

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.3.0

12 de enero de 1961

ORIGINAL: ESPAÑOL

SECRETARÍA GENERAL

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961

LOS RECURSOS HIDROELECTRICOS EN AMERICA LATINA:
SU MEDICION Y APROVECHAMIENTO

Informe presentado por la
Comisión Económica para América Latina,
Programa de Energía y Recursos Hidráulicos

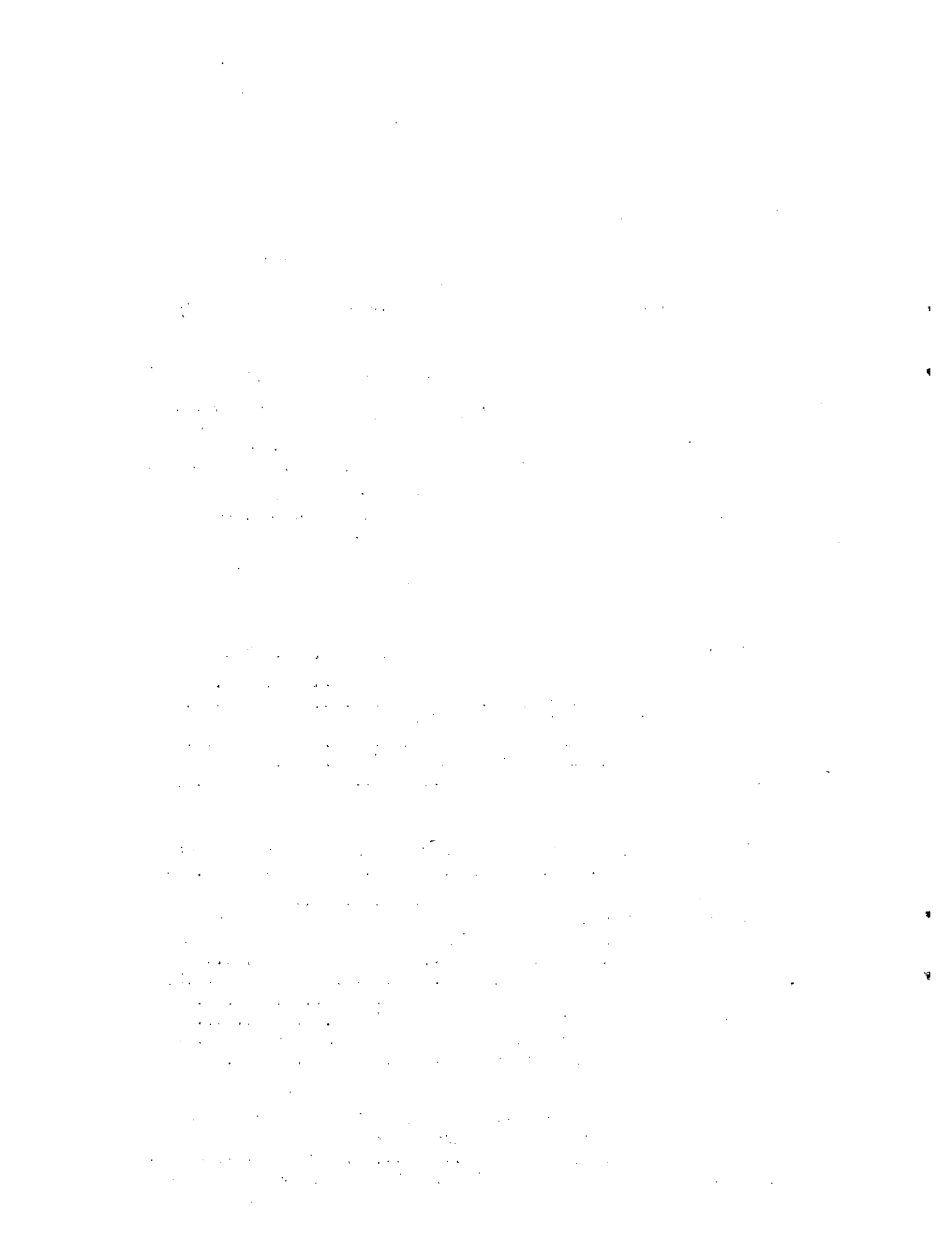
NOTA: Este texto es provisional y está sujeto a cambios de forma y de presentación.



I N D I C E

Páginas

PROLOGO	
INTRODUCCION	
Aporte de la energía hidráulica a la producción total de energía comercial y eléctrica en el mundo	
Capítulo I	
CONCEPTOS Y METODOS DE EVALUACION DEL RECURSO HIDROELECTRICO	
1. Consideraciones generales.....	
2. Definiciones de potenciales hidroeléctricos	
3. Dificultades de los métodos de evaluación	
4. Métodos de evaluación sugeridos	
a) Potencial bruto superficial de escurrimiento	
b) Potencial bruto lineal	
c) Potencial explotable o técnico	
5. Comparación entre potenciales a distinto nivel	
6. Irregularidad de caudales en los ríos	
Capítulo II	
POTENCIAL HIDROELECTRICO DE AMERICA LATINA	
1. Conceptos empleados y estimaciones actuales	
2. Distribución geográfica	
3. Irregularidad del caudal de los ríos por países	
4. Aprovechamiento actuales	
5. Características de los aprovechamientos	
6. Aprovechamiento previstos	
Capítulo III	
ANALISIS DE LOS MEDIOS DE INVESTIGACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS EN AMERICA LATINA	
1. Consideraciones generales	
2. Número de pluviómetros, fluviómetros y evaporímetros por países	
3. Número de pluviómetros y fluviómetros por cuencas y subcuencas seleccionadas	
4. Duración de los registros	
5. Coeficientes de cobertura	
6. Disponibilidad de mapas con curvas de nivel	
7. Organismos encargados de las mediciones hidrológicas	
8. Personal y grado de preparación	
ANEXO	
1. Evaluación del potencial bruto superficial de escurrimiento a base de datos pluviométricos registrados por una estación fluviométrica	
2. Representación gráfica del potencial bruto lineal	



PROLOGO

En el presente estudio se hace un examen preliminar sucinto de los recursos hidroeléctricos de América Latina, destacando el grado de conocimiento que se tiene sobre la materia, su magnitud aproximada y el papel que les corresponde en el abastecimiento energético de la región.

En la introducción, al analizar este último punto, se señala que la producción hidroeléctrica en América Latina muestra un ritmo de crecimiento sistemático con lo cual su participación dentro del consumo de energía comercial que se aproxima ya al 15 por ciento, va también en ascenso, como sucede con el promedio mundial y en las áreas principales. Dentro de la producción eléctrica total, esa participación es algo superior al 50 por ciento, con perspectivas de crecimiento, en tanto que el promedio mundial es de poco más de un 30 por ciento y con tendencia al descenso.

En la primera parte se señala la necesidad que tienen los países del área de evaluar los recursos hidráulicos y de planear su utilización con el objeto de lograr su aprovechamiento óptimo, siguiendo la experiencia obtenida en el desarrollo armónico, con fines múltiples, de numerosas cuencas.

Para ello, se pasa revista a los principales conceptos sobre potenciales hidroeléctricos, indicándose las dificultades que su empleo presenta y se recomiendan aquéllos que, según el nivel del desarrollo y el estado de las investigaciones hidráulicas en América Latina, resultan más convenientes en la actualidad. Se incluyen los respectivos métodos de evaluación.

Con carácter general, conviene calcular los llamados potenciales teóricos, que, si bien constituyen límites superiores inalcanzables en la práctica, exigen un mínimo de datos y permiten estimar, por medio de coeficientes empíricos, los potenciales de aprovechamiento económico dentro de límites relativamente estrechos.

Como la irregularidad del caudal de los ríos influye en alto grado en el carácter económico de su desarrollo, se sugiere el empleo de un coeficiente de gran utilidad en estudios generales de plansamiento, que ha sido recomendado por la Comisión Económica para Europa.

/En la

En la segunda parte de este trabajo se dan los cálculos actuales de los potenciales hidroeléctricos de América Latina, los conceptos en uso y los rasgos generales de su realización.

En el plano de potenciales teóricos se presentan las apreciaciones del U.S. Geological Survey (única fuente de investigaciones sobre todo el mundo), realizadas con criterio más o menos uniforme, pero a base de datos de diversa validez y grado de cobertura. El cálculo a base de caudales medios atribuye a la región el 23 por ciento del potencial hidroeléctrico mundial. No existen en América Latina informaciones comparables para corregir esas cifras.

En cambio, en el plano de potenciales económicos, están las apreciaciones realizadas en cada país, con criterio y métodos bastante diferentes entre sí, reunidas por la CEPAL. El potencial económico mínimo de la región sería, según esos datos, de 150 millones de kW.

La presentación de los potenciales económicos concernientes a algunas cuencas seleccionadas, revela su desigual distribución geográfica.

La ausencia de una evaluación sistemática que responda a un criterio único en todos los países del área queda claramente establecida.

A modo de ejemplo se analiza la irregularidad del caudal de algunos ríos venezolanos y chilenos y en el caso de Argentina, se muestra con carácter muy provisional, el trazado de curvas de igual índice, como aplicación del cálculo señalado en la primera parte del presente estudio.

A continuación se examina la proporción en que se han utilizado esos recursos en América Latina (del orden del 4 por ciento de los potenciales económicos), destacando que ese bajo porcentaje revela sobre todo la abundancia de aquéllos más que una falta de interés en su aprovechamiento.

Al final de la segunda parte se mencionan algunas características generales de los desarrollos hidroeléctricos ya ejecutados y las perspectivas de nuevas instalaciones en los próximos años, que acentúan la tendencia siempre ascendente del ritmo de crecimiento registrado hasta ahora.

En la parte tercera se analizan los medios de investigación de los recursos hidráulicos en América Latina, realizándose la importancia de las mediciones fluviométricas y pluviométricas (series estadísticas continuas que cubren un número suficiente de años) para la correcta ejecución de obras hidráulicas.

Se examina principalmente, por países y cuencas importantes, el número de pluviómetros y fluviómetros en servicio, incluyendo la longitud de los registros en años y calculándose los índices de cobertura (número de estaciones por cada 10 000 km cuadrados por promedio de años de registros).

A continuación se analiza la disponibilidad de planos detallados con curvas de nivel - que es el otro antecedente indispensable para evaluar potenciales teóricos - pudiendo concluirse que a pesar de la escasez de los medios de investigación de los recursos hidráulicos en América Latina, sería posible iniciar una evaluación coordinada, sistemática e integral de los potenciales hidroeléctricos.

Se presenta, finalmente, una lista de los organismos encargados de efectuar mediciones hidrológicas en cada país, incluyendo notas sobre coordinación de labores, centralización y publicación de datos.

No se analizan en este estudio los costos unitarios de instalación y producción hidroeléctricas en los países de la región, porque se dedica especialmente a esa materia otro trabajo de la Secretaría.



INTRODUCCION

Aporte de la energía hidráulica a la producción total de energía comercial y eléctrica en el mundo

El análisis de la participación durante los últimos veinte años del recurso hidráulico en el abastecimiento de energía comercial y de su aporte a la producción eléctrica en las principales regiones del mundo y especialmente, de América Latina, permiten apreciar en forma objetiva la importancia de su papel hasta el presente y estimar sus perspectivas futuras.

En el cuadro 1 se observa que la producción hidroeléctrica ha aumentado en todas las regiones indicadas, en general mucho más rápidamente que la energía comercial, pero no tanto como la producción total de electricidad en los últimos 20 años, lo que se verá con más detalle a continuación. Sin insistir en aspectos que se examinan con detención en otro estudio de la CEPAL,^{1/} conviene señalar el elevado ritmo de crecimiento de la energía comercial e hidroeléctrica en América Latina.

Mientras el consumo de energía comercial en el mundo alcanzaba en 1959 a 2 750 millones de toneladas de petróleo equivalente, con un ritmo de crecimiento acumulativo anual de 5.5 por ciento - promedio de los 10 últimos años -, en América Latina la demanda llegaba a 84 millones de toneladas con una tasa de crecimiento de 7.6 por ciento. En Estados Unidos y Europa occidental la demanda alcanzó a 937 y 556 millones de toneladas de petróleo equivalente respectivamente, con 3.5 y 3.8 por ciento como tasas de crecimiento anuales.

La contribución de la energía hidráulica a la satisfacción de esas necesidades energéticas no sólo ha aumentado en las dos últimas décadas en valores absolutos, sino que también en forma relativa, como puede comprobarse en los valores del cuadro 2.

Sin embargo, dadas las tasas tan desiguales de crecimiento entre las regiones señaladas, esa participación ha variado también en forma

1/ Véase: Estado actual y evolución reciente de la energía eléctrica en América Latina, op.cit.

