

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO
E/CN.12/OCE/SC.5/70/Add.1
TAO/LAT/104/Costa Rica
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

I. COSTA RICA

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 anual	15
2. Distribución de las precipitaciones a lo largo del año	15
3. Variabilidad de las lluvias	16
a) Variabilidad anual	17
b) Variabilidades mensuales	18
III. Hidrografía e hidrología	27
1. Descripción resumida de la hidrografía del país	27
Ríos internacionales	28
2. Regímenes hidrológicos e irregularidad de los principales ríos	29
3. Estimación de los recursos hidráulicos superficiales	36
a) Aguas nacionales	36
b) De interés internacional	37

	<u>Página</u>
IV. Factores naturales que afectan al uso del agua	40
1. Topografía	40
2. Evaporación y evapotranspiración	41
V. Las redes de observaciones y los organismos que las operan	47
1. El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)	48
2. El Servicio Meteorológico de Costa Rica	49
3. El Comité Costarricense para el Decenio Hidrológico	50
4. La Comisión Coordinadora de Hidrología y Meteorología	51
5. El Ministerio de Agricultura y Ganadería	51
6. El Proyecto de Investigación de Aguas Subterráneas del Fondo Especial de las Naciones Unidas	51
7. Otros organismos	52
8. Enseñanza de la meteorología	52
VI. Conclusiones y recomendaciones	53
1. Conclusiones	53
2. Recomendaciones	54
Bibliografía	61
Apéndice. Disponibilidades de agua subterránea en Costa Rica	63

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

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, riego 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 CMM en Costa Rica, 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

Costa Rica, situada en el Istmo Centroamericano, se encuentra entre las latitudes $8^{\circ}00'$ y $11^{\circ}20'$ y las longitudes $82^{\circ}30'$ y $85^{\circ}45'$, aproximadamente. Su posición geográfica y su orografía, y las corrientes y masas oceánicas y las acciones de la circulación atmosférica manifestada por los sistemas béricos y las masas de aire que se desplazan sobre su territorio, son los determinantes de su clima.

Diversos procesos meteorológicos detectados frecuentemente en los análisis del tiempo, son los que finalmente originan las precipitaciones en el país. Se deben citar como principales la Zona de Convergencia Intertropical o Frente Intertropical; los temporales; las ondas del este u ondas de inestabilidad; las circulaciones meteorológicas locales y los frentes fríos o polares (poco frecuentes y de poca importancia).

Las precipitaciones anuales medias varían entre 1 500 y 6 200 milímetros, siendo el promedio para todo el país de 2 790 milímetros. La zona más lluviosa está en el noreste en el sector de Barra del Colorado, y la menos lluviosa en la provincia de Guanacaste. A lo largo del año las lluvias presentan variaciones; en la mayor parte del país hay una época lluviosa de mayo a octubre a la que sucede una seca o de lluvias menores; en la zona costera del Atlántico y en el extremo sur, sobre la Costa del Pacífico, las lluvias ocurren todo el año con una ligera disminución de enero a marzo. En el semestre de mayo a octubre, en general el más lluvioso, cae entre el 44 y el 94 por ciento del total anual. Los coeficientes de variación de las precipitaciones anuales están comprendidos entre 12 y 29 por ciento, según los lugares.

Los ríos corresponden a las grandes vertientes del Atlántico, o mar Caribe, y del Pacífico. La superficie de la primera representa el 46,4 por ciento del país y la de la segunda el 53,6 por ciento.

Los ríos principales por sus caudales son el Grande de Térraba; Grande de Tárcoles; Tempisque; Grande de Candelaria; Reventazón y Pacuare.

Los escurrimientos de los ríos tienen una época de grandes caudales de junio a diciembre y otra de caudales menores de febrero a abril. El mes de mayor caudal es octubre. En el semestre de junio a noviembre fluye,

/según los

según los ríos, entre el 50 y el 83 por ciento del escurrimiento anual y estos porcentajes son ligeramente mayores en los ríos de la vertiente del Pacífico. Los coeficientes de irregularidad varían entre 0.10 y 0.37, siendo mayores en esta última vertiente.

La medición de los recursos hidráulicos superficiales cubría a principios de 1968 el 24 por ciento de la superficie del país, pero se efectuó una estimación de su totalidad. El monto de agua caída anualmente alcanza a $141\,523 \times 10^6 \text{ m}^3$ de los cuales escurren $95\,218 \times 10^6 \text{ m}^3$, equivalentes a un caudal de $3\,019.4 \text{ m}^3/\text{s}$. De éstos, $1\,579.4$ se dirigen al Atlántico y $1\,440.0$ al Pacífico.

La disponibilidad de agua anual distribuida, según la población de 1968, da $57\,900 \text{ m}^3$ por habitante o sea $1\,838 \text{ l/s/hab}$, que indica la relativa riqueza hídrica del país.

Como el relieve favorece o perjudica, según los usos, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, se indican a continuación algunas de sus características. Las mayores alturas y pendientes se encuentran en las cordilleras Central y de Talamanca, especialmente en esta última. La parte más llana del país está ubicada en el noreste, comprendiendo las cuencas de los afluentes del río San Juan. El 51.2 por ciento del territorio nacional tiene alturas inferiores a 305 metros y el 64.5 menores de 610 metros.

Por el proceso de evapotranspiración se pierde parte importante de los recursos hidráulicos.

La evapotranspiración potencial estimada por medio de la fórmula de Blaney-Griddle modificada, indica que en el 50 por ciento del país (que incluye las partes más bajas) es superior a los 2 000 milímetros al año. En las más altas es inferior a 1 400 milímetros, variando en el resto en razón inversa de la altura. La evapotranspiración real es inferior y depende de la disponibilidad de agua de los suelos y plantas a lo largo del año.

Los principales organismos dedicados a las mediciones y estudios de meteorología e hidrología son el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el Servicio Meteorológico de Costa Rica. Colaboran además, en menor escala La Universidad de Costa Rica; el Ministerio de Agricultura y Ganadería;

/el Instituto

el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, la Northern Railway Company; la Compañía Bananera de Costa Rica, y la Goodyear Rubber Plantations. Existen además dos entidades coordinadoras de estas actividades, el Comité Costarricense para el Decenio Hidrológico y la Comisión Coordinadora de Hidrología y Meteorología.

El fortalecimiento del Servicio Meteorológico de Costa Rica es una de las principales recomendaciones que pueden hacerse con el fin de que pueda realizar tareas más amplias.

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 cáncer, entre las latitudes $7^{\circ}13'$ y $18^{\circ}30'$ y las longitudes $77^{\circ}08'$ y $91^{\circ}26'$.

Su territorio está cruzado por una serie de cadenas montañosas o serranías que modifican las condiciones generales del clima tropical y establecen zonas con características locales, 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, Almendaras, 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, Cuchumatanes 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 3 m, 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 norte de Sudamérica penetran en el mar Caribe a través de las islas de Sotavento y Barlovento, aunque parte corre a lo largo de las costas norte de las Grandes Antillas.

/La parte

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° - 12° en enero-marzo, para luego dirigirse al oeste y formar parte de la Corriente Ecuatorial del Norte.

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

c) Los principales sistemas béricos y masas de aire

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

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

Desde este anticiclón se generan los vientos alisios que en las capas bajas de la atmósfera llegan con dirección prevalente del noreste 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 cubren 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 mínimas absolutas 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 más altas de Guatemala y Costa Rica 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°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 comunmente 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 de la ITC se manifiestan principalmente en un ancho de unos 50 km, donde se observan fuertes precipitaciones asociadas a sistemas nubosos compuestos por varias capas o filas de nubes de distintos tipos como cúmulonimbus, cúmulos potentes, altoestratos, estratocúmulos, nimbostratos, etc. Es de señalar que, en casos de fuerte convergencia, la franja de actividad puede ensancharse a unos 200 km.

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

Los cúmulonimbus, cúmulos potentes, aparecen en líneas y sus cimas se extienden hasta los 4 000 metros o más, pudiendo con facilidad encontrarse cúmulonimbus 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. A los efectos de la precipitación, suelen traducirse en lluvias aisladas y ligeras que

/aumentan

umentan en las zonas montañosas. Después del pasaje frontal se aprecia la invasión de los "Nortes" que es aire más fresco, cuyo contenido de humedad puede ser alto si su trayectoria ha pasado sobre el golfo de México.

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

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

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

c) Ondas del este u ondas de inestabilidad

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

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^{1/}

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

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

Para tener una idea de su frecuencia se puede decir, por ejemplo, que en la costa norte de Honduras pueden presentarse dos cada 30 años. Su época de ocurrencia es de mayo a noviembre, pero son más frecuentes en

^{1/} Se denomina huracán a un centro de baja presión o ciclón tropical en el que se desarrollan fuertes vientos con velocidades superiores a 118 km/h. Otros tipos de ciclones tropicales, menos intensos, 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 km^2 ,) y espesas capas de nimboestratos y altoestratos atravesadas por células convectivas de carácter local, formadas por cúmulos congestus o cúmulonimbus 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^{2/}

1. Distribución geográfica anual (5, 6)

Las precipitaciones anuales medias en el país varían entre 1 500 y 6 200 mm, aunque en la mayor parte del mismo están comprendidas entre 2 000 y 4 000 mm.

Existen dos zonas o centros de muy altas precipitaciones, uno ubicado en el noreste y otro en el sur. El primero forma parte del núcleo de grandes lluvias que afecta el sudeste de Nicaragua en el sector de San Juan del Norte, y el segundo se encuentra al norte de Puerto Golfito, en la cuenca del río Esquina.

En el noreste, la localidad Barra del Colorado promedia para 10 años (1956-65) 6 221 mm, siendo el lugar más lluvioso de Costa Rica y de Centroamérica, por lo menos de los conocidos hasta el presente. Conviene señalar, sin embargo, que el ICE, en su estación T-6 en la cuenca superior del río Reventazón, ha obtenido un promedio de 8 200 mm para un registro de 6 años que indicaría una zona con precipitaciones todavía más altas, de mantenerse el mismo promedio en años venideros.

En el sector del sur, el lugar Esquinas es también muy lluvioso y para 13 años presenta un promedio de 5 661 mm.

La zona de menores precipitaciones se encuentra el noroeste del país, en la zona costera de la provincia de Guanacaste, donde son inferiores a 1 500 mm, y en parte del Valle Central, en la zona de Cartago-Paraiso, donde hay lugares que en registros de 10 años señalan 1 300 mm.

Las partes del país donde llueve menos de 2 000 mm están localizadas en la provincia de Guanacaste, en gran parte del Valle Central incluyendo San José, y en la cuenca baja del Río Grande de Tárcoles.

2. Distribución de las precipitaciones a lo largo del año

La distribución de la precipitación a lo largo del año tiene en la mayor parte del país un marcado carácter estacional.

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

Una época lluviosa, o algunos lugares de mayores lluvias, se presenta desde el mes de mayo y se extiende hasta octubre con excepción de las zonas que comprenden la provincia de Limón y el este de las de Heredia y Cartago y el extremo sur del país, en la provincia de Puntarenas. En estas zonas las lluvias ocurren todo el año con una disminución en los meses de enero a marzo.

El porcentaje que cae en el período mayo-octubre con respecto al total anual es variable y está comprendido entre 44 por ciento (Pandora) y 74 por ciento (Liberia). La zona que comprende la provincia de Limón y el este de las de Heredia y Cartago tiene porcentajes inferiores a 60 por ciento, y el resto del país superiores a ese valor. En las provincias de Guanacaste y en el norte de Puntarenas y San José se observan los porcentajes más altos del país, por lo general superiores a 90 por ciento.

En el lapso de mayores lluvias se presentan dos máximos mensuales; el máximo maximorum ocurre en diciembre en las provincias de Limón y en el este de las de Heredia y Cartago, y en octubre en el resto del país. En las estaciones analizadas Liberia constituye una excepción, porque allí se presenta en septiembre.

El promedio mensual más alto se observa en el mes de diciembre en Barra del Colorado con 931 mm, para un promedio de 10 años entre 1956 y 1965.

El segundo máximo aparece principalmente en junio, en la parte llana del Caribe en julio, y con algunas excepciones en mayo o agosto, y en este último mes en el sur del país.

Los valores mensuales medios menores se registran de enero a marzo, siendo más frecuentes en febrero y marzo. Los más bajos están en la zona de Liberia donde en enero y febrero el promedio es 1 mm.

3. Variabilidad de las lluvias

El pluviómetro instalado en San José tiene el registro de precipitación más largo del Istmo Centroamericano (desde 1866) y ha permitido calcular promedios anuales decádicos desde 1870 hasta 1959, así como comparar éstos con el de 90 años, para apreciar su variación cuando se toma un registro de pocos años (7).

/El promedio

El promedio de la lluvia anual en ese período es 1 856 mm y los promedios decádicos por orden de antigüedad son: 1 692, 1 951, 1 852, 1 825, 1 865, 1 814, 1 999, 1 904 y 1 798 para la década 1950-59. La desviación para el decenio más bajo es 164 mm (8.8 por ciento) y para el más alto, de 143 mm (7.7 por ciento).

Las desviaciones considerando años individuales son mucho mayores, siendo para el año más seco (1914, con 1 221 mm) 34.2 por ciento, y para el más lluvioso (1944, con 2 989 mm) 61.1 por ciento.

Se puede considerar que otras zonas del Valle Central, con totales anuales similares, deben tener variaciones del mismo orden.

Las variaciones que tienen las lluvias de un año a otro son de gran importancia, como su distribución dentro del año, desde el punto de vista de la utilidad de las mismas.

En el cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos en el cálculo de las desviaciones estándar y de los coeficientes de variación de los valores mensuales y anuales de las precipitaciones. Estos parámetros se han considerado representativos de esas variaciones y proporcionan una primera imagen de las mismas.

a) Variabilidad anual

Los coeficientes de variación para los valores anuales de las precipitaciones varían entre 12, obtenido en Golfito, y 29 en Liberia. Sin embargo no se observa, con los lugares calculados, una clara distribución geográfica.

La mayor desviación estándar se obtuvo en Esquinas (Puntarenas) con 911 mm, aunque en ese lugar el coeficiente de variación es de 16 por ciento, relativamente bajo siendo la precipitación excesivamente alta (5 661 mm para 13 años de observaciones).

La menor desviación estándar se registró en la estación La Argentina (Grecia) con 306 mm, que representa un coeficiente de variación de 13 por ciento.

/b) Variabilidades

b) Variabilidades mensuales

Los coeficientes de variación, como es lógico esperar, están comprendidos en un intervalo mucho más amplio. El mínimo se obtuvo en agosto en Esquinas (río Esquinas, Puntarenas) con 17 por ciento, y el máximo en febrero en Liberia, con 400 por ciento.

Las regiones del país donde se observan menores valores mensuales son en primer término el extremo sur en la zona de Puerto Golfito, allí no son mayores de 68 por ciento (véase de nuevo el cuadro 1), y en segundo lugar la zona llana costera del Caribe, donde no pasan de 96 por ciento.

Por lo que respecta a la época o meses del año en que se presentan los coeficientes de variación menores, éstos aparecen de junio a septiembre con mayor frecuencia. Sin embargo se exceptúan Puerto Limón donde ocurren en enero y Pandora, donde tienen lugar en diciembre.

Los mayores coeficientes de variación se observan principalmente en febrero, siguiendo enero y ocasionalmente marzo o abril. Sólo en Puerto Limón el mayor valor ocurre en octubre (96 por ciento).

Aunque el promedio mensual de la precipitación es importante para apreciar las posibilidades de su aprovechamiento, también se requiere conocer la distribución de los totales de un mismo mes.

En el cuadro 2 se anota una distribución de frecuencia de los totales mensuales de San José, agrupados en entornos de 25 milímetros, a los que se ha sobrepuesto el histograma de la precipitación del lugar.

De 1 172 meses, la lluvia fue inferior a 25 milímetros en 352 y superior a 326 milímetros en 166 que es el promedio mensual más alto.

De mayo a octubre, en 102 años, sólo en 20 meses las lluvias fueron inferiores a 100 milímetros. Los totales mensuales más altos ocurren en septiembre y octubre. (Véase el cuadro 2.)

