2 381 metros sobre el nivel del mar; el de San Vicente, con 2 178 metros; el de San Miguel, con 2 130 metros; el cerro Aguila, con 2 005; el cerro los Naranjos El Pitón, con 1 960 y el volcán de San Salvador, con 1 885 metros. El cerro de Monte Cristo, de 2 418 metros de altitud, marca un punto de la frontera con Honduras.

La distribución del territorio por alturas sobre el nivel del mar, refleja más definidamente su topografía, por lo que se calculó ésta, en forma aproximada, a base de un mapa con curvas de nivel medidas con intervalos de 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 y 7 000 pies.

El resultado indicó que el 42.6 por ciento del país tiene alturas inferiores a 305 metros; el 69.6, inferiores a 610; el 89.9, inferiores a 914, y el 99.6 por ciento, inferiores a 1 524 metros. Únicamente 79 km<sup>2</sup>, equivalentes al 0.4 por ciento, superan la última altura.

En el país se consideraron tres zonas: la cuenca del río Lempa; la parte occidental del territorio y la parte oriental del mismo. En esa división escogida se observa que las dos últimas zonas no superan los 1 524 metros y que los 79 km<sup>2</sup> citados pertenecen a la cuenca del río Lempa. Por otra parte en los tres primeros intervalos de niveles considerados en esta última, las superficies son de igual magnitud aproximada, mientras

/en las

en las otras dos zonas se reducen rápidamente hacia arriba; es decir, la cuenca del río Lempa tiene más superficies a mayores alturas. (Véase el cuadro 7.)

Otros detalles de este cálculo aproximado se presentan en el cuadro citado, con indicación de superficies y de porcentajes entre niveles.

Cuadro 7

EL SALVADOR: DISTRIBUCION DE LA SUPERFICIE SEGUN CURVAS DE NIVEL  
PARA VERTIENTES Y CUENCAS PRINCIPALES

(km<sup>2</sup>)

Vertientes y cuencas principales	Total	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
Vertiente del Pacífico	20 000	8 513	5 407	4 066	1 935	79
Frontera Guatemala-río Lempa		1 887	910	620	582	
Lempa		2 973	3 776	2 973	1 153	79
Río Lempa-frontera Honduras		3 653	721	473	200	
Porcentaje total del país	100.0	42.6	27.0	20.3	9.7	0.4
Porcentaje acumulado		42.6	69.6	89.9	99.6	100.0

## 2. Evaporación y evapotranspiración

Para los estudios y proyectos de obras hidráulicas, especialmente donde se proyectan almacenamientos de aguas, se precisa el conocimiento de la evaporación, proceso en virtud del cual el agua en estado líquido pasa a la atmósfera en forma de vapor.

Las mediciones de evaporación, se efectuaban a fines de 1967, en El Salvador, en unos 10 lugares, en tres de los cuales se hacían por medio del tanque A (Chorrera del Guayabo, GUIja y San Miguel) y en 7 con el evaporímetro tipo Piche.

/Por el

Por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, en ejecución, se instalarán 6 estaciones tipo A, puntos en los que también se realizarán mediciones de ese tipo.

La evaporación a lo largo del año experimenta variaciones que reflejan valores mensuales medios más altos en marzo y abril, y disminuyen progresivamente en la época lluviosa para alcanzar sus mínimos al final de la misma. En Chorrera del Guayabo van desde 5.6 milímetros por día en octubre, hasta 10.4 milímetros por día en marzo.

Evaporación del tanque clase "A" y del lago en Chorrera del Guayabo:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
E	8.2	8.7	10.4	9.6	8.2	7.0	6.8	6.8	5.9	5.6	5.9	7.1	2739
E <sub>L</sub>	5.6	5.9	7.0	6.7	6.0	5.3	5.3	5.2	4.6	4.3	4.4	5.1	1933

Las evaporaciones de los meses se anotan en milímetros por día y la anual, por su total.

La evaporación del lago fue calculada a base de la del tanque A, según las normas dadas por la U.S.W.B. Res. Pap. 38.

Las otras estaciones con tanque A no disponían de registros lo suficientemente largos para obtener promedios estables.

La evapotranspiración es el proceso por el que el agua contenida en el suelo pasa a la atmósfera en estado de vapor. Incluye la transpiración de las plantas y la evaporación de las superficies de agua y de los suelos. Su determinación es importante para el cálculo de los balances hídricos. Se define como evapotranspiración potencial la que se produciría en el caso de haber abundante humedad en el suelo, es decir, en el caso de que el proceso no se restringiera por escasez de agua.

La evapotranspiración basada en la fórmula de Thornthwaite fue calculada para varios puntos del país, que tienen diferentes alturas sobre el nivel del mar.<sup>(4)</sup> Los resultados fueron:

	Altura (m)	Mes												Año
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Sta. Cruz														
Porrillo	30	4.1	4.5	4.8	5.2	5.2	5.3	4.9	4.8	4.5	4.1	4.0	3.9	1684
San Miguel	105	3.5	4.2	4.8	5.2	5.1	5.0	5.0	4.8	4.4	3.7	3.6	3.3	1597
Chorrera del Guayabo	190	4.0	4.8	5.2	5.5	5.1	4.9	4.5	4.4	4.1	3.9	4.1	3.8	1650
San Salvador	700	2.5	2.8	3.3	3.6	3.6	3.3	3.2	3.2	3.0	2.7	2.7	2.5	1112
Santiago de María	930	2.1	2.4	2.8	3.1	3.2	3.0	3.1	3.1	2.8	2.6	2.4	2.2	1001

Los mayores valores aparecen de marzo a junio con máximos de 5.5 milímetros por día, y los menores de diciembre y enero con mínimos de 2.1 milímetros por día. Los totales anuales disminuyen con la altura, aunque no uniformemente, y van desde unos 1 700 al nivel del mar hasta 1 000 a los 900 metros de altura, según esta fórmula.

La evapotranspiración potencial calculada según la fórmula de Blaney y Criddle modificada, fue relacionada con la altura y los resultados obtenidos permitieron el trazado de isolíneas de los totales anuales.<sup>(4)</sup> El país se puede dividir en dos grandes regiones, una con evapotranspiración potencial anual superior a 2 000 milímetros que comprende toda la zona costera del Pacífico, el valle del río Lempa desde su desembocadura hasta la zona de Chorrera del Guayabo, y las partes bajas de las cuencas de los ríos Goascorán, Sirama y Grande de San Miguel y otra, con valores comprendidos entre 1 800 y 2 000 milímetros, que abarca casi el resto del país, con excepción de un pequeño sector en el noroeste en las vecindades del cerro de Montecristo, donde es inferior a 1 800 milímetros.

En algunos trabajos realizados en el país se han llegado a determinar valores de la evapotranspiración real para algunas cuencas, partiendo de la potencial y llevando un "balance de humedad" de los suelos.<sup>(15,16)</sup>

Como el régimen uniforme de precipitaciones en todo el país tiene una época muy lluviosa de mayo a octubre, y otra muy seca de diciembre a marzo, con los meses de abril y noviembre de transición entre ambas, es posible estimar aproximadamente la evapotranspiración real. De mayo a noviembre sería igual a la potencial, puesto que habría en esos meses humedad suficiente para que así ocurriera; en noviembre los suelos retendrían aún gran cantidad de agua. De enero a abril la evapotranspiración real sería igual a la lluvia, porque no habría más humedad disponible. En diciembre ocurriría un valor intermedio entre la lluvia y la evapotranspiración potencial. La evapotranspiración real se vería aumentada de diciembre a abril en los lugares donde la napa freática pudiera aportar humedad a la superficie evaporante.

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

Las mediciones de meteorología más antiguas son las de lluvia realizadas en San Salvador desde hace 55 años.

Son también extensas las de Acajutla, con 52 años, Sonsonate con 51 y Coatepeque con 49. En total, unas 30 pasan de los 30 años. En la actualidad se dispone de registros uniformes para el período normal de 1931 a 1960, señalado por la O.M.M., para unas 25 estaciones, pero se concentran en la capital y a lo largo de las líneas ferroviarias.

Los registros de temperaturas del aire son bastante más cortos. El más largo tiene 19 años.

Las primeras mediciones de caudales en forma sistemática fueron realizadas por la Comisión Nacional de Electricidad sobre el río Lempa en 1942. Anteriormente, la Empresa de Alumbrado Eléctrico de San Salvador y la Compañía Eléctrica Gucumacayán habían ejecutado aforos de caudales mínimos en 11 lugares del país con miras de aprovechamiento hidroeléctrico.

Con posterioridad, en 1952 y 1953, el Centro Nacional de Agronomía llevó a cabo aforos aislados en los ríos de la zona costera.

### 1. El proyecto de ampliación y mejoramiento de los servicios hidrometeorológicos e hidrológicos en el Istmo Centroamericano del Fondo Especial de las Naciones Unidas (17,18)

Con los cinco países restantes del Istmo centroamericano, El Salvador forma parte del Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos del Istmo Centroamericano.

De acuerdo con el mismo, que se inició a fines de 1967 y tendrá una duración de cinco años, se instalarán 5 estaciones meteorológicas tipo A (miden 7 o más elementos), 20 tipo B (miden 4 o más elementos) y 45 tipo C o pluviométricas; en hidrología, 12 de tipo A y 18 de tipo B. La contribución del gobierno, como contraparte, que será financiada en 100 por ciento por el

Ministerio de Agricultura y Ganadería, ascenderá a 468 640 dólares, a los que habrá que sumar el costo de instrumental y equipos importados por 266 040 dólares.