Cuadro 1

TASAS DE CRECIMIENTO ACUMULATIVO ANUAL DE LA HIDROELECTRICIDAD, LA ELECTRICIDAD
TOTAL Y LA ENERGIA COMERCIAL a/ EN EL PERIODO 1937-58

(Porcientos)

	Energía comercial	Electricidad total	Hidroelec- tricidad
América Latina	6.3	8.2	7.7
Europa occidental	1.9	6.0	5.6
Europa oriental	5.2	8.4	10.0
Estados Unidos	3.0	9.0	5.9
Otros países desarrollados <u>b/</u>	3.7	5.9	5.5
Resto del mundo	7.6	9.0	6.1
Mundo	3.6	7.5	6.0

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas para América Latina y de Naciones Unidas, Statistical Papers, Series J No. 1-3 para las otras regiones y países.

a/ Se consideran dentro de la energía comercial; el petróleo - incluyendo el gas natural y sus derivados, el carbón mineral y la hidroelectricidad. La hidroelectricidad se ha evaluado por la cantidad de petróleo (de 10 700 kcal/kg.) que se habría necesitado para producir la misma cantidad de electricidad con los rendimientos medios de las centrales termoeléctricas. Véase mayores detalles en: CEPAL, Estado actual y reciente evolución de la energía eléctrica en América Latina (St/ECLA/Conf. 7/L.1.01).

b/ Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelanda y Unión Sudafricana.

Cuadro 2

PARTICIPACION DE LA HIDROELECTRICIDAD EN EL CONSUMO DE ENERGIA COMERCIAL

(Porcentos)

	1937	1949	1955	1958
América Latina	13.5	13.6	12.7	14.0
Europa Occidental	7.6	9.7	11.6	13.4
Europa Oriental	1.6	1.4	2.3	3.4
Estados Unidos	4.1	5.4	5.3	6.2
Otros países desarrollados a/	24.0	26.6	27.4	28.8
Resto del mundo	5.3	7.0	3.0	3.3
Mundo	6.6	7.5	8.0	8.9

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas para América Latina y de Naciones Unidas, Statistical Papers, Series J No. 1-3 para las otras regiones y países.

a/ Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelanda y Unión Sudafricana.

/diferente. Fue

diferente. Fue máxima en el conjunto de países constituidos por Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia y Unión Sudafricana, con casi 29 por ciento, y mínima en el grupo de países menos desarrollados, excluidos los de América Latina, con 3.3 por ciento.

Fuera del grupo de países constituido por Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia y Unión Sudafricana, en los cuales la energía hidráulica aporta más de la cuarta parte de la energía comercial necesaria para satisfacer el consumo, es en América Latina y Europa occidental donde su participación es mayor, llegando a una octava parte del total.

El descenso relativo de la participación hidroeléctrica por América Latina, que se observa en este cuadro y el siguiente durante 1955, se explica principalmente por la situación de los sistemas de servicio público en Brasil que, a pesar de tener en proceso de instalación varias unidades hidráulicas en Peixotos, Cubatao, Nilo Peçanha y Salto Grande, sólo en 1956 y años siguientes empezaron a funcionar.

La participación de la energía hidráulica en la producción eléctrica mundial puede examinarse en el cuadro 3, donde se presentan las mismas regiones y años antes indicados.

A la inversa del fenómeno observado respecto a la producción de energía comercial, la participación del recurso hidráulico en la producción total de electricidad es, en términos generales, decreciente, no obstante su constante aumento absoluto. Este hecho se debe al acelerado desarrollo de la electricidad en las últimas décadas que, luego de representar el 17 por ciento de la energía comercial consumida en el mundo en 1937, pasó al 22 por ciento en 1949 y aproximadamente al 35 por ciento en 1958, sin indicios de cambio en este ritmo ascendente.^{2/}

Sólo en Europa oriental (principalmente por el desarrollo de la URSS) y en América Latina en menor escala, la hidroelectricidad registra una participación creciente en la producción eléctrica durante las dos últimas décadas.

2/ Véase: CEPAL, Estado actual y evolución reciente de la energía eléctrica en América Latina, op.cit.

Cuadro 3

PARTICIPACION DE LA HIDROELECTRICIDAD EN LA PRODUCCION ELECTRICA TOTAL. a/

(Porcientos)

	1937	1949	1955	1958
América Latina	50.9	52.1	49.8	52.0
Europa Occidental	44.5	41.9	41.0	41.3
Europa Oriental	11.5	9.7	11.2	15.8
Estados Unidos	37.0	35.8	19.0	20.2
Otros países desarrollados b/	74.3	77.6	71.5	69.6
Resto del mundo	46.2	51.4	23.0	26.3
Mundo	42.8	38.8	38.5	31.8

Fuente: CEPAL, a base de informaciones directas para América Latina y de Naciones Unidas, Statistical Papers, Series J No. 1-3 para las otras regiones y países.

a/ Comprende la producción de las instituciones destinadas a satisfacer las necesidades de consumo público y de los autoprodutores (servicios privados).

b/ Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia, Unión Sudafricana.

/Además del

Además del grupo de países desarrollados, constituido por Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia y Unión Sudafricana, América Latina y Europa occidental dependieron en una proporción mayor de la generación hidráulica para la producción total de electricidad: 70, 52 y 41 por ciento respectivamente, en tanto que el promedio mundial alcanzó a 32 por ciento.

En el cuadro 4 se presenta un resumen de la producción hidroeléctrica mundial, que muestra en términos absolutos el desarrollo acelerado de este recurso en el mundo y en América Latina.

Sin embargo, puede considerarse que apenas empieza a aprovecharse el potencial hidráulico de América Latina. Un primer juicio sobre esta afirmación se obtiene del examen del cuadro 5, que muestra la producción eléctrica de origen hidráulico por unidad de superficie territorial para 1958.^{3/}

En su análisis, señala que América Latina y el resto de países poco desarrollados figuran con sólo 1.5 y 0.4 mWh/km², si el promedio mundial es del orden 4.5, llegando en Europa occidental a 21.1 y en Europa oriental a 13.8 mWh/km². Es cierto que el potencial hidráulico varía apreciablemente de una cuenca a otra con la topografía, precipitaciones, evapo-transpiración e infiltración subterránea, etc., pero aun antes de examinar en detalle estos aspectos puede afirmarse que ninguna de las condiciones de estos elementos son tan adversas en toda la región como para materializar potenciales iguales a una tercera parte del promedio mundial, que es la relación del desarrollo actual para América Latina.

Por el contrario, y aun teniendo presente la reducida investigación realizada hasta ahora en la materia, puede aceptarse que este potencial por unidad de superficie es bastante superior al promedio mundial reconocido

3/ Cabe recordar que el desnivel disponible y el caudal son los factores que definen directamente el potencial en cada aprovechamiento hidroeléctrico. El primero es función de las condiciones topográficas y, el segundo, de diversos elementos: precipitación, evaporación, infiltración subterránea, etc., y superficie de la cuenca colectora hasta el punto considerado. Por esta razón en la evaluación de potenciales y aprovechamiento hidroeléctricos, es usual referirlos a la unidad de superficie.

Cuadro 4

PRODUCCION DE HIDROELECTRICIDAD Y TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO ANUAL

	Producción (millones de MWh)				Tasas de crecimiento (porcentaje)		
	1937	1949	1955	1958	1937/49	1949/55	1955/58
América Latina	6.3	13.6	21.1	29.8	6.6	7.6	12.1
Europa Occidental	62.3	92.1	159.7	197.1	3.3	9.6	7.4
Europa Oriental	7.0	11.0	27.3	51.7	3.9	16.5	23.7
Estados Unidos	44.0	90.0	120.4	147.0	6.1	5.0	6.9
Otros países desarrollados a/	51.0	85.2	131.4	158.1	4.4	7.5	6.6
Resto del mundo	6.2	12.8	11.4	21.7	6.3	-1.8	19.0
Mundo	176.8	304.7	471.3	605.4	3.4	7.6	8.6

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas para América Latina y de Naciones Unidas, Statistical Papers, Series J No. 1-3 para las otras regiones y países.

a/ Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia y Unión Sudafricana.

Cuadro 5

PRODUCCION DE HIDROELECTRICIDAD POR UNIDAD DE SUPERFICIE EN 1958

	Millones de mWh	Millones de km ²	kWh/km ²
América latina	29.8	20.38	1 460
Europa Occidental	197.1	9.36	21 050
Europa Oriental	51.7	3.74	13 810
Estados Unidos	147.0	23.42	6 280
Otros países desarrollados a/	158.1	19.54	8 100
Resto del mundo	21.7	58.93	370
Mundo	605.4	135.37	4 470

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas para América Latina y de Naciones Unidas, Statistical Yearbook y Statistical Papers Series J No. 1-3 para el resto.

a/ Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia y Unión Sudafricana.

/en la

en la actualidad. En esta forma se pone en evidencia para América Latina el aprovechamiento excepcionalmente bajo, de este recurso energético, no obstante su elevada participación en la producción eléctrica.

En el relevante papel que representará el agua en el desarrollo económico de la región, en sus diversos empleos, el correspondiente a la producción de energía eléctrica no será por cierto el menos importante. Por un lado, el crecimiento de la demanda de esta forma de la energía, que se anticipa será conforme a tasas anuales entre 7 y 12 por ciento (duplicación o triplicación en 10 años) según los países,^{4/} y, por otro, la riqueza de potenciales hidráulicos, que sólo se conocen ahora superficialmente, proporcionarán una sólida base económica para el múltiple aprovechamiento de los ríos.

Por eso, es cada vez más necesario evaluar adecuadamente las posibilidades que encierran los sistemas fluviales y lacustres latinoamericanos.

En la última parte del presente trabajo se presenta un examen general de los medios de investigación de esos recursos hidráulicos en lo que respecta a caudales; dicho examen, concebido para el estudio de los potenciales hidroeléctricos, es perfectamente válido y constituye la base para cualquier otro análisis, incluyendo el relativo al aprovechamiento con fines múltiples.

^{4/} Véase: CEPAL, Evaluación de la demanda futura en América Latina.



Capítulo I

CONCEPTOS Y METODOS DE EVALUACION DEL RECURSO HIDROELECTRICO

1. Consideraciones generales

La limitada disponibilidad del agua en los continentes y la enorme importancia que ella tiene para la vida de los pueblos, imponen la obligación de darle los empleos más convenientes para toda la colectividad. Esta exigencia se hace más imperativa en todas partes con el transcurso del tiempo, y, en algunas regiones, puede llegar a ser crítica y limitar seriamente las posibilidades de desarrollo económico.

La experiencia acumulada en varias regiones del mundo sobre el desarrollo de ríos y cuencas con objetivos múltiples, y la evolución de las teorías pertinentes, contribuyen a aclarar numerosos aspectos de los problemas que plantea el óptimo empleo del agua.

Los países latinoamericanos, poseedores de vastas regiones y recursos hidráulicos vírgenes, tienen así la oportunidad y necesidad simultáneas de planear su desarrollo en consecuencia.

Para efectuar una distribución equitativa, entre beneficiarios y un óptimo empleo del agua en una cuenca es necesario determinar previamente las siguientes características de aquélla: cantidad, calidad, distribución geográfica y regímenes de caudal (variaciones dentro del año hidrológico y de un año para otro) y, además, las cantidades que requieren los diferentes usos: agua potable, riego, producción eléctrica, industria, navegación, etc. y los beneficios derivados de la regulación de las crecidas.

Conviene recordar que el potencial hidroeléctrico no depende exclusivamente del volumen de agua disponible, en la unidad de tiempo, sino que implica a la vez la existencia de desniveles que salvar con los caudales correspondientes, siendo su cuantía proporcional al producto de ambos factores.

Debe considerarse también que el funcionamiento de una central hidroeléctrica como fuente de energía depende tanto de la demanda eléctrica en la red o sistema de que forma parte, como de la disponibilidad de caudales en la cuenca hidrográfica en que se encuentra, para el servicio de todas las necesidades de agua desde allí atendidas. En consecuencia, su régimen de funcionamiento debe aunar, en la forma más satisfactoria posible, las

/necesidades de

necesidades de los distintos sectores. Los casos concretos que se presentan en la práctica pueden abarcar una variada gama, comprendida entre la situación de un río en el que la producción eléctrica es el objetivo predominante de su aprovechamiento, y la de otro, respecto al cual la producción de energía debe supeditarse por completo a los demás empleos del agua. El caso más frecuente será el que contemple simultáneamente el diseño de las obras hidráulicas y su administración pero con diferente prioridad, con miras a la producción eléctrica y al empleo del agua en otros usos.

Por tanto, es necesario que los organismos encargados del desarrollo de los servicios eléctricos y los que se ocupan de planeamiento del recurso hidráulico para su aprovechamiento múltiple, trabajen en estrecha colaboración para mayor beneficio de la colectividad. Sin embargo, la experiencia muestra que muchas veces las autoridades dan alta prioridad a la investigación sobre un aprovechamiento eléctrico concreto, con posibilidades de realización a corto plazo, asignando a tal efecto fondos suficientes, pero se muestran más reacias a hacerlo en el caso de investigaciones generales destinadas al planeamiento del desarrollo hidráulico integral de una cuenca o región, en particular en lo que concierne a las mediciones hidráulicas a largo plazo. A menudo, el propósito de esas obras concretas se malbarata por falta de datos adecuados, que pudieron obtenerse siguiendo el criterio más amplio que aquí se preconiza.