Cuadro 1

COSTA RICA: PRECIPITACIONES MENSUAL Y ANUAL 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- centaje
<u>Liberia 10° 37' 85° 26'</u>															
Promedios	1	1	2	19	251	288	195	154	379	336	93	11	1 706	1 603	94
Valores máximos	6	14	20	78	700	659	534	381	715	817	514	49	2 850		
Valores mínimos	-	-	-	-	63	51	68	40	151	138	11	-	1 153		
Desviaciones estándar	2	4	6	23	169	164	130	96	146	228	133	16	503		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	200	<u>400</u>	300	121	67	57	67	62	<u>39</u>	68	143	145	29		
Años de observación	13	<u>13</u>	12	12	12	12	11	11	12	12	12	12	11		
<u>Tilarán 10° 28' 84° 59'</u>															
Promedios	61	28	31	36	159	345	207	232	355	395	167	135	2 161	1 693	78
Valores máximos	155	69	127	125	365	565	403	374	587	847	308	330	3 160		
Valores mínimos	10	-	1	-	2	72	100	108	85	218	79	38	1 440		
Desviaciones estándar	35	21	35	41	116	131	77	90	137	189	65	82	528		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	57	75	113	<u>114</u>	73	38	<u>37</u>	39	39	48	39	61	24		
Años de observación	14	14	14	<u>14</u>	14	14	<u>14</u>	13	13	13	13	13	13		
<u>Las Cañas (Guanacaste) 10° 28' 85° 09'</u>															
Promedios	5	22	4	43	203	297	166	213	326	395	84	8	1 784	1 600	90
Valores máximos	35	186	17	168	430	747	390	519	484	770	316	44	2 625		
Valores mínimos	-	-	-	-	19	112	43	32	190	193	-	-	1 229		
Desviaciones estándar	10	51	5	58	133	162	92	156	84	160	88	13	444		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	200	<u>232</u>	125	135	66	55	55	73	<u>26</u>	41	105	163	25		
Años de observación	12	<u>12</u>	12	12	12	11	12	12	<u>12</u>	12	12	10	9		

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- ciento
<u>Santa Cruz de Guanacaste 10° 16' 85° 37'</u>															
Promedios	6	4	3	24	266	339	245	220	372	470	94	26	2 053	1 912	93
Valores máximos	48	55	23	84	687	625	533	463	542	843	351	136	3 126		
Valores mínimos	-	-	-	-	65	146	52	71	247	227	-	-	1 589		
Desviaciones estándar	13	14	6	29	172	117	134	104	96	201	115	41	400		
Coefficiente de varia- ción a/	216	350	200	121	65	35	55	47	26	43	122	158	20		
Años de observación	14	14	13	13	13	13	13	12	12	12	13	12	11		
<u>Nicoya 10° 09' 85° 27'</u>															
Promedios	3	11	23	65	268	337	273	321	391	468	125	21	2 456	2 058	84
Valores máximos	19	58	92	199	453	510	581	518	569	877	254	124	2 941		
Valores mínimos	-	-	-	8	163	152	116	151	201	233	15	-	1 940		
Desviaciones estándar	6	21	29	56	78	101	143	98	107	196	67	37	346		
Coefficiente de varia- ción a/	200	191	126	86	29	30	52	31	27	42	54	176	14		
Años de observación	14	14	13	13	14	13	13	12	13	13	13	13	10		
<u>Siquirres 10° 06' 83° 30'</u>															
Promedios	277	174	162	214	308	358	405	279	200	316	455	464	3 607	1 866	52
Valores máximos	747	670	430	631	650	764	786	697	348	749	1 071	1 036	4 882		
Valores mínimos	32	43	41	60	69	139	166	108	68	72	121	111	1 736		
Desviaciones estándar	169	130	82	139	138	137	152	144	72	127	216	241	742		
Coefficiente de varia- ción a/	61	75	51	65	45	38	38	52	36	40	48	52	21		
Años de observación	40	40	41	41	41	42	40	41	41	41	41	41	39		

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- ciento
<u>La Argentina 10° 02' 84° 21'</u>															
Promedios	7	11	9	46	358	338	309	302	403	464	133	37	2 413	2 174	90
Valores máximos	50	57	59	137	636	543	513	484	770	893	214	121	2 921		
Valores mínimos	-	-	-	7	137	237	180	148	262	280	55	-	1 964		
Desviaciones estándar	16	17	17	39	143	87	94	99	132	164	50	36	306		
Coefficiente de varia- ción <u>a/</u>	<u>229</u>	<u>154</u>	<u>189</u>	<u>85</u>	<u>40</u>	<u>26</u>	<u>30</u>	<u>33</u>	<u>33</u>	<u>35</u>	<u>38</u>	<u>97</u>	<u>13</u>		
Años de observación	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13		
<u>Zent 10° 01' 83° 16'</u>															
Promedios	289	190	190	221	264	294	371	254	154	229	433	499	3 420	1 566	46
Valores máximos	807	687	571	622	645	798	993	614	327	1 108	1 072	1 193	6 179		
Valores mínimos	49	7	51	41	82	124	112	59	14	49	87	141	2 311		
Desviaciones estándar	169	161	104	147	123	138	185	147	78	171	253	270	869		
Coefficiente de varia- ción <u>a/</u>	<u>59</u>	<u>85</u>	<u>55</u>	<u>66</u>	<u>47</u>	<u>47</u>	<u>50</u>	<u>58</u>	<u>51</u>	<u>75</u>	<u>58</u>	<u>54</u>	<u>25</u>		
Años de observación	42	42	42	41	42	42	42	42	42	42	41	41	40		
<u>Puerto Limón 10° 00' 83° 03'</u>															
Promedios	304	182	206	268	284	252	394	289	137	217	392	487	3 430	1 573	46
Valores máximos	569	624	393	1 055	730	877	897	641	309	1 267	1 061	1 400	6 190		
Valores mínimos	50	21	59	86	17	33	99	47	16	16	117	158	1 967		
Desviaciones estándar	141	116	97	178	147	144	198	166	73	208	218	263	766		
Coefficiente de varia- ción <u>a/</u>	<u>46</u>	<u>64</u>	<u>47</u>	<u>66</u>	<u>52</u>	<u>57</u>	<u>50</u>	<u>57</u>	<u>53</u>	<u>96</u>	<u>56</u>	<u>54</u>	<u>22</u>		
Años de observación	43	41	45	44	45	45	44	45	45	45	42	42	39		

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- ciento
<u>Esparta 9° 59' 84° 40'</u>															
Promedios	4	7	2	54	290	338	344	329	347	493	173	26	2 418	2 141	89
Valores máximos	34	37	13	178	619	525	552	515	558	1 029	370	72	2 997		
Valores mínimos	-	-	-	2	111	230	181	194	253	193	33	-	1 879		
Desviaciones estándar	9	11	4	47	128	94	103	109	83	245	94	24	326		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	<u>225</u>	157	200	87	44	28	30	33	<u>24</u>	50	54	92	13		
Años de observación	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13		
<u>San José 9° 56' 84° 05'</u>															
Promedios	10	3	13	43	219	266	210	231	314	321	143	41	1 821	1 561	86
Valores máximos	64	41	181	187	433	512	460	499	666	745	414	165	2 985		
Valores mínimos	-	-	-	-	11	52	15	17	-	48	-	-	473		
Desviaciones estándar	14	7	24	38	92	94	95	107	117	123	88	36	436		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	140	<u>233</u>	185	88	42	<u>35</u>	45	46	37	38	62	88	24		
Años de observación	93	93	94	93	94	94	94	94	94	93	93	94	91		
<u>Turrialba 9° 53' 83° 38'</u>															
Promedios	170	130	72	107	229	280	265	220	213	267	274	310	2 552	1 474	58
Valores máximos	431	425	188	304	464	386	411	347	386	402	554	549	3 155		
Valores mínimos	49	5	16	19	145	125	139	124	90	102	137	113	1 980		
Desviaciones estándar	98	114	49	82	80	75	83	61	75	79	119	129	395		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	58	<u>88</u>	68	77	35	<u>27</u>	31	28	35	30	44	42	15		
Años de observación	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	12	12	12		

/Cont.

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- centaje
<u>Pandora 9° 45' 82° 57'</u>															
Promedios	229	145	186	222	207	188	253	199	101	139	328	349	2 468	1 087	44
Valores máximos	669	441	387	596	491	375	469	552	226	357	890	583	3 366		
Valores mínimos	60	18	87	49	90	63	44	52	20	29	91	101	1 633		
Desviaciones estándar	178	126	78	152	94	85	119	119	54	76	204	145	434		
Coefficiente de varia- ción <u>a/</u>	78	<u>87</u>	42	68	45	45	47	60	53	55	62	<u>42</u>	18		
Años de observación	16	<u>16</u>	15	16	17	17	17	17	16	17	16	<u>16</u>	14		
<u>Palmar Sur 8° 57' 83° 28'</u>															
Promedios	52	56	73	224	410	417	402	406	452	780	336	102	3 633	2 867	79
Valores máximos	186	165	169	370	623	648	506	669	568	1 424	544	326	4 859		
Valores mínimos	2	5	13	88	125	204	217	237	287	422	127	1	3 071		
Desviaciones estándar	55	41	42	74	123	125	75	120	81	262	131	87	504		
Coefficiente de varia- ción <u>a/</u>	<u>106</u>	73	58	33	30	30	<u>19</u>	30	18	34	39	85	14		
Años de observación	<u>15</u>	15	15	15	15	14	<u>14</u>	14	14	13	13	13	13		
<u>Esquinas 8° 47' 83° 14'</u>															
Promedios	171	164	217	346	563	591	592	637	617	850	642	280	5 661	3 850	68
Valores máximos	342	379	494	635	984	751	988	832	854	1 329	1 163	674	7 154		
Valores mínimos	12	55	48	200	284	362	440	416	367	514	379	124	3 817		
Desviaciones estándar	95	85	98	117	162	132	138	107	135	282	239	134	911		
Coefficiente de varia- ción <u>a/</u>	<u>56</u>	52	45	34	29	22	23	<u>17</u>	22	33	37	48	16		
Años de observación	<u>15</u>	15	15	15	15	15	15	<u>14</u>	14	13	13	13	13		

Cuadro 1 (Continuación)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- centaje
<u>Agua Buena 8° 44' 82° 56'</u>															
Promedios	65	80	79	165	418	426	352	359	493	648	338	155	3 572	2 696	75
Valores máximos	197	257	231	412	540	677	602	491	736	1 026	627	321	4 922		
Valores mínimos	-	13	18	31	218	245	242	236	240	307	120	30	2 005		
Desviaciones estándar	54	69	62	93	105	118	91	85	153	231	156	99	814		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	83	<u>86</u>	79	56	25	28	26	<u>24</u>	31	36	46	64	23		
Años de observación	15	<u>14</u>	12	14	13	14	14	<u>14</u>	14	11	12	13	10		
<u>Golfito 8° 39' 83° 10'</u>															
Promedios	150	143	184	276	472	418	523	543	522	756	520	325	4 839	3 234	67
Valores máximos	388	245	334	628	691	686	839	901	645	1 494	834	644	5 740		
Valores mínimos	32	19	74	142	246	219	238	325	341	499	349	154	3 983		
Desviaciones estándar	93	67	75	125	133	125	180	154	103	280	147	150	567		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	<u>60</u>	47	41	45	28	30	34	28	<u>20</u>	37	28	46	12		
Años de observación	<u>15</u>	15	15	15	15	14	14	14	<u>14</u>	14	13	13	13		
<u>Conte Arriba 8° 27' 83° 03'</u>															
Promedios	44	68	54	119	298	327	329	377	347	512	416	139	3 054	2 190	72
Valores máximos	99	167	117	288	423	451	428	516	506	917	840	343	4 027		
Valores mínimos	12	15	7	32	143	198	201	254	148	252	140	12	2 102		
Desviaciones estándar	25	37	37	69	95	73	61	76	106	185	211	95	538		
Coefficiente de variación <u>a/</u>	57	54	<u>68</u>	58	32	22	<u>19</u>	20	31	36	51	68	18		
Años de observación	15	15	14	14	14	13	14	14	14	14	13	13	12		

/Cont

Quadro 1 (Conclusión)

	Mensual												Anual	Mayo a octubre	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Total	Por- ciento
<u>Barra del Colorado 10° 44' 83° 35'</u>															
Promedios	591	276	161	248	446	540	781	739	354	472	682	931	6 221	3 332	54
Años de observación	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
<u>Los Diamantes 10° 13' 83° 46'</u>															
Promedios	241	194	205	206	432	386	518	359	358	459	444	479	4 282	2 512	59
Años de observación	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
<u>Puerto Viejo (Sarapiquí) 10° 26' 83° 59'</u>															
Promedios	271	221	159	208	450	391	504	400	231	343	407	478	4 062	2 318	57
Años de observación	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
<u>Los Llanos (San Carlos) 10° 29' 84° 23'</u>															
Promedios	185	55	101	115	226	418	471	302	282	322	304	292	3 072	2 020	66
Años de observación	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

a/ Se subrayan los coeficientes máximos y mínimos.

Quadro 2

CO (STA RICA; FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE TOTALES MENSUALES DE LLUVIA EN SAN JOSE^{a/}

Entornos (mm)	E	F	M	A	M	J	J	A	S ^{b/}	O ^{b/}	N ^{b/}	D ^{b/}	Total de casos
Total													1 172
0 - 25	85	95	84	41							5	42	352
26 - 50	8	3	8	22			2				3	24	70
51 - 75	4		4	17	5		-				10	14	54
76 - 100	1		1	10	5	1	2	4		1	22	9	56
101 - 125				5	4	3	12	8	2	1	7	3	45
126 - 150				1	12	3	11	7	1	-	12	3	50
151 - 175				-	6	4	13	13	4	4	10	2	56
176 - 200			1	2	9	9	7	13	3	6	7		57
201 - 225					12	13	15	9	8	6	6	6	69
226 - 250					9	11	11	5	7	8	5	5	56
251 - 275					8	8	4	6	12	9	1	1	48
276 - 300					5	14	2	8	6	15	-	-	50
301 - 325					9	5	4	6	9	7	3	3	43
326 - 350					6	10	3	7	12	4	3	3	45
351 - 375					4	3	5	-	6	5	1	1	24
376 - 400					1	4	3	4	6	7	1	1	26
401 - 425					2	3	2	2	6	6	1	1	22
426 - 450					1	1	1	2	5	4			14
451 - 475						3	1	1	2	-			7
476 - 500						1		3	1	3			8
501 - 550						2			3	9			14
551 - 600									2	1			3
601 - 650									1	-			1
651 - 700									1	-			1
701 - 750										1			1

Fuentes: Servicio Meteorológico Nacional.

a/ Período 1866-1967.

b/ Hasta 1966.

III. HIDROGRAFIA E HIDROLOGIA^{3/}

1. Descripción resumida de la hidrografía del país

Las dos grandes vertientes del Atlántico o del Caribe y del Pacífico (8) dividen los ríos de este país. La primera tiene una superficie de 23 520 km², que representa el 46.4 por ciento de su territorio y la segunda 27 178 km², el 53.6 por ciento. En la vertiente del Atlántico se advierte una subdivisión entre su parte norte, que agrupa todos los afluentes del río San Juan, y la de los que drenan al lago de Nicaragua.

La divisoria de aguas se encuentra principalmente en las cordilleras de Guanacaste, Volcánica Central y de Talamanca, que atraviesan el país de noroeste a sudeste; en el Valle Central los cerros de las Cruces, de la Carpintería y de Ochomongo que unen las cordilleras Central y de Talamanca constituyen en esa parte la divisoria continental.

La mayoría de los ríos tienen sus nacientes en las partes altas de los sistemas mencionados; en general son de corto recorrido y no navegables, aunque en algunos pueden hacerlo en las partes bajas y en cortos trechos pequeñas embarcaciones.

Entre los ríos de la vertiente del Pacífico figura, en la parte sur del territorio, el de mayor cuenca del país, el Grande de Térraba que es navegable en su curso bajo y tiene como afluentes el Coto Brus y el General.

El río Grande de Tárcoles es el colector de la parte occidental de la meseta Central, siendo el Virilla uno de sus afluentes. En su cuenca está asentada la mayor parte de la población, razón de que sea uno de los ríos que ha tenido mayor aprovechamiento.

El Tempisque, que es el de mayor importancia en la provincia de Guanacaste, desemboca en el extremo norte del golfo de Nicoya. Dignos de mención en la vertiente del Pacífico son el Bebedero, el Abangares, el Lagarto, el Guacimal, el Aranjuez, el Barranca, el Grande de Candelaria y el Savegre.

En la vertiente del Atlántico, el río Reventazón es importantísimo porque además de drenar la parte oriental de la meseta central posee grandes posibilidades para la generación hidroeléctrica. Es afluente del Parismina, al que se une poco antes de la desembocadura.

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

Los ríos de la región norte del país forman parte de la cuenca del lago Nicaragua o son afluentes del río San Juan, a cuyo través desaguan finalmente en el Atlántico. En su mayoría, son navegables para pequeñas embarcaciones; los más destacados son el Sarapiquí y el San Carlos. Otros ríos importantes de la vertiente Atlántica son el Tortuguero, el Pacuare, el Chirripó, el Matina, el Estrella y el Sixaola.

Ríos internacionales

Varios ríos de Costa Rica tienen carácter internacional. La margen derecha del río San Juan es el límite con Nicaragua desde tres millas aguas abajo del Castillo Viejo hasta su desembocadura en el Caribe. Más hacia el oeste, la misma margen derecha y la costa del lago de Nicaragua sirven de referencia para contar las dos millas a las que continúa la frontera. Por tal razón los afluentes del río San Juan, aguas abajo del Castillo Viejo, tienen toda su cuenca en el país y los de aguas arriba en su mayor parte. Como estos últimos están los ríos que desembocan en la orilla sur del lago de Nicaragua desde el río Sapoá hasta el comienzo del San Juan.

En la frontera con Panamá las corrientes de agua delimitan también algunas partes de la misma. Los thalwegs o vaguadas del río Sixaola, desde su desembocadura en el Caribe hasta el lugar en que recibe su afluente el Yorkin, y luego por éste hasta la latitud 9° 30' norte, forman la frontera internacional en el sector sudeste del país.

Algunos ríos pequeños o arroyos que nacen en la cordillera de Talamanca cruzan la frontera con Panamá y van a aumentar las aguas del Teribe, afluente del Changuinola en ese país. De igual manera, pequeños afluentes del Chiriquí Viejo se originan en Costa Rica y contribuyen a formar el caudal de ese importante río de Panamá.

2. Regímenes hidrológicos e irregularidad de los principales ríos

Las variaciones que experimentan los caudales de los ríos en el curso del año restringen las posibilidades de su aprovechamiento, por lo que es de interés conocerlas a base de algunos parámetros.

La alimentación de los ríos es de origen pluvial exclusivamente; en sus cuencas no hay lagos o lagunas naturales que regulen sus escurrimientos y, por lo general, tienen fuertes pendientes. Estas características hacen que los caudales de los ríos respondan rápidamente a las lluvias aunque la recesión suele ser más lenta por la acumulación en los suelos y por la gran vegetación, especialmente en las partes menos altas.

La respuesta de los ríos es más rápida en la época lluviosa a causa de la menor absorción de los suelos, por lo general con alta humedad o saturados la mayor parte del tiempo. En la época seca las menores lluvias y la menor humedad del suelo proporcionan respuestas más lentas (9, 10).

Los regímenes de precipitación imperantes originan una marcada variación de los caudales mensuales promedios a lo largo del año. Como se ha señalado la época lluviosa, en la mayor parte del país, se extiende de mayo a octubre, aunque en la parte baja de la vertiente del Atlántico llueve en realidad todo el año y sólo se puede hablar de una disminución de las lluvias de enero a marzo. Lo mismo ocurre en el extremo sur de la provincia de Puntarenas.