Al quedar concluido el proyecto, El Salvador dispondrá de 207 estaciones pluviométricas y 64 hidrológicas.

## 2. El Servicio Meteorológico Nacional

El Servicio Meteorológico Nacional es actualmente un departamento de la Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Se inició en el Observatorio Nacional Meteorológico y Astronómico, creado en 1889, que funcionó en la capital hasta fines de 1952. En enero de 1953 se organizó el Servicio Meteorológico Nacional como departamento del Ministerio de Defensa y como fusión del Observatorio Nacional y de la sección de meteorología del Instituto Tropical de la Universidad de El Salvador.

Actualmente se divide en Dirección y Relaciones Internacionales; Administración; Centro de Análisis y Pronósticos Meteorológicos; Climatología y Meteorología Aplicada; Investigación y Biblioteca; Oficina Sucursal Acajutla e Hidrometeorología. En 1967 su presupuesto ascendió a 210 200 colones (84 080 dólares) y su personal era de 38 empleados, (4 meteorólogos universitarios; 26 observadores y 8 auxiliares entre ellos).

La red de meteorología que controla --y cuyas principales estaciones eran de su exclusiva dependencia-- estaba formada por: 14 estaciones climatológicas principales; 1 climatológica corriente y 122 pluviométricas; 19 de las cuales tenían pluviógrafo.

En el aeropuerto de Ilopango funciona una oficina de pronósticos que confecciona dos veces al día las cartas sinópticas de superficie y 5 de altura (850, 700, 500, 300 y 200 mb) y vuelca en diagramas termodinámicos las radiosondas de Mérida, San Andrés e isla del Cisne. Recibe por teletipo la transmisión subregional de datos meteorológicos de la O.M.M., pero no recibía de la Caribbean Meteorological Broadcast (GARMET). La oficina

funciona de 7.30 a 17 horas para pronósticos, pero realiza observaciones durante las 24 horas. Desde 1956 hasta 1966 se efectuaron observaciones de globos piloto tres veces al día.

El Servicio Meteorológico Nacional concentra toda la información meteorológica del país. Distribuye numerosas publicaciones entre las que se pueden citar el Almanaque Salvadoreño (anual), el Boletín Meteorológico (semestral), la Carta del Tiempo (de lunes a viernes) y otras dedicadas a la publicación de datos básicos y elaborados. En publicaciones ocasionales ha presentado estudios de índole diversa.

### 3. Sección de Aguas Superficiales del Departamento de Recursos Hidráulicos

La Sección de Aguas Superficiales, que se ocupa de la medición de los caudales de los ríos, forma parte del Departamento de Recursos Hidráulicos de la Dirección General de Agricultura. Su funcionamiento data del 1 de enero de 1957 por disposición interna del Ministerio de Agricultura y Ganadería que fue el organizador de la Sección de Estudios Hidrológicos adjunta al Departamento de Ingeniería Agrícola.

Con este organismo comenzó en el país la medición sistemática de sus recursos hidráulicos superficiales. A fines de 1967 disponía de una red de 34 estaciones hidrométricas equipadas con limnigrafos y miras fluviométricas.

Los presupuestos de esta sección para los años 1966 y 1967 fueron de 295 100 colones (118 000 dólares) y su personal se componía de 31 empleados (2 universitarios, 4 estudiantes, 5 hidromensores y 20 auxiliares).

Lleva publicados cinco Boletines Técnicos de Estudios Hidrológicos en los que incluye datos básicos elaborados y mapas de los ríos en estudio; el último tiene datos de 1965 y 1966.

#### 4. La Dirección de Grandes Obras de Riego

La Dirección de Grandes Obras de Riego comenzó la instalación de algunas estaciones hidrológicas para fines específicos a mediados de 1967 por intermedio de su Sección de Hidrometeorología del Departamento de Estudios Preliminares.

#### 5. La Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)

Siendo sus funciones "conservar, administrar y utilizar los recursos hidráulicos de El Salvador, particularmente los del río Lempa", la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa instaló diversas estaciones hidrométricas en dicho río y en el lago de Güija; en la actualidad controla el escurrimiento de la presa de "5 de Noviembre" y opera además una estación climatológica en ese lugar en colaboración con el Servicio Meteorológico Nacional.

#### 6. La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados

La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados efectúa algunas mediciones de caudal, no periódicas, en las fuentes de agua que puedan interesarle para algún proyecto de aprovechamiento. No hace mediciones de caudales en ríos. Sin embargo, con motivo del proyecto de investigación del agua subterránea que con ayuda del Fondo Especial de las Naciones Unidas se lleva a cabo en el país y en el cual la ANDA es la contraparte nacional, se instalaron a comienzos de 1967, 4 estaciones de aforos, dos en el río Ac elhuate (Desembocadura y Guazapa) y dos en el Sucio (El Jocote y El Niño).

#### 7. Otros organismos

Además de los organismos señalados, otros realizan mediciones meteorológicas e hidrológicas. En la medición de la lluvia colaboran los Ferrocarriles Internacionales de Centroamérica que tienen 27 estaciones; los Ferrocarriles de El Salvador, que poseen 7, y también la Compañía de Luz

Eléctrica de Sonsonate, la Compañía de Luz Eléctrica de Santa Ana, el Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, el Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, la Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador y la Administración Nacional de Telecomunicaciones con estaciones aisladas. También se deben mencionar los agricultores.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1. Conclusiones

El desarrollo planificado de los recursos hidráulicos exige su conocimiento exacto en todo el país y para ello se necesita disponer de las mediciones necesarias de meteorología e hidrología en el espacio y en el tiempo.

A comienzos de 1968 el país controlaba hidrológicamente, en cierto grado el 88 por ciento de su territorio aunque las mediciones de material en suspensión no tenían un carácter sistemático.

Meteorológicamente el país era cubierto totalmente por observaciones de superficie, aunque algunas particularidades regionales de los elementos climáticos podían quedar sin definirse claramente debido al relieve. No se realizaban observaciones de altura, ni mediciones regulares de radiación.

Las comunicaciones meteorológicas no permiten una completa recepción internacional de datos y deben ser incrementadas tanto en lo que se refiere a información básica como elaborada.

El Salvador forma parte, con los cinco países restantes del Istmo Centroamericano, del proyecto de "Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano". Gracias a él podrá obtener una mayor cobertura de las observaciones meteorológicas e hidrológicas aunque tendrán que resolverse los problemas de comunicaciones y observaciones de altura.

### 2. Recomendaciones

La actual situación de los organismos que se dedican a la meteorología e hidrología es propicia para sugerir algunas medidas que podrían favorecer el desarrollo de sus tareas.

Dada la íntima relación técnica en que se encuentran estas ciencias, parecería oportuno que los organismos que se dedican a la obtención de datos básicos, elaboración, estudio, investigación y divulgación, pudieran

/centralizarse

centralizarse en un solo instituto de meteorología e hidrología, donde al concentrarse la información se constituiría un archivo nacional de esas especialidades en el que fácilmente podrían obtenerse todos los datos que requieran los proyectos de aprovechamientos, especialmente hidráulicos.

El instituto podría ser criado por una ley donde se determinarían sus funciones y organización y se le asignaría el correspondiente presupuesto, acorde con la importancia de los recursos hidráulicos del país, que cada día irá en aumento.

El Salvador forma parte actualmente del Comité Regional de Recursos Hidráulicos, con los otros países del Istmo, organismo a través del cual se orienta y dirige la realización del Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos de esta región. Es aconsejable que el país favorezca la continuación de ese comité para que una vez finalizado ese proyecto, siga asesorando en general y participando en las tareas de carácter internacional que se originan en el estudio y desarrollo de las cuencas de este tipo.