En cuanto a los datos requeridos para formular proyectos hidroeléctricos, cabe distinguir aquéllos que pueden obtenerse en un plazo relativamente corto, si se dispone del personal y equipo técnico necesarios (mapas topográficos, reconocimientos geológicos o de mecánica de suelos, etc.) y los hidrológicos e hidrometeorológicos, que requieren de numerosos años de observaciones continuas. Para estos últimos suele ser necesario un período de 20 a 30 años, a fin de obtener valores medios estadísticos que puedan considerarse confiadamente en un lugar como los probables valores medios en el futuro.^{1/}

^{1/} Véase CEALC, Flood Control Series, N° 7, "Multiple Purpose River Basin Development" Part I, Manual of River Basin Planning y "ECAFE Methods of Assessment of Hydro-electric Potentials". I&NR/Sub.1/HPWP/1.

Sin embargo, conviene subrayar que en algunos casos resulta posible prescindir de períodos tan largos, siempre que adecuadas correlaciones permitan extender las estadísticas de caudal con un error probable admisible y cuando el costo económico de esa incertidumbre sea menor que el costo social en que se incurriría al no hacer esa obra hidroeléctrica.

Se debe recordar que, en general, la formulación de un plan de desarrollo integral de toda una cuenca hidrográfica exige un proceso de maduración lento por la magnitud de las inversiones y de los frutos de su realización, que compromete la acción de numerosos especialistas en distintas materias y de investigaciones muy diversificadas.

De todos modos, es preciso puntualizar que un buen conocimiento de la distribución geográfica de los recursos hidráulicos y sus características específicas, incluso de los potenciales hidroeléctricos, es condición básica previa para cualquier plan de desarrollo de una cuenca. Un cuadro completo de recursos hidroeléctricos dentro de un país facilita la programación adecuada del desarrollo energético, la localización más conveniente de las plantas eléctricas de distinto tipo (hidráulicas y térmicas) y su participación relativa en cada sistema, con inclusión de las líneas de interconexión y transmisión. Asimismo, si se consigue producir la hidroelectricidad a costos suficientemente bajos, constituye ésto un antecedente básico valioso para considerar la ubicación de ciertas industrias químicas y metalúrgicas con elevado consumo de energía eléctrica.

2. Definiciones de potenciales hidroeléctricos

Los organismos especializados de las Naciones Unidas y principalmente las Comisiones Económicas para Europa y para Asia y el Lejano Oriente, han realizado estudios con el fin de fijar normas para la evaluación uniforme de los potenciales hidráulicos a distintos niveles de los datos básicos disponibles. Sólo así es posible efectuar comparaciones internacionales o interregionales válidas. ^{2/}

^{2/} Véase: Comisión Económica para Europa, Hydro-electric potential in Europe and its gross, technical and economic limits (E/ECE/EP/131), Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente, Report of the working party on assessment of hydroelectric potential to the sub-committee on electric power. (E/CN.11/I & NR/Sub. 1/2) y, Methods of Assessment of hydroelectric Potentials (I & NR/Sub. 1/HPNP/1).

A continuación se expone una breve síntesis de la situación actual del problema, ya ampliamente debatido, con el único objeto de elucidar y puntualizar algunos aspectos prácticos de interés inmediato, sobre todo para la región, incluyendo determinadas sugerencias.

Dos definiciones de potenciales interesan especialmente en el campo de las evaluaciones hidroeléctricas integrales:

- a) El potencial teórico (denominado a veces potencial bruto) mide totalmente los recursos de hipotética producción anual de energía de una cuenca o sistema fluvial tal como se presentan en la naturaleza, es decir, sin alteraciones originadas por las obras que se construyan para lograr esa energía. Según este concepto, toda el agua, con la altura que dispone sobre el nivel del mar, es susceptible de producir electricidad, con un rendimiento de 100 por ciento.
- b) El potencial explotable (denominado también "potencial técnico" o "potencial práctico") mide los recursos por los aprovechamientos existentes y los capaces de instalación en un momento determinado, con los medios usuales de la técnica para ese tipo de obras o con los medios técnicos actuales, estableciendo un límite superior al costo del kW instalado. El concepto de potencial técnicamente utilizable puede parecer muy impreciso si no se establece una limitación de costo. En efecto, si se considera que toda construcción es posible dentro de las leyes físicas (abstracción hecha del costo) el potencial explotable, o técnicamente posible, se aproxima al potencial teórico. Es conveniente recalcar que el potencial teórico, antes definido, es una característica inalterable de cada cuenca e independiente de la actitud humana,^{3/} en oposición a las evaluaciones ligadas a los desarrollos técnicos o económicamente posibles.

3/ Sin incluir las modificaciones del régimen pluvial que pueden derivarse por los procedimientos de "lluvia artificial" (aumento de núcleos de condensación por agentes tales como los vapores del yoduro de plata). Cabe recalcar que en las evaluaciones de este potencial no puede considerarse ningún traspaso de aguas de una cuenca a otra.

El potencial teórico conviene subdividirlo en dos:

- i) El potencial bruto superficial de escurrimiento, ("gross run-off potential") mide la producción de energía teórica anual (o la potencia media respectiva), por unidad de superficie (kWh/km^2 o kW/km^2), correspondiente al agua de una cuenca o región, descontadas las pérdidas y medida en cada superficie unitaria con la altura que tiene sobre el nivel del mar en su escurrimiento inicial.

Debe recordarse que el agua de lluvia caída en una superficie se divide en partes que siguen uno de los tres procesos siguientes:

1. Evaporación o transpiración vegetal.
2. Escurrimiento superficial.
3. Infiltración y escurrimiento subterráneo.

Para estimar el potencial bruto superficial de una cuenca, conviene operar de preferencia con el "escurrimiento superficial", siempre que los datos hidrológicos lo permitan, o que las informaciones generales hagan posible una adecuada estimación indirecta del coeficiente de esorrentía (relación del volumen de agua escurrida al volumen de agua precipitada).

En caso contrario, podría adoptarse para el cálculo del potencial bruto el volumen de agua precipitada (sin ninguna pérdida).

Como los resultados son muy diferentes según se emplee uno u otro dato (con el primero, el potencial estimado puede ser sólo de un 20 a un 80 por ciento de segundo), es preciso en toda estimación de ese tipo de potencial: a) proceder a la adopción uniforme de uno de los métodos para el trabajo completo y, b) dar una clara indicación del método usado, junto con los valores determinados. (Para mayores detalles consúltense los documentos citados de la CEE y la CEALO.)

- ii) El potencial bruto lineal ("gross river potential")- en el lecho de los ríos - que mide la potencia media (o la energía anual), a lo largo del curso de cada corriente de agua, y da en consecuencia los kW (o kWh anuales) para todo el río o por unidad de longitud.

La crítica formulada contra los potenciales teóricos, de que pierden utilidad práctica por constituir sólo límites superiores inalcanzables, es exacta si el problema se plantea sólo desde ese punto de vista. Pero - reconocido este hecho - son, sin embargo, útiles dentro de la perspectiva general del problema. En efecto, tales límites deben considerarse como puntos de referencia inamovibles para medir los progresos reales que se logran dentro de un país o región. Un papel similar corresponde en la práctica al límite teórico de eficiencia termodinámica (a su vez inalcanzable) en el ciclo de vapor.

Asimismo, dentro del potencial explotable o técnico es usual particularizar una fracción de esta con el nombre de potencial económico, para definir el que se considera de aprovechamiento conveniente a corto o mediano plazo dentro del marco de desarrollo de la economía general del país que se examina. Es decir, este potencial excluye, en relación al técnicamente explotable, aquella parte de los aprovechamientos o aquella porción de la generación anual que, en caso de conflictos irresolubles con otros usos del agua, en un análisis económico integral no tienen prioridad sobre estos. También excluye los que no puedan proporcionar, a un costo igual o menor al precio que podría obtenerse de las otras fuentes de producción eléctrica, energía de igual categoría (factor de carga, seguridad de servicio, etc.).^{4/}

Además de la información hidrológica y topográfica (a que se limitan los potenciales teóricos), el concepto de potencial explotable requiere informaciones detalladas sobre conformación geológica (incluso antecedentes sobre mecánica de suelos) y el económico exige, además, investigaciones características de cada caso en particular, sobre el empleo más conveniente para la colectividad del recurso hidráulico y de su satisfacción energética a un costo mínimo.

^{4/} Es evidente que el costo de la energía hidroeléctrica dentro de un aprovechamiento múltiple es el que le corresponde después de una juiciosa distribución de inversiones entre los varios usuarios. También resulta obvio que no podrán perderse de vista, en cada caso concreto, el factor tiempo de puesta en marcha y su contenido en divisas.

3. Dificultades de los métodos de evaluación

Desde hace tiempo se vienen realizando en diversas regiones del mundo estimaciones sobre potenciales hidroeléctricos de cuencas y países, las que casi siempre se vinculan a desarrollos considerados económicamente aprovechables.

Si se comparan, para un mismo sistema fluvial o país, los resultados de distintas apreciaciones, se comprueba que en general difieren grandemente entre sí y que son, con frecuencia, mayores las estimaciones de más reciente ejecución.^{5/} La explicación de estas anomalías puede sintetizarse en los siguientes puntos principales:

1. Deficiencia de datos hidrológicos y geomorfológicos;
2. Falta de uniformidad en el criterio de evaluación, y
3. Evolución de la técnica y métodos de construcción.

Una adecuada investigación de un sistema fluvial o lacustre impone el establecimiento de secciones de aforo en los cursos de agua principales, así como la instalación de instrumentos fluviométricos y estaciones hidrometeorológicas, que permitan disponer, durante varios años, de registros de caudal en puntos claves. Por lo menos las series estadísticas correspondientes a las

5/ En América Latina existen numerosos ejemplos, entre los que pueden citarse los casos de:

- i) Argentina, con estimaciones de 6.5, 7, 11, 13 y 20 millones de kW en un intervalo no mayor de 10 años (Guillermo A. Mazza, ponencia en la Sesión Parcial de Madrid de la Conferencia Mundial de la Energía, 9 de junio de 1960).
 - ii) Colombia, a la que se le atribuía un potencial de poco más de 4 millones de kW hasta 1954; con las estimaciones muy generales en esta materia realizadas por la Electricité de France y Gibbs & Hill Inc. (1955) figura ahora con 40 millones de kW.
 - iii) Venezuela, que según se consideró tenía un potencial de 3.2 millones de kW hasta 1955; ahora se le atribuyen 16 millones de kW, luego de los estudios e investigaciones efectuados en el río Caroní principalmente.
- En Europa pueden citarse, entre otros, los casos de:
- i) Suiza, con estimaciones de 15, 20 y 27 millones de mWh en 1914, 1934 y 1946, respectivamente, para la energía anual técnicamente explotable, y
 - ii) Suecia, con 40, 50 y 80 millones de mWh en 1938, 1952 y 1955, también de energía técnicamente explotable. (E/ECE/EP/131)
- Hydroelectric Potential in Europe and its Gross. Technical and Economic Limits, y A.J. Dilloway "Comparative Study of Hydroelectric Resources as Exemplified by European Experience" - ponencia presentada a la Conferencia Mundial de la Energía, 9 de junio de 1960.

/estaciones pluviométricas

estaciones pluviométricas básicas deberían abarcar en forma continua algunas decenas de años y las fluviométricas como mínimo 15, para establecer con las primeras correlaciones que permitan su extensión a series de 20 años o más de duración (mejor si pasan de 30), en el momento de realizar los proyectos definitivos de un aprovechamiento hidroeléctrico. La dificultad para disponer de los datos estadísticos señalados que abarquen toda una cuenca o país, se aprecia mejor si se considera que muchas veces un alto porcentaje de las estaciones hidrométricas necesarias y su mantenimiento por años, corresponden a lugares de difícil acceso. En América Latina deben abarcar desde altas zonas montañosas hasta regiones boscosas de clima tropical.

Por otra parte, la medición de desniveles a lo largo de los ríos implica dificultades de realización derivadas principalmente de la poca accesibilidad y de la ausencia de vías que permitan el recorrido riberano de ellos. Sin embargo, en relación a estimaciones generales de potenciales hidráulicos y para la confección de anteproyectos de ingeniería civil, los levantamientos aerofotogramétricos constituyen ahora un auxilio eficaz y rápido para obtener las informaciones preliminares necesarias, con excepción quizás de las zonas de bosques demasiado frondosos.

Los datos correspondientes a las investigaciones señaladas abarcan exclusivamente el conocimiento de "caudal" y "altura de caída", a cuyo producto es proporcional el potencial teórico de un curso de agua, sin ahondar en otras informaciones de imprescindible conocimiento previo para definir el potencial explotable o económico de un aprovechamiento, como son las de carácter geológico, de mecánica de suelos, de regulación del caudal, de complementación o conflicto con otros aprovechamientos del agua, etc.

La determinación de potenciales hidroeléctricos en América Latina no sólo ha tropezado con la escasez de datos hidrológicos y topográficos fundamentales, sino que ha adolecido además de falta de uniformidad en las definiciones y procedimientos empleados en los distintos países y aun dentro de cada uno de ellos. Existen estimaciones sobre los mismos ríos o sistemas fluviales, realizadas a la luz de iguales antecedentes, que acusan a veces

/enormes diferencias,

enormes diferencias, según sea el criterio del experto o institución encargada del estudio.^{6/}

Es, por consiguiente, de urgente necesidad en la región que los distintos países se pongan de acuerdo sobre determinadas definiciones de potencial para realizar estimaciones uniformes a distintos niveles de las informaciones disponibles.