En el cuadro 3 figuran los caudales mensuales medios, los máximos y los mínimos absolutos de algunas estaciones que pertenecen a los principales ríos del país. Para apreciar mejor la variación a lo largo del año, en el gráfico 1, que se incluye al final del estudio, se volcaron los caudales mensuales medios de los ríos que se han considerado más representativos por la extensión de su cuenca o por lo prolongado del registro.

Algunas características son comunes a todos los ríos y resultan evidentes. Existe una época de grandes caudales desde junio a diciembre y otra de caudales mínimos de febrero a abril. El mayor caudal corresponde a octubre, mes a partir del cual disminuyen en forma rápida hasta febrero y más lentamente hasta abril. El río Reventazón en Angostura tiene su mínimo en marzo.

/En abril

En abril los caudales empiezan a aumentar hasta junio o julio, según los ríos, para luego decrecer hasta agosto, mes a partir del que crecen nuevamente hasta octubre. Es decir, se produce una doble onda similar a la observada en el régimen de precipitaciones. En la vertiente del Atlántico la relación entre el caudal mensual mayor y el menor es más reducida que en la vertiente del Pacífico, lo cual indicaría mayor regularidad de caudales en la primera vertiente. (Véase el gráfico 2 al final.)

Otra forma de valorar la estacionalidad de los caudales mensuales medios es calcular la parte del escurrimiento anual que fluye en los seis meses que van de junio a noviembre y son los de mayor aporte.

Los porcentajes así calculados varían entre 50 y 72 por ciento en la vertiente del Atlántico y entre 53 y 83 por ciento en la del Pacífico (se excluye el valor en el río Grande de Tárcoles, La Presa, por no ser representativo). (Cuadro 4.) En general, los porcentajes son superiores en la vertiente del Pacífico.

Para dar una medida de las posibilidades del aprovechamiento económico de las aguas la Comisión Económica para América Latina ha usado el coeficiente de irregularidad en misiones similares en otros países de la región, y como base para medir las variaciones en los caudales de los ríos. Este coeficiente se calcula para cada año y se obtiene como el cociente entre la cantidad de agua que sería necesario embalsar para obtener una regulación total, y el escurrimiento total anual.

Con objeto de simplificar el cálculo se determinaron los coeficientes de irregularidad de los principales ríos a base de los caudales medios mensuales. Una corrección superior a 1 se hubiera necesitado para obtener el coeficiente real, pero aproximadamente el mismo ajuste, se hubiere debido efectuar para todos los ríos del país y para los efectos de la comparación, no habría tenido mayor consecuencia.

Los coeficientes de irregularidad obtenidos son algo inferiores en la vertiente del Atlántico, donde varían entre 0.10 y 0.24 en los ríos Banano (Asunción) y Arenal (Arenal) respectivamente. (Cuadro 4.) En la vertiente del Pacífico van desde 0.19 en el río Poás (Tacares) hasta 0.37 en el Grande de Candelaria (El Rey). Se excluye el Grande de Tárcoles en La Presa y El Desarenador por no ser condiciones naturales.

Cuadro 3

COSTA RICA: CAUDALES MENSUALES Y ANUALES DE ALGUNOS RIOS

(Metros cúbicos por segundo)

Rfo	Lugar	Cuenca (superficie en km ²)	Caudal	Mensual												Anual	Período
				E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
<u>Vertiente del Atlántico</u>																	
Frfo	Cote	15	Medio	4.10	2.66	1.77	0.92	2.39	2.01	3.58	3.02	1.81	2.38	2.91	3.97	2.63	1965-67
			Máximo	10.90	8.80	5.83	1.92	3.53	5.65	10.30	5.65	4.05	4.67	7.60	18.95	18.95	
			Mínimo	2.09	1.05	0.64	<u>0.48</u>	1.26	0.85	1.54	1.38	1.17	1.06	1.33	1.22	<u>0.48</u>	
San Carlos	Jabillos	545	Medio	65.67	27.44	28.36	17.92	23.49	53.46	77.13	65.97	79.58	73.25	72.54	93.12	56.49	1963-65
			Máximo	278.60	113.22	179.78	34.00	114.80	419.00	862.60	371.20	568.00	300.00	454.80	<u>1 210.00</u>	1 210.00	
			Mínimo	23.50	19.80	16.60	<u>15.36</u>	15.50	28.00	49.50	40.00	49.20	42.92	39.00	23.56	15.36	
Arenal	San Gregado	328	Medio	71.94	56.99	38.32	25.53	40.98	39.58	60.96	60.50	50.94	63.64	66.80	77.40	54.47	1965-67
			Máximo	193.92	322.00	75.84	53.18	123.74	156.20	170.60	208.40	108.90	186.80	153.00	<u>286.00</u>	286.00	
			Mínimo	56.00	29.70	20.30	19.60	31.50	<u>18.10</u>	21.50	43.50	41.50	46.50	44.50	37.00	18.10	
Arenal	Arenal	199	Medio	13.39	6.66	5.31	3.41	3.03	9.65	18.19	18.12	18.64	16.25	18.68	21.21	12.71	1960-65
			Máximo	25.79	14.42	13.20	7.80	7.15	27.09	34.35	42.23	<u>44.38</u>	32.58	32.88	71.00	44.38	
			Mínimo	7.15	3.97	3.12	1.92	1.83	2.40	10.05	10.31	9.00	8.45	<u>10.10</u>	8.13	10.10	
Reventazón	Pascua	1 685	Medio	147.05	74.70	72.29	51.38	76.95	139.55	175.50	163.42	196.91	189.02	180.04	121.43	132.35	1963-65
			Máximo	729.00	304.00	332.00	<u>112.80</u>	332.00	429.00	613.00	734.80	839.20	694.20	688.40	<u>1 436.00</u>	1 436.00	
			Mínimo	59.00	48.50	37.00	<u>33.20</u>	42.40	100.67	109.50	100.0	110.00	124.00	99.80	62.50	33.20	
Reventazón	Angostura	1 367	Medio	89.09	65.59	48.93	52.85	92.19	121.53	129.68	116.73	133.80	146.66	134.76	122.87	101.88	1959-67
			Máximo	529.00	827.00	270.00	307.69	579.88	799.20	548.60	624.00	693.00	<u>1 285.00</u>	1 057.20	926.40	1 285.00	
			Mínimo	33.87	28.40	24.46	<u>22.88</u>	28.25	59.57	68.55	67.05	62.07	72.83	58.05	43.40	22.88	
Reventazón	El Congo	885	Medio	54.29	35.25	32.75	29.18	41.18	58.77	77.51	71.11	79.55	87.86	93.89	70.30	60.97	1962-65
			Máximo	275.80	272.20	106.96	136.76	431.02	319.00	349.70	<u>852.90</u>	426.78	570.40	1 206.00	361.60	852.90	
			Mínimo	22.30	18.60	16.10	<u>15.10</u>	16.00	33.30	39.10	35.40	44.80	46.90	38.50	26.00	15.10	
Reventazón	Cachí	692	Medio	38.18	24.14	18.73	18.10	38.83	51.22	64.81	57.43	69.97	76.91	69.17	55.14	48.61	1956-66
			Máximo	494.70	333.50	255.90	174.40	558.25	716.00	764.00	665.00	786.00	<u>1 030.00</u>	848.00	857.90	1 030.00	
			Mínimo	13.60	12.80	10.50	<u>10.30</u>	11.35	24.00	27.32	26.76	22.40	23.11	21.51	15.35	10.30	
Reventazón	Cordoncillal	254	Medio	17.93	10.46	10.08	8.92	16.18	23.63	26.88	26.50	27.10	28.15	28.70	21.21	20.48	1958-66
			Máximo	192.00	84.80	135.40	87.33	154.00	225.10	183.60	<u>436.40</u>	194.00	182.50	324.40	260.80	436.40	
			Mínimo	6.90	5.80	5.35	<u>5.20</u>	5.65	12.45	13.50	13.07	14.50	14.09	12.15	8.90	5.20	

/Cont inúa

Cuadro 3 (Continuación)

Rfo	Lugar	Cuenca (superficie en km2)	Caudal	Mensual												Anual	Período
				E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Reventazón	Tapantí	190	Medio	11.23	7.18	5.25	5.20	9.13	12.21	14.38	14.95	20.07	23.28	24.89	14.58	13.53	1962-66
			Máximo	79.43	40.78	19.90	40.54	84.54	57.60	53.64	81.57	107.08	155.45	309.00	87.88	155.45	
			Mínimo	5.45	4.15	3.73	3.20	3.08	6.50	7.60	8.03	9.00	12.80	7.80	5.50	3.08	
Pajibaye	Oriente	226	Medio	26.78	18.76	15.18	17.90	36.13	41.02	45.41	43.88	46.93	49.39	47.65	33.09	35.18	1962-67
			Máximo	266.60	251.00	55.40	142.28	258.80	436.80	420.20	940.00	711.20	494.00	498.00	230.40	940.00	
			Mínimo	10.20	6.70	5.60	5.20	8.15	20.80	19.80	17.40	21.50	23.50	18.60	10.70	5.20	
Pajibaye	El Humo	190	Medio	18.23	14.67	10.78	12.73	28.60	29.98	35.10	30.46	31.83	36.91	30.18	25.01	25.37	1953-66
			Máximo	157.80	130.60	171.25	108.73	265.90	598.00	388.80	615.00	514.40	452.00	275.80	175.75	615.00	
			Mínimo	6.42	5.20	4.20	3.75	4.97	7.20	9.96	9.30	9.90	10.40	5.92	6.30	3.75	
Macho	Montecristo	65	Medio	3.83	2.85	2.13	1.75	2.94	5.20	6.39	6.47	7.84	7.25	6.83	5.35	4.90	1955-66
			Máximo	21.00	11.25	9.04	9.80	96.00	124.00	161.60	219.50	94.00	172.60	67.00	102.00	219.50	
			Mínimo	1.50	1.40	1.10	1.00	1.05	1.48	2.52	3.36	3.30	3.00	3.40	2.05	1.00	
Macho	Belén	46	Medio	1.95	1.29	1.08	0.99	1.56	3.29	3.92	4.59	5.99	4.54	4.93	3.52	3.14	1960-66
			Máximo	11.41	6.10	7.85	6.06	88.00	102.00	88.00	184.00	98.00	41.00	58.00	52.40	184.00	
			Mínimo	0.95	0.66	0.70	0.48	0.44	0.75	1.80	1.60	2.05	1.95	2.04	1.42	0.44	
Pacuare	Siquirres	763	Medio	74.02	28.47	30.38	16.30	27.00	48.82	66.74	60.63	76.67	92.63	90.70	50.87	55.27	1963-65
			Máximo	500.00	166.48	243.20	35.60	162.00	200.20	234.80	313.00	325.00	387.00	426.60	724.30	724.30	
			Mínimo	20.60	17.60	12.90	1.50	11.00	30.40	41.40	37.68	38.70	46.40	33.40	21.70	11.00	
Pacuare	Pacuare	459	Medio	25.69	16.73	12.96	14.23	29.54	42.19	36.35	32.32	40.08	58.11	56.57	39.41	33.68	1958-67
			Máximo	168.90	140.56	103.80	121.14	168.90	212.60	192.56	246.00	212.60	350.00	670.00	400.00	670.00	
			Mínimo	7.90	5.60	5.70	5.20	5.90	15.42	18.10	13.80	11.20	19.50	17.00	10.40	5.20	
Banano	Asunción	91	Medio	18.38	12.53	9.96	14.93	16.19	15.82	17.88	15.34	13.36	15.52	22.35	25.75	16.50	1957-67
			Máximo	554.00	363.00	620.00	402.00	306.00	306.00	641.00	777.00	154.00	313.00	714.00	789.00	789.00	
			Mínimo	2.17	2.90	2.80	3.00	3.55	4.50	4.30	4.00	4.70	4.42	2.90	2.24	2.17	
<u>Vertiente del Pacífico</u>																	
Templique	Guardia	955	Medio	19.67	14.01	10.96	9.55	15.56	34.46	23.40	24.54	38.32	57.19	38.25	25.81	25.98	1951-65
			Máximo	45.20	34.03	19.40	6.40	674.20	883.00	262.61	451.75	474.25	518.25	519.25	138.01	518.25	
			Mínimo	8.00	7.60	6.70	6.70	6.80	8.00	9.05	9.79	9.93	10.88	12.00	11.60	6.70	
Colorado	Colorado	130	Medio	4.38	2.60	1.74	1.36	2.24	4.30	3.52	3.38	5.90	7.60	6.43	6.35	4.15	1951-65
			Máximo	28.54	11.85	9.08	8.90	66.78	71.70	130.25	116.61	195.50	223.68	65.35	43.90	223.68	
			Mínimo	1.24	0.97	0.87	0.78	0.74	0.82	0.98	0.91	0.89	0.93	1.23	1.65	0.74	

(Continúa)

Cuadro 9 (Continuación)

Río	Lugar	Cuenca (superficie en km ²)	Caudal	Mensual												Anual	Período
				E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Corodict	Corodict	392	Medio	7.67	5.45	4.10	3.32	4.19	7.81	9.48	9.47	17.12	26.93	21.34	10.44	10.61	1954-65
			Máximo	45.43	120.36	13.81	31.29	45.23	135.13	177.10	225.40	285.88	451.38	162.45	100.05	451.38	
			Mínimo	2.70	1.72	1.45	1.50	1.24	2.25	2.84	3.64	3.30	3.30	3.06	3.60	3.92	
Cañas	Libano	191	Medio	3.79	2.81	1.96	1.52	1.97	5.92	3.27	3.19	5.87	12.98	6.31	4.97	4.54	1955-67
			Máximo	8.19	6.09	2.65	6.41	14.45	82.30	22.82	28.10	82.30	112.80	21.98	20.30	112.80	
			Mínimo	2.60	2.15	1.48	1.07	1.15	0.85	1.38	1.58	1.55	1.55	4.15	3.20	2.12	
Barranca	Nagatac	191	Medio	4.98	3.90	3.24	2.86	5.22	11.16	14.45	13.94	31.07	43.57	17.23	7.27	13.24	1955-65
			Máximo	16.35	11.77	13.32	60.50	286.50	242.25	354.00	161.00	486.40	712.10	295.30	25.35	712.10	
			Mínimo	2.70	2.34	1.86	1.14	1.14	2.40	3.50	5.08	5.46	5.46	10.70	5.62	2.90	
Grande de Tárcoles	Balsa	1 627	Medio	47.30	35.17	30.36	30.58	40.34	72.26	85.97	80.17	149.17	175.16	124.64	69.86	78.42	1959-67
			Máximo	147.30	314.60	72.50	97.20	456.80	501.60	688.00	784.00	1 425.00	840.00	1 099.40	566.00	1 425.00	
			Mínimo	29.29	22.20	19.23	21.50	23.76	26.35	33.76	38.35	40.23	40.23	55.71	53.19	33.69	
Grande de Tárcoles	La Presa	644	Medio	1.75	0.12	0.02	0.11	1.58	7.64	14.57	15.99	38.95	40.75	27.38	7.35	13.02	1959-67
			Máximo	12.20	14.45	12.20	19.35	109.50	326.70	440.90	250.30	576.30	497.75	267.35	50.53	576.30	
			Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	3.05	21.10	8.05	0.20	0.00	
Grande de Tárcoles	El Desare- nador	644	Medio	19.43	18.53	14.87	13.89	16.80	18.52	18.91	19.33	19.40	19.50	19.26	19.39	18.10	1959-65
			Máximo	20.93	20.71	20.60	20.12	20.48	21.15	21.60	21.70	21.45	22.60	21.55	21.10	22.60	
			Mínimo	15.79	13.95	12.61	11.55	11.52	14.36	14.63	17.27	17.11	17.11	16.22	16.15	16.33	
Poás	Tacarés	189	Medio	8.89	6.90	6.33	5.99	7.32	10.73	12.31	11.67	19.18	26.29	20.03	12.92	12.33	1953-67
			Máximo	17.76	27.62	9.60	20.40	42.20	66.32	82.80	67.38	89.79	560.80	71.50	37.00	560.80	
			Mínimo	5.50	4.02	3.45	3.20	4.72	5.60	5.20	6.00	7.70	10.30	9.78	7.00	3.20	
Virilla	San Miguel	817	Medio	20.69	17.11	14.83	14.23	19.86	33.87	34.40	30.36	58.72	76.18	50.45	30.67	33.45	1956-67
			Máximo	111.40	278.00	32.40	53.70	290.00	278.00	537.00	510.60	878.00	720.00	1 176.00	370.70	878.00	
			Mínimo	12.10	8.50	8.50	9.00	8.30	14.20	14.60	15.80	15.70	19.60	18.00	13.50	8.30	

/Continúa

Cuadro 3 (Conclusión)

Rfo	Lugar	Cuenca (superficie en km2)	Mensual												Anual	Perfodo
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Grande de Candelaria	El Rey	666	9.83	6.91	5.40	4.99	6.78	25.94	41.98	31.12	68.65	82.59	60.74	17.74	30.31	1963-65
			14.70	19.26	8.80	36.60	76.70	400.20	371.80	180.00	589.60	425.00	569.80	33.36	589.60	
			7.70	5.40	4.20	3.50	4.40	11.60	15.50	13.30	15.30	47.30	23.50	12.40	3.50	
Grande de Térraba	Palmar	4 843	114.50	84.12	67.28	75.44	215.89	367.17	390.75	387.81	510.76	651.56	608.85	202.58	306.39	1962-65
			162.16	189.70	125.58	281.96	1 156.00	1 120.00	1 471.00	1 868.00	1 480.00	1 776.00	3 500.00	501.20	1 868.00	
			81.00	62.50	42.50	42.60	107.00	165.00	212.70	182.52	250.00	391.00	301.00	141.00	42.50	
Grande de Térraba	Cristo Rey	830	26.75	20.29	17.77	17.44	31.99	85.62	100.96	102.21	117.21	141.62	144.31	43.90	70.84	1963-65
			51.86	37.82	25.96	53.20	75.60	283.40	755.38	405.70	325.62	405.70	1 137.20	100.80	1 137.20	
			20.50	18.20	14.60	14.30	19.30	48.00	54.60	53.40	56.20	96.00	55.90	30.50	14.30	