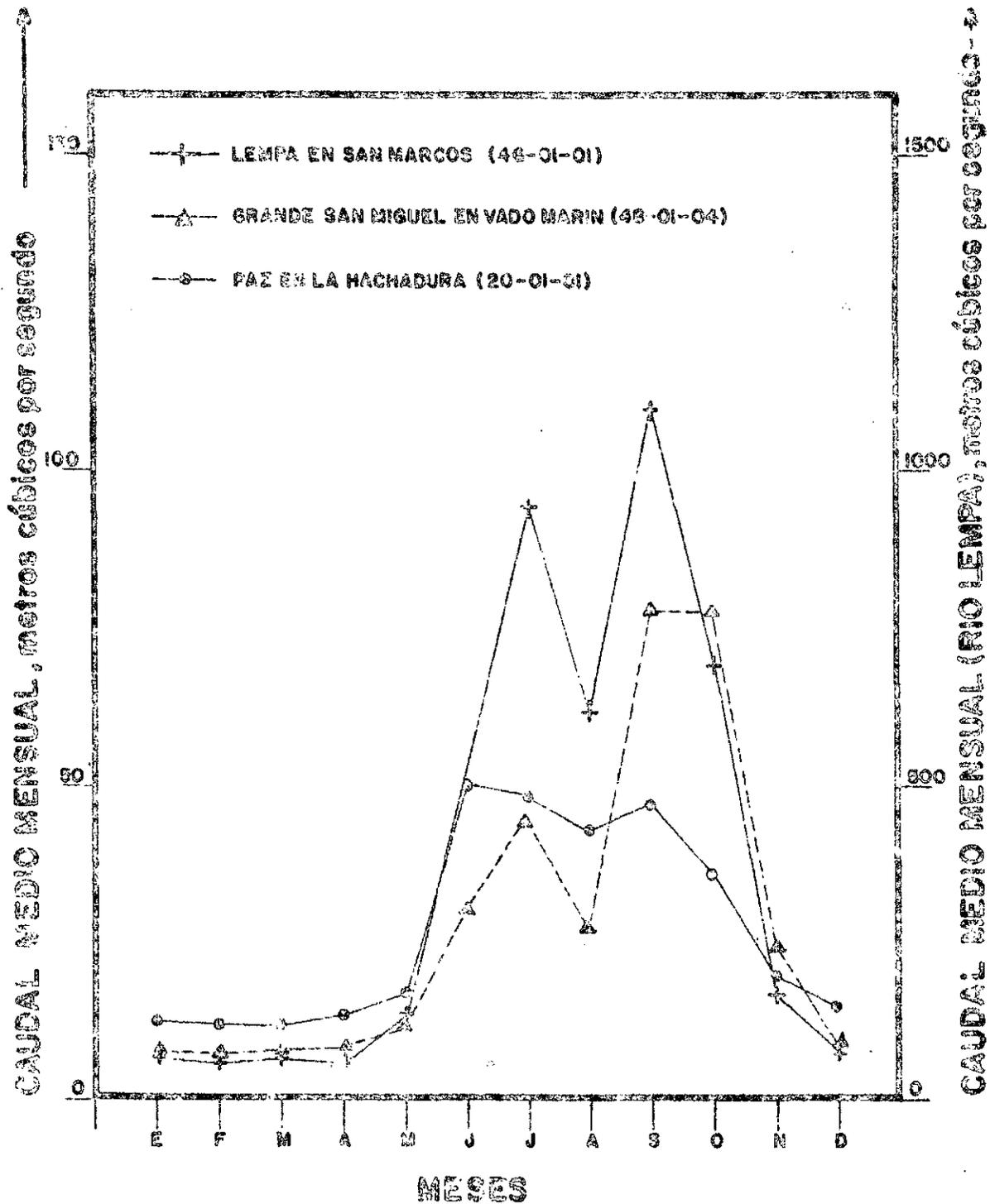
En meteorología, la disseminación de datos e informaciones regionales e internacionales requieren la recepción simultánea del CARMET (Caribbean Meteorological Broadcast) y de la emisión subcontinental de la O.M.M. Para ello se deberá contar con otro equipo de recepción de radioteletipo.

De suma utilidad para la oficina del aeropuerto de Ilopango sería el disponer de un equipo de radiofacsimil para recibir la información elaborada de cartas sinópticas que se transmite desde los centros meteorológicos de Miami y Washington. También El Salvador debe obtener de COCESNA, con los otros cinco países del Istmo, un canal de radio dedicado con exclusividad a meteorología, lo cual permitiría que se ligaran entre ellas las capitales centroamericanas y con la ciudad de Balboa, en la Zona del Canal, para una recepción y disseminación de datos que en las actuales circunstancias no se hace con regularidad.

Se debe favorecer la formulación de pronósticos hidrológicos a base de las mediciones de la lluvia y también los que se basan en pronósticos de precipitación.

De fundamental importancia para la evaluación más correcta de los recursos hidráulicos es poder llevar a cabo balances de agua por mediciones directas para apreciar la validez de fórmulas o de métodos empíricos que posteriormente se pudieran aplicar en otras partes del país.

Las mediciones de caudales de agua de los ríos deben ir acompañadas sistemáticamente por mediciones de sedimentos, no sólo por la importancia que tiene conocer el encenagamiento de los embalses, sino también para medir la erosión en las zonas donde este proceso debe ser estudiado y prevenido.



EL SALVADOR  
 VARIACION DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL  
 DE RIOS SELECTOS  
 GRAFICO I



## BIBLIOGRAFIA

1. G. Hoffmann, "Die mittleren jährlichen und absoluten Extremtemperaturen der Erde". Meteorologische Abhandlungen des Instituts für Meteorologie und Geophysik Freien Universität Berlin, Vol. 8, pt 3, 1960.
2. Department of Commerce, Weather Bureau, Hydrometeorological Report No. 4, 1943.
3. W.K. Henry, "An excessive Rainfall in Panama, October 1954", Water Resources Research, Vol. 2, No. 4, 1966.
4. Servicio Meteorológico Nacional - Publicaciones Técnicas 1, 3 a 8.
5. H. Lessmann, "Características sinópticas de la lluvia al lado pacífico de Centroamérica", 1967.
6. S.M.N. Información especial para este informe, 1967.
7. H. Lessmann, "Características de la lluvia en El Salvador", 1956.
8. S.M.N. "Almanaques salvadoreños".
9. Hidroconsult Ltda. "Informe hidrológico para el diseño de los puentes de la carretera a Limón sobre el río Chirripó", agosto 1966.
10. Anales del Servicio Geológico Nacional de El Salvador. Boletín No. 4, diciembre 1961.
11. CEL "El lago de Güija", mayo 1958.
12. Dirección General de Agricultura, Departamento de Recursos Hidráulicos. "Estudios hidrológicos, Boletines Técnicos Nos. 2 a 5.
13. Dirección de grandes obras de riego. "Análisis del Transporte de Sedimentos en el río Taisihuat", noviembre 1967.
14. L. Ahlgren, E. Basso and R. Jovel "A preliminary evaluation of the water balance in the Central American Isthmus". Symposium on the water balance of North America. American Water Resources Association. Urbana, Illinois, 1969.
15. D. Wozab, et al., Final Report, Ground Water Exploratory Project in the Lower San Miguel Basin. UN-FAO, Roma 1964.
16. R. Jovel et al., Investigación hidrológica cuantitativa en la cuenca de la laguna de Chamnico. Reporte de la investigación hidrogeológica No. 3, Sección de aguas subterráneas del Ministerio de Agricultura de El Salvador, 1964.



Apéndice

DISPONIBILIDADES DE AGUA SUBTERRANEA EN EL SALVADOR



INDICE

	<u>Página</u>
Resumen	57
I. Estado actual de la investigación de aguas subterráneas	60
1. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)	60
2. Ministerio de Agricultura y Ganadería	61
3. Centro de Investigaciones Geotécnicas	62
4. Otros organismos	62
5. Conclusiones	63
II. Hidrogeología	64
1. Introducción	64
2. Ocurrencia de agua subterránea	65
3. Rendimientos obtenibles en los pozos	69
4. Posibilidades de intrusión salina	70
III. Estimación de los recursos hídricos del subsuelo	71
1. Introducción	71
2. Evaluación de la ecuación hidrológica subterránea	72
3. Estimación del rendimiento seguro	76
Bibliografía	81



## RESUMEN

El presente informe forma parte del estudio sobre la evaluación de los recursos hidráulicos del Istmo Centroamericano, comprende una revisión del estado actual de la investigación sobre aguas subterráneas en El Salvador, una breve descripción de la hidrogeología del país dirigida especialmente a la identificación de áreas que puedan garantizar aprovechamientos en gran escala, y una evaluación del orden de magnitud de agua subterránea del país.

Los resultados de estudios hidrogeológicos cuantitativos llevados a cabo en cuencas o áreas específicas, y los mapas geológicos, han permitido identificar las áreas de recarga, almacenamiento y descarga del agua subterránea en todo el país. Las principales de recarga están constituidas principalmente por materiales volcánicos del Cuaternario, situadas por lo general en las cadenas de volcanes más recientes. Los depósitos principales de agua subterránea están constituidos por formaciones aluvionales recientes de las planicies costeras, y por acumulaciones de materiales piroclásticos de edad Pleistocénica en los valles intramontanos del interior del país. Se identificaron áreas de descarga natural del agua subterránea a lo largo de la costa aluvional, por la que se experimenta un considerable deflujo hacia el océano pacífico, y en numerosas áreas donde la profundidad de la tabla freática es limitada y ocurre una evapotranspiración directa del agua subterránea. Una generalización sobre el rango de variación del coeficiente de permeabilidad sería el siguiente:

a) materiales volcánicos del Cuaternario, 24-122 litros por día por metro cuadrado ( $1\ 000 - 5\ 000\ \text{GPD/PIE}^2$ ); b) depósitos aluvionales recientes, 12 a 24 LPD/M<sup>2</sup> ( $500 - 1\ 000\ \text{GPD/PIE}^2$ ); y c) materiales piroclásticos del Pleistocénico, 1.2 a 8.5 LPD/M<sup>2</sup> ( $50 - 350\ \text{GPD/PIE}^2$ ). Las formaciones del Terciario y el Cretácico existentes en el país se consideran inapropiadas para proporcionar caudales lo suficientemente altos para garantizar aprovechamientos en gran escala.

Se efectuó una estimación de los caudales que podrían obtenerse de pozos de adecuado diseño y construcción, que penetren efectivamente al menos 30 metros de las formaciones saturadas, habiéndose llegado a la

/conclusión de

conclusión de que de los materiales del Cuaternario volcánico pueden obtenerse caudales de entre 60 y 160 litros por segundo; de los depósitos aluvionales de entre 45 y 95 litros por segundo y de los materiales piroclásticos del Pleistocénico de entre 6 y 45 litros por segundo. Se identificaron también las áreas donde, por existir conexión hidráulica entre la napa freática y el océano y existir reducidos gradientes y elevación del nivel freático, pudiera ocurrir intrusión del agua de mar en los acuíferos ante una extracción en gran escala.