En pocos países del área se adoptaron las recomendaciones pertinentes de la Conferencia Mundial de la Energía, a las que no siempre se ha dado cumplimiento en ellos.

Por la extendida práctica en la región de evaluar potenciales a base sólo de los sitios "estimados de ejecución económica", conviene puntualizar que su aplicación, aun con criterio uniforme, suscita dificultades específicas.

De hecho, los factores personales que intervienen en la concepción general de cada proyecto, con objeto de fijar sus posibilidades, le imprimen un carácter eminentemente variable, que conviene reducir a un mínimo. Además, la evolución de la técnica y de los métodos de construcción, entre otras cosas, puede modificar sustancialmente con el tiempo el aspecto económico de los aprovechamientos, convirtiendo en posibles o recomendables algunos que en otra oportunidad fueron descartados.

Como la investigación de la "explotación eléctrica económica" de un recurso hidráulico trasciende el campo de la energía para relacionarse con otros de sus empleos, es necesario formular planes armónicos para el aprovechamiento múltiple del agua, a través de consideraciones de economía general que hacen menos viable y categórica la estimación del potencial indicado. Sería conveniente, entre otras cosas, contar con criterios uniformes para apreciar la prioridad de un conjunto de obras dentro del plan de desarrollo económico.

En la práctica, es difícil establecer un método estricto que permita determinar sistemáticamente los potenciales económicos a 10 ó 15 años plazo. Las condiciones que definen el carácter económico de un aprovechamiento se

^{6/} Por ejemplo, al Lago Titicaca se ha atribuido desde poco menos de 1 millón de kW hasta más de 2.5 millones

relacionan con numerosas incógnitas difíciles de predecir, como ser: volumen y estructura de la demanda; disponibilidad y precios de otras fuentes competitivas de generación eléctrica; características del diagrama de consumo que se ha de satisfacer, no sólo como consecuencia del crecimiento de la demanda sino del tipo y características económicas de las centrales construidas con anterioridad al desarrollo que se estudia; complementación o conflictos con otros empleos del agua y criterios de distribución de las inversiones que se hagan en obras de aprovechamiento múltiple; evolución de la técnica y de los costos de construcción, tiempo de "maduración" del proyecto, etc. Hasta las tasas de interés (cambiantes) representan un papel importante en la diferencia de costos de la electricidad de distinta fuente, ya que en las condiciones medias actuales el costo del capital representa hasta el 85 por ciento del costo de la energía en una central hidráulica, en contraste con sólo un 40 por ciento aproximadamente en una de vapor.

Por otra parte, como se necesitan en este campo numerosas informaciones y antecedentes de distinta índole que exigen tiempo, personal y equipos especializados, su aplicación general amplia resultaría en la actualidad poco práctica en América Latina.

En resumen, para los países en desarrollo, como son los de la región, la evaluación de los potenciales hidroeléctricos limitados al "quantum" económicamente aprovechable (junto al criterio del óptimo empleo del agua en sus diferentes usos) se considera indispensable en la investigación de cada proyecto de desarrollo fluvial en vías de ejecución, pero las evaluaciones en un ámbito amplio con fines de planeamiento, que conviene que se realicen a la brevedad posible dentro de las posibilidades materiales de cada país, requieren la adopción de otros conceptos o criterios más simples y expeditivos.

4. Métodos de evaluación sugeridos

a) Potencial bruto superficial de escurrimiento

El método para determinar el potencial bruto superficial de escurrimiento supone la división de la región o país en estudio en pequeñas cuencas tributarias (subcuencas) para las cuales se dispone de información sobre caudales escurridos, con estadísticas que abarquen un largo período (20 años o más) o que, alcanzando sólo a unos 12-15 años puedan extenderse por variación simultánea con precipitaciones pluviales, previa verificación de una correlación adecuada.

/En resumen,

En resumen, el potencial teórico superficial en millones de kWh por año se expresa en la fórmula (1), aceptando la utilización total y el rendimiento de 100 por ciento:

$$P_s = \frac{V \times H}{367} \quad 7/ \quad (1)$$

En ella V es igual al volumen del escurrimiento anual en millones de m³ - promedio de período de años como se indicó - proveniente sólo de las precipitaciones caídas en la subcuenca considerada, y H es igual a la elevación media de ella sobre el nivel del mar, en metros. De la suma de esos valores se obtiene el potencial hidroeléctrico de una región o país.

Dividiendo el potencial así calculado en cada subcuenca, por la superficie respectiva en km², se obtiene el valor específico de su potencial en kWh/km².

Si en un mapa se marca en el centro geométrico de la subcuenca el valor de su potencial específico y se repite el proceso en un ámbito amplio (nacional o regional) cubriéndolo totalmente, se pueden interpolar curvas de igual potencial específico.

En países como los latinoamericanos, con reducida información hidrológica, la dificultad radica principalmente en los medios a emplear para la determinación del valor V y, en algunos casos, del valor H en cada subcuenca.

En este sentido, el procedimiento más recomendable para conocer V, a falta de información hidrológica directa, es aquél que emplea datos de escurrimiento, deducidos de información pluviométrica pero verificados por los caudales reales medidos en una estación fluviométrica. Véase detalles en el Anexo, punto 1.

7/ Dada la conocida fórmula $P(\text{kW}) = 9.8 \times Q \times H$ que expresa la potencia de una caída hidráulica en kW, en función del caudal: $Q(\text{m}^3/\text{seg})$ y de la altura H(m), con un rendimiento ideal del 100 por ciento, se pasa a la fórmula de la energía anual en kWh, del siguiente modo:

$$P_s = 9.8 \times H \times \frac{V}{31.5} \times \frac{8\,760}{10^6}$$

donde los nuevos coeficientes numéricos son:

8 760 = número de horas en el año

31.5 = número de segundos en el año en millones.

/Para determinar

Para determinar el potencial nacional en los países donde hay ríos que atraviesan la frontera, es preciso reducir el potencial de las cuencas correspondientes, en la proporción en que se reduce la elevación media de cada microcuenca, al atribuirles como origen, no ya el nivel del mar, sino el del cruce de la frontera por el río al que tributan.

Los lagos interiores sin salida al mar, en los que las filtraciones subterráneas y la evaporación igualan a los caudales afluentes (cuencas endorreicas) plantean un caso de consideración especial. En efecto, el criterio para evaluar el potencial del agua como ligado a la superficie de la cuenca de su escurrimiento inicial, con un aprovechamiento, de 100 por ciento del desnivel hasta el mar (sin restricción alguna) induciría a no establecer ninguna excepción por este concepto aunque la naturaleza establece una limitación al desnivel hasta el punto más bajo de esa cuenca. Un caso típico de esta situación en América Latina es la del sistema Lago Titicaca - Río Desaguadero - Lago Poopó, donde una elevada proporción de ese potencial es susceptible de aprovechamiento hasta el nivel del mar, por reducción sustancial de la evaporación,^{8/} y gracias a otras características favorables, tales como la altura, situación geográfica, aspectos topográficos, etc.

Ejemplos de la situación diametralmente opuesta se dan en algunas cuencas endorreicas de México, en los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila, donde por las características naturales distintas a las antes señaladas, parecería lógico considerar el potencial correspondiente limitado al plano de los respectivos lagos.

Para unificar procedimientos es recomendable presentar en todos los casos el potencial teórico superficial referido al nivel del mar con indicación expresa, aparte del potencial que debería descontarse por el desnivel entre la superficie de los lagos interiores sin desagüe y la del mar.

^{8/} La posibilidad simplemente técnica de esa reducción parece clara por depresión del nivel del lago Titicaca mediante las obras de desagüe correspondientes, lo que traería consigo la disminución de las superficies de éste y del lago Poopó, con la consiguiente reducción de volumen de agua evaporada.

b) Potencial bruto lineal

El método que se sugiere para calcular el potencial bruto lineal que representa también una característica intrínseca e invariable para el sistema fluvial de una región o país, es el siguiente:^{2/} cada río o curso de agua, de la región en estudio, se divide en tramos limitados por los puntos de confluencia de tributarios consecutivos; por razones prácticas, sin embargo, conviene que esos tramos no tengan más de 10 km de largo.

En cada tramo se calcula el potencial por la fórmula:

$$P_L = 9.8 \times Q_m \times H \quad (2)$$

Donde: P_L = potencia media en kW; Q_m = promedio de los caudales en cada extremo del tramo:

$$(Q_m = \frac{Q_A + Q_B}{2}) ;$$

y H = diferencia de las cotas en metros entre los niveles de agua de ambos extremos.

Repitiendo el mismo procedimiento para todos los tramos de un río y sus tributarios, se obtiene por suma el potencial bruto lineal de toda una cuenca, país o región.

Sin embargo, esta investigación se suele limitar en los nacimientos de los tributarios y en el curso inferior de los ríos (cerca de sus desembocaduras), excluyéndolos a partir de los tramos donde los potenciales son inferiores a 15 ó 20 kW/km. En América Latina podría adoptarse el límite superior.

Para calcular la energía anual correspondiente al potencial bruto lineal dado en kW, basta multiplicar éste por 8 760 (número de horas del año), con objeto de obtener el número de kWh.

El potencial lineal es conveniente representarlo en mapas, marcando a lo largo de los ríos líneas de ancho diferente, proporcionales (a una cierta escala) al potencial por unidad de longitud, que para cada tramo se obtiene en kW/km.

La representación gráfica de este potencial y las ventajas que de ella se derivan, se pueden apreciar en el Anexo, punto 2.

^{2/} Este método es empleado en Francia, para evaluar el potencial hidroeléctrico, por la "Electricité de France". (Véase Hydro-electric Potential in Europe and its Gross, Technical and Economic Limits. Naciones Unidas, Comisión Económica para Europa (E/ECE/EP/131).) /c) Potencial

c) Potencial explotable o técnico

La mejor manera de evaluar este potencial y la única directa es mediante la preparación de anteproyectos concretos para la regulación y empleo del agua en el río o sistema fluvial considerado. De esta manera se determinan claramente la ubicación geográfica, la cantidad, las características estacionales y la seguridad hidrológica de la energía en las posibles centrales eléctricas, además de la proporción probable de energía básica y energía de punta que puede esperarse. La dificultad de este procedimiento salta a la vista: aun para una sola cuenca medianamente amplia, puede tomar mucho tiempo y exigir gastos apreciables. Sin embargo, es el método que debe seguirse en el proyecto de ejecución para el desarrollo de una cuenca con fines múltiples.

En evaluaciones generales con fines de planeamiento, la alternativa de la determinación directa (recomendable por su sencillez de aplicación y porque no da más inseguridad que los otros procedimientos indirectos posibles) es la obtención, a partir del potencial bruto lineal como una fracción de éste, por similitud con cuencas o sistemas fluviales bien investigados, de características geográficas y físicas parecidas, como se indica en el punto que sigue.

5. Comparación entre potenciales a distinto nivel

Aunque los dos potenciales teóricos examinados dan en la práctica límites inalcanzables (diferentes entre sí), el "lineal" se aleja menos de los potenciales técnicos y económicos que el superficial. Además, éste tiene la enorme ventaja de indicar en los mapas a que da origen la ubicación física de los ríos y los tramos precisos de elevado potencial, materializando así los lugares que requieren investigación detenida (prospecciones geológicas y de mecánica de suelos, estudios de regulación, complementación o conflictos con otros usos del agua, etc.), a fin de completar la información que se necesita para un estudio económico. En cambio, los mapas de potencial superficial ligán éste al origen del agua, sin indicar necesariamente los lugares de posible producción eléctrica.

/Como contrapartida

Como contrapartida, el potencial superficial necesita, en relación al lineal, una información más elemental y, por tanto, más fácil de obtener en los países con extensas áreas poco desarrolladas y con insuficiente información como son las de América Latina.

Por otra parte, la experiencia que se obtiene de países más desarrollados en distintas regiones del mundo indica, en términos generales, que las relaciones de los potenciales económicos, que en último análisis son los que interesan, con los potenciales teóricos antes analizados, caen dentro de un rango de valores bastante estrecho. En varios países europeos con elevada producción hidráulica, han mostrado en la última década que el potencial explotable en conjunto estaría comprendido entre el 20 y 25 por ciento del potencial bruto superficial de escurrimiento, con algunas variaciones de carácter local dentro de límites más amplios.^{10/} En el estudio citado de la Comisión Económica para Europa, se indica que la razón entre el potencial económico actual y el bruto superficial de escurrimiento correspondiente a ocho países europeos examinados fue de 0.17 a 0.20.

Por otra parte, el resultado de determinados estudios^{11/} indicaría que la razón entre el potencial económico actual y el bruto lineal, quedó comprendida aproximadamente entre 0.33 y 0.40.