Cuadro 4

COSTA RICA: CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE ALGUNOS RIOS

Río	Lugar	Cuenca (superficie km ²)	Caudales en m ³ /s			Coeficiente de irregularidad	Porcentaje escurrido de junio a noviembre	Periodo del registro (años)
			Medios	Máximos	Mínimos			
<u>Vertiente del Atlántico</u>								
Frío	Cote	15	2.63	18.95	0.48	0.14	50	1965/67
San Carlos	Jabillos	545	56.49	1 210.00	15.36	0.20	62	1963/65
Arenal	San Gregado	328	54.47	286.00	18.10	0.12	52	1965/67
Arenal	Arenal	199	12.71	44.38	10.10	0.24	65	1960/65
Reventazón	Pascua	1 685	132.35	1 436.00	33.20	0.17	66	1963/65
Reventazón	Angostura	1 367	101.88	1 285.00	22.88	0.16	64	1953/67
Reventazón	El Congo	885	60.97	852.90	15.10	0.16	64	1962/65
Reventazón	Cachí	692	48.61	1 030.00	10.30	0.18	67	1956/66
Reventazón	Cordoncillal	254	20.48	436.40	5.20	0.16	66	1958/66
Reventazón	Tapantí	190	13.53	155.45	3.08	0.19	68	1962/66
Pejibaye	Oriente	226	35.18	940.00	5.20	0.16	65	1962/67
Pejibaye	El Humo	130	25.37	615.00	3.75	0.15	64	1953/66
Macho	Montecristo	65	4.90	219.50	1.00	0.19	68	1955/66
Macho	Belén	46	3.14	184.00	0.44	0.24	72	1960/66
Pacuare	Siquirres	763	55.27	724.30	11.00	0.20	66	1963/65
Pacuare	Pacuare	459	33.68	670.00	5.20	0.18	64	1958/67
Banano	Asunción	91	16.50	789.00	2.17	0.10	51	1957/67
<u>Vertiente del Pacífico</u>								
Tempisque	Guardia	955	25.98	1 518.25	6.70	0.20	69	1951/65
Colorado	Colorado	130	4.15	223.68	0.74	0.20	63	1951/65
Corobicí	Corobicí	332	10.61	451.38	1.24	0.26	73	1954/65
Barranca	Nagatac	191	13.24	712.10	1.14	0.35	83	1955/65
Grande de Tárcoles	Balsa	1 627	78.42	1 425.00	19.23	0.24	73	1959/67
Grande de Tárcoles	La Presa	644	13.02	576.80	0.00	0.47	93	1959/67
Grande de Tárcoles	El Desarmador	644	18.10	22.60	11.53	0.04	53	1959/65
Poás	Tacares	183	12.33	560.80	3.20	0.19	68	1953/67
Virilla	San Miguel	817	33.45	878.00	8.30	0.21	71	1956/67
G. de Candelaria	El Rey	666	30.31	589.60	3.50	0.37	53	1963/65
Grande de Térraba	Palmar	4 843	306.39	1 868.00	42.50	0.30	80	1962/65
Grande de Térraba	Cristo Rey	830	70.84	1 137.20	14.30	0.32	82	1963/65

/Los coeficientes

Los coeficientes obtenidos son bajos en general salvo los de los ríos Grande de Candelaria, Grande de Terraba y Barranca, con 0.37, 0.32 y 0.35 respectivamente.

3. Estimación de los recursos hidráulicos superficiales

Los recursos hidráulicos superficiales del país no son conocidos en su totalidad. Las cuencas que en la actualidad se miden alcanzan a 12 416 km² (8), aproximadamente el 24 por ciento del país. Para obtener una primera evaluación de los recursos totales se han debido efectuar algunas estimaciones basadas en los antecedentes disponibles.

Como el mapa de isoyetas anuales cubría todo el país, fue posible determinar los coeficientes de escurrimiento medio anual hasta los lugares en que se tenían datos de caudales.

Con estos coeficientes se estimaron después otros para toda la cuenca, a base de las precipitaciones aguas abajo de la estación de aforos y de su comparación con las de aguas arriba, la pendiente y extensión de la cuenca, otros datos físicos, y valores de coeficientes similares de ríos vecinos.

El cálculo se efectuó únicamente para los ríos principales o grupos de ríos menores porque considerar cuencas pequeñas habría exigido mayor precisión en las isoyetas y considerar la influencia del agua subterránea proveniente de cuencas superficiales vecinas.

Solamente se evaluaron individualmente las cuencas de los ríos San Juan, Grande de Tárcoles y Grande de Terraba.

a) Aguas nacionales

El agua caída sobre todo el país anualmente, se calculó a base de un mapa de isoyetas medias anuales (6), dando un total de $141\,523 \times 10^6 \text{ m}^3$, volumen que representa una precipitación media de 2.79 metros (cuadro 5); sin embargo, al considerar las dos grandes vertientes se observa que en la del Atlántico alcanza 2.98 metros y en la del Pacífico 2.63 metros.

En todas las cuencas o grupos de ellas considerados, las alturas del agua caída anualmente son altas y están comprendidas entre 1.84 metros en la cuenca del río Tempisque y 4.03 en la del río Coto y vecinos.

Del total de agua caída, aproximadamente $95\,218 \times 10^6 \text{ m}^3$ llegan como escurrimiento superficial a la desembocadura de los ríos, que representa un caudal de $3\,019.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Este caudal se divide en $1\,579.4 \text{ m}^3/\text{s}$ que desaguan en el Caribe y $1\,440.0$ que van al Pacífico y representan escurrimientos específicos de 67.3 y 53.1 litros por segundo por km^2 respectivamente.

El volumen de agua de que dispone el país, de acuerdo con la población de 1968, da $57\,900 \text{ m}^3$ por habitante ($1\,838 \text{ l/s/hab}$). Es grande por consiguiente la disponibilidad de agua del país y de sus habitantes y sólo disminuye algo en la zona de la península de Nicoya y en la cuenca del río Tempisque.

b) De interés internacional

Los caudales de los ríos Sixaola y Changuinola lindan con Panamá y partes de sus cuencas corresponden a dicho país.

Parte de la cuenca del Teribe, afluente del Changuinola pertenece a Costa Rica y se ha estimado que unos $15.4 \text{ m}^3/\text{s}$ se generan en este país y pasan al país vecino.

El caudal del Sixaola, originado en Costa Rica, se estimó en $143.7 \text{ m}^3/\text{s}$; al ingresar al curso principal de este río se convierten en aguas de interés internacional.

En el cuadro 5, bajo la cuenca 69, San Juan, se han agrupado todos los afluentes de este río que tienen sus cuencas o gran parte de ellas en Costa Rica. Esa región es muy lluviosa y tiene una extensión de $12\,325 \text{ km}^2$, casi una cuarta parte del país. Se ha estimado que el caudal que se origina en ella alcanza a $830.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y posteriormente se incorpora al lago de Nicaragua o directamente al río San Juan, pasando a territorio nicaraguense.

Cuadro 5

COSTA RICA; ESTIMACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUPERFICIALES

Gran cuenca	Cuenca	Rfo	Superficie (km ²)	Agua caída		Coeficiente de escurrimiento	Agua escurrida	
				Volumen (millones de m ³)	Altura (m)		Volumen (millones de m ³)	Caudal (m ³ /s)
<u>Total nacional</u>			<u>50 700</u>	<u>141 523</u>	2.79		<u>95 218</u>	<u>3 019.9</u>
Vertiente del Atlántico			<u>23 520</u>	<u>70 027</u>	2.98		<u>49 807</u>	<u>1 579.4</u>
AA ₂ ^{a/}	69 _{a/}	San Juan	12 325	37 416	3.04	0.70	26 190	830.5
DD			6 869	20 601	3.00	0.75	15 451	490.0
	71	Tortuguero	1 375	4 999	3.64			
	73	Reventazón	3 003	8 564	2.85			
	75	Pacuare	805	8 213	2.75			
	77, 79	Matina y otros	1 686	4 825	2.86			
EE	81,83, 85	Banano, Estrella y otros	1 710	4 841	2.83	0.65	3 147	99.8
II ₁ ^{a/}			<u>2 616</u>	<u>7 169</u>	2.74	0.70	5 018	159.1
	87 ^{a/}	Sixaola	<u>2 364</u>	0 476	2.74			
	91 ^{a/}	Changuinola	252	693	2.75			
Vertiente del Pacífico			<u>27 180</u>	<u>21 496</u>	2.63		<u>45 411</u>	<u>1 440.0</u>
BB			11 836	23 185	1.96	0.50	11 593	367.6
	72	Península Nicoya	4 223	7 974	1.80			
	74	Tempisque	3 413	6 270	1.84			
	76,78, 80,82	Ebbedero, Barranca, Jesús María y otros	4 200	8 941	2.13			
CC	84	G. de Tárcoles	2 133	4 553	2.13	0.70	3 187	101.1

/Continúa

Cuadro 5 (Conclusión)

Gran cuenca	Cuenca	Río	Superficie (km ²)	Agua caída		Coeficiente de escurri- miento	Agua escurrida	
				Volumen (millones de m ³)	Altura (m)		Volumen (millones de m ³)	Caudal (m ³ /s)
FF	85,88,90, 92,94,96	Grande de Candela- ria, Naranjo, Savagre y otros	4 226	10 831	2.56	0.70	7 582	240.4
GG	98	Grande de Terraba	4 871	16 343	3.35	0.70	11 440	362.8
HH	100	Coto y otros (Golfo Dulce)	4 112	16 584	4.03	0.70	11 609	368.1

a/ Cuenca Internacional, valores correspondientes a Costa Rica únicamente.

IV. FACTORES NATURALES QUE AFECTAN AL USO DEL AGUA

1. Topografía

El relieve del país es muy accidentado y se encuentra atravesado de noroeste a sudeste por las cordilleras de Guanacaste, la Central y la de Talamanca, que constituyen la divisoria de aguas hacia los océanos Atlántico y Pacífico.

La región de mayor relieve se encuentra en las Cordilleras Central y de Talamanca, en los límites de las provincias de Puntarenas y Limón y de Cartago y San José, donde unos 10 picos superan los 3 000 metros. La mayor altura del país es el cerro Chirripó Grande, con 3 819 metros sobre el nivel del mar, próximo al encuentro de las provincias de Cartago, San José y Limón.

La Cordillera Volcánica de Guanacaste es más baja no superando los 2 000 metros sus mayores alturas.

El relieve del país va perdiendo altitud hacia ambos océanos para llegar cerca de las zonas costeras a niveles inferiores a 100 metros.

La península de Nicoya tiene en su mayor parte alturas inferiores a 500 metros aunque hay pequeños cerros más altos, pero que no pasan de los 1 000 metros.

La parte más llana del país, con alturas inferiores a 100 metros sobre el nivel del mar, corresponde al noreste y comprende las llanuras de los Guatusos, San Carlos y Tortuguero. Toda esta zona se puede delimitar al noreste de una imaginaria que une Puerto Limón y la parte oeste del lago de Nicaragua. El valle del río Tempisque es otra importante región relativamente plana, también con menos de 100 metros de altura.

Las pendientes mayores del terreno se registran en la zona del volcán Irazú y en la cordillera de Talamanca al este de la longitud $83^{\circ} 45'$.

En sus nacientes los ríos tienen fuertes pendientes, entre los que se pueden citar el Reventazón que en sus primeros 45 km tiene una media de 5 por ciento. El río Chirripó, que desciende desde cerca de 3 800 metros, tiene en sus primeros 86 km una pendiente media de 4.4 por ciento (10). El Pacuare (9), alcanza en sus 84 km iniciales a 4.0 por ciento y el Barbilla en los primeros 37 km, 3.7 por ciento. En los ríos citados las pendientes disminuyen mucho después de esos tramos iniciales.

/La distribución

La distribución de la superficie del territorio nacional por alturas sobre el nivel del mar presenta una imagen más definida de la topografía, por lo que ha sido calculada en forma aproximada para grandes zonas, a base de un mapa con curvas de nivel en pies, con los siguientes intervalos: 1 000, 2 000, 3 000, 5 000, 7 000 y 9 000 pies.

El 51.2 por ciento del país tiene alturas menores de 305 metros; el 64.5, menores de 610 metros; el 76.1, menores de 914 metros; el 89.1, menores de 1 524 metros; el 96.6, menores de 2 134 metros, y el 99.3 por ciento, menores de 2 743 metros. Sobrepasan este nivel algunas zonas de la cordillera de Talamanca que totalizan 375 km y representan el 0.7 por ciento.

La distribución de superficies para los mismos intervalos de niveles, según las vertientes, tienen algunas diferencias. En la del Atlántico el 55.0 por ciento está bajo los 305 metros; en la del Pacífico lo está el 47.7 por ciento. Para los otros niveles los porcentajes tienen menores diferencias; así, hasta la altura de 610 metros son 64.5 y 64.4 para el Atlántico y el Pacífico respectivamente, y los restantes son, en el mismo orden, para 914 metros 74.7 y 77.4 y para 1 524 metros 86.8 y 91.1 por ciento.

Varios de los ríos importantes tienen grandes superficies a niveles altos. Arriba de 2 134 metros, por ejemplo, el Reventazón tiene 456 km², el Chirripó 95 km², el Sixaola y Changuinola en conjunto 572 km² y el Grande de Térraba 565 km².

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

2. Evaporación y evapotranspiración

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

La evaporación era medida en el país, a fines de 1967, en unos 10 lugares, pero sólo en dos se efectuaba por medio del tanque A; el Arenal en Guanacaste, instalada en septiembre de 1962, y la del Proyecto de Cachí, instalada en

Cuadro 6

COSTA RICA: DISTRIBUCION DE LA SUPERFICIE SEGUN CURVAS DE NIVEL EN VERTIENTES
 Y CUENCAS PRINCIPALES (km²)

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	2 133.6 a 2 743.2	2 743.2 a 3 657.6
Total del país	50 700	25 933	6 744	5 898	6 565	3 802	1 389	375
Porcentaje	100.0	51.2	13.3	11.6	13.0	7.5	2.7	0.7
Porcentaje acumulado		51.2	64.5	76.1	89.1	96.6	99.3	100.0
Vertiente del Atlántico	24 115	13 254	2 296	2 452	2 913	2 077	869	254
San Juan		8 647	1 491	1 356	1 109	502		
Zona río San Juan - río - Reventazón		2 004	101	57	128	64		
Reventazón		432	241	481	704	704	342	114
Chirripó		540	127	171	285	222	95	
Zona río Chirripó - río Sixoala		1 150	184	171	236			
Sixoala - Changuinola		481	152	216	457	585	432	140
Porcentaje del total: Atlántico	100.0	55.0	9.5	10.2	12.1	8.6	3.6	1.0
Porcentaje acumulado		55.0	64.5	74.7	86.8	95.4	99.0	100.0
Vertiente del Pacífico	26 585	12 679	4 440	3 446	3 652	1 725	514	121
Zona frontera - río Tempisque		2 692	850	688				
Tempisque		3 402	766	570	314			
Zona río Tempisque - río Grande de Tárcoles		1 256	349	317	387	63		
Grande de Tárcoles		209	127	310	1 022	374		
Zona río Grande de Tárcoles - Grande de Candelaria		407	279	39	64			
Grande de Candelaria		146	152	165	362	571		
Zona río Grande Candelaria - río Grande de Térraba		786	254	279	266	222	70	
Grande de Térraba		558	1 366	983	1 066	495	444	121
Zona río Grande de Térraba - frontera Panamá		3 223	305	95	171			
Porcentaje del total: Pacífico	100.0	47.7	16.7	13.0	13.7	6.5	1.9	0.5
Porcentaje acumulado		47.7	64.4	77.4	91.1	97.6	99.5	100.0

octubre de 1963, ambas del ICE. En los otros puntos se llevaban a cabo con evaporígrafos tipo Lambrecht. Los registros eran, en general, de corta duración; el más largo pertenecía a San José con 10 años de observaciones.

El Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, en ejecución, instalará 10 estaciones tipo A que incluirán entre sus mediciones las de evaporación. Esta experimenta a lo largo del año variaciones cuyas principales características, de acuerdo con los valores mensuales promedios, son disminución en los meses de la época lluviosa; aumento en los meses de la época seca con los valores más altos en febrero, marzo y abril. En San José la evaporación media de los meses lluviosos es de unos 3.5 a 4 milímetros diarios y en los secos alcanza hasta unos 7 milímetros. En Cañas, cuenca del río Bebedero, región con bajas precipitaciones anuales, la evaporación es mayor pues alcanza a 5 milímetros en los meses lluviosos y a 13 milímetros en los secos. (Véase el cuadro 7.)

Los totales anuales promedio varían entre unos 1 400 milímetros en Turrialba, y unos 3 100 en Cañas, Guanacaste. Como los lugares con promedios estables son, por el momento, pocos, este intervalo se estima que puede ser ligeramente más amplio cuando se disponga de más datos y observaciones más comparables, efectuadas todas con el tanque A.

En San José las desviaciones de los totales anuales con respecto al promedio van desde 7 por ciento a menos 6 por ciento.

Las variables que afectan la evaporación, como son la temperatura y humedad del aire, el viento, la radiación solar, etc., determinan su variación y su total a lo largo del año.

La evapotranspiración es el proceso por el que el agua contenida en el suelo pasa a la atmósfera en estado gaseoso. Incluye la transpiración de las plantas y la evaporación de las superficies de agua y de los suelos. Su evaluación es importante para la determinación de los balances hídricos. Se define como evapotranspiración potencial la que se produciría si hubiera abundante humedad en el suelo, de tal forma que el proceso no se restringiera por escasez de agua. La evapotranspiración real es generalmente inferior a la potencial y llega a igualarla en lugares como los pantanos.