Se efectuó una estimación de la disponibilidad de aguas subterráneas mediante una evaluación preliminar de la ecuación de balance hidrológico subterráneo para todo el país. Con base en los resultados obtenidos en estudios detallados realizados en áreas específicas y en áreas hidrogeológicamente similares de países vecinos, y teniendo en cuenta las características geológicas de las formaciones, se asignaron valores conservadores de infiltración a cada una de las unidades hidrogeológicas identificadas; después de ponderar estos valores de infiltración, con base en las extensiones de cada unidad hidrogeológica, se obtuvo una infiltración total de 6 875 millones de metros cúbicos, que equivale a un 19 por ciento de la precipitación total del país. Las áreas de tabla freática somera fueron también identificadas, y se calculó por procedimientos convencionales que unos 696 millones de metros cúbicos se consumen directamente de los depósitos de agua subterránea, por evaporación y por transpiración de vegetación freatófita. El deflujo anual hacia el Océano Pacífico se calculó en unos 2 313 millones de metros cúbicos con base en las características físicas e hidráulicas de los depósitos costeros. El caudal base de los ríos, se estimó en 3 865 millones de metros cúbicos por diferencia entre aflujos y deflujos en la ecuación hidrológica subterránea, teniendo en cuenta que no existen sino extracciones efectivas y cambios netos de almacenamiento en los depósitos de insignificante magnitud.

Con objeto de ilustrar el orden de magnitud del rendimiento seguro de los acuíferos existentes en el país, se hizo una estimación de los items recuperables dentro de la ecuación de balance hidrológico de los depósitos. Se calculó así que un 30 por ciento de la evapotranspiración directa de los depósitos, o su equivalente de 195 millones de metros cúbicos, podrían  
/recuperarse

recuperarse como resultado de la subsidencia general del nivel freático con las extracciones en gran escala que se anticipan. Suponiendo la utilización de sistemas eficientes de pozos ubicados a lo largo del contacto entre los depósitos aluvionales costeros y las áreas de recarga, que se operasen durante la estación seca únicamente, podrían recuperarse unos 115 millones de metros cúbicos por año del actual deflujo subterráneo al océano. En cuanto al caudal base, se estimó que puede recuperarse entre un 40 y un 70 por ciento, recurriendo a sistemas de aprovechamiento que capten el flujo del agua antes de que se derrame en los ríos, en combinación con un sistema de captación de manantiales y ríos menores. El rendimiento seguro, equivalente a la suma de los ítems recuperables descritos, se ha estimado así en unos 2 635 millones de metros cúbicos, que equivalen a un caudal constante de aproximadamente 84 metros cúbicos por segundo.

Las cuencas de mayor potencial de agua subterránea, según las estimaciones realizadas son:

Gran cuenca	cuenca	Río	Rendimiento seguro estimado	
			$m^3 \times 10^6$	$m^3/\text{seg}$
J	44, 46	Lempa y Jalponga	1 440	46
N	48	Grande de San Miguel	635	20
I <sub>1</sub>	20	Paz	310	10

## I. ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

En El Salvador existe personal calificado en las diferentes disciplinas requeridas para realizar estudios sobre disponibilidad de agua subterránea, pero trabaja en diversos organismos estatales y autónomos. Incluso se ha observado la salida de profesionales especializados hacia otros países del área centroamericana.

No existe actualmente ninguna oficina centralizada donde se reúna toda la información básica referente al agua subterránea, ni programa sistemático de investigación referido a todo el país. Diferentes organismos interesados en el aprovechamiento del agua subterránea han realizado investigaciones hidrogeológicas en varias regiones del país.

No se han creado instrumentos legales para la investigación y el aprovechamiento científico de los recursos de agua subterránea. Sólo existe una previsión legal que obliga a quienes desean perforar pozos cerca de los de agua potable, a solicitar un permiso de la autoridad competente. En el área metropolitana de San Salvador, y como resultado del proyecto del Fondo Especial de Naciones Unidas, desde 1967 sólo se conceden permisos de aprovechamiento por períodos de limitada duración.

Los siguientes organismos han realizado o se encuentran realizando estudios sobre aprovechamientos de agua subterránea.

### 1. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)

Ha perforado en el pasado numerosos pozos para abastecimiento de agua potable en todo el país, no siempre con la asesoría geológica adecuada, ni ajustándose en todas las ocasiones a técnicas adecuadas de perforación y utilización de pozos de producción. Desde 1967, con la ayuda técnico-financiera del Fondo Especial de las Naciones Unidas, se llevó a cabo un programa sistemático de investigación de agua subterránea en el área metropolitana de San Salvador para localizar las fuentes de abastecimiento que permitan atender las demandas futuras. El proyecto ha llegado a su etapa final después de haberse hecho estudios geológicos, geofísicos, hidrogeológicos, hidrometeorológicos, y geoquímicos, existiendo

/la posibilidad

la posibilidad de que se amplíen sus alcances, duración y el área a investigar. Numeroso personal local ha recibido adiestramiento a nivel profesional y subprofesional, en todas estas disciplinas, tanto de carácter práctico como teórico a través de becas en el extranjero.

El área actual del proyecto abarca las cuencas de los ríos Acelhuate y Sucio, que corresponden al sistema hidrográfico del río Lempa, y la del río Jiboa en su tramo superior, con una extensión total aproximada de 2 200 kilómetros cuadrados; pero la asesoría proporcionada por los expertos de la ONU se ha extendido al resto del país, con menor intensidad como es de comprender.

El proyecto se concentra actualmente en los aspectos legales e institucionales, estando en preparación anteproyectos de ley sobre aprovechamiento de aguas del subsuelo, y la creación de un organismo centralizado dedicado a su investigación y aprovechamiento.

## 2. Ministerio de Agricultura y Ganadería

El Ministerio ha ordenado la perforación de numerosos pozos para fines agropecuarios y realizado numerosas investigaciones hidrogeológicas en áreas y cuencas particulares a través de sus diferentes dependencias.

Durante 1961-63 realizó con la ayuda de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), una investigación hidrogeológica en la cuenca del Bajo Río Grande de San Miguel, en el oriente del país que permitió determinar el potencial de los depósitos subterráneos existentes para el riego de más de 10 000 hectáreas de tierra de excelente calidad. Además se adiestró personal profesional y subprofesional en las disciplinas del caso.

Concluidos los estudios, el personal y fondos presupuestados se trasladaron al Departamento de Recursos Hidráulicos de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (Dirección General de Agricultura), desde donde se brindó al sector agropecuario asesoría técnica para la perforación de pozos bajo tarifas preferenciales. Además se realizaron varios estudios hidrogeológicos en áreas específicas, y se inició el inventario general del agua subterránea en el país. La perforación de pozos bajo tarifas preferenciales quedó suspendida a partir del año 1967.

/La Dirección

La Dirección General de Obras de Riego y Drenaje viene realizando desde 1966, por su parte, investigaciones hidrogeológicas detalladas sobre cuencas hidrográficas con respecto a las que existen importantes proyectos de riego y avenamiento. Utilizando fondos y personal propio y con limitada asesoría técnica, se realizaron investigaciones detalladas en las cuencas alta y baja del río Grande de San Miguel, en la cuenca del río Sucio, y en la Planicie Costera Central; investigaciones preliminares fueron realizadas en los valles altos de Ahuachapán y Santa Ana (cuenca alta del río Paz), en la Planicie Costera Oriental, y en otras áreas de menor extensión. La Dirección General cuenta con un laboratorio de computación análoga, que permite resolver complejos problemas de investigación y aprovechamiento de agua subterránea y está siendo ampliado con la ayuda del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano para que pueda proporcionar asesoría en la materia al resto de países del Istmo. Se han dictado numerosos cursos especializados sobre hidrología de agua subterránea, hidráulica de pozos, y simulación análoga. Dicha Dirección General ha preparado y sometido a la Asamblea Nacional, para su aprobación y ulterior promulgación por el Ejecutivo en su caso, una Ley de Riego y Avenamiento que incluye un capítulo referente al aprovechamiento de agua subterránea.

### 3. Centro de Investigaciones Geotécnicas

Durante la década del 50 y a principios de la del 60, profesionales de la misión alemana realizaron varios estudios geológicos e hidrogeológicos de carácter regional que incluyeron la elaboración de mapas a escalas variadas. El centro no ha vuelto a realizar ningún trabajo relacionado directamente con el agua subterránea.

### 4. Otros organismos

Varias empresas privadas dedicadas a la perforación de pozos para agua, cuentan con asesoría profesional y archivan valiosa información hidrogeológica. En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional, existe una clase de hidrología, que incluye hidrología de agua subterránea aunque a nivel elemental.

### /5. Conclusiones

## 5. Conclusiones

Se recomienda continuar el inventario sistemático de los recursos hídricos subterráneos, de preferencia por un organismo estatal centralizado ad hoc que convendría crear lo antes posible. También se considera importante la elaboración y promulgación de una ley que incluya todos los aspectos relacionados con el uso del agua subterránea.

El adiestramiento de personal profesional y de menor categoría, debe continuarse en forma sistemática.

## II. HIDROGEOLOGIA

### 1. Introducción

Se presenta a continuación una descripción cualitativa de la hidrogeología del país, con especial referencia a la delimitación de las zonas cuyas características permitan efectuar aprovechamientos en gran escala para diferentes usos, y con exclusión de las que carecen evidentemente de un potencial razonablemente alto, aunque pudieran obtenerse de ellas caudales o rendimientos limitados para necesidades domésticas o similares.