^{10/} En Suecia, esa relación se eleva excepcionalmente a 40 por ciento. Probablemente constituye un límite superior, habida cuenta de las condiciones muy favorables de escurrimiento y conformación geológica del país. (Véase A.J. Dilloway, Naciones Unidas, "Comparative study of hydro-electric resources as exemplified by European experience". Ponencia en la Sesión Parcial de Madrid de la Conferencia Mundial de la Energía. Julio de 1960.)

^{11/} CEALO: Estudio varias veces indicado. Con citas tomadas de "Power Resources of Yugoslavia", Volumen I - Belgrade 1956 y Naciones Unidas V.M. Yevdjevic y D. Marjanovic, "Determination of Hydro-electric potential in USSR", EP/Working Paper/52-56.

Ahí radica el interés principal de las regiones y países en desarrollo por determinar sus potenciales teóricos, ya que con investigaciones hidrológicas y geomorfológicas relativamente simples, y en una plazo breve, pueden estimar dos límites (uno superior y otro inferior) que fijen aproximadamente el potencial hidroeléctrico de aprovechamiento económico.

La Comisión Económica para Europa (Naciones Unidas) está confeccionando un mapa a escala 1:2 500 000, con el potencial teórico superficial que abarca la mayor parte de los países de ese continente con líneas de igual potencial hidroeléctrico por unidad de superficie.^{12/}

Este mapa permitirá revisar, en algunos sistemas fluviales y países, las relaciones entre potencial superficial y potenciales explotable y económico, aprovechando el conocimiento de los que han desarrollado ya gran parte de sus recursos hidráulicos y realizado investigaciones muy completas de los que quedan aún por aprovechar. Esta experiencia será de gran valor para los países latinoamericanos y de otras regiones subdesarrolladas.

Algunos países que disponen de adecuada información hidrológica y geomorfológica han prescindido, en el orden práctico, de la evaluación de los potenciales teóricos, para concentrar sus investigaciones directamente en los explotables y económicos. Tal es la labor que en esta materia realiza la Federal Power Commission^{13/} y la que, en cierto modo, efectuó el Geological Survey^{14/} en los Estados Unidos.

^{12/} En ese mapa, la línea dibujada de menor potencial es la correspondiente a 0.25 kWh/m² y las otras indicadas corresponden a la duplicación sucesiva (0.5, 1.0, 2.0, etc.) llegando a la línea de 6 kWh/m² en la zona central de los Alpes. (Véase Naciones Unidas: A.J. Dilloway, op.cit.).

^{13/} Véase: Frank L. Weaver, "Hydro potentialities as indicated by Federal Power Commission". Ponencia presentada en la Twenty-First Annual Meeting, American Power Conference. Chicago, abril de 1959.

^{14/} Véase: "Developed and potential water power of the United States and other countries of the world", op.cit.

6. Irregularidad de caudales en los ríos

Ya se ha señalado que los potenciales teóricos propuestos (superficial y lineal) consideran por definición el caudal medio anual sin distinción alguna respecto a las variaciones que experimenta realmente en el transcurso del tiempo, tanto de un año para otro como dentro de un mismo año hidrológico (variaciones estacionales). Sin embargo, como se concibe fácilmente, la irregularidad del caudal de un río es factor que influye en forma apreciable en la parte del potencial que económicamente puede desarrollarse en relación al potencial teórico respectivo.

En el estudio específico de todo aprovechamiento hidráulico se realizan normalmente análisis técnicos detallados sobre la duración de los caudales naturales y las obras de regulación necesarias, para obtener, en términos económicos, el óptimo aprovechamiento del recurso, pero dichos análisis resultan como se indicó ya, poco prácticos en la etapa de los estudios de planeamiento y programación generales, para aprovechar, los recursos hidráulicos de una región o país. Por tal razón, se ha buscado desde hace tiempo un indicador que permita confeccionar mapas para mostrar la distribución territorial de la irregularidad del escurrimiento de los ríos, habiéndose propuesto varios en distintos países y en diversas oportunidades. Entre ellos, el más recomendable sería el elegido por la Comisión Económica para Europa como índice de la irregularidad dentro del año hidrológico.^{15/}

Para determinado año, queda definido así:

$$Cri = \frac{Vi}{Wi}, \text{ donde,}$$

Cri = coeficiente (indicador);

Vi = capacidad del embalse requerido para la regularización total del escurrimiento de ese año;

Wi = volumen de agua escurrido en el año

^{15/} Véase, Naciones Unidas "Specifications for construction of an index of stream-flow irregularity" E/ECE/EP/205, que debe consultarse para información general amplia, ya que en este estudio se examinan sumariamente sólo algunos aspectos relevantes del problema

El valor medio del coeficiente C_r para un conjunto de observaciones que abarca n años, se obtiene simplemente como promedio de los valores C_{ri} .

Para simplificar cálculos, es posible en trabajos preliminares operar con el coeficiente C_r correspondiente a un año ficticio, constituido cada mes por el promedio aritmético de los caudales mensuales respectivos. También para obtener conclusiones definitivas puede procederse así, siempre que el valor C_r correspondiente se multiplique por un coeficiente correctivo mayor que la unidad, pero sólo se obtiene una ventaja relativa, ya que éste debería calcularse en cada caso.

La correlación entre los valores de C_r y la magnitud de las áreas tributarias respectivas es baja o inexistentes, hecho que justifica la preparación de mapas con este coeficiente para usarlos como antecedentes básicos en labores de planeamiento, junto a las estimaciones de potenciales hidroeléctricos. Al calcular el coeficiente en varias cuencas, conviene tener especial cuidado para no incluir en ninguna de ellas lagos ni embalses, por la enorme distorsión que introducen en el coeficiente, invalidando los objetivos del mapa que se confecciona. Para trazar por interpolación las líneas que unen los puntos de igual valor C_r , esos coeficientes deben marcarse en el mapa en el centro de la cuenca o subcuenca correspondiente. Asimismo debe evitarse cortar con esas líneas cordilleras o extensas depresiones.

Se ha de tener presente que una central hidroeléctrica de pasada (a filo de agua), dimensionada para el caudal medio Q_m de un río, generaría como promedio:

$$kWh = (1 - C_r) \times 9.81 \times 8\,760 \times Q_m \times H$$

con un rendimiento de 100 por ciento. Con rendimientos usuales, el valor 9.81 deberá sustituirse por otro, similar a 8.3.

Capítulo II

POTENCIAL HIDROELECTRICO DE AMERICA LATINA

1. Conceptos empleados y estimaciones actuales

En términos generales, el conocimiento que se tiene de este potencial en los países de la región es muy rudimentario, como se verá en el análisis que se hace de los métodos y conceptos empleados y de los medios de investigación existentes. La dificultad más grave para estimar el potencial total de la región a través de las informaciones directas de que se dispone, radica en la falta de uniformidad en el criterio de evaluación y en la escasez de explicaciones de los cálculos que cada país presenta.

a) Estimación del U.S. Geological Survey

En la publicación "Developed and potential water power of the United States and other countries of the world"^{1/} se estiman los potenciales hidroeléctricos a fines de 1954 sobre dos bases diferentes:

Según la primera, que considera los caudales mínimos ordinarios (se aproximan a los gastos de duración de 95 por ciento del tiempo) se asigna a América Latina en su conjunto un potencial de 57 millones de kW sobre cerca de 480 millones estimados para el mundo entero (12 por ciento).

Conforme a la segunda, que considera los caudales medios, se atribuye en conjunto a la región 520 millones de kW sobre casi 2 270 millones estimados para todo el mundo (23 por ciento). (Véase el cuadro 6.)

Las aclaraciones más importantes presentadas en este estudio, sobre la forma de su realización, son las siguientes, principalmente acerca de los potenciales estimados con caudales mínimos ordinarios:

^{1/} "Geological Survey Circular 367", United States Department of the Interior - 1954 - (reprinted 1958). Es la única fuente que abarca a todo el mundo.

"Se consideran los sitios desarrollados y no desarrollados con 100 por ciento de eficiencia.

"El efecto regulador de los embalses no se ha considerado, excepto en los sitios en que ya se encuentran en explotación.

"Las estimaciones para Estados Unidos, Canadá y Europa se basan en lugares conocidos.

"Para los países de Asia (excepto Japón), Africa y América del Sur (excepto Brasil^{2/}), las estimaciones se basan principalmente en datos pluviométricos y topográficos y, en consecuencia, no son tan exactos."

Estos solos antecedentes dan una idea bastante aproximada del criterio general adoptado por el autor del trabajo, ajustado, en general, a las recomendaciones pertinentes de la Conferencia Mundial de la Energía.

La estimación de potenciales a base de los caudales mínimos ordinarios, salvo unas pocas enmiendas de reducida importancia, corresponde a la presentada en la misma publicación de 1952.^{3/}

Las observaciones que pueden hacerse a esa estimación, respecto a los países con extensas áreas poco desarrolladas y reducida información (América Latina), se refieren principalmente al empleo de los caudales mínimos ordinarios, ya que sería deseable uniformarlos con los de duración de 95 por ciento del tiempo. En efecto:

- i) La determinación de tales caudales a partir de datos principalmente pluviométricos, constituye un problema de solución muchísimo más compleja que la simple determinación del caudal medio, adoptado en la otra evaluación del mismo documento y en las definiciones de los potenciales teóricos antes examinadas.

Sin duda, que la estimación de esos caudales ha debido realizarse

^{2/} Coincide con la estimación oficial realizada en 1951. "Divisao de Aguas do Departamento Nacional da Producao Mineral".

^{3/} Suscrita por Benjamín E. Jones y Loyd L. Young. Cabe destacar que ella fue hasta 1954 la única realizada en ámbito mundial y figuró en estudios tales como Economic Aspects of Atomic Power (Schurr y Marschak), Energy in the Future (Palmer C. Putman) y La energía en América Latina (Naciones Unidas, CEPAL).

con muy distinto grado de aproximación en los diferentes países, convirtiéndose en elemento perturbador de la uniformidad deseada en estas evaluaciones.

- ii) Automáticamente la estimación de potenciales para Q 95 por ciento establece niveles diferentes entre los países que cuentan con grandes embalses ya construidos (considerados en la evaluación) y los que no los tienen, puesto que el caudal regulado es muy superior en general al de escurrimiento natural disponible el 95 por ciento del tiempo. Esta sobrevaluación del potencial en los países que disponían ya de obras reguladoras desaparece con el empleo del caudal medio.

Por esas razones, en adelante se considerará principalmente la evaluación presentada en ese documento, a base del caudal medio, que se aproxima mucho a la definición del potencial teórico lineal. La única discrepancia que, al parecer, existiría entre las dos radica en el hecho de haberse limitado aquélla a los "sitios conocidos" en los países más desarrollados.

El cuadro 6, confeccionado con los datos del documento que se comenta, permite comparar la situación en América Latina en conjunto con otras regiones del mundo.

De la segunda columna se desprende que la región contaría con recursos hidroeléctricos similares a la suma de los correspondientes a Europa (incluido el total de la URSS) y a los Estados Unidos. Por otra parte, se ve que representaría también más del 22 por ciento del potencial hidroeléctrico mundial.

La penúltima columna presenta un promedio de aproximadamente 25 kW/km² para la región, superior al promedio mundial (16.7 kW/km²) y a las otras áreas y grupos de países presentados, con la sola excepción de Europa occidental que alcanza a 30 kW/km². Le siguen en orden descendente el otro grupo de países poco desarrollados, Europa Oriental y Estados Unidos con 17, 12 y 11 kW/km² aproximadamente, en ese mismo orden. Al señalar en ese documento que la evaluación para los Estados Unidos, Canadá y casi todos los países europeos se limitó a "sitios conocidos", se induce a

Cuadro 6

POTENCIAL HIDROELECTRICO DE AMERICA LATINA Y EL MUNDO

	Basado en caudal mínimo ordinario (miles de kW)	Basado en caudal medio		
		Total (miles de kW)	Por km ² (kW/km ²)	Por habitante (W/hab.)
América Latina	57 398	520 024	25.50	2 700
Europa Occidental	32 356	111 382	29.78	350
Europa Oriental a/	61 138	288 414	12.31	950
Estados Unidos	26 864	85 376	10.91	490
Otros países desarro- llados b/	40 517	139 952	6.86	980
Resto del mundo	259 561	1 126 959	16.61	670
Mundo	477 834	2 266 107	16.74	800

Fuente: CEPAL a base de las informaciones de US. Geological Survey Circular 367, 1954, en materia de potenciales hidroeléctricos y de Naciones Unidas: Statistical Yearbook, 1958, para superficies territoriales y poblaciones.

a/ Incluye el total de la URSS.

b/ Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia y Unión Sudafricana.

/considerar que

considerar que América Latina, entre las áreas con escasos datos, aparecería con un potencial sobrestimado en relación a ellos.

En la última columna del cuadro se hace una evaluación del mismo potencial por habitante, donde América Latina, en razón, además, de su baja densidad demográfica, registra cerca de 2 700 Watts, cantidad que va más allá de la triplicación del promedio mundial (800 Watts), superando también muy ampliamente a las demás regiones y países de la comparación. Las áreas que más se aproximan son las correspondientes al grupo de países formado por Canadá, Japón, Nueva Zelandia y Unión Sudafricana con 980 W/hab. y Europa oriental (que incluye el total de la URSS) con 950 W/hab. Estados Unidos y Europa occidental figuran tan sólo con 490 y 350 W/hab., respectivamente.