Cuadro 7
COSTA RICA: VALORES DIARIOS Y ANUALES DE EVAPORACION
(Milímetros)

Valor	Mensual												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
<u>Cañas 10° 28' 85° 09'</u>													
Promedios	11.5	13.2	13.3	11.8	10.7	5.8	6.1	6.1	5.1	4.8	6.2	8.7	3 132
Máximo medio	13.1	14.8	15.7	14.2	11.0	6.9	6.6	6.5	7.1	6.7	7.0	10.0	3 337
Mínimo medio	9.5	12.2	11.2	9.0	10.2	4.1	5.1	5.7	3.9	3.8	4.5	7.0	2 932
<u>San José 9° 56' 84° 05'</u>													
Promedios	6.0	7.1	7.6	7.2	5.6	4.1	4.3	4.6	4.1	3.8	4.2	4.9	1 936
Máximo medio	7.1	7.7	8.1	8.5	6.3	5.2	4.8	5.3	4.4	4.5	5.0	5.9	2 063
Mínimo medio	5.4	6.1	6.9	5.2	4.7	3.6	3.8	4.2	3.7	3.0	3.1	3.8	1 828
<u>Turrialba 9° 53' 83° 38'</u>													
Promedios	3.0	3.9	4.3	5.0	4.2	4.0	3.4	4.0	4.0	4.2	3.2	2.7	1 400
Máximo medio	3.2	4.2	4.6	5.6	4.4	4.2	4.0	4.3	4.1	4.4	3.2	2.7	1 409
Mínimo medio	2.7	3.5	4.0	4.4	4.1	3.9	2.9	3.7	3.9	4.0	3.2	2.7	1 391

Mediciones de evapotranspiración no se han efectuado en el país pero ha sido estimada por fórmulas que tienen en cuenta variables climáticas, las horas de luz solar y un cierto balance hídrico del suelo.

Para la provincia de Guanacaste se efectuó un cálculo de la evapotranspiración potencial basado en la fórmula de Hargreaves, estimando luego un balance de agua del suelo se calculó la real (11).

Los resultados para las cuencas de los ríos Tempisque, Corobicí y Morote se aprecian en el cuadro 8.

La evapotranspiración real es alta de mayo a noviembre e iguala a la potencial en esos meses, debido a la abundancia de agua, y de enero a abril iguala a la precipitación, que es muy reducida. Los totales anuales varían de 915 a 1 079 milímetros en las tres cuencas.

La evapotranspiración potencial es más baja en la época lluviosa y más del doble de ésta en la época seca, con totales anuales que van de 1 780 a 2 190 milímetros.

Un cómputo de la evapotranspiración potencial para todo el país basado en la fórmula de Blaney-Criddle modificada, permitió el trazado de las isolíneas de los totales anuales después de relacionar aquélla con la altura (12).

Aproximadamente el 50 por ciento del territorio nacional tiene una evapotranspiración potencial anual superior a 2 000 milímetros. Este 50 por ciento incluye las tierras bajas tanto de la vertiente del Atlántico como de la del Pacífico. Los menores valores se registran en las partes más altas de la cordillera de Talamanca, con menos de 1 400 milímetros; los intermedios varían en relación inversa a la altura del lugar. La configuración general de las isolíneas conserva las formas principales de las curvas de nivel.

Cuadro 8

COSTA RICA: VALORES DE LA PRECIPITACION, EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL
 Y REAL EN LA PROVINCIA DE GUANACASTE

(Milímetros)

Cuenca	Mensual												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Cuenca del Tempisque													
P	8	24	2	50	309	306	203	257	362	482	68	9	2 100
ET _P	205	208	245	233	190	105	107	109	94	85	126	178	1 880
ET _R	8	24	2	50	190	105	107	109	94	85	126	51	951
Cuenca del Corobicí													
P	8	24	2	51	314	312	206	262	391	492	69	9	2 140
ET _P	194	196	230	218	180	99	101	103	89	80	120	170	1 780
ET _R	8	24	2	51	180	99	101	103	89	80	120	58	915
Cuenca del Morote													
P	4	9	24	34	268	322	211	321	405	454	93	15	2 160
ET _P	236	242	287	269	221	120	124	126	110	99	147	209	2 190
ET _R	4	9	24	34	221	120	124	126	110	99	147	61	1 079

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

Es oportuno citar que las primeras mediciones de la precipitación fueron obtenidas en San José en el año 1866 y que su registro es el más largo de Centroamérica y Panamá a pesar de las interrupciones que sufrieron. Aunque existen algunos registros de unos 50 años de observaciones, en su gran mayoría son de corta extensión.

Los registros más largos de fluviometría, datan del año 1951, como en el caso de los ríos Tempisque y Colorado; el resto tiene una duración media de unos 8 años.

La red de meteorología estaba formada a mediados de 1967 por 186 estaciones medidoras de lluvia, de las cuales 96 tenían pluviógrafos. Dentro de este total había 4 estaciones tipo A (miden 7 o más elementos meteorológicos), 8 tipo B (4 o más elementos) y 60 eran termopluviométricas. Del total general 80 eran operadas por el Servicio Meteorológico, 61 por el ICE y el resto por otros organismos que se mencionan más adelante. Sólo había dos estaciones en que se medía la evaporación por medio de tanque tipo A y tres con evaporímetro de balanza.

La red hidrológica consistía en 31 estaciones medidoras de caudal, equipadas con limnógrafo. De éstas, 28 pertenecen al ICE y 3 al Ministerio de Agricultura y Ganadería. Además el ICE tiene instaladas 9 estaciones limnimétricas y en 187 sitios se miden los caudales en la época seca.

Para ampliar sus redes de observación y capacitar técnicos, Costa Rica se incorporó al proyecto de "Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano", a través del cual se instalarán en cinco años 60 estaciones fluviográficas, la mayor parte equipadas con limnógrafo a burbuja, 10 estaciones meteorológicas tipo A (sinópticas), 50 meteorológicas tipo B y 40 tipo C o pluviométricas (13, 14).

Por este proyecto Costa Rica dispondrá a su terminación de 286 estaciones pluviométricas y 100 estaciones hidrológicas. Los gastos locales del proyecto para los 5 años ascienden a 513 980 dólares, el 80 por ciento de los cuales será sufragado por el ICE, el 18 por ciento el SACR y el 2 por ciento por el gobierno. El valor de las importaciones y becas agregará otros 419 440 dólares.

/Las observaciones

Las observaciones de meteorología, como se vio, son efectuadas principalmente por el Servicio Meteorológico Nacional y las de hidrología por el Instituto Costarricense de Electricidad, aunque algunas otras instituciones colaboran en forma reducida.

Además de los organismos que se dedican a la parte de mediciones o investigaciones, deben citarse otros dos que se dedican a la parte de orientación y coordinación de estas tareas, el Comité Costarricense para el Decenio Hidrológico y la Comisión Coordinadora de Hidrología y Meteorología.

También la Universidad de Costa Rica contribuye al desarrollo de la meteorología, desde fecha reciente, con la creación de cursos para la formación de técnicos y la instalación de estaciones agrometeorológicas y las investigaciones de esta especialidad.

1. El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

El Instituto Costarricense de Electricidad es un organismo autónomo creado por el Decreto Ley No. 449, del 8 de abril de 1949. Las principales funciones que le han sido encomendadas por esta ley son las siguientes:

a) Prevenir la escasez de energía eléctrica, mediante la construcción de centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, de la capacidad necesaria no sólo para suplir la demanda actual, sino también la futura; construcción y operación de redes de transmisión y distribución para suplir la energía a los consumidores, en los lugares servidos directamente por el ICE, o mediante empresas distribuidoras locales, a los cuales les vende la energía en bloque;

b) Desarrollar racionalmente los recursos hidráulicos, así como la conservación de los mismos, protegiendo las cuencas, las fuentes y los cauces de los ríos y corrientes de agua, tarea en que deberán ayudar el Servicio Nacional de Electricidad y el Ministerio de Agricultura;

c) Investigaciones para futuros proyectos que consideren tanto aspectos económicos, como de ingeniería. Dentro de estos últimos se incluyen los estudios hidrológicos, los topográficos, los geológicos y los de suelos.

La Oficina de Estudios Básicos es la encargada de llevar a cabo las mediciones hidrológicas, conjuntamente con las de topografía, suelos y comportamiento de estructuras.

El personal dedicado a las actividades hidrológicas es de 51 empleados (3 ingenieros civiles, 5 auxiliares de oficina, 18 auxiliares de campo y 25 observadores). El presupuesto destinado a la Sección de Hidrología para el año 1967 fue de 783 940 colones (118 500 dólares) y ascenderá a 1 335 400 colones en 1968, 1 460 000 en 1969, 1 584 700 en 1970, 1 724 400 en 1971 y 1 630 000 colones en 1972, que incluyen las contribuciones que demandará el Proyecto Hidrometeorológico.^{4/}

El ICE aporta el 80 por ciento de los gastos de este proyecto y trabaja en estrecha colaboración con el Servicio Meteorológico Nacional, siendo su labor muy eficiente. También publica bianualmente en boletines hidrológicos, los datos obtenidos y algunos elaborados, así como información sobre las estaciones.

2. El Servicio Meteorológico de Costa Rica

El Servicio Meteorológico fue creado por Decreto del 7 de abril de 1888, y en esa oportunidad se le designó Instituto Meteorológico Nacional, como una dependencia del Ministerio de Instrucción Pública. En la actualidad es un organismo del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ha sufrido interrupciones importantes en su actividad. En 1936 cesó su funcionamiento hasta 1940 y en 1941 se volvió a abrir como dependencia del Ministerio de Fomento adscrito al Instituto Geográfico Nacional. Experimentó nueva interrupción desde el 1.º de enero hasta el 30 de junio de 1951, fecha en la que pasó a depender del Ministerio de Agricultura e Industrias.

Además de las actividades meteorológicas, realiza las sismológicas y suministra la hora oficial del país.

Su presupuesto en 1967 era de 319 973 colones, el 58 por ciento de los cuales fue financiado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el 42 por ciento restante por la Dirección General de Defensa Civil del Ministerio de la Presidencia. El de 1968 ascendió a 608 064 colones, comprendido el 18 por ciento de los gastos del Proyecto Hidrometeorológico.

La organización comprendería en 1967 las siguientes secciones: Dirección; Climatología; Meteorología Sinóptica y Aeronáutica, Meteorología Agrícola; Hidrometeorología y Sismología. El personal asciende a un total de 22 empleados de planta y 3 de jornales.

^{4/} 6.62 colones equivalen a 1.00 dólar.

En el aeropuerto del Coco funcionaba en 1967 la oficina de pronósticos del tiempo, que operaba entre las 7 y las 19 horas, ampliando a veces el horario de acuerdo con las necesidades aéreas. Estaba atendida por 2 meteorólogos pronosticadores y 2 ploteadores observadores que confeccionaban diariamente la carta sinóptica de superficie de 1 800Z y tres de altura (850, 700 y 200 milibares) de las 1 200Z, que abarcan a Centroamérica, el Caribe, el norte de Sudamérica, México, el golfo homónimo y el sur de Norteamérica. Recibe la información de Caribbean Meteorological Broadcast (CARMET) y la emisión subcontinental de la OMM por medio de dos teletipos, pero con un solo receptor. Un equipo de facsimil de que dispone el Servicio Meteorológico está instalado en la oficina central razón por la que la oficina de pronósticos no puede recibir las cartas sinópticas elaboradas por el U.S. Weather Bureau.

El Servicio Meteorológico Nacional edita el Anuario Meteorológico que contiene información elaborada de tipo climatológico. La Dirección General de Estadística publicaba antiguamente datos meteorológicos en los Anuarios Estadísticos.

3. El Comité Costarricense para el Decenio Hidrológico

Por decreto del 12 de agosto de 1965 fue creado el "Comité Costarricense para el Decenio Hidrológico Internacional" con el objeto de "coordinar las actividades del Decenio, evaluar los conocimientos de hidrología en Costa Rica, uniformar técnicas y terminología, investigar problemas hidrológicos, etc."

Está integrado por representantes de: a) Oficina de Planificación; b) Universidad de Costa Rica; c) Instituto Costarricense de Electricidad; d) Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillado; e) Ministerio de Agricultura y Ganadería; f) Ministerio de Industrias; g) Servicio Meteorológico Nacional; h) Comisión Costarricense de Cooperación con la UNESCO; y el Servicio Nacional de Electricidad.

Todos estos organismos permanecerán en sus funciones durante el decenio 1965-1975.

4. La Comisión Coordinadora de Hidrología y Meteorología

La Comisión Coordinadora de Hidrología y Meteorología fue creada por Decreto del 6 de mayo de 1966, con la atribución de "coordinar los programas que para la obtención de datos hidrometeorológicos lleven a cabo los organismos del estado, representar al país ante organismos internacionales que financien proyectos de instalación de redes para la recolección de datos hidrológicos, siempre que las mismas sean de una naturaleza tal que involucren intereses de varias dependencias del estado, a juicio de los organismos financieros", etc. Esta Comisión puede solicitar la colaboración de todas las personas jurídicas o físicas que realicen observaciones de carácter meteorológico, oceanográfico e hidrológico, requiriendo copias de todos los datos observados. El Servicio Meteorológico Nacional es el depositario de toda la información recopilada por la Comisión.

La Comisión está formada por sendos representantes del Servicio Meteorológico Nacional, del Instituto Costarricense de Electricidad, del Servicio Nacional de Electricidad y del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillado.

5. El Ministerio de Agricultura y Ganadería

Como se ha indicado, el Ministerio de Agricultura y Ganadería opera tres estaciones hidrológicas que están ubicadas en la provincia de Guanacaste, en los ríos Tempisque, Colorado y Corobicí. Fueron instaladas a partir de 1951 por el Servicio Interamericano de Cooperación Agrícola (STICA) para los estudios del Proyecto de Irrigación del Valle del Tempisque y luego pasaron al Ministerio de Agricultura y Ganadería.

6. El Proyecto de Investigación de Aguas Subterráneas del Fondo Especial de las Naciones Unidas

Este proyecto de Investigación de Aguas Subterráneas fue iniciado en 1967 y comprende el estudio de tres afeas, una en el Valle Central entre San José y Alajuela, otra en la zona de Guanacaste y la tercera en San Isidro del General en la provincia de Puntarenas.

Dentro de su plan de observaciones tenían programado, a fines de 1967, instalar 27 estaciones pluviométricas, de ellas 2 pluviográficas, y un número no determinado aún de estaciones hidrológicas equipadas con limnigrafos.

7. Otros organismos

Otros organismos contribuyen a las mediciones meteorológicas, principalmente pluviométricas: la Universidad de Costa Rica; la Northern Railway Company; el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas; el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados; la Compañía Bananera de Costa Rica y la Goodyear Rubber Plantations.

Son especialmente importantes las tareas de investigación agrometeorológica que realiza la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica en sus estaciones instaladas en la estación experimental agrícola de esa universidad, en Liberia, Atirso, La Piñera, Zarcero, Coliblanco, Atenas y San Isidro Alajuela.

Igualmente relevantes son las tareas que efectúa el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en mediciones de radiación, en su estación en Turrialba.

8. Enseñanza de la meteorología

A partir de marzo de 1968 quedó establecido en la Universidad de Costa Rica, con la colaboración de la Organización Meteorológica Mundial, el bachillerato en física con orientación en meteorología. Gran importancia tiene esta enseñanza de la meteorología a nivel universitario, ya que es la única de ese tipo de Centroamérica y Panamá. El curso se desarrolla en cuatro años y provee becas para estudiantes centroamericanos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

El primer paso que se requiere dar para lograr el desarrollo armónico de los recursos hidráulicos es obtener la información básica necesaria y fidedigna de hidrología y meteorología de todo el país, para lo cual se debe disponer de las estaciones de observación de ambas especialidades.

A mediados de 1967 se acusaban en Costa Rica ciertas deficiencias de observación en algunas regiones. Como se dijo anteriormente en lo referente a las mediciones hidrológicas, se encontraba bajo estudio sólo el 24 por ciento del área total del país, aunque incluso dentro de esa parte todavía serían necesarias otras mediciones para completar su estudio. Especialmente la parte norte del país estaba desprovista de observaciones.

En lo referente a las mediciones meteorológicas, se podía apreciar una gran concentración de estaciones en el Valle Central, menor densidad sobre las líneas férreas en la provincia de Limón, y estaciones dispersas en el resto del país; pero para grandes zonas del norte y el noreste del país, y en la cordillera de Talamanca, se carecía de toda medición.

En lo referente a las observaciones de meteorología sinóptica, sólo se efectuaban con el carácter de tales en el aeropuerto del Coco, aunque algunos otros lugares colaboraban con observaciones visuales en ciertas horas del día; se carecía por lo tanto de una concentración nacional de datos de este tipo. La recepción de la información meteorológica internacional de la región no era lo bastante adecuada por no disponerse de equipos independientes para recibir simultáneamente las emisiones del CARMET (Caribbean Meteorological Broadcast) y de la subcontinental de la OMM, además de que la recepción por medio de facsimil no se aprovechaba en la oficina de pronósticos del aeropuerto, por hallarse el equipo instalado en la oficina central del Servicio Meteorológico.

Los presupuestos reducidos del Servicio Meteorológico impidieron el desarrollo armónico del mismo para atender las necesidades meteorológicas en sus distintas especialidades, las retribuciones señaladas al personal tampoco han servido para despertar interés en esa disciplina.

/El Proyecto

El Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano, al que Costa Rica se integró con los otros cinco países de la región, pretende cubrir las lagunas de observaciones señaladas (13, 14).

El amplio programa de instalaciones proyectado, que se encuentra en ejecución, permitirá en un plazo de cinco años mejorar sensiblemente las redes de observaciones meteorológicas e hidrológicas, puesto que se incrementarán en más de 100 por ciento.

2. Recomendaciones

Se considera proceder a un fortalecimiento general del Servicio Meteorológico Nacional, dotándole de mayores presupuestos, de más técnicos y de una nueva ley o decreto que reemplace el antiguo de 1888.

Los presupuestos han aumentado con motivo de la ejecución del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, pero para cuando concluya deberán tener niveles muy superiores a los de 1967 para que puedan atenderse las nuevas necesidades creadas por el proyecto, ampliarse sus actividades y retribuir mejor al personal.