Para los propósitos de este estudio de naturaleza general, se ha tenido presente el mapa geológico general elaborado por Weyl, <sup>(1)\*</sup> y el mapa geológico a nivel de reconocimiento publicado por la AID. <sup>(2)</sup> Asimismo se utilizaron varios mapas geológicos, a diferentes escalas, levantados por profesionales de varios organismos nacionales e internacionales con motivo de estudios hidrogeológicos realizados en áreas específicas. <sup>(3,4,5,6,7,8)</sup>

La información geológica mencionada, complementada con datos regionales sobre características hidráulicas y físicas de los acuíferos alumbrados por numerosos pozos exploratorios y de producción que han sido objeto de ensayos convencionales de bombeo, así como los resultados obtenidos en varios estudios geohidrológicos detallados, <sup>(9,10,11,12,13)</sup> han permitido identificar las formaciones geológicas que no ofrecen posibilidades de aprovechamiento en gran escala, y las que constituyen áreas de recarga, descarga y almacenamiento o depósitos de agua subterránea. La clasificación antes mencionada aparece gráficamente en la lámina 2 del informe general, y la descripción de cada unidad se presenta en los párrafos subsiguientes.

---

\* Véanse las referencias al final del informe.

## 2. Ocurrencia del agua subterránea

### a) Areas principales de recarga

Bajo esta unidad se han agrupado en el mapa todas las formaciones pertenecientes al Cuaternario volcánico (Qv) situadas en la cadena montañosa costera que se caracterizan por altas tasas de infiltración y cobertura vegetal perenne. Estas formaciones están generalmente constituidas por lavas escoriáceas recientes, y por coladas de lava andesíticas y basálticas recubiertas por lapilli y cenizas volcánicas bajo suelos altamente permeables. Estas últimas lavas, pertenecientes al Pleistoceno superior, suelen ser densas en su interior y escoriáceas y diaclasadas en las partes superior e inferior, constituyendo excelentes medios conductores de agua.

Para ilustrar cuantitativamente el grado de recarga obtenible en estas formaciones, cabe mencionar el hecho de que ha podido determinarse en algunos casos que la capacidad de infiltración de las mismas excede los 50 milímetros por hora, <sup>(14,15)</sup> y que pueden absorber hasta un 48 por ciento de la lámina anual precipitada. <sup>(13,14)</sup>

De hecho existen otras formaciones capaces de admitir recarga en altas proporciones, pero como cumplen una función eminentemente de almacenamiento han sido incluidas en la siguiente unidad.

### b) Depósitos de agua subterránea

Los principales del país están constituidos sobre todo por formaciones aluvionales recientes (Qs1), compuestas por materiales no consolidados depositados en las costas y en algunas depresiones naturales del terreno ubicados del interior. Merecen especial mención la Planicie Costera Occidental, desde los alrededores del puerto de Acajutla hasta el río Paz (cuencas 20-32); la planicie costera central que se encuentra entre el puerto de La Libertad y el río Lempa (cuencas 34-44); la planicie costera oriental, comprendida desde el río Lempa hasta Usulután; la cuenca media y baja del río Grande de San Miguel; y las planicies aluviales correspondientes al Alto Lempa y la cuenca del río Sucio, ambas en la cuenca 46.

Depósitos adicionales importantes de agua subterránea se encuentran en las regiones situadas en la fosa central y en los valles altos de Ahuachapán y Santa Ana, en las cuencas 20 y 46, donde materiales piroclásticos, Plio-Pleistocénicos --como tobas, pómez, cenizas, etc., (Qp)-- están intercaladas con lavas y otros volcánicos altamente escoriáceos y permeables.

En los dos casos arriba mencionados ocurre recarga local proveniente de la precipitación, pero la función principal de estas formaciones por su posición topográfica es la de almacenadoras del agua infiltrada.

Salvo en la cuenca del río Sucio --donde se presentan condiciones locales de artesianismo surgente-- y en los alrededores del puerto de Acajutla --donde existen cargas artesianas limitadas-- los depósitos mencionados sólo poseen agua freática y el nivel superior de su manto se encuentra a una presión igual a la atmosférica. De estos depósitos, que forman generalmente más de un horizonte saturado, el agua bombeada se extrae mediante un proceso de drenaje gravitacional lento, por lo que se necesitan aplicar procedimientos especiales de análisis para obtener resultados fidedignos en los ensayos de bombeo.

En las planicies costeras el agua subterránea se mueve desde las áreas de recarga ubicadas al norte en la dirección general del gradiente hidráulico, hacia el mar. Los depósitos en mención se encuentran en conexión hidráulica con el océano, de manera que existe un equilibrio dinámico entre el agua subterránea dulce que descarga en el mar y la cuña de agua salada que permanece generalmente estática. La presencia de ríos, quebradas y lagunas en las planicies costeras modifican localmente la dirección de movimiento del agua, sin que el hecho sea motivo de notables cambios en la tendencia general mencionada.

En el caso de los depósitos del interior del país, el agua subterránea --originada generalmente en las áreas de recarga-- sigue una trayectoria que se deriva principalmente del drenaje superficial y de la geología local. En el caso de la Zona Metropolitana de San Salvador, la trayectoria normal del agua subterránea se ha visto localmente afectada por extracciones notables de pozos, sin que ello haya cambiado el macrosistema de la circulación del agua. (9)

El volumen de los depósitos de agua subterránea es todavía desconocido porque, por ejemplo, los pozos de producción no pasan en las costas de los 90 metros de profundidad. Algunos pozos exploratorios, destinados a alcanzar el basamento hidrogeológico, han alcanzado profundidades cercanas a los 300 metros en la cuenca del río Grande de San Miguel<sup>(13)</sup> y en la Zona Metropolitana.<sup>(9)</sup> Es posible por consiguiente que existan vastos volúmenes almacenados; pero las extracciones máximas factibles deberán guiarse por la tasa anual de recarga o por la capacidad de transmisión de los acuíferos y no por el volumen almacenado.

c) Áreas de descarga natural

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

d) Profundidad y pendiente de la tabla freática

En las formaciones del Cuaternario volcánico, la profundidad del agua puede oscilar entre 30 y 90 metros, en función inversa de la distancia de su fuente de origen. En los depósitos aluvionales, la profundidad es generalmente inferior a 30 metros, llegando a ser de un metro o menos en la vecindad inmediata de la playa. En los depósitos de materiales piroclásticos del Plesitoceno, la tabla freática suele encontrarse a una profundidad de entre 15 y 50 metros de la superficie.

En lo que se refiere a la pendiente de la tabla freática puede hablarse de valores de hasta el uno por ciento en el caso de los materiales volcánicos del Cuaternario, y de menos de 5 por mil en el de los aluviones recientes, presentándose gradientes de entre 0.5 y 2 por ciento en los piroclásticos del Pleistoceno. Se trata de cifras generales que pueden modificarse localmente en la vecindad inmediata de cuerpos de agua superficial, o donde ocurren cambios en la permeabilidad de los materiales saturados.

/e) Características

e) Características hidráulicas de las formaciones

Aunque no se han efectuado estudios completos que abarquen la totalidad de las formaciones saturadas del país, y a pesar de que en términos generales no se ha logrado conocer todo el espesor de estrato saturado, existe una disponibilidad razonable de información geohidrológica cuantitativa que da idea del rango de variación de las constantes hidráulicas de las formaciones consideradas.

Para el caso de los materiales volcánicos Cuaternarios, excluyendo las partes densas de las lavas, la permeabilidad oscila entre 24 y 122 litros por día por metro cuadrado ( $LPD/M^2$ ), o su equivalente de entre 1 000 y 5 000 galones por día por pie cuadrado ( $GPD/PIE^2$ ) en función inversa de la distancia a la fuente de origen y del posible contenido de arcillas o limos. El coeficiente de almacenamiento, o rendimiento específico, oscila generalmente entre 5 y 30 por ciento. (Para ambos casos, consúltese por ejemplo Wozab et al,<sup>(13)</sup> Wozab y Jovel<sup>(16)</sup> y Jerez.)<sup>(10)</sup>

En los depósitos aluvionales de la costa y del Valle de Zapotitán (cuenca 46) y de la cuenca del río Grande de San Miguel, es usual encontrar coeficientes de permeabilidad que oscilan entre 12 y 24  $LPD/M^2$  (500 y 1 000  $GPD/PIE^2$ ) y rendimientos específicos de entre 5 y 20 por ciento. En el caso de existir presión artesiana, el coeficiente de almacenamiento suele oscilar entre 0.001 y 0.0005.<sup>(10,11,12,17,18)</sup> Los depósitos aluvionales del Alto Lempa (cuenca 46) poseen permeabilidades menores por la presencia de abundante material fino procedente de las formaciones Terciarias adyacentes.

Los depósitos de pómez, ceniza volcánica, etc. que constituyen los depósitos de la Zona Metropolitana de San Salvador y de los Valles Altos de Ahuachapán y Santa Ana generalmente poseen coeficiente de permeabilidad del orden de los 1.2 a 8.5  $LPD/M^2$  (50-350  $GPD/PIE^2$ ), siempre que no existan intercalaciones de materiales volcánicos más recientes con permeabilidad mayor. (Véase por ejemplo Solórzano et al<sup>(19)</sup> y Ferrer.)<sup>(9)</sup>

Los valores descritos dan idea de los altos rendimientos que pueden obtenerse de pozos bien contruidos especialmente en los materiales volcánicos y en los aluvionales.

f) Formaciones no saturadas e impermeables (K.T.)