Por último, en relación al mismo cuadro 6, conviene señalar que él confirma la observación antes indicada sobre la determinación de potenciales a base sólo de los caudales Q 95 por ciento, con fines comparativos, por sobrestimación de los países con importantes obras de regulación ya construidas. En efecto, mientras en América Latina y en los otros países poco desarrollados, el potencial Q 95 por ciento representa sólo el 11 y el 23 por ciento del correspondiente al caudal medio, en los Estados Unidos, en el grupo de países desarrollados constituido por Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelandia y la Unión Sudafricana, así como en Europa occidental, alcanza al 31.5, 30 y 29 por ciento, respectivamente, sin olvidar que también la menor o mayor regularidad de los regímenes pluviales incide directamente sobre esos resultados.

b) Estimaciones nacionales

La información recopilada directamente por la Secretaría sobre las estimaciones de potencial efectuadas en cada uno de los países de la región, permite formular las siguientes observaciones:

- i) Algunos países no cuentan con datos sobre esta materia, ni han realizado investigaciones en tal sentido.

/ii) En

- ii) En otros, las informaciones de distintas fuentes difieren considerablemente entre sí, y las indicaciones sobre los conceptos y métodos empleados no existen, o no pueden clasificarse por ser excesivamente sucintas.
- iii) Con frecuencia, los datos se limitan a sólo unas pocas cuencas o a las regiones mejor conocidas dentro de cada país.
- iv) Finalmente, un grupo reducido de países han realizado ya estudios generales sobre sus recursos hidroeléctricos y trabajan en la actualidad en una investigación más sistemática, mejorando y ampliando sus redes hidrometeorológicas e hidrológicas.

Entre todos los antecedentes disponibles se hizo una primera selección de aquellas estimaciones que, por la calidad de la fuente e indicaciones anexas, podían considerarse dentro de un esquema general que ofrecía alguna posibilidad de clasificación - por remota que fuera - y aunque los medios y procedimientos de evaluación señalen como características predominantes la falta de uniformidad y poca consistencia en varias de las cifras presentadas. (Véase el cuadro 7.)

El análisis de dicho cuadro indica claramente que el concepto de evaluación más empleado es el que se refiere a la potencia económica que se proyecta instalar en lugares o sitios conocidos. Este procedimiento implica, como se indicó antes, regulación de caudales, estimación del factor de carga (característica del consumo), inclusión de una reserva (mecánica y eléctrica) y, eventualmente, trasposos de agua de un valle a otro, todos ellos elementos variables dependientes del objetivo que se persigue con su empleo, de la habilidad personal en la concepción de los desarrollos y de los criterios económicos empleados para juzgar la prioridad de la producción eléctrica frente a otros usos del agua (cuando se presentan conflictos en el empleo múltiple del recurso), además de la disponibilidad de medios técnicos y constructivos en el momento en que se realiza la estimación.

Cuadro 7

AMERICA LATINA: POTENCIAL HIDROELECTRICO

(Estimaciones oficiales o privadas de cada país)

País	Año de la estimación	Potencial (millones de kW)	Fuente de información	Concepto y observaciones
Argentina	1934	20.0	La electrificación en la República Argentina - Adolfo Niebuhr -	Estimación del potencial aprovechable basada en precipitaciones y desniveles del territorio nacional.
	1958	12.5	Agua y energía. Respuesta a cuestionario.	Centrales en operación y sitios de aprovechamiento económico en período de desarrollo próximo. Potencia de las unidades generadoras a/
Bolivia	1959	2.7	Dirección General de Hidráulica y Electricidad.	Centrales en operación y sitios conocidos de aprovechamiento económico. Potencia de las unidades generadoras.
Brasil	...	16.4	Estimación oficial - (véase: General Carlos Berenhauser Jr. - CEPAL/DCAT - "O Problema da energia elétrica no Brasil 1959").	Q (95 por ciento) corresponde a normas de la Conferencia Mundial de la Energía.
	...	30.0	Estimación de instituciones competentes. (véase General C. Berenhauser Jr. op.cit. y Comissão mista Brasil-Estados Unidos para desenvolvimento econômico. Relatório sobre energia elétrica no Brasil).	Centrales en operación y sitios de aprovechamiento económico. Incluye regulación de caudales y transposición de valles. Potencial de las unidades generadoras.
Colombia	1960	7.6	Instituto de aprovechamiento de aguas y fomento eléctrico. Respuesta a cuestionario.	Algunos sitios de aprovechamiento económico Q (50 por ciento), rendimiento 85 por ciento. Potencia de las unidades generadoras.
	1954	40.0	Plan de electrificación nacional (Gibbs & Hill, Inc. y Electricité de France).	Estimación para todo el país. Potencia de las unidades generadoras. Factor de planta anual 0.57
Costa Rica	1959	1.5	Instituto Costarricense de Electricidad - Investigación de los recursos hidroeléctricos en Costa Rica.	Potencial económico. Capacidad de las unidades generadoras (?)
Cuba	1954	-	Banco de Fomento Agrícola - Reconocimiento preliminar de 19 ríos y 2 ciénagas.	El potencial estimado es inferior a 0.1 millones de kW.

/Cuadro 7 (cont.)

Cuadro 7 (continuación 2)

País	Año de la estimación	Potencial (millones de kW)	Fuente de información	Concepto y observaciones
Chile	1952	10.6b/	ENDESA - Plan de electrificación del país.	Potencial lineal para Q (95 por ciento). Normas de la Conferencia Mundial de la Energía.
	1952	23.6b/	ENDESA - Plan de electrificación del país.	Potencial lineal para Q (50 por ciento).
	1952	26.6b/	ENDESA - Plan de electrificación del país.	Potencial lineal para Q (medio) = Potencial bruto lineal.
	1952	20.9b/	ENDESA - Plan de electrificación del país.	Potencial económico.
Ecuador	1958	2.0	CEPAL - Recursos hidráulicos de Ecuador. (En preparación) y Experto TAO J. Rittershausen.	Centrales en operación y sitios de aprovechamiento económico. Potencia de las unidades generadoras.
El Salvador	1959	0.91	Atilio García Prieto. La investigación de recursos hidráulicos en El Salvador. (CCE/SC.5/I/DT. 12).	Potencia económica de algunos sitios estudiados <u>o</u> /. Capacidad de las unidades generadoras. Factor de planta anual 0.5
Guatemala	1959	0.15	Departamento de Electrificación Nacional - Dirección General de Obras Públicas - Investigación de los recursos hidroeléctricos de Guatemala. (CCE/SC.5/I/DT/4)	Potencia económica de algunos sitios estudiados <u>d</u> /. Capacidad de las unidades generadoras. Factor de planta anual 0.5
Honduras	1959	0.4	Empresa Nacional de Energía Eléctrica - "Investigación preliminar y parcial de los recursos hidroeléctricos de Honduras". CCE/SC.5/I/DT.18	Potencia económica de algunos sitios estudiados <u>o</u> /. Capacidad de las unidades por instalar.
México	1939	4.7	Secretaría de Agricultura y Fomento. Catálogo general de aprovechamiento de aguas nacionales para generación de fuerza motriz.	Potencial correspondiente a 2 604 lugares conocidos. Parece referirse a Q 95 por ciento.
	1948	5.7	Guzmán Cantú. Energía en México.	Correspondería a las bases de la apreciación anterior.
	1948	21.0	Guzmán Cantú. Energía en México.	Denominado "práctico". Parece sujetarse a condiciones similares al potencial "explotable".
	1953	11.0	Lara Beautell. La industria de energía eléctrica.	Parece referirse a las centrales en operación y sitios de aprovechamiento económico en período de desarrollo próximo. Potencia de las unidades generadoras.

Cuadro 7 (continuación 5)

País	Año de la estimación	Potencial (millones de kW)	Fuente de información	Concepto y observaciones
Nicaragua	1959	0.33	Comisión Nacional de Energía Eléctrica del Ministerio de Fomento y Obras Públicas - Plan de electrificación nacional. (CCE/SC. 5/I/DT. 1 y DT. 15)	Potencia económica de algunos sitios estudiados <u>f/</u> . Capacidad de las unidades generadoras. Factor de planta anual 0.5
Panamá	1959	0.9	Proyecto de Recursos Hidráulicos y Electrificación del S.C.A.L.F.E. - Instituto de Fomento Económico/1960.	Potencia económica de algunos sitios estudiados. Capacidad de las unidades generadoras.
Paraguay	1954	3.1	H Foster-Smith. Naciones Unidas DOAT. Información 1959.	Q (95 por ciento). No se dan mayores antecedentes.
Perú	1949	25.0	Pablo Boner. El problema de la energía eléctrica. (Memorias de la Sociedad de Ingenieros).	Parece referirse al potencial "explotable".
	1956	10.0	Consejo Económico Consultivo Suiza-Perú. "L'Industrie Electrique au Pérou".	Se asimilaría al potencial mínimo económico (?)
	1959	6.5	Jorge Grieve. Potencial hidroeléctrico del Perú. Forum sobre problemas de energía.	Centrales en operación y sitios conocidos de aprovechamiento probablemente económico <u>g/</u> . Potencia de las unidades generadoras.
	1959	15.0	Jorge Grieve. Potencial hidroeléctrico del Perú. Forum sobre problemas de energía.	Potencial bruto lineal
Uruguay	1959	1.2	José L. Buzzetti. El potencial hidroeléctrico en nuestro país y Elbio Saoco: Política energética en el Uruguay.	Potencia económica con caudal regulado. Potencia de las unidades generadoras. Factor de planta anual 0.51 <u>h/</u> .
Venezuela	1959	16.0	CEPAL: Recursos Hidráulicos de Venezuela (en preparación).	Potencia económica de algunos sitios estudiados. Capacidad de las unidades generadoras <u>i/</u> .
Surinam	1959	1.5	Appraisal Survey of Hydroelectric Power Resources in Surinam - Boktopondo Bureau Government of Surinam/1959.	Potencia económica de los principales ríos.

a/ En el río Uruguay (Salto Grande) se consideran sólo 700 000 kW, es decir, la mitad del aprovechamiento internacional.

b/ Incluye 0.6 millones de kW, es decir la mitad de los recursos internacionales con Argentina.

c/ Ríos: Lempa Grande de San Miguel, Paz, Coacorán, Jiboa, Cucumacayán, Mirazalco y La Cabrera.

d/ Corresponde a los lagos Amatitlán, Atitlán y de Avarza, y a los ríos Samalá, Aguacapa, Cahabón, Yocotán, Negro o Chixoy y Chilasoo.

e/ Corresponde a los ríos Ulúa, Patuca, Choluteca y Lago Yojoa-Río Lindo.

f/ Corresponde a los ríos Tuma, Viejo, Matagalpa, Coco y Grande de Matagalpa.

g/ Del proyecto internacional del Lago Titicaca se consideró la mitad, o sea, 1.2 millones de kW.

h/ En el río Uruguay (Salto Grande) se consideran sólo 700 000 kW, es decir la mitad del aprovechamiento internacional.

i/ 14 millones de kW están ligados al aprovechamiento total del río Caroní.

Cuadro 8

AMERICA LATINA: POTENCIAL HIDROELECTRICO

(Estimaciones de aprovechamientos económicos, 1960) a/

País	Millones de kW	Recursos por habitante y por km ²	
		W/hab.	kW/km ²
Argentina	12.5	615	4.5
Bolivia	2.7	814	2.5
Brasil	30.0	477	3.5
Colombia	40.0	2 940	35.2
Chile	21.0	2 910	28.3
Ecuador	2.0	498	7.4
Paraguay	9.1	1 850	7.6
Perú	6.5	647	5.1
Uruguay	1.2	438	6.5
Venezuela	16.0	2 990	20.6
Costa Rica	1.5	1 430	29.5
Cuba	-	-	-
El Salvador	0.9	373	45.0
Guatemala	0.2	56	1.9
Haití	...	...	...
Honduras	0.4	220	3.6
México	11.0	340	5.6
Nicaragua	0.4	292	2.7
Panamá b/	0.9	856	11.8
República Dominicana	...	...	...
Guayana Británica	...	...	...
Indias Occidentales	...	...	...
Surinam	1.5	6 200	10.5
Total regional c/	151.8	814	7.6

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas y de Naciones Unidas, Statistical Yearbook, 1958 para superficies territoriales.

a/ Realizadas por cada país. Corresponden a la suma de las capacidades de centrales ya instaladas y a las que con carácter económico se pueden instalar en lugares o sitios conocidos.

b/ Incluye la Zona del Canal.

c/ Corresponde sólo a los países con información.