Una nueva ley se requeriría para el Servicio Meteorológico Nacional, con objeto de que fije su organización de acuerdo con las necesidades actuales del país en meteorología, y al mismo tiempo le asigne los medios legales para llevar a cabo su tarea.

Es de especial interés e importancia que las 10 estaciones tipo A (climatológicas principales), a ser instaladas en el Proyecto Centroamericano, sean equipadas además con equipo radiotransmisor a fin de que puedan integrar la red sinóptica nacional, y que realicen observaciones durante las 24 horas. No cabe duda de la sensible mejora que podrá lograrse en los pronósticos del tiempo, no sólo para los fines de aeronavegación sino para necesidades como el conocimiento de las crecidas de los ríos basadas en pronósticos de precipitación. Al mismo tiempo deberá aumentarse el personal de la oficina de pronósticos, tanto en pronosticadores como en ploteadores-observadores.

La concentración y disseminación de la información meteorológica internacional podrían mejorarse sensiblemente si Costa Rica, con los otros países del Istmo lograra que la Corporación Centroamericana de Servicios de Navegación Aérea (COCESNA) dedicara un canal de su sistema de radio exclusivamente para estos fines, en forma que comunicara Balboa, en la Zona del Canal de Panamá, con todas las capitales de los países.

Como se vio en el punto anterior, son varios los organismos, además del ICE y el SMN que colaboran en las mediciones meteorológicas, especialmente pluviométricas. Es aconsejable que se proporcionen al Servicio Meteorológico Nacional los medios técnicos financieros y legales para poder mantener una estrecha fiscalización y concentración sobre observaciones tan importantes para los recursos hidráulicos, la climatología, la agricultura, etc.

Durante la ejecución del "Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano", se ha formado un Comité Regional de Recursos Hidráulicos en el que están representados los seis países de la región y en el que asesoran los expertos de la OMM a cargo de su realización. Este Comité tiene como misión principal el coordinar las tareas de ejecución del proyecto a nivel regional.

Cuando quede finalizado el proyecto, convendrá que este Comité siga funcionando para orientar y coordinar las tareas hidrológicas y meteorológicas. La región deberá continuar con estudios hidrológicos en los que estarán involucrados países vecinos, pero en el aspecto meteorológico éstos comprenderán todo el istmo.

1. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

2. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$

3. $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$

4. $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

5. $\frac{1}{5} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{25}$

6. $\frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$

7. $\frac{1}{7} \times \frac{1}{7} = \frac{1}{49}$

8. $\frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$

9. $\frac{1}{9} \times \frac{1}{9} = \frac{1}{81}$

10. $\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{100}$

11. $\frac{1}{11} \times \frac{1}{11} = \frac{1}{121}$

12. $\frac{1}{12} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{144}$

13. $\frac{1}{13} \times \frac{1}{13} = \frac{1}{169}$

14. $\frac{1}{14} \times \frac{1}{14} = \frac{1}{196}$

15. $\frac{1}{15} \times \frac{1}{15} = \frac{1}{225}$

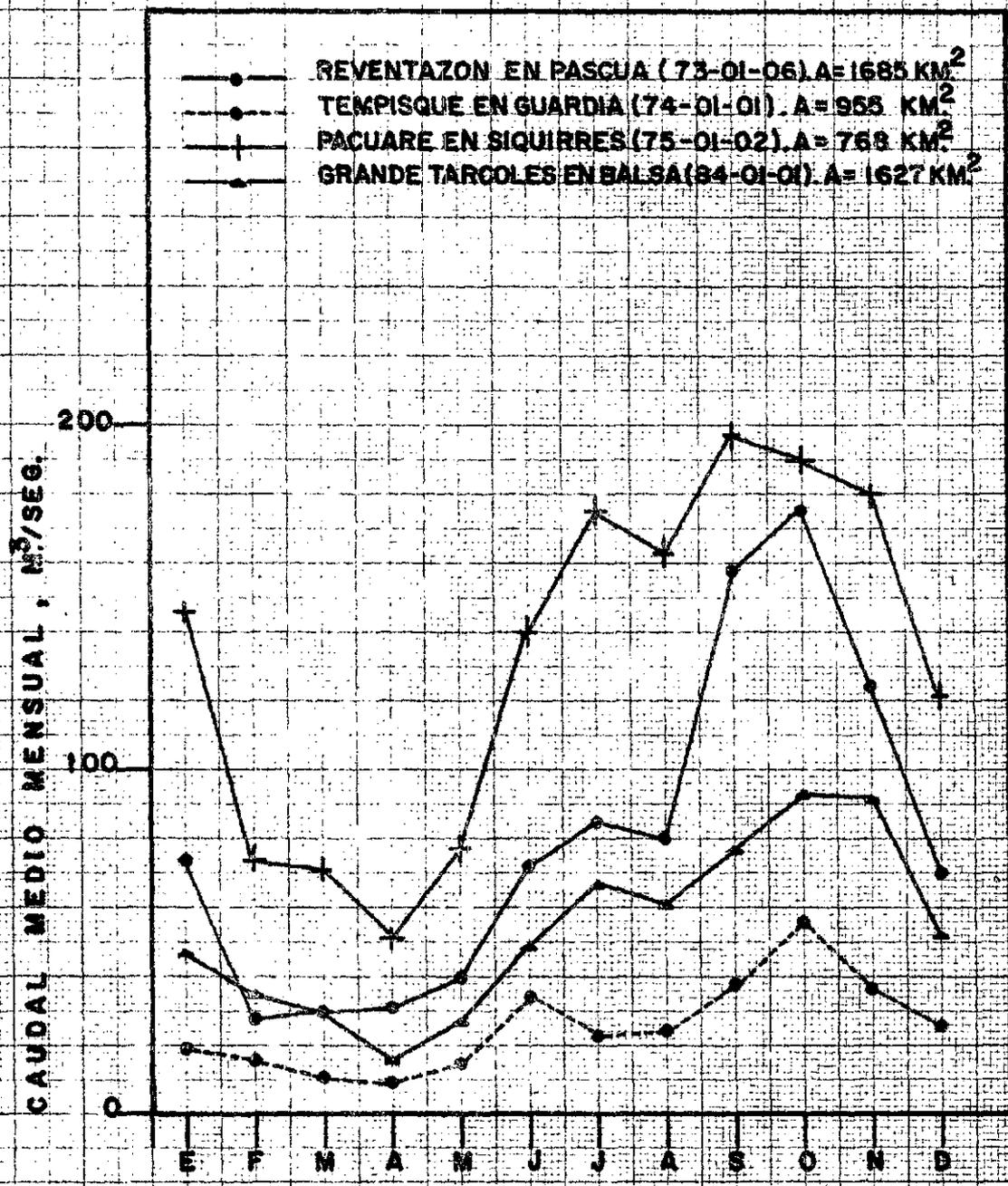
16. $\frac{1}{16} \times \frac{1}{16} = \frac{1}{256}$

17. $\frac{1}{17} \times \frac{1}{17} = \frac{1}{289}$

18. $\frac{1}{18} \times \frac{1}{18} = \frac{1}{324}$

19. $\frac{1}{19} \times \frac{1}{19} = \frac{1}{361}$

20. $\frac{1}{20} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{400}$

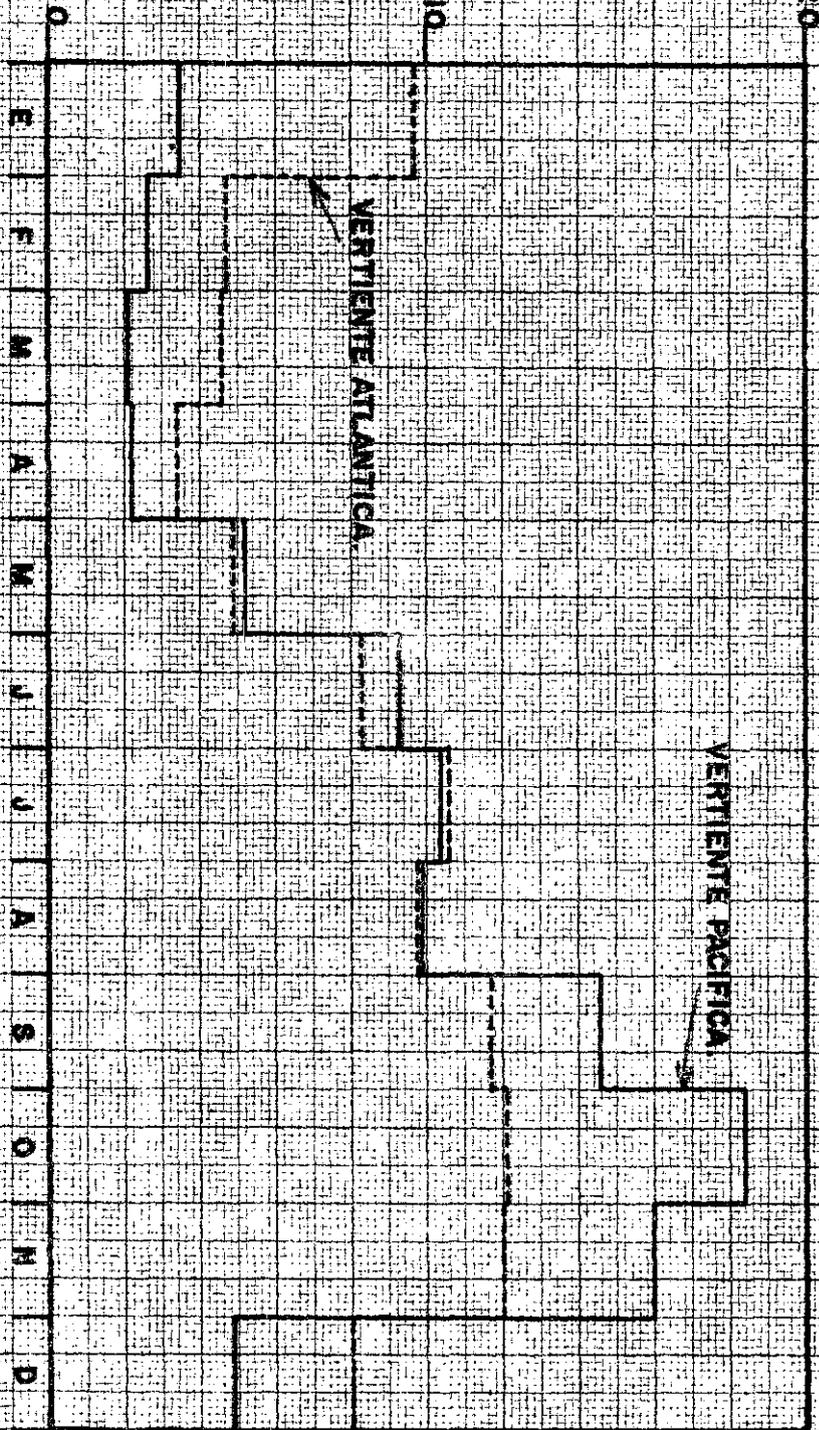


C O S T A R I C A
VARIACION DEL CAUDAL MEDIO
MENSUAL DE RIOS SELECTOS.

GRAFICO I



PORCENTAJE DE CAUDAL
TOTAL



C O S T A R I C A
DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL
CAUDAL MEDIO MENSUAL DE RIOS
SELECTOS.

GRAFICO 2

BIBLIOGRAFIA

1. Hoffmann, G. "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. Henry, W.K., "An excessive Rainfall in Panama, October 1954" Water Resources Research, Vol. 2, No. 4, 1966.
4. Lessmann, H. "Sistemas de Escala Media de Lluvia en El Salvador", Publicación Técnica No. 8, 1967.
5. Servicio Meteorológico Nacional, Anuarios Meteorológicos.
6. Texas A & M University, Department of Oceanography and Meteorology, Report No. 7, Henry, W.K., Griffiths, J.F., Cobb, G. "Research on Tropical Rainfall Patterns and Associated Meso-scale Systems", January 1965.
7. Crutcher, H.L. "Precipitation Distributions" ESSA.
8. ICE Boletines Hidrológicos Nos. 1, 2, 3, 4, 5.
9. Hydroconsult Ltda. "Informe Hidrológico para el Diseño de los Puentes de la Carretera a Limón sobre los ríos Pacuare y Barbilla", Julio 1966.
10. Hydroconsult Ltda. "Informe Hidrológico para el Diseño del Puente de la Carretera a Limón sobre el río Chirripó", agosto 1966.
11. Tirado Sulsona P., Muñoz M.A. "Datos Generales. Introducción a los Inventarios e Inventario de los Recursos Naturales de la Península de Nicoya", AID 1965.
12. Ahlgren L., Basso E. and Jovel R. "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.
13. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. Publicación No. 23 "Rol de Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas en el Istmo Centroamericano". Naciones Unidas.
14. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. Publicación No. 9 "Programa Preliminar de Instalaciones Hidrométricas y Meteorológicas en Costa Rica", agosto 1967.



Apéndice

DISPONIBILIDADES DE AGUA SUBTERRANEA EN COSTA RICA

INDICE

	<u>Página</u>
Resumen	67
I. Estado actual de la investigación de aguas subterráneas	70
1. Proyecto Aguas Subterráneas en Costa Rica	70
2. Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados	71
3. Ministerio de Agricultura y Ganadería	71
4. Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública	71
5. Universidad de Costa Rica	71
6. Servicio Nacional de Electricidad	71
7. Conclusiones	72
II. Hidrogeología	73
1. Introducción	73
2. Ocurrencia del agua subterránea	73
3. Rendimientos obtenibles en los pozos	78
4. Posibilidades de intrusión salina	78
III. Estimación preliminar de los recursos hídricos del subsuelo	80
1. Introducción	80
2. Evaluación de la ecuación hidrológica subterránea	81
3. Estimación del rendimiento seguro	85
Bibliografía	89

RESUMEN

En este informe, parte del estudio sobre evaluación de los recursos hídricos del Istmo Centroamericano encomendado a la CEPAL, se examina el estado actual de la investigación sobre aguas subterráneas en Costa Rica; se hace una breve descripción de la hidrogeología del país, dirigida especialmente a la identificación de áreas susceptibles de proporcionar aprovechamientos en gran escala; y se hace por último, una estimación de la cantidad de agua subterránea disponible en el país. (Véase la lámina 2 del informe general).

Con base en estudios hidrogeológicos cuantitativos llevados a cabo en cuencas o áreas específicas, y en los mapas geológicos, han podido identificarse áreas de recarga, almacenamiento y descarga del agua subterránea en todo el país, comprobándose que las principales de recarga están constituidas por materiales volcánicos del Cuaternario ubicadas en las cordilleras de Guanacaste y Central. Los depósitos principales de agua subterránea, que también reciben altas tasas de recarga procedentes de la precipitación, están constituidos por: a) formaciones aluvionales recientes que ocurren en las planicies costeras; b) formaciones Plio-Pleistocénicas de carácter andesítico que se encuentran rodeando la Cordillera Central, incluyendo la Meseta Central; c) depósitos de materiales piroclástico Plio-Pleistocénicos de origen riolítico, existentes en las provincias de Guanacaste y Alajuela, incluyendo las tobas de la cuenca del río Tempisque; d) formaciones Pleistocénicas sin diferenciar, en el norte del país, en las cuencas de los ríos San Juan y Tortuguero; y e) terrazas aluvionales de la cuenca del río Grande de Térraba. Áreas de descarga natural del agua subterránea fueron identificadas en las planicies costeras donde ocurren notables deflujos subterráneos hacia el mar, y en numerosas áreas aisladas donde la tabla freática se encuentra a reducida profundidad y se produce evapotranspiración directa del agua subterránea.

Una generalización de los valores de permeabilidad de algunas de las unidades hidrogeológicas antes descritas sería la siguiente: a) materiales volcánicos del Cuaternario, 24 a 122 litros, por día, por metro cuadrado

(1 000-5 000 GPD/pie²); b) materiales aluvionales recientes, 7 a 20 litros, por día, por metro cuadrado (300-800 GPD/pie²); c) materiales Pleistocénicos de carácter andesítico, 2.4 a 10 litros, por día, por metro cuadrado (100-400 GPD/pie²); y d) materiales Plio-Pleistocénicos de carácter riolítico, 2.4 a 8.6 litros, por día, por metro cuadrado (100-350 GPD/pie²). Se considera que las formaciones del Terciario, Cretácico y Pre-Cretácico existentes en el país, son inadecuadas para almacenar caudales de agua que garanticen aprovechamientos en gran escala.

Con respecto a los caudales de pozos individuales de adecuado diseño y construcción, que penetren efectivamente al menos 30 metros en las formaciones saturadas, se estima que en los materiales del Cuaternario volcánico podrían obtenerse entre 60 y 160 litros por segundo; en los depósitos aluvionales recientes, entre 25 y 60 litros por segundo; y en los materiales andesíticos y riolíticos del Plio-Pleistoceno entre 6 y 30 litros por segundo. También cabe la posibilidad de que, ante una extracción en gran escala, se produjera una intrusión de agua de mar en aquellos acuíferos costeros donde, por estar conectados con el océano, la pendiente y la elevación de la tabla freática fueran reducidas.

Se efectuó una estimación preliminar de la disponibilidad de aguas subterráneas llevando a cabo una evaluación de la ecuación de balance hidrológico subterráneo para todo el país. A base de los resultados obtenidos en estudios detallados realizados en áreas específicas del país y en áreas hidrogeológicamente similares de países vecinos, teniendo en cuenta las características geológicas de las formaciones, y asignando valores conservadores a las tasas de infiltración de cada una de las unidades hidrogeológicas identificadas; después de relacionar estos valores con las extensiones de cada unidad hidrogeológica, se determinó una infiltración total de 23 173 millones de metros cúbicos, equivalentes al 17 por ciento de la precipitación total caída en el país. Las extensiones de tabla freática somera fueron también determinadas, y por procedimientos convencionales, se calculó que unos 1 920 millones de metros cúbicos anuales se pierden directamente de los depósitos de agua subterránea por evaporación y por transpiración de vegetación freatófita. El deflujo subterráneo hacia el

/mar se calculó

mar se calculó, por las características físicas e hidráulicas aproximadas de los depósitos costeros, en unos 4 320 millones de metros cúbicos. Como las extracciones efectivas y los cambios netos en el almacenamiento de los depósitos se consideran de insignificante magnitud, se estimó en unos 16 958 millones de metros cúbicos el caudal base de los ríos, como diferencia entre aflujos y deflujos en la ecuación hidrológica subterránea.