Dentro de este grupo o unidad del mapa se han incluido todas las formaciones que impiden la infiltración y el almacenamiento y flujo del agua subterránea, y que por lo tanto no pueden considerarse saturadas. Se han incluido además otras que, aun pudiendo absorber y almacenar agua, no pueden transmitirla en cantidades apreciables como para ser tomadas en cuenta para aprovechamientos en gran escala pero podrían proporcionar volúmenes menores para abastecer necesidades de limitada magnitud.

Dentro del primer grupo pueden citarse las calizas marinas, areniscas, etc., que pertenecen al Cretácico, así como las constituidas por granitos y granodioritas del Cretácico superior a Terciario inferior, y algunas formaciones basálticas y/o riolíticas del Terciario volcánico. Al segundo pertenecen ciertas lavas y otras rocas basálticas y andesíticas fuertemente erosionadas, del Plio-Pleistoceno y el Pleistoceno superior, que pueden rendir caudales limitados en pozos y manantiales.

En términos generales puede decirse que estas formaciones son características del norte del país, especialmente de las cabeceras de los ríos Lempa (46), Grande de San Miguel (48), Sirama (50) y Goascorán (52); también se encuentran a lo largo de la cordillera del Bálsamo (cuencas 34 a 44).

3. Rendimientos obtenibles en los pozos

Teniendo en cuenta las características hidráulicas de las formaciones consideradas, y admitiendo una penetración mínima de 100 pies en el acuífero, se han efectuado estimaciones sobre los caudales que podrían obtenerse de pozos individuales que poseyeran al menos un 60 por ciento de eficiencia de trabajo, operados continua o intermitentemente a lo largo del año, por el procedimiento descrito. <sup>(20)</sup>

Puede afirmarse así que en los materiales volcánicos del Cuaternario (Qv) que constituye el área de recarga, es factible obtener caudales de 63 a 158 litros por segundo (LPS) (entre 1 000 y más de 2 500 galones por minuto (GPM)) en pozos individuales de diseño y construcción adecuados.

/En el caso

En el caso de los aluviones recientes (Qal) pueden estimarse rendimientos individuales que oscilan entre 44 y 95 LPS (700 y 1 500 GPM) y en los depósitos de piroclásticos del Pleistoceno, caudales individuales de entre 6 y 44 LPS (100 y 700 GPM).

Los caudales mencionados deben considerarse una simple indicación de los rendimientos obtenibles en pozos individuales que: a) no sean utilizados en más de un 60 por ciento del total disponible; b) operen con una eficiencia mínima de trabajo del 60 por ciento; c) penetren totalmente 30 metros por lo menos en la formación saturada; y d) sean diseñados y construidos bajo técnicas y normas adecuadas.

El caso de grupos o sistemas de pozos es un caso más complejo y queda fuera del alcance de este informe de carácter general. Ha sido emprendido ya en El Salvador mediante métodos analíticos y análogos, (17,21,22,23,24,25) de acuerdo con el fin específico perseguido.

#### 4. Posibilidades de intrusión salina

En El Salvador existen posibilidades de intrusión salina a lo largo de la costa aluvional, donde el gradiente de la tabla freática es realmente bajo (menos del 0.5 por ciento), y donde existe en la actualidad un equilibrio natural dinámico entre el agua subterránea dulce que descarga en el océano y la cuña de agua salada que permanece generalmente estática. Cualquier extracción que indujera abatimientos tales que el nivel de bombeo en los pozos descendiera por debajo del nivel del mar, podría inducir la intrusión del agua salada; el hecho ha sido estudiado en El Salvador por algunos autores, (10,12) y ha conducido a recomendar que se limiten los caudales que se extraen de los pozos señalando incluso áreas cercanas a la costa donde no debe obtenerse ningún aprovechamiento.

El puerto de Acajutla (cuencas 30,32) es un lugar de posible intrusión salina en el futuro, por estar siendo objeto de aprovechamiento en relativamente gran escala los acuíferos artesianos. Deberán realizarse en breve estudios detallados al respecto para prever cualquier resultado indeseable.

### III. ESTIMACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DEL SUBSUELO

#### 1. Introducción

La estimación de las disponibilidades de agua subterránea para aprovechamiento en gran escala que se presenta a continuación solo debe considerarse indicativa del orden de magnitud de su verdadero valor, porque la información disponible impide obtener resultados precisos. En realidad, la estimación se ha basado en resultados obtenidos en áreas específicas que se han extrapolado al resto del país con base en las características hidrogeológicas de las formaciones saturadas identificadas con anterioridad.

Al evaluar la disponibilidad de aguas del subsuelo debe señalarse que los depósitos subterráneos deben aprovecharse a una tasa de extracción que no debe fijar el volumen almacenado, sino la tasa de renovación o de recarga del depósito. Es decir, el abastecimiento perenne de agua subterránea sólo puede asegurarse cuando no se excede la capacidad de recarga del recurso.

Para estimar el rendimiento seguro debe considerarse el depósito subterráneo como una unidad y evaluarse una ecuación de balance hidrológico para el mismo. Al hablar de rendimiento seguro es necesario distinguir entre el rendimiento máximo perenne y el rendimiento permisible perenne. El primero se refiere al valor máximo que teóricamente podría extraerse de un depósito subterráneo; el segundo indica el valor del rendimiento que puede extraerse perennemente sin que ello ocasione resultados perjudiciales. Por rendimiento máximo perenne debe entenderse un volumen que físicamente podría extraerse en condiciones ideales, cuyo 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 que se dará al agua. (26)

#### 2. Evaluación

## 2. Evaluación de la ecuación hidrológica subterránea

### a) Generalidades

Para poder calcular después el rendimiento seguro de los depósitos de agua subterránea existentes en El Salvador, debe efectuarse una evaluación de la ecuación del balance hidrológico de dichos depósitos. La expresión matemática simplificada de la ecuación que deberá evaluarse, asumiendo que todos los depósitos estuvieran incluidos dentro de una sola unidad, sería la siguiente:

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

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;  $D_{sb}$  es el deflujo subterráneo hacia el océano;  $CB$ , la descarga efluente de los depósitos y que constituye el caudal base de los ríos;  $D_{ae}$ , la extracción artificial efectiva del depósito, equivalente al volumen bombeado en pozos que no es devuelto por infiltración posterior a los depósitos y/o medido como escorrentía subterránea en los ríos; y  $\Delta s$ , cualquier cambio neto en el almacenamiento de los depósitos.

Todos los ítems de la ecuación deben ser objeto de evaluación individual para cada depósito existente en el país, con base en los resultados de evaluaciones efectuadas en cuencas específicas, como se explica a continuación.

### b) Estimación de la infiltración

Es evidente que la evaluación de la infiltración reviste singular importancia por ser la que genera, por así decirlo, el resto de los ítems de la ecuación, en función de los parámetros hidráulicos y físicos de cada depósito.

Teniendo en cuenta los resultados de estudios realizados en el país, (10,12,13,14,15,16) y otros estudios efectuados en cuencas hidrogeológicamente similares de países vecinos, (27,28,29,30,31) se han

/podido

podido asignar los siguientes valores conservadores de tasas de infiltración en función de la lluvia a las diversas unidades hidrogeológicas definidas anteriormente:

	<u>Por ciento</u>
Cuaternario Volcánico (Qv)	45
Aluvión reciente (Qal)	35
Piroclástico Pleistocénicos (Qp)	30
Materiales Terciarios y Cretácicos (T,K.)	5

En el cuadro 1 figura la distribución espacial de cada unidad hidrogeológica para cada una de las cuencas consideradas en el estudio, empleándose los valores antes citados de infiltración para obtener un coeficiente ponderado de infiltración para cada cuenca. Al multiplicar este coeficiente por el volumen anual precipitado en cada cuenca se obtiene una estimación burda de la infiltración anual. Cabe señalar que en estos cálculos se ha asumido una distribución espacial uniforme de la precipitación para cada cuenca, con lo cual se agrega un margen adicional de seguridad a los cálculos, puesto que a las áreas de más alta infiltración suele corresponder una lámina anual mayor de precipitación.

Como puede apreciarse en el cuadro 1, unos 6 875 millones de metros cúbicos (MMC) de agua se infiltran hacia los depósitos en un año de precipitación normal, volumen que equivale a una lámina promedio de 344 milímetros en todo el país, y representa un 19 por ciento de la precipitación media.