Cuadro 9

AMERICA LATINA: POTENCIAL HIDROELECTRICO

País	Basado en caudal mí- nimo ordi- nario (miles de kW)	Basado en caudal medio		
		Total (miles de kW)	Por km ² (kW/km ²)	Por habitante (kW/hab)
Argentina	3 974	29 440	10.60	1.45
Bolivia	2 650	22 080	20.10	6.72
Brasil	14 720	176 640	20.70	2.81
Colombia	3 974	73 600	64.65	5.44
Chile	5 152	18 400	24.80	2.52
Ecuador	1 472	25 760	97.90	6.44
Paraguay	2 061	7 360	18.10	4.42
Perú	4 710	40 480	31.50	3.96
Uruguay	294	2 208	11.80	0.82
Venezuela	3 165	36 800	40.30	5.82
Costa Rica	1 030	5 888	115.67	5.47
Cuba	-	-	-	-
El Salvador	221	1 104	55.20	0.46
Guatemala	1 546	8 832	81.10	2.47
Haití	-	-	-	-
Honduras	1 030	5 888	52.50	3.21
México	6 256	33 120	16.80	1.02
Nicaragua	810	4 416	29.80	3.17
Panamá	515	2 944	38.80	2.80
República Dominicana	-	-	-	-
Guayana Británica	2 650	14 720	68.50	27.36
Indias Occidentales	368	2 944	177.90	2.80
Surinam	800	7 400	51.80	30.60
Total regional	57 398	520 024	25.50	2.70

Fuente: CEPAL a base de las informaciones del US Geological Survey Circular 367, en materia de po-
 tenciales hidroeléctricos y directas para superficies territoriales y poblaciones.

/No obstante

No obstante esas observaciones que invalidan la comparación estricta de los recursos hidroeléctricos entre países bajo un concepto no unificado de potencial económico, se presenta el cuadro 8 como una tentativa provisional de estimación a base de las investigaciones y estudios propios de cada país, aunque en algunos de ellos la cobertura es parcial. Con el mismo carácter provisional se incluye el mapa II-1.

2. Distribución geográfica

Sobre un total aproximado de 150 millones de kW económicamente instalables en toda América Latina (véase el cuadro 8), en cuatro países se concentra más del 70 por ciento de ese potencial: Colombia, Brasil, Chile y Venezuela con 40, 30, 21 y 16 millones de kW respectivamente, seguidos de Argentina, México y Perú con 12.5, 11.0 y 6.5 millones de kW, que representan el 20 por ciento del total de América Latina.

La distribución de este potencial por unidad de superficie es también bastante irregular. El Salvador, Colombia, Costa Rica y Chile, aparecerían como los países mejor dotados con 45.0, 35.2, 29.5 y 28.3 kW por km², seguidos por Venezuela con 20.6 kW/km². A continuación figuran Panamá, Paraguay, Ecuador y Uruguay, pero con valores muy inferiores: 11.8, 7.6, 7.4 y 6.5 kW/km², respectivamente.

Por otra parte, en relación a la población actual, los países mejor provistos en recursos hidráulicos para generar electricidad son: Venezuela, Colombia, Chile y Paraguay, con 2 990, 2 940, 2 910 y 1 850 Watts por habitante respectivamente.

Desde el momento en que la falta de homogeneidad entre las estimaciones nacionales, impide trazar un panorama completo a otro nivel de potenciales hidroeléctricos, se presentan en el cuadro 9 los potenciales estimados por el U.S. Geological Survey 1954, por países, destacando la evaluación que considera el Q medio. Según el cuadro precedente, los países mejor dotados serían: Brasil, Colombia, Perú y Venezuela con 176.6, 73.6, 40.5 y 36.8 millones de kW respectivamente, seguidos por México (33.1), Argentina (29.4) y Ecuador (25.8).

Cuadro 10

AMERICA LATINA: POTENCIAL HIDROELECTRICO

(Estimación de aprovechamientos económicos
para algunas cuencas seleccionadas, 1960)

País: Cuenca o subcuencas	Potencial	
	Millones kW	Porcientos del total del país
Argentina ^{a/}		
Sistemas Tuyuyán-Diamante-Atuel	1.38	11.0
Río Negro	2.33	18.6
Sistema Córdoba	0.28	2.2
Bolivia ^{b/}		
Alto Beni (Bala)	1.00	37.0
Ríos Corani-Espíritu Santo	0.15	5.6
Brasil		
Río San Francisco ^{c/}	3.10	10.3
Río Grande ^{d/}	7.00	23.3
Ríos Paranapanema y Tieté	2.50	8.3
Río Paraná	7.00	23.3
Colombia		
Río Bogotá ^{e/}	1.00	2.5
Río Cauca (hasta Buga, incluye Proyecto Cauca Dagda.)	1.6	4.0
Costa Rica ^{f/}		
Río Reventazón	0.57	38.0
Río Grande Térrcoles	0.16	10.7
Cuba		
Chile ^{g/}		
Río Maule	1.55	7.4
Río Bío-Bío	2.38	11.4
Río Maipo	0.61	2.9
Ecuador ^{h/}		
Río Mira	0.15	7.5
Río Esmeraldas	0.16	8.0
El Salvador ^{i/}		
Río Lempa	0.84	92.3
Guatemala		
Haití		
Honduras ^{j/}		
Lago de Yojoa - Río Lindo	0.17	42.0
México		
Río Balsas ^{k/}	1.0	9.1
Ríos Lerma-Chapala-Santiago ^{l/}	1.83	16.6
Ríos Papalcapán ^{m/}	0.50	4.5

/Cuadro 10 (cont.)

Cuadro 1C (continuación 1)

País: Cuencas o subcuencas	Potencial	
	Millones kW	Porcentaje del total del país
Nicaragua n/ Ríos Tuma-Matagalpa-Viejo	0.13	32.5
Panamá h/ Río Chiriquí	0.2	22.2
Paraguay o/ Río Acaray-Monday	0.35	11.3
Perú p/ Río Santa	1.00	15.4
República Dominicana	...	
Uruguay g/ Río Negro	0.49	40.8
Venezuela r/ Río Caroni	14.0	87.5
Guayana Británica	...	
Indias Occidentales	...	
Surinam		
Río Surinam g/ Río Surinam	0.2	13.3

a/ Agua y energía eléctrica. Potencial económicamente aprovechable, estudio del Ingeniero G.A. Mazza, (1958).

b/ Dirección general de Hidráulica y Electricidad.

c/ "A Valerigao do Vale do Sao Francisco. Comissao do Vale do Sao Francisco 1957". (Regulado con embalse Tres Marias).

d/ "Electric Power in Brazil 1960". "Brazilian National Committee of the World Power Conference". (Regulado con embalse de Furnas). La potencia de esta cuenca no correspondería a la asignada a ella en la estimación para todo el país. Hay estimaciones que elevan a 10 millones de kW el potencial de este río.

e/ Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá. "Development Programme, June 1959".

f/ Datos del Instituto Costarricense de Electricidad.

g/ Plan de electrificación del país. ENDESA. Potencial económico.

h/ Estimación de J.R. Rittershausen. (Experto DOAT. Naciones Unidas).

i/ "La investigación de recursos hidráulicos en El Salvador", Atilio García Prieto., Naciones Unidas 21 de noviembre de 1959.

j/ Investigación preliminar y parcial de los recursos hidroeléctricos de Honduras. Julio A. Lang. CCE/SC.5/1/DT/18.

k/ Estimación a base de las centrales en operación y los proyectos conocidos.

l/ "La industria de Energía Eléctrica", Lara Bcautell. Potencial económico.

m/ "Economía del Papaloapan". Comisión del Papaloapan. Secretaría de Recursos Hidráulicos.

n/ Plan de electrificación nacional e investigación de los recursos hidroeléctricos.

o/ "Proyecto de recursos hidráulicos y electrificación del CIFE", Instituto de Fomento Económico 1960.

p/ ANDE. Información directa.

q/ "Plan de instalaciones hidroeléctricas de la Corporación Peruana del Santa en el Valle del Río Santa en el Perú". S. Antúnez de Mayolo - 1949.

r/ "El potencial hidroeléctrico en nuestro país". José L. Buzzetti. Potencial económico.

s/ "Los recursos hidroeléctricos de Venezuela" (en preparación), CEPAL. Potencial económico.

t/ "Appraisal Survey of Hydroelectric Power Resources in Surinam" - Bokoondo Bureau - Government of Surinam.

En relación al mismo potencial, pero por unidad de superficie territorial, figurarían como los más favorecidos: Indias Occidentales, Costa Rica, Ecuador, Guatemala y Guayana Británica con 177.9, 115.7, 97.9, 81.1 y 68.5 kW/km², seguidos a su vez por Colombia (64.7), El Salvador (55.2), Honduras (52.5), Surinam (51.8) y Venezuela (40.3).

La última columna del mismo cuadro presenta a Surinam, Guayana Británica, Bolivia, Ecuador y Venezuela como los más ricos en recursos hidroeléctricos en relación a su población actual, con 30.6, 27.4, 6.7, 6.4 y 5.8 kW por habitante, respectivamente.

No es posible una comparación directa por países entre las estimaciones realizadas por el U.S. Geological Survey y el conjunto de apreciaciones nacionales. Primero, porque responden a conceptos teóricos a distintos niveles, y segundo, porque como se ha observado antes, las últimas se han realizado con criterios y métodos diferentes y abarcando porciones territoriales distintas. Además la cobertura de datos básicos empleados ha debido ser muy irregular, por lo menos en algunas regiones, ya que sólo así puede explicarse el caso excepcional de Chile que figura con una estimación de potencial económico superior a la de potencial teórico. En otros casos, por el contrario, la estimación del potencial teórico es varias veces superior al económico, por ejemplo, en Ecuador alcanza a más de 10 veces. Sin embargo, para el conjunto de América Latina (considerando una compensación de errores) la relación entre los potenciales comentados (0.29) es razonable, si se tiene en cuenta que en las estimaciones nacionales predominan, sin duda, los errores por defecto.

Volviendo a la estimación de potenciales económicos, su distribución en cada país es también muy irregular, como se desprende del cuadro 10, en el cual se presentan los potenciales estimados de aprovechamiento económico para algunas cuencas seleccionadas, según las investigaciones propias de cada país. (Véase mapa II-1.)

/Obsérvese cómo,

Obsérvese cómo, en algunos casos, en sólo uno o dos ríos se concentran proporciones elevadas del potencial estimado total del país. El fenómeno real de la irregularidad en la distribución geográfica está, sin duda, hipertrofiado en este cuadro en el caso de muchas naciones, por la forma misma en que se estiman los potenciales: la magnitud apreciada va en aumento a medida que se investigan mejor los recursos. Como muchas de las cuencas seleccionadas corresponden a las mejor estudiadas (hay, sin embargo, algunas excepciones), los potenciales asignados a ellas están más cerca de la realidad que los atribuidos a todo el país, los que proporcionalmente aparecen subestimados. Además, la poca uniformidad de algunas informaciones permite señalar, en calidad de muestra, casos especiales de inconsistencia en los datos, como sucede con el Río Grande en Brasil (San Pablo-Minas Gerais), que aparece en el cuadro con un potencial de más reciente estimación superior al que se le atribuyó en la apreciación del potencial para todo el país. En México, en la cuenca del río Balsas existen centrales en proyecto que, sumadas a las que se encuentran en operación, arrojan aproximadamente 1 millón de kW y superan en un 300 por ciento a la estimación que correspondió a la cuenca en la apreciación del potencial para todo el país.

Sin embargo, son dignos de considerarse: en El Salvador el río Lempa, en Venezuela el Caroní, en Honduras el Lago Yojoa-Río Lindo, en Uruguay el río Negro, en Bolivia el Alto Beni y en Nicaragua los ríos Tuma-Matagalpa-Viejo, que concentrarían respectivamente más del 90, 85, 40, 40, 25 y 30 por ciento de los respectivos potenciales hidroeléctricos nacionales. También en los otros países existen concentraciones apreciables del recurso examinado, como puede verse en el cuadro. A veces, como en el caso de Argentina con los ríos Tunuyán, Diamante, Atuel y Negro, un elevado potencial aparece concentrado en una región relativamente alejada de los principales centros de consumo eléctrico actuales.

3. Irregularidad del caudal de los ríos por países

En América Latina no hay noticias de que se hayan realizado antes mapas o estudios regionales amplios sobre la irregularidad de los ríos.

Cuadro 11

AMERICA LATINA: RELACION ENTRE LOS POTENCIALES CORRESPONDIENTES
AL CAUDAL MINIMO ORDINARIO Y AL CAUDAL MEDIO

Argentina	0.14	Costa Rica	0.18
Bolivia	0.12	El Salvador	0.20
Brasil	0.08	Guatemala	0.18
Colombia	0.05	Honduras	0.18
Chile	0.28	México	0.19
Ecuador	0.06	Nicaragua	0.18
Paraguay	0.28	Panamá	0.18
Perú	0.12	Guayana Británica	0.18
Uruguay	0.13	Indias Occidentales	0.13
Venezuela	0.09		

Una primera indicación sobre el grado de irregularidad del conjunto de los ríos de cada país, principalmente con fines de comparación entre ellos, puede obtenerse de la relación entre los potenciales estimados por el U.S. Geological Survey, correspondiente a caudales mínimos ordinarios y caudales medios, teniendo en cuenta que las obras de embalses realizadas hasta ahora son en general poco importantes para la regulación en ámbitos nacionales, correspondiendo a Argentina, Brasil y México las labores más señaladas en la materia.^{4/} En el cuadro II se consignan los valores indicados.