Para ilustrar el orden de magnitud del rendimiento seguro de los acuíferos del país, se efectuó después una estimación de los ítems recuperables dentro de la ecuación de balance hidrológico de los depósitos, considerándose que un 30 por ciento de la evapotranspiración directa de los mismos, equivalentes a 577 millones de metros cúbicos, podría recuperarse como resultado de la subsidencia general del nivel freático ante las extracciones en gran escala que se anticipan. Dando por supuesto el aprovechamiento de sistemas eficientes de pozos, a lo largo de las cabeceras de los depósitos aluvionales costeros, que operarían durante la estación seca, se llegó a la conclusión de que podrían recuperarse unos 100 millones de metros cúbicos del actual deflujo subterráneo hacia el océano. En lo referente a caudal base, se estimó que podría recuperarse entre un 50 y un 60 por ciento por medio de sistemas de aprovechamiento que interceptaran el flujo del agua antes de que llegase a los ríos, en combinación con algún sistema de captación de manantiales y ríos menores. El rendimiento seguro, equivalente a la suma de los ítems recuperables antes descritos, se estimó en definitiva en unos 10 365 millones de metros cúbicos por año, que equivalen a un caudal constante de 327 metros cúbicos por segundo aproximadamente.

Las cuencas de mayor potencial de aguas subterráneas, de acuerdo con las estimaciones efectuadas, son las siguientes:

Cuenca	Ríos	Rendimiento seguro estimado	
		Millones de m ³	m ³ /Seg.
69	San Juan	4 735	150
98	Grande de Terraba	1 190	38
100	Golfo Dulce	975	31
84	Grande de Tárcoles	925	29
74	Tempisque	855	27

I. ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

Una oficina centralizada se encarga de la recolección de información hidrogeológica de todo el país en Costa Rica; las actividades se concentran actualmente, sin embargo, en estudios detallados de la Meseta Central y de la Provincia de Guanacaste; numerosos profesionales especializados en la materia prestan en ella sus servicios. No existe una ley general de aguas por la que se rijan los aprovechamientos del agua subterránea.

Los siguientes organismos realizan, o han realizado en el pasado, trabajos relacionados con la investigación y aprovechamiento del agua subterránea:

1. Proyecto Aguas Subterráneas en Costa Rica

El proyecto, financiado conjuntamente por el Fondo Especial de las Naciones Unidas y el Gobierno de Costa Rica, tiene por objeto realizar estudios hidrogeológicos detallados en tres áreas seleccionadas: la Meseta Central, la zona del noroeste de Guanacaste, y el Valle del General. Los estudios en las dos primeras zonas, han avanzado a ritmo acelerado y con buen éxito; la tercera zona no ha sido investigada aún, y el gobierno parece interesado en que se sustituya por el área de Puerto Limón, donde se tropieza en la actualidad con agudos problemas para el abastecimiento de agua potable.

Los organismos de contraparte son el Ministerio de Agricultura y Ganadería, por el interés que tienen en los usos agropecuarios, y el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados, por el agua potable. La oficina creada para el proyecto dispone de un número suficiente de profesionales y subprofesionales especializados.

Se ha constituido en el centro recolector de toda la información sobre aguas subterráneas de que se dispone y se están iniciando las gestiones para que siga en funcionamiento al finalizar la ayuda de las Naciones Unidas.

Los estudios geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, geofísicos y geoquímicos, realizados hasta la fecha en forma conjunta por los profesionales nacionales y los asesores internacionales, pueden considerarse excelentes y de notable sentido práctico.

2. Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados

Antes de iniciarse el Proyecto del Fondo Especial, el SNAA realizaba numerosas perforaciones para atender, en parte, las necesidades de agua potable. Los pozos eran siempre objeto de ensayos de bombeo para determinar las características hidráulicas y el rendimiento recomendable de su producción.

La maquinaria de perforación, la información sobre los pozos y el personal encargado de los trabajos fueron trasladados a la oficina del Proyecto del Fondo Especial en 1967.

3. Ministerio de Agricultura y Ganadería

El Ministerio a través de su Departamento de Ingeniería Agrícola y en colaboración con el Consejo Nacional de Producción, llevó a cabo también un programa de perforación de pozos en la costa del Pacífico antes de la iniciación del Proyecto del Fondo Especial. La información obtenida y el personal fueron asimismo trasladados a la oficina del Proyecto.

4. Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública

Fue el organismo que inició años atrás los programas de perforación de pozos para agua potable. La información obtenida y parte del personal especializado se trasladó al SNAA y de ahí a la oficina del Proyecto del Fondo Especial.

5. Universidad de Costa Rica

En la facultad de Agronomía se cursa la especialidad de geología, pero poca atención se dedica a la hidrogeología.

Recientemente se ha creado la Escuela Regional de Geología, entre cuyos cursos se pretende incluir la especialidad de hidrogeología y materias afines.

6. Servicio Nacional de Electricidad

Es el organismo gubernamental encargado de la administración de las aguas y el encargado por ley, de otorgar las concesiones y permisos para la perforación y explotación de pozos para agua.

7. Conclusiones

7. Conclusiones

Convendría que el Gobierno de Costa Rica asegurase la permanencia de la oficina creada en conexión con el Proyecto del Fondo Especial, asignándole los fondos necesarios para llevar a cabo el inventario de los recursos de agua subterránea en todo el país, y realizar los estudios relativos al aprovechamiento y manejo de estos recursos en áreas específicas.

Particular importancia convendría señalar a especializar personal profesional y subprofesional adicional, que facilite el cometido de la nueva oficina. Al respecto, podría recurrirse a becas que otorgase el Proyecto del Fondo Especial, complementándoles con fondos de otras procedencias.

También sería conveniente elaborar y promulgar una ley de aguas donde se contemplen las provisiones necesarias para la investigación, el aprovechamiento y la administración de los recursos de agua subterránea.

II. HIDROGEOLOGIA

1. Introducción

A continuación figura una descripción cualitativa de la hidrogeología de Costa Rica, haciéndose especial referencia a la delimitación de áreas específicas cuyas características permitan proporcionar aprovechamientos en gran escala para usos variados, y a la delimitación de las zonas que carecen evidentemente de un potencial suficiente, aunque de las mismas pueden obtenerse caudales o rendimientos limitados para necesidades domésticas o similares.

Para los propósitos de este estudio de carácter general, se han empleado como base el mapa geológico generalizado del país publicado por la AID (1)* y varios mapas geológicos a escalas diferentes que han sido levantados por profesionales de organismos nacionales e internacionales con motivo de diversos estudios realizados en áreas específicas (2,3,4,5).

La información geológica mencionada, complementada con datos puntuales y regionales sobre características físicas e hidráulicas 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 (6,7,8), han permitido la identificación, tanto de formaciones geológicas que no ofrecen posibilidades de aprovechamiento en gran escala, como de las que constituyen áreas de recarga, descarga y almacenamiento de agua subterránea. La clasificación mencionada se muestra gráficamente en la lámina 2 del informe general, y la descripción de cada unidad se presenta en los párrafos subsiguientes.

2. Ocurrencia del agua subterránea

a) Áreas principales de recarga

Bajo esta unidad se han agrupado todas las formaciones pertenecientes al Cuaternario volcánico (Qv), situadas en la cadena montañosa que se caracterizan por poseer altas tasas de infiltración y cobertura vegetal perenne.

* Los números entre paréntesis indican las referencias anotadas al final del informe.

Estas formaciones están constituidas generalmente por lavas andesíticas y basálticas, cubiertas algunas veces, por estratos de ceniza volcánica.

Estudios realizados recientemente en cuencas de la Meseta Central (6,7,9) indican que estas formaciones pueden absorber hasta un 60 por ciento de la lámina anual precipitada.

Existen otras formaciones que admiten recarga en altas proporciones, pero son eminentemente de almacenamiento, por lo que han sido incluidas en la siguiente unidad.

b) Depósitos de agua subterránea

Los depósitos de agua subterránea están constituidos principalmente por formaciones aluvionales recientes (Qal) compuestas de materiales no consolidados depositados en las costas, y por las formaciones Plio-Pleistocénicas de carácter andesítico (Qpa) que ocurren generalmente en la Meseta Central y al norte de la Cordillera Central.

Depósitos adicionales importantes están constituidos por materiales piroclásticos Plio-Pleistocénicos de origen riolítico (Qpr) existentes en las provincias de Guanacaste y Alajuela, que incluyen las tobas de la cuenca del Tempisque (cuenca 74); también lo son las formaciones Pleistocénicas (Qp) ubicadas en el norte del país, y las terrazas aluvionales (Qta) de la cuenca del Río Grande de Térraba, (cuenca 98).

En todas las formaciones mencionadas se produce recarga local proveniente de la precipitación; pero por su posición son en realidad almacenadoras del agua infiltrada.

El agua subterránea se encuentra generalmente en condiciones de acuífero libre, el nivel superior de cuyo manto se encuentra a una presión igual a la atmosférica. En estos depósitos, compuestos generalmente por más de un horizonte saturado, el agua bombeada se extrae mediante un lento proceso de drenaje gravitacional, razón por la cual es menester emplear procedimientos especiales de análisis para obtener resultados fidedignos de los datos obtenidos en ensayos de bombeo.

En las planicies costeras el agua subterránea se mueve en dirección al mar, existiendo en la actualidad un equilibrio dinámico natural entre

/el agua

el agua subterránea dulce y la cuña de agua salada que permanece generalmente estática. La presencia de ríos, manantiales y lagunas en las planicies, modifican localmente la dirección de movimiento del agua, sin que ello implique cambios notables en la tendencia general mencionada.

En los depósitos del interior del país, el agua subterránea originada principalmente en las áreas de recarga, sigue una trayectoria en la que influyen principalmente el drenaje superficial y la geología local. En el caso de la ciudad de San José, es posible que la trayectoria normal del agua subterránea resulte afectada por las extracciones que se efectúan de los pozos, sin que el hecho cambie el macrosistema de circulación del agua en la Meseta Central (cuenca 84).

El volumen total almacenado en los depósitos es aún desconocido, porque los pozos no penetran más de 50 metros del espesor saturado. Algunos pozos exploratorios han penetrado más de 180 metros, sin haber alcanzado el basamento hidrogeológico de la Meseta Central (10), de lo cual puede deducirse la existencia de vastos volúmenes almacenados; las extracciones máximas factibles dependerán, en cualquier caso, de la tasa anual de recarga y no del volumen almacenado.

c) Áreas de descarga natural

Las áreas principales de descarga directa del agua subterránea en el país están en la costa, donde los acuíferos están conectados directamente con el océano y ocurre una descarga libre del agua dulce. El espesor a través del que ocurren estos deflujos puede oscilar entre 150 y 450 metros, de acuerdo con secciones transversales preparadas en base al mapa geológico (1) y en el mapa topográfico-batimétrico publicado por Dengo (11).

Existen también numerosas áreas donde la tabla freática se encuentra a escasa profundidad de la superficie del suelo; y dan lugar a notables pérdidas por evaporación directa y por transpiración de vegetación freatófita.

Especial mención merecen los incrementos sustanciales de caudal en los cañones del río Virilla (10), donde en tramos de no más de 5 kilómetros

/ocurren

ocurren ganancias de hasta 4 000 litros por segundo durante el estiaje. Parece razonable pensar que descargas similares pueden ocurrir en otros ríos alimentados por las mismas formaciones. También debe mencionarse el caudal de las fuentes de Fuentes de Mula y Ojo de Agua con caudales combinados que pasan de 1 500 litros por segundo y están siendo aprovechados para el abastecimiento de agua potable.

Extracciones artificiales de cierta magnitud ocurren en el área metropolitana de San José y en algunas zonas bananeras. Pero el aprovechamiento de agua subterránea mediante pozos es en realidad mínimo en Costa Rica.

d) Profundidad y pendiente de la tabla freática

Aunque sólo existen mapas de curvas isobáticas e isofreáticas sobre áreas específicas de limitada extensión (10), proporcionan datos que indican el orden de magnitud de la profundidad y el gradiente de la tabla freática.

En las formaciones aluvionales recientes el agua se encuentra generalmente a menos de 30 metros de profundidad y el gradiente hidráulico oscila generalmente entre el uno y el tres por mil. En los materiales volcánicos del Cuaternario, la profundidad mínima del agua es de 45 metros y la tabla freática puede poseer gradientes que oscilen entre 0.5 y 2 por ciento. Las profundidades y gradientes del resto de los materiales se encuentran entre las cifras antes citadas.

e) Características hidráulicas de las formaciones

Sólo se dispone en la actualidad de datos muy limitados sobre las características hidráulicas de las formaciones saturadas de Costa Rica; corresponden generalmente a las formaciones existentes en el Valle Central, y han sido obtenidos por Moya y Suárez (10) y Tagliacozzo (12) con motivo del Proyecto de Aguas Subterráneas de Costa Rica.

En el caso de las lavas que constituyen el acuífero profundo que desagua en los manantiales de Fuente de Mulas, los resultados de los ensayos de bombeo indican que la transmisibilidad oscila entre 75 000 y

(6 000 y 97 000 LPD/m), (1 200 000 GPD/pie) con un valor promedio estimado en (16 200 LPD/m), (200 000 GPD/pie). Aunque no se conoce con precisión el espesor del estrato investigado, puede inferirse que la permeabilidad oscila entre (24 y 122 LPD/m²), (1 000 y 5 000 GPD/pie²). El coeficiente de almacenamiento, después de permitir un drenaje gravitacional total de los intersticios, oscila entre 5 y 40 por ciento, pero estos valores sólo son aplicables a la porción mínima del acuífero que ha podido desecarse (10).

En el sistema de pozos de Zapote (al sureste de San José) se han determinado transmisibilidades que oscilan entre (32 y 1 620 LPD/m), (4 000 y 20 000 GPD/pie), con un valor medio estimado de (650 LPD/m (10), (8 000 GPD/pie).

En las formaciones sedimentarias de la península de Nicoya, se ha podido determinar que la permeabilidad oscila entre (0.2 y 0.6 LPD/m²), (10 y 25 GPD/pie²), como resultado del análisis de datos de varios ensayos de bombeo (12).

Con base en los resultados obtenidos en áreas hidrogeológicamente similares de países vecinos (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19) y tomando en cuenta los datos anteriores, pueden adoptarse los siguientes valores de permeabilidad.

	LPD/m ²	GPD/pie ²
Cuaternario volcánico (Qv)	24 - 122	1 000 - 5 000
Aluviones recientes (Qal)	7 - 20	300 - 800
Piroclástico andesítico (Qpa)	2.4 - 9.8	100 - 400
Piroclásticos riolíticos (Qpr)	2.4 - 8.6	100 - 350
Cretácico (K)	0.2 - 0.6	10 - 25

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

En este grupo o unidad se han incluido todas las formaciones que impiden tanto la infiltración como el almacenamiento y flujo del agua subterránea. Se han incluido, además, otras formaciones que aunque pueden absorber y almacenar agua no pueden transmitirla para aprovechamientos en gran escala, aunque pueden proporcionar volúmenes menores para necesidades de magnitud limitada.

/Las formaciones

Las formaciones Terciarias aquí incluidas están generalmente compuestas de areniscas, lutitas, granodioritas y calizas; gabro, peridotita y calizas caracterizan las formaciones Cretácicas y Pre-Cretácicas.

En términos generales puede decirse que estas formaciones se encuentran en la península de Nicoya (cuenca 72) y en toda la parte suroriental del país, incluyendo gran parte de las cuencas 86 a 100 en la vertiente del Pacífico y 73 a 89 en la vertiente del Atlántico.

3. Rendimientos obtenibles en los pozos

Teniendo en cuenta las características hidráulicas de las formaciones señaladas y dando por supuesta una penetración mínima efectiva de 30 metros en el acuífero, se han efectuado estimaciones por un procedimiento descrito recientemente,⁽²⁰⁾ sobre los caudales obtenibles en pozos individuales que posean al menos un 60 por ciento de eficiencia de trabajo, operando continua o intermitentemente a lo largo del año.

Así puede estimarse que en los materiales del cuaternario volcánico (Qv) es factible obtener caudales de entre (63 y 158 LPS), (1 000 y más de 2 500 galones por minuto) en pozos de diseño y construcción adecuados. De los materiales aluvionales recientes (Qal) pueden esperarse rendimientos que oscilan entre (25 y 63 LPS), (400 y 1 100 GPM). En los depósitos de piroclásticos del Plio-Pleistoceno (Qpa, Qpr), pueden obtenerse de los pozos entre (6 y 31 LPS), (100 y 500 GPM).

Los caudales mencionados sólo son indicativos del rango de los rendimientos obtenibles en pozos que: a) penetren efectivamente por lo menos 30 metros en la formación saturada; b) operen con una eficiencia mínima del 60 por ciento; c) no sean abatidos en más de un 60 por ciento del total disponible; y d) se diseñen y construyan siguiendo técnicas y normas adecuadas.

4. Posibilidades de intrusión salina

Existen en Costa Rica posibilidades de intrusión salina a lo largo de las costas donde predominan sedimentos aluvionales, la tabla freática ocurre bajo un reducido gradiente hidráulico (menos del 0.5 por ciento) y existe,

/en la actualidad

en la actualidad, un equilibrio natural dinámico entre el agua subterránea dulce que descarga en el océano y la cuña de agua salada que se mantiene en posición inalterable. Cualquier extracción que induzca un descenso en el nivel freático por debajo del nivel del mar, podría provocar la intrusión de agua salada. Deberá planificarse cuidadosamente, por lo tanto, el aprovechamiento de los acuíferos costeros.