#### c) Evapotranspiración directa de los depósitos

Las áreas de tabla freática somera y aquellas en las que existen condiciones pantanosas en El Salvador han sido estimadas por Ahlgren et al.<sup>(32)</sup> en 285 kilómetros cuadrados. Por el método de Blaney-Criddle<sup>(33)</sup> ha sido posible estimar en unos 600 millones de metros cúbicos el volumen anual de evapotranspiración en estas áreas que debe atribuirse a pérdida de agua subterránea. Además se estima que, durante la época seca, un 50 por ciento de la evaporación de los lagos por lo menos es abastecida

EL SALVADOR: ESTIMACION PRELIMINAR DE INFILTRACION TOTAL EN EL PAIS

Gran cuenca	Nomenclatura		Area (km <sup>2</sup> )	Precipitación (m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> )	Porcentaje de área total en cada cuenca				Infiltración ponderada a/ (porcentaje)	Infiltración total b/ (m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> )
	Cuenca	Ríos			Qv	Qal	Qp	K, T		
<b>Total</b>			<b>20 000</b>	<b>36 367</b>					<b>6 875</b>	
I <sub>2</sub>	20	Paz	1 052	1 919	25	4	59	12	30.9	590
K	22,24,26 y 28	Cara Sucia, Rosario, San Pedro, Sunza	756	1 307	4	46	-	50	20.4	267
L	30, 32	Sensunapán, Banderas y otros	1 615	2 955	17	19	-	64	17.4	518
M	34,36,38, 40 y 42	Chilama, Huiza, Tihuapa, Comalapa, Jiboa y otros	1 380	2 553	2	19	17	62	15.8	405
J <sub>2</sub>	44	Jalponga y otros	1 597	2 830	17	75	-	8	34.0	960
	46	Lempa y otros	8 984	16 441	11	17	12	60	17.6	2 900
N	48	Grande San Miguel	2 363	4 256	26	19	-	55	21.0	890
O <sub>1</sub>	50	Sirama y otros	1 068	1 937	8	35	-	5	10.6	205
O <sub>2A</sub>	52	Goascorán	1 185	2 169	5	-	-	95	6.5	140

a/ Ponderación con base a una tasa de infiltración de 45 por ciento en materiales volcánicos del cuaternario (Qv); del 35 por ciento en aluviones recientes (Qal); del 30 por ciento en materiales piroclásticos del Pleistoceno (Qp); y del 5 por ciento en los materiales terciarios y cretácicos (T,K.).

b/ Obtenido como producto de la infiltración ponderada y de la precipitación caída en cada cuenca.

/por el

por el agua subterránea, de lo que se deriva una pérdida adicional de 96 MMC y resulta una pérdida total por evapotranspiración directa del agua subterránea de 696 MMC.

d) Deflujo subterráneo hacia el océano

El volumen que anualmente se vierte subterráneamente hacia el océano a través de los depósitos aluvionales, Cuaternarios y recientes, y a través de las formaciones Terciarias de la costa, ha sido estimado en un total de 2 313 MMC. De ellos, 2 055 MMC son el producto del flujo del agua subterránea a través de los aluviones cuyo espesor medio ha sido estimado en 914 m (3 000 pies) con base en un mapa topográfico-batimétrico, cuyo ancho de sección es de aproximadamente 125 km, con una permeabilidad media de  $14.8 \text{ LPD/M}^2$  ( $600 \text{ GPD/PIE}^2$ ) bajo un gradiente hidráulico del 2 por mil; el resto es deflujo proveniente de la infiltración estimada para los materiales costeros del Terciario.

e) Extracción anual efectiva y cambios netos en almacenamiento

En razón de que la extracción anual total es todavía de magnitud limitada, y de los altos porcentajes de retorno correspondientes, la extracción anual efectiva y los cambios netos en almacenamiento se han considerado como desechables en el balance general.

f) Descarga efluente de los depósitos hacia los ríos

Es el rebalse de los depósitos actualmente llenos, que responde 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 únicamente de los depósitos subterráneos pero debe señalarse que durante la época lluviosa el caudal base de los ríos aumenta considerablemente, representando una buena fracción del caudal total.

Para los propósitos de este estudio, el caudal base se ha estimado por diferencia entre aflujos y deflujos dentro de la ecuación hidrológica subterránea, por no haberse contado con la información o el tiempo

/necesario

necesario para realizar estimaciones detalladas con base, por ejemplo, en una separación analítica de los hidrogramas.

Así, se ha estimado que unos 3 865 millones de metros cúbicos constituyen el caudal base anual de los ríos, equivalentes a un caudal medio de 122 metros cúbicos por segundo, que está de acuerdo con los aforos de estiaje.

### 3. Estimación del rendimiento seguro

#### a) Generalidades

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

El valor del rendimiento seguro puede cuantificarse por la siguiente ecuación:

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

en donde A, B y G son coeficientes que indican la porción recuperable de cada item de deflujo en la ecuación, cuyo valor será estimado a continuación.

#### b) Evapotranspiración recuperable

La evapotranspiración directa del agua subterránea ocurre por lo general en las zonas costeras y otras depresiones naturales donde la profundidad de la tabla freática es reducida. Teniendo en cuenta que las extracciones deberán concentrarse principalmente en áreas lo más alejadas posible de la costa, se ha estimado que podría recuperarse un 30 por ciento de la evapotranspiración de agua subterránea en vista de la anticipada subsidencia del nivel freático.

#### /c) Deflujos

c) Deflujos subterráneos recuperables

Lo más efectivo para recuperar una buena parte del actual deflujo subterráneo hacia el Pacífico sería implantar sistemas de aprovechamiento situados precisamente en el límite entre las áreas de recarga y los depósitos aluvionales de las planicies costeras, porque en esos lugares el espesor total saturado es menor, la permeabilidad de los materiales es elevada, el gradiente hidráulico, alto, y las profundidades al agua, razonables.

Con base en las características físicas e hidráulicas de las formaciones, y suponiendo la utilización de pozos de producción cuya profundidad máxima sea de 90 metros --límite que se considera económico para los usos agropecuarios--, se han efectuado estimaciones sobre el volumen recuperable del deflujo durante la época seca.

En el caso de la Planicie Costera Oriental correspondiente al área intermedia ubicada entre las cuencas 46 y 48, el sistema de pozos podría implantarse en las proximidades inmediatas de la carretera del Litoral, con la consiguiente disponibilidad de energía para accionar las bombas. A esa altura predominan los materiales volcánicos del cuaternario, con una permeabilidad estimada de  $24 \text{ LPD/M}^2$  ( $1\ 000 \text{ GPD/PIE}^2$ ); la pendiente de la tabla freática es aproximadamente de 6 por mil; <sup>(10,13)</sup> el ancho de la sección a considerar es de 38 km; y se estima poder atravesar un espesor saturado de unos 30 metros. El volumen susceptible de recuperación en la época seca, bajo esas condiciones, ascendería a unos 52 millones de metros cúbicos.

La Planicie Costera Central se ha subdividido en dos subáreas para efectos de cálculo, así: a) una sección de 21 km de ancho y aproximadamente 46 m (150 pies) de espesor saturado abatible, en la cuenta 44, compuesta por materiales Cuaternarios volcánicos y por materiales piroclásticos Terciarios entremezclados cuya permeabilidad estimada <sup>(12)</sup> es de  $4.9 \text{ LPD/M}^2$  ( $200 \text{ GPD/PIE}^2$ ) entre los ríos Lempa y Jíboa, y con gradiente hidráulico del uno por ciento, a través de la cual podrían recuperarse unos 15 millones de metros cúbicos; y b) una sección de 14 kilómetros de ancho y 23 metros de espesor abatible, compuesta por materiales aluvionales de aproximadamente  $9.7 \text{ LPD/M}^2$  ( $400 \text{ GPD/PIE}^2$ ) de permeabilidad,

/ubicada en

ubicada en las cuencas 34 a 42, entre el río Jiboa y el Puerto de La Libertad, donde el gradiente freático es de aproximadamente 5 por mil, a través de la que podrían recuperarse unos 5 millones de metros cúbicos durante la época seca.

En la Planicie Costera Occidental pueden distinguirse dos secciones, una que interceptaría la recarga procedente de las áreas de recarga de la cadena costera en las cuencas 30 y 32, y otra de materiales aluvionales ubicada entre el Puerto de Acajutla y el río Paz, cuencas 20 a 28. Se ha estimado que podrían recuperarse unos 23 MMC a través de la primera sección cuyo ancho es de 10 km, con un espesor saturado abatible de 30 metros, en vista de que la permeabilidad estimada es de  $24 \text{ LPD/M}^2$  ( $1\ 000 \text{ GPD/PIE}^2$ ) y de que el gradiente hidráulico es de aproximadamente el uno por ciento. A través de la sección de 30 km de ancho y 30 metros de espesor abatible, compuesta por aluviones recientes de permeabilidad estimada en  $12 \text{ LPD/M}^2$  ( $500 \text{ GPD/PIE}^2$ ), bajo un gradiente aproximada del 5 por mil, podrían recuperarse unos 17 millones de metros cúbicos en la estación seca. De estos 40 millones de metros cúbicos recuperables en la planicie occidental, 2 MMC pueden recuperarse en la cuenca del río Paz, y los 38 MMC restantes en las cuencas 22 a 32.

d) Caudal base susceptible de recuperar

Teniendo en cuenta la posibilidad de interceptar el flujo de agua subterránea antes de que aparezca como efluente en los ríos mediante la implantación de un eficiente sistema de pozos que induzca notables descensos en el nivel freático, y mediante la captación de nacimientos y otros cuerpos menores de agua, es posible recuperar entre un 40 y un 75 por ciento del caudal base de los ríos. (34,35)

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 la cuenca considerada. Para dar una idea se han asignado los siguientes valores conservadores del porcentaje del caudal base que podría aspirarse a recuperar:

/a) Ríos

a) Ríos Sirama y Goascorán, 40 por ciento, dada sus condiciones hidrogeológicas adversas para la operación de pozos de alto rendimiento, menos el deflujo al océano recuperable;

b) Río Grande de San Miguel, un 75 por ciento del caudal base, teniendo en cuenta las excelentes características hidráulicas de las formaciones saturadas, y el hecho de tratarse de una cuenca prácticamente cerrada, hidrogeológicamente hablando;

c) El resto se ha supuesto como un 60 por ciento del caudal base, disminuido en la porción recuperable del deflujo actual hacia el océano.

e) Sumario de items recuperables: rendimiento seguro

Como ya se dijo, el rendimiento seguro equivale a la suma de las porciones recuperables de los items de deflujo de la ecuación hidrológica subterránea. En el cuadro 2 de acuerdo con los resultados basados en las cuencas consideradas se observa la posibilidad de recuperar unos 2 635 millones de metros cúbicos por año, que representan un 33 por ciento del volumen de infiltración, y equivaldrían a un caudal promedio de 84 metros cúbicos por segundo.