III. ESTIMACION PRELIMINAR 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, sólo debe considerarse indicativa del orden de magnitud de su verdadero valor, puesto que la limitada información disponible impide señalar datos precisos.

La estimación se ha basado en los 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 y que se anotan en la lámina 2 del informe general.

En la evaluación de la disponibilidad de aguas del subsuelo, se recuerda que los depósitos subterráneos deben aprovecharse a una tasa de extracción no fijada por el volumen almacenado sino por la tasa de renovación o recarga del depósito. Es decir, el abastecimiento perenne de agua subterránea sólo puede asegurarse cuidándose de no exceder con la extracción la capacidad de recarga del recurso.

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

/2. Evaluación

2. Evaluación de la ecuación hidrológica subterránea

a) Generalidades

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

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

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

Todos los ítems de dicha 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, tal como aparece a continuación.

b) Estimación de la infiltración

La evaluación de la infiltración que procede de la precipitación, 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 (6, 7, 9) y otros estudios efectuados en cuencas hidrogeológicamente similares de países vecinos (13, 14, 15, 22) se pueden asignar los siguientes valores conservadores de tasas de infiltración en función de la lluvia para las diversas unidades hidrogeológicas definidas anteriormente:

	<u>Por ciento</u>
Cuaternario volcánico (Qv)	60
Cuaternario, piroclástico andesítico (Qpa)	50
Cuaternario, piroclástico riolítico (Qpr)	15
Cuaternario pleistoceno (Qp)	25
Cuaternario, terrazas aluvionales (Qta)	50
Aluvión reciente (Qal)	45
Terciario, Cretácico, y Precretácico	2

En el cuadro 1 adjunto se anota la distribución espacial de cada unidad hidrogeológica para cada una de las cuencas consideradas en este 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, se obtiene una estimación burda de la infiltración anual por cuencas. Cabe señalar que en estos cálculos se ha asumido una distribución espacial uniforme de la precipitación para cada cuenca, que introduce un margen adicional de seguridad a los cálculos, porque a las áreas de más alta infiltración corresponde, generalmente, una lámina de precipitación mayor.

Como puede apreciarse en el cuadro 1, se estiman en 23 523 millones de metros cúbicos de agua los que se infiltran hacia los depósitos en un año de precipitación normal, volumen equivalente a una lámina promedio de 465 milímetros en todo el país, y que representa un 17 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 Costa Rica, han sido estimadas por Ahlgren et al (23); por el método de Blaney-Criddle (24) ha sido posible estimar que el volumen anual de evapotranspiración en estas áreas, atribuible a pérdidas de agua subterránea, equivale a 1 920 millones de metros cúbicos.

d) Deflujo subterráneo hacia el mar

El volumen que anualmente defluye subterráneamente hacia el océano a través de los depósitos aluvionales, Cuaternarios y Recientes, y a través

Quadro 1

COSTA RICA: ESTIMACION PRELIMINAR DE INFILTRACION TOTAL EN EL PAIS

Gran cuenca	Cuenca	Ríos	Area (km ²)	Precipitación (m ³ x 10 ⁶)	Porcentaje del Área total						Infiltración ponderada a/ (Porcentaje)	Infiltración total (m ³ x 10 ⁶)	
					Qv	Qpa	Qpr	Qp	Qta	Qal			KT
BB			<u>11 836</u>	<u>23 185</u>									
	72	P. de Nicoya	4 223	7 974	-	-	-	-	-	3	97	3.3	265
	74	Tempisque	3 413	6 270	16	-	30	-	-	39	25	30.1	1 880
	76,78	Bebedero											
		Earranca	4 200	8 941	6	-	10	-	-	9	75	10.7	958
	80,82	Jesús María y otros											
CC	84	Grande de Tárcoles	2 133	4 553	16	45	-	-	-	3	32	34.2	1 560
FF	86,88, 90,92, 94,96	Grande de Candalaria, Naranjo, Savegre y otros	4 228	10 831	-	-	-	-	-	7	93	5.1	550
GG	98	Grande de Térraba	4 871	16 343	-	-	-	-	20	2	78	12.5	2 040
HH	100	Coto y otros	4 112	16 584	-	-	-	-	6	22	72	14.3	2 370
		Vertiente Pacífico	<u>27 180</u>	<u>71 496</u>								13.5	9 623
AA ₂	69	San Juan	12 325	37 416	8	12	20	47	-	2	11	26.5	9 900
DD			<u>6 869</u>	<u>20 601</u>									
	71	Tortuguero	1 375	4 999	9	-	-	48	-	43	-	36.7	1 840
	73	Reventazón	3 003	8 564	7	5	-	11	-	7	70	13.8	1 180
	75	Pacuare	805	2 213	-	-	-	8	-	14	78	10.0	221
	77,79	Matina y otros	1 686	4 825	-	-	-	-	-	10	90	6.3	304
EE	81,83	Banano, Estrella	1 710	4 841	-	-	-	4	-	5	91	5.1	247
II ₁			<u>2 616</u>	<u>7 169</u>									
	87	Sixaola	2 364	6 476	-	-	-	-	-	4	96	3.0	194
	89	Changuinola	252	693	-	-	-	-	-	-	100	2.0	14
		Vertiente Atlántico	<u>23 520</u>	<u>70 027</u>								19.8	13 900
		Total país	<u>50 700</u>	<u>141 523</u>								<u>16.6</u>	<u>23 523</u>

a/ Ponderada con base en las siguientes tasas de infiltración: Cuaternario Volcánico, 60 por ciento; Pleistoceno andesítico, 50 por ciento; Pleistoceno rolítico, 15 por ciento; Pleistocénico indiferenciado, 25 por ciento; Terrazas aluvionales del cuaternario, 50 por ciento; Aluviones recientes, 45 por ciento; y materiales del terciario y cretácico, sin diferenciar, 2 por ciento.

de las formaciones Terciarias y Cretácicas de la costa, ha sido estimado en un total de 4 320 MMC. De ellos, 2 868 MMC son el producto del flujo del agua subterránea a través de los aluviones calculado con base en las características físicas e hidráulicas aproximadas de los acuíferos costeros; el resto es deflujo proveniente de la infiltración estimada para los materiales costeros del Terciario, Cretácico y Pre-cretácico.

e) Extracción anual efectiva y cambios netos en almacenamiento

Como la extracción anual total es aún de magnitud insignificante, el valor efectivo de la extracción y los cambios netos en almacenamiento se han desestimado para el balance general.

f) Descarga efluente de los depósitos hacia los ríos

Esta descarga es el rebalse de los depósitos actualmente llenos, en respuesta a la recarga anual, y constituye el caudal base de los ríos. Es un hecho conocido el de que, durante el estiaje, el caudal total de los ríos se deriva 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 dispuesto de la información y el tiempo requeridos para realizar estimaciones más aproximadas, con base en una separación analítica de los hidrogramas, por ejemplo. Así, se ha estimado que unos 17 308 millones de metros cúbicos constituyen el caudal base anual de los ríos, equivalente a un caudal medio de 550 metros cúbicos por segundo; estas cifras son congruentes en un 95 por ciento con los resultados de caudal obtenidos al estudiar curvas de duración de caudales, y con los resultados de estudios detallados (6, 7, 9) de cuencas específicas, al tener en cuenta las características geológicas promedio del país. El caudal base así estimado representa un 18 por ciento del caudal medio total del país.

3. Estimación del rendimiento seguro

a) Generalidades

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

El valor del rendimiento seguro puede cuantificarse al evaluar la siguiente ecuación: $R. S. = A (E_{tsb}) + B (CB) + C (D_{sb})$ en donde A, B y C son coeficientes que indican la porción recuperable de cada ítem de deflujo en la ecuación, cuyo valor se estima a continuación.

b) Evapotranspiración directa recuperable

La evapotranspiración directa del agua subterránea ocurre generalmente, en las zonas costeras y en otras depresiones naturales donde la profundidad hasta 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 subterráneos recuperables

La manera más efectiva de recuperar una buena fracción del presente deflujo subterráneo hacia los océanos sería implantar sistemas de aprovechamiento ubicados en las cabeceras de los depósitos aluvionales de las planicies costeras, puesto que el espesor total saturado en ellas es menor, la permeabilidad de los materiales y el gradiente hidráulico son altos, y las profundidades al agua son 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 --que se considera un límite económico para los usos agropecuarios--, se han efectuado estimaciones sobre el volumen recuperable del deflujo durante la época seca.

Parece factible recuperar unos 100 millones de metros cúbicos anuales, distribuidos por cuencas como se anota en el cuadro 2, que equivalen a un 3 por ciento del deflujo subterráneo actual que se pierde hacia el mar, aproximadamente.

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 sistema de pozos eficiente que induzca notables descensos en el nivel freático, y mediante la captación de nacimientos y otros cuerpos menores de agua, se estima posible recuperar entre un 40 y un 75 por ciento del caudal base de los ríos (25, 26).

La magnitud del volumen recuperable es una función directa de la eficiencia del sistema de aprovechamiento que se implante y de las características físicas e hidrogeológicas de cada cuenca considerada. Para dar una idea del caudal obtenible, se han asignado los siguientes valores conservadores del porcentaje del caudal base que podría aspirarse a recuperar:

a) Cuencas de los ríos Tempisque (74), Bebedero (76), Barranca (80), Jesús María (82), Grande de Candelaria (88), Naranjo (92), Savegre (94), y otros (78, 84, 86, 96), cuenca del Golfo Dulce (100), Sixaola (87), Matina y otros (77 y 79) y Pacuare (75). Se calcula como un 50 por ciento del caudal base estimado, menos la fracción recuperable del deflujo subterráneo al océano, en vista de la posibilidad de intrusión de agua salada.

b) Cuencas de los ríos Grande de Tárcoles (84), Grande de Térraba (98), Reventazón (73), Tortuguero (71) y San Juan (69). Se calcula como un 60 por ciento del caudal base total, menos la fracción recuperable del deflujo subterráneo al océano, en vista de que en general, se trata de efectuar aprovechamientos en cuencas semicerradas con características hidráulicas más favorables.

e) Sumario de ítems recuperables: rendimiento seguro

Como se señaló con anterioridad, el rendimiento seguro equivale a la suma de las porciones recuperables de los ítems de deflujo en la ecuación hidrológica subterránea.

Parece factible recuperar en definitiva, unos 10 540 millones de metros cúbicos por año, que representan un 47 por ciento del volúmen total de infiltración, y equivalen a un caudal promedio aproximado de 335 metros cúbicos por segundo (11 por ciento del caudal medio total del país). (Véase el cuadro 2.)

A continuación se anotan en orden de magnitud decreciente del rendimiento seguro estimado, las cuencas de más alto potencial en Costa Rica:

Cuenca	Río	Rendimiento seguro estimado	
		Millones de m ³	m ³ /Seg.
69	San Juan	4 735	150
98	Grande de Térraba	1 190	31
100	Golfo Dulce	975	31
84	Grande de Tárcoles	925	29
74	Tempisque	855	27

Debe señalarse el hecho de que el alto potencial de estas cuencas no está distribuido en forma espacial uniforme y que será menester realizar estudios detallados para determinar la ubicación y características de los depósitos existentes. Cabe también señalar el hecho de que el alto potencial de la cuenca 98 del río Grande de Térraba --hasta ahora desconocido-- aconseja la inmediata realización de estudios detallados.

Cuadro 2

COSTA RICA: ESTIMACION DE LOS RECURSOS RENOVABLES DE AGUA SUBTERRANEA

(Millones de metros cúbicos)

Gran cuenca	Cuenca	Río	Infiltración total	Deflujo al océano		Evapotranspiración directa		Caudal base		Rendimiento seguro e/
				Total	Recuperable a/	Total	Recuperable b/	Total	Recuperable	
BB	72	P. Nicoya	265	140	-	125	38	-	-	40
	74	Tenpisque	1 880	91	7	205	62	1 584	785 c/	855
	76 a 82		958	316	14	205	61	437	206 c/	280
CC	84	G. Tárcoles	1 560	9	2	-	-	1 551	922 d/	925
FF	86 a 96		550	296	14	-	-	254	113 c/	130
GG	98	G. Térraba	2 040	23	3	68	20	1 949	1 166 d/	1 190
HH	100	Golfo Dulce	2 370	248	18	432	130	1 690	827 c/	975
	<u>Pacífico subtotal</u>		<u>9 623</u>	<u>1 123</u>	<u>58</u>	<u>1 035</u>	<u>311</u>	<u>7 465</u>	<u>3 419</u>	<u>4 395</u>
II ₁	91	Changuinola	14	14	-	-	-	-	-	-
	87	Sixaola	194	146	-	-	-	48	24 c/	25
EE	81 a 85		247	247	-	-	-	-	-	-
DD	77,79		304	68	5	68	20	168	79 c/	105
	75	Pacuare	221	45	3	68	21	108	51 c/	75
	73	Reventazón	1 180	102	5	226	68	852	506 d/	580
	71	Tortuguero	1 840	540	15	523	157	777	451 d/	625
AA ₂	69	San Juan	9 900	2 010	14	-	-	7 890	4 720 d/	4 735
	<u>Atlántico subtotal</u>		<u>13 900</u>	<u>3 172</u>	<u>42</u>	<u>885</u>	<u>256</u>	<u>9 843</u>	<u>5 831</u>	<u>6 145</u>
	<u>Total país</u>		<u>23 523</u>	<u>4 320</u>	<u>100</u>	<u>1 920</u>	<u>577</u>	<u>17 308</u>	<u>9 250</u>	<u>10 540</u>

a/ Calculado en base a características físicas e hidráulicas de las formaciones; b/ Calculado como un 30 por ciento del total; c/ Calculado como un 50 por ciento del caudal base, menos el deflujo recuperable; d/ Calculado como un 60 por ciento del caudal base, menos el deflujo recuperable; e/ Equivalente a la suma de ítems recuperables, valor redondeado

BIBLIOGRAFIA

1. AID Resources Inventory Center, 1965. Análisis regional de recursos físicos; Costa Rica. US Corps of Engineers. Washington, D. C.
2. Bohnemberger, Otto, 1968. A photogeological study of the Western Central Valley. Costa Rica.
3. Bohnemberger, Otto, 1968. A photogeological reconnaissance in Guanacaste, Costa Rica. Proyecto Aguas Subterráneas de Costa Rica. San José, Costa Rica.
4. Dengo Gabriel, 1962. Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. Instituto Geográfico de Costa Rica. San José.
5. Fernández, Mario, 1968. Mapa geológico generalizado, Cuenca del Virilla. (Incluido en Ahlgren et al, 1968).
6. Ahlgren, L., Fernandez M. y Jovel R., 1968. Estudio hidrológico de la cuenca del Río Virilla, Costa Rica. Informe conjunto: Proyecto Aguas Subterráneas de Costa Rica y Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. San José, Costa Rica.
7. Ahlgren L. y Jovel R., 1969. Evaluation of the Water Balance for an Inland Costa Rican River Basin. Informe inédito.
8. López Casas, Jaime, 1969. Comunicación verbal sobre resultados de estudios hidrogeológicos en proceso. Proyecto de Aguas Subterráneas en Costa Rica. San José, Costa Rica.
9. Jovel, Roberto, 1969. Estudio hidrológico de tres cuencas seleccionadas en Costa Rica. Publicación No. 50 (en preparación). Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. San José, Costa Rica.
10. Moya, R. y Suárez A., 1969. Comunicación verbal sobre resultados de estudios geohidrológicos en proceso. Proyecto de Aguas Subterráneas en Costa Rica. San José, Costa Rica.
11. Dengo Gabriel, 1969. Estructura geológica, historia tectónica y morfología de América Central. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID). México, D. F.
12. Tagliacozzo, Angelo, 1967-68. Comunicación personal. Proyecto de Aguas Subterráneas en Costa Rica. San José, Costa Rica.
13. Wozab, David, et. al, 1964. Final report. Ground water exploratory project. Lower San Miguel River Basin. El Salvador. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.

/14. Jovel,

14. Jovel, R.; Martínez, H.; Martínez, M., 1967. Reconocimiento hidrogeológico de la Planicie Costera Central, El Salvador. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. San Salvador, El Salvador.
15. 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.
16. Solórzano Andrés, et. al, 1966. Estudio preliminar sobre posibilidades de desarrollo agrícola en los valles altos de Ahuachapán y Santa Anna. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje. San Salvador, El Salvador.
17. Soto, Fernando, 1966. Estudio preliminar sobre los recursos de aguas subterráneas del sureste de León, Nicaragua. Servicio Geológico Nacional. Managua, Nicaragua.
18. Soto, Fernando, 1968. Resultados del programa de perforación de pozos exploratorios y análisis de los ensayos de bombeo en Telica y León, Nicaragua. Servicio Geológico Nacional. Managua, Nicaragua.
19. Wiebe, Karl, 1969. Comunicación verbal sobre resultados de estudios hidrogeológicos en proceso. Oficina de Catastro y Recursos Naturales. Managua, Nicaragua.
20. Jovel, Roberto, 1967. Análisis de abatimientos en pozos operados en forma intermitente. Publicación No. 15. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. San José, Costa Rica.
21. Committee on Ground Water, 1961. Ground Water Basin Management. Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers. New York, N. Y.
22. Wozab, D., y Jovel, R. 1968. Hydrological analysis of volcanic terrane: Lower Basin of the San Miguel River. El Salvador, Informe Inédito.
23. Ahlgren L., Basso E., Jovel R., 1969. Preliminary evaluation of the water balance in the Central American Isthmus. Proceedings, symposium on the Water Balance of North America. American Water Resources Association. Banff, Canadá.
24. Blaney H. y Criddle W., 1966. Determining consumptive use for planning water developments. En: Methods for estimating evapotranspiration. Irrigation and drainage specialty conference, American Society of Civil Engineers. New York, N.Y.
25. Walton, William, 1965. Comunicación personal sobre rango usual del rendimiento seguro. Illinois State Water Survey, Urbana, Illinois.
26. Wang, Kit. 1962. Ground water development in Taiwan. Transactions. Regional seminar on the development of ground water resources. UNESCO/ECAFE, Bangkok, Thailand.