En orden de magnitud decreciente, el rendimiento seguro estimado de las cuencas de más alto potencial de El Salvador sería:

Cuenca	Río	Rendimiento seguro estimado	
		$m^3 \times 10^6$	$m^3/seg$
46	Lempa	1 220	39
48	Grande de San Miguel	635	20
20	Paz	310	10
44	Jalponga y otros	220	7

Debe señalarse que el alto potencial de la cuenca del río Lempa se deriva principalmente de la porción de planicie costera situada entre las cuencas 42 y 48, y de las cuencas de los ríos Sucío y Acelhuate. En el caso de la cuenca del río Paz, el alto potencial se basa en los valles Aitos de Ahuachapán y Santa Ana. En la cuenca del río Grande de San Miguel, se basa en la parte baja principalmente, y parcialmente en el tramo medio, donde se encuentra la elevada disponibilidad de agua.

Cuadro 2

## EL SALVADOR: ESTIMACION PRELIMINAR DE LOS RECURSOS RENOVABLES DE AGUA SUBTERRANEA

(Millones de metros cúbicos)

Gran cuenca	Cuenca	Río	Infiltración estimada	Deflujo al océano		Evapotranspiración directa		Caudal base		Rendimiento seguro h/
				Total	Recuperable a/	Total	Recuperable b/	Total c/	Recuperable	
<b>Total</b>			<b>6 875</b>	<b>2 313</b>	<b>115</b>	<b>696</b>	<b>195</b>	<b>3 865</b>	<b>2 327</b>	<b>2 635</b>
I <sub>2</sub>	20	Paz	590	65	2	21	7	504	302 <sup>d/</sup>	310
K <sub>1</sub> L	22 a 32		785	683	38	84	28	18	18 <sup>e/</sup>	85
M	34 a 42		405	274	5	21	7	109	60 <sup>d/</sup>	70
J <sub>2</sub>	44	Jalponga	960	460	15	294	97	206	107 <sup>d/</sup>	220
	46	Lempa	2 900	735	52	203	46	1 962	1 123 <sup>d/</sup>	1 220
N	48	G. San Miguel	890	-	-	51	3	839	630 <sup>f/</sup>	635
O <sub>1</sub>	50	Sirana	205	91	2	11	4	103	39 <sup>g/</sup>	45
O <sub>2</sub> A	52	Goascorán	140	5	1	11	3	124	48 <sup>g/</sup>	50

- a/ Calculado en base a características físicas e hidráulicas de las formaciones saturadas.  
b/ Calculado como un 30 por ciento de la evapotranspiración en áreas de tabla freática somera.  
c/ Estimado por diferencia entre aflujos y deflujos.  
d/ Calculado en un 60 por ciento del caudal base, menos el deflujo recuperable.  
e/ Calculado en un 100 por ciento del caudal base.  
f/ Calculado en un 75 por ciento del caudal base.  
g/ Calculado en un 40 por ciento del caudal base, menos el deflujo recuperable.  
h/ Obtenido al sumar todos los items recuperables; cifras redondeadas.

## BIBLIOGRAFIA

1. Weyl, R., 1966.
2. AID Resources Inventory Center, 1965. Inventario de Recursos Físicos; El Salvador U.S. Corps of Engineers, Washington, D.C.
3. Delgado, Jorge, 1963. Mapa Geológico Preliminar de la planicie costera oriental. Comisión para la exploración de aguas subterráneas del Valle Bajo del Río Grande de San Miguel, El Salvador. (Incluido en Wozab et al, 1964.)
4. Delgado, Jorge, 1967. Mapa geológico generalizado de la cuenca alta del río Grande de San Miguel, Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
5. Martínez, Maximiliano, 1966. Levantamiento Geológico Preliminar, Valles altos de Ahuachapán y Santa Ana. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje, El Salvador (incluido en Solórzano et al, 1966).
6. Martínez, Maximiliano, 1967. Mapa geológico preliminar de la planicie costera central. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador (incluido en Jovel et al, 1967).
7. Patchick P. y Delgado J., 1962-63. Geologic Reconnaissance Map. Lower San Miguel River Basin (incluido en Wozab et al, 1964).
8. Thews, J.D. et al, 1967. Mapa geológico de las cuencas de los ríos Sucio y Acelhuate. Estudios de agua subterránea en la Zona Metropolitana de San Salvador. UNDP-Gobierno de El Salvador.
9. Ferrer, Antonio, 1967. Comunicación personal sobre estudios en proceso. Proyecto aguas subterráneas en la Zona Metropolitana de San Salvador, El Salvador.
10. Jerez, Roberto, 1967. Estudio Hidrogeológico preliminar de la planicie costera oriental: rendimiento seguro de los pozos. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad de El Salvador.
11. Jovel, Roberto, 1966. Hidrogeología de la cuenca del río Sucio. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
12. Jovel, R., Martínez H. y Martínez M., 1967. Reconocimiento Hidrogeológico de la planicie costera central. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
13. Wozab, David et al, 1964. Final Report, Ground-Water Research Project, Lower Basin of the San Miguel River, El Salvador. 5 volúmenes FAO, Roma, Italia.

14. Jovel, Roberto, 1962. Rainfall-Runoff relation and annual discharge of the Santa Alicia Experimental Watershed. Comisión para la Exploración de aguas subterráneas del Valle Bajo del Río Grande de San Miguel, El Salvador, mimeografiado.
15. Jovel, Roberto, 1964. Cálculo del coeficiente de escurrimiento de la cuenca del río Acelhuate, durante el aguacero de octubre 3 de 1964. Memorándum técnico No. 5, Sección de aguas subterráneas. Ministerio de Agricultura, El Salvador.
16. Wozab D. y Jovel R., 1968. Hydrological Analysis of Volcanic Terrane: Lower Basin of the San Miguel River, El Salvador (en prensa).
17. Jovel, Roberto, 1968. Factibilidad del riego con pozos en el Proyecto Usulután, El Salvador. Informe especial para la Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
18. Martínez, Héctor, 1966. Métodos para la Evaluación de Coeficientes Hidráulicos de acuíferos. Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad de El Salvador.
19. Solórzano, Andrés, et al, 1966. Estudio preliminar sobre posibilidades de desarrollo agrícola en los valles altos de Ahuachapán y Santa Ana. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
20. Jovel, Roberto, 1967. Análisis de abatimientos en pozos operados en forma intermitente. Publicación No. 15, Proyecto Hidrometeorológico centroamericano, San José, Costa Rica.
21. Walton, William, 1966. Feasibility of scheme of ground-water development in Lower Basin of San Miguel River, El Salvador. Informe especial para Harza Engineering Company.
22. Prickett, Thomas A., 1967. Schemes of Ground-Water Development in Zapotitlán Valley, El Salvador, Informe especial para Harza Engineering Company.
23. Jovel, Roberto, 1967. Análisis electrónico análogo para el cálculo de niveles futuros de bombeo en los pozos del valle de Zapotitán. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. El Salvador.
24. Montenegro, Carlos V., 1967. Análisis hidrogeológicos de sistema mediante computadoras análogas eléctricas. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad de El Salvador.
25. Soriano, Israel, 1967. Análisis Hidrogeológico del Sistema de Pozos de las Haciendas El Tercio y La Carreta. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad de El Salvador.

26. Committee on Groundwater, 1960. Groundwater Basin Management. Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers.
27. Ahlgren, L. et al, 1968. Estudio hidrológico de la Cuenca del Río Virilla, Costa Rica. Informe Conjunto: Proyecto Investigación Aguas Subterráneas en Costa Rica y Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, San José, Costa Rica.
28. Soto, Fernando, 1966. Estudio preliminar sobre los recursos de agua subterráneas del Sureste de León, Nicaragua. Servicio Geológico Nacional, Managua, Nicaragua.
29. Soto, Fernando, 1968. Resultados del programa de perforación de pozos exploratorios y análisis de los ensayos de bombeo en Telica y León, Nicaragua. Servicio Geológico Nacional, Managua, Nicaragua.
30. Ahlgren, L. y Jovel R., 1969. Evaluation of the water balance in an Inland Costa-Rican River Basin. Informe inédito.
31. Jovel, Roberto, 1969. Estudio hidrológico de tres cuencas seleccionadas en Costa Rica. Publicación No. 50 (en proceso), Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. San José, Costa Rica.
32. Ahlgren, L., Basso, E., y Jovel, R., 1969. A preliminary evaluation of the Water Balance for the Central American Isthmus, Paper to be presented at the June Symposium of the American Water Resources Association, Baff, Canada.
33. Blaney, H., y Griddle, W., 1966. Determining Consumptive use for planning water developments. En: Methods for estimating evapotranspiration. Irrigation and Drainage Specialty Conference. American Society of Civil Engineers.
34. Walton, William, 1965. Comunicación personal sobre rango usual de rendimiento seguro. Illinois State Water Survey, Urbana, Illinois.
35. Wang, K.T., 1962. Ground-water development in Taiwan. Transactions, Regional seminar on the development of ground-water resources. UNESCO/ECAFE. Bangkok, Thailand.