Chile y Paraguay aparecerían con los caudales más regulares, en tanto que Brasil, Colombia, Ecuador y Venezuela presentarían los más irregulares. Sin embargo, la irregularidad uniforme, registrada para México y todos los países de Centroamérica, en contraposición al resto de los países de la región, parece confirmar la menor exactitud de las estimaciones que el propio autor del trabajo anota para América Latina, en relación a otras áreas más desarrolladas, como consecuencia de la escasez de informaciones básicas. Por la dificultad que supone determinar los caudales mínimos habituales a base de datos casi exclusivamente pluviométricos, como se indicó antes, parece lógico confiar menos en la estimación de los potenciales correspondientes a Q 95 por ciento.

De todos modos, queda en evidencia la necesidad de obtener mayores informaciones en materia de pluvio y fluviometría, así como de realizar una elaboración más adecuada de los datos existentes, sistematizando la investigación de los potenciales hidroeléctricos.

Simultáneamente con los estudios de evaluación de potenciales hidroeléctricos por países o cuencas, se indicó la conveniencia de confeccionar los respectivos mapas de irregularidad de caudales dentro del año hidrológico correspondiente.

En los estudios del grupo conjunto CEPAL/DOAT/OMM, sobre los recursos hidráulicos en Chile y Venezuela,^{5/} se han calculado estos coeficientes para un número relativamente reducido de ríos.

^{4/} Esta estimación corresponde a un concepto distinto al del coeficiente de irregularidad C_r recomendado.

^{5/} Véase Los recursos hidráulicos de Chile (E/CN.12/561/Add.1) y Los recursos hidráulicos de Venezuela, un resumen del cual se presenta en E/CN.12/562.

Cuadro 12

CHILE: GRADO DE IRREGULARIDAD DE ALGUNOS RIOS DENTRO
 DEL AÑO HIDROLOGICO

Rfo	Estación de aforo	Latitud (aprox.)	Cr.
Carmen (Huasco)	Ramadillas	28°47'	0.10
Claro (Elqui)	Rivadavia	30°	0.11
Choapa	Cuncumán	31°55'	0.34
Maipo	La Obra	33°35'	0.25
Tinguiririca (Rapel)	Bajo Briones	34°44'	0.24
Ashibueno (Maule)	Los Peñones	35°58'	0.23
Maule	Afluentes de Laguna de La Invernada	34°48'	0.20
Laja (Bío-Bío)	Afluentes del Lago Laja	37°22'	0.18
Allipén (Toltén)	Los Laureles	38°57'	0.16
Pilmaiquén (Bueno)	El Salto	40°37'	0.15
Mauñín	Llanquihue	41°13'	0.10
Puelo	Carrera de Basilio	41°37'	0.09

Fuente: Los Recursos Hidráulicos de Chile, op. cit.

Cuadro 13

VENEZUELA: COEFICIENTES DE IRREGULARIDAD DE LOS RIOS
DE LOS LLANOS Y DEL RIO MOTATAN

Río	Estación	Coficiente aproximado de irregularidad α /
Guárico	Puente Carretera El Sombrero	0.445
Pao	Paso La Balsa	0.360
Tinaco	Puente Carretera Tinaco-El Pao	0.382
Tirgua	Paso Viboral	0.206
Cojedes	Puente Carretera San Carlos Acarigua	0.234
Agua Blanca	Puente Carretera San Carlos-Acarigua	0.275
Acarigua	Puente Carretera Acarigua-Guanare	0.313
Guadía	Puente Carretera Acarigua-Guanare	0.321
Baconó	Peña Larga	0.249
Masparro	Puente Carretera Guanare-Barinas	0.273
Santo Domingo	El Curay	0.247
Uribante	Puente Colgante	0.230
Motatán		0.13

Fuente: Ministerio de Obras Públicas: "Resumen de datos hidrométricos 1940/59", Caracas, 1960. (Tomado de "Los recursos hidráulicos de Venezuela", CEPAL/OAT/OMM, en preparación).

α / Calculado a base del año hidrológico medio y usando solamente de las medias mensuales.

En el primer país interesaba evaluar cuantitativamente la variación de la irregularidad de los ríos de norte a sur, ya que cualitativamente es bien conocida, tanto por la variación longitudinal del régimen pluvial como por la acción también variable, con la latitud, de la nieve en la cordillera como acumuladora de grandes volúmenes de agua.

En los distintos ríos se calcularon los coeficientes en puntos que pueden considerarse como de transición entre la Cordillera de los Andes propiamente dicha y la zona plana o valle longitudinal. Los resultados aparecen en el cuadro 12.

En Venezuela interesaba también mostrar cuantitativamente la elevada irregularidad del caudal de sus ríos (a excepción del Motatán) que tiene graves repercusiones sobre el aprovechamiento de ellos y refleja la distribución estacional de las lluvias: por ejemplo, el Guárico, que acusa el coeficiente más alto, tiene sólo cinco meses de época húmeda. (Véase el cuadro 13.)

Como ejemplo de metodología y con carácter muy provisional se ha confeccionado el mapa de Argentina con el índice señalado. Véase el mapa II-2.

En la zona cordillerana, por la acción reguladora de la nieve en las altas cumbres, se registran curvas de bajo índice de irregularidad, principalmente entre los 26 y 32 grados de latitud. Es probable que este fenómeno se extienda más al sur, pero que en el mapa no se evidencie simplemente por la escasez de datos para el trazado de las curvas correspondientes. En torno a los ríos Paraná y Uruguay, las curvas de bajo coeficiente de irregularidad reflejan sobre todo la regularidad de caudales de esos ríos, como consecuencia de la amplitud y diversificación de regímenes fluviales en las cuencas tributarias correspondientes (principalmente en territorio brasileño y paraguayo), así como también, aunque en menor escala, la uniformidad de los regímenes pluviales en las zonas entrerrianas y de las provincias de Santa Fe y el Chaco.

A la inversa, las regiones de Jujuy, Salta, Tucumán, etc., registran líneas de elevado índice de irregularidad como consecuencia de las características pluviales variables a lo largo del año hidrológico, así como la falta de diversidad en las características de los tributarios y ausencia de lagos reguladores.

Cuadro 14

CAPACIDAD HIDROELECTRICA INSTALADA EN 1958 EN RELACION AL
RECURSO POTENCIAL - Q MEDIO

	Millones de kW	Porcentaje del potencial
América Latina	6.22	1.2
Europa Occidental	50.26	45.1
Europa Oriental	12.45	4.3
Estados Unidos	30.10	35.3
Otros países desarrollados	29.90	22.3
Resto del mundo	9.11	0.8
Mundo	138.04	6.1

Fuente: CEPAL, a base de las informaciones de U.S. Geological Survey Circular 367, en materia de potenciales hidroeléctricos, de informaciones directas para la capacidad instalada en América Latina y Naciones Unidas, Statistical Yearbook (1958) para el resto del mundo.

Cuadro 15

AMERICA LATINA: ^{a/} APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO EN 1958 ^{b/}

País	Potencia hidroeléctrica instalada	
	Miles de kW	Porcentaje del potencial económico estimado
Argentina	278	2.2
Bolivia	89	3.3
Brasil	2 850	9.5
Colombia	490	1.2
Chile	521	2.5
Ecuador	36	1.8
Paraguay	-	-
Perú	401	6.2
Uruguay	128	10.7
Venezuela	35	0.3
Costa Rica	77	5.1
Cuba	4	...
El Salvador	56	6.7
Guatemala	26	15.0
Haití	-	-
Honduras	4	1.0
México	1 159	10.5
Nicaragua	1	0.3
Panamá ^{c/}	52	5.8
República Dominicana	-	-
Guayana Británica	-	-
Indias Occidentales	13	...
Surinam	-	-
Total regional ^{a/}	6 220	4.1

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas y de publicaciones varias.

a/ Excluidos en la última columna: Haití, República Dominicana, Guayana Británica e Indias Occidentales, por falta de informaciones sobre potenciales económicos.

b/ La información se limitó al 31 de diciembre de 1958, para establecer la unidad de información con otros estudios. Entre 1959 y 1960, se terminaron algunas obras, como las de la Central Macagua I en Venezuela, que eleva a 335 kW la potencia hidráulica instalada al 31 de diciembre de 1960. A esa fecha, el aprovechamiento relativo en ese país es de 2.1 por ciento.

c/ Incluye la Zona del Canal.

4. Aprovechamientos actuales

El cuadro 14 permite comparar, aunque sólo sea en forma aproximada, el aprovechamiento relativo del recurso hidroeléctrico por regiones en las bases en que aquél se confeccionó.

Se observa que América Latina ha desarrollado una parte muy reducida de sus posibilidades, ya que sólo alcanzaría a la quinta parte del aprovechamiento relativo como promedio mundial y a 1/37 y 1/30 del correspondiente a Europa occidental y Estados Unidos.

En el cuadro 15 se hace un análisis del grado de aprovechamiento por países, a base de la estimación del potencial económico.

Ese empleo para toda la región es algo superior a 4 por ciento. Los países que denotan un mayor aprovechamiento relativo son: Guatemala, Uruguay, México y Brasil con 15.0, 10.7, 10.5 y 9.5 por ciento, respectivamente.

Guatemala figura con un alto porcentaje, no porque haya desarrollado sus riquezas en forma excepcional en relación a los otros países, sino porque el potencial asignado estaría subestimado por abarcar sólo una parte del sistema fluvial del país. Es evidente que, en general, todos los países de América Latina están muy lejos aún de aprovechar sus recursos hidroeléctricos en la proporción en que lo han hecho otros más desarrollados. En Estados Unidos, la proporción de aprovechamiento en 1958, calculada sobre bases similares a las aquí empleadas, era de casi un 24 por ciento.^{6/} Del mismo modo, para Suiza, Francia y Austria, esas proporciones eran (1958): 17.7, 14.6 y 8.5 por ciento, respectivamente.^{7/}

Sin embargo, si se examinan individualmente los recursos ubicados cerca de los grandes centros demográficos o de las zonas de mayor actividad

^{6/} Estimaciones de The Federal Power Commission, citado en Water Resources Activities in the United States, Print N° 10. Select Committee on National Water Resources, United States Senate.

^{7/} Fuente: CEPAL, a base de informaciones tomadas de The electric power situation in Europe in 1958/59 and its prospects, ST/ECE/EP/2 y Hydroelectric potential in Europe and its gross, technical and economic limits (E/ECE/EP/131).

Cuadro 16

AMERICA LATINA: APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO
PARA ALGUNAS CUENCAS (1958)

Cuencas o subcuencas	Potencia hidroeléctrica instalada	
	Miles de kW	Porcentaje del potencial económico estimado de la cuenca
Argentina		
Tunuyán-Diamante-Atuel	74	5.4
Río Negro	12	0.5
Sistema Córdoba	100	35.7
Bolivia		
Río Corani	-	
Brasil		
Río San Francisco	198	6.4
Río Jaouf	77	...
Río Grande	105	1.5
Río Uruguay	7	...
Río Paraíba	664	...
Río Tiete	876	...
Colombia		
Río Bogotá	128	12.8
Río Cauca (hasta Buga)	18	1.1
Chile		
Río Maule	102	6.6
Río Bío-Bío	87	3.7
Río Maipo	118	19.7
Ecuador		
Río Mira	3	2.0
Río Esmeraldas	16	10.0
Paraguay		
Perú		
Río Santa	52	5.2
Uruguay		
Río Negro	128	26.1
Venezuela		
Río Caroni	35	0.3

Cuadro 16 (continuación)

Cuencas o subcuencas	Potencia hidroeléctrica instalada	
	Miles de kW	Porcentaje del potencial económico estimado de la cuenca
Costa Rica		
Río Reventazón	5	0.9
Río Grande de Térracos	62	38.8
Cuba		
	-	-
El Salvador		
Río Lempa	45	5.4
Guatemala		
Río Michatoga	12	...
Haití		
Honduras		
Yejua - Río Lindo	-	-
México		
Río Balsas	449	...
Lerma-Chapala-Santiago	201	11.0
Papalcapán	154 a/	30.8
Nicaragua		
Río Viejo	-	-
Panamá		
Río Chiriquí	6	3.0
República Dominicana		
	-	-
Guayana Británica		
	-	-
Indias Occidentales		
Surinam		
Río Surinam	-	-

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas y de publicaciones varias.

a/ Entre 1958 y 1959.

Cuadro 17

AMERICA LATINA: CAPACIDAD Y PRODUCCION DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS
 DE SERVICIO PUBLICO (1958)

País	Centrales de pasada <u>a/</u>		Centrales de embalse		Capacidad de embalse <u>b/</u> (millones de kWh)
	Potencia (miles de kW)	Energía (millones de kWh)	Potencia (miles de kW)	Energía (millones de kWh)	
Argentina	58	119 <u>a/</u>	202	546 <u>a/</u>	484
Bolivia	52	195	18	43	29
Brasil <u>d/</u>	922	1 799	1 580	11 897	3 360
Colombia	195	787 <u>a/</u>	258	1 143 <u>a/</u>	75
Costa Rica	73	274	-	-	-
Cuba	3	...	-	-	-
Chile	219	1 005	191	891	515 <u>g/</u>
Ecuador	31	130	-	-	-
El Salvador	11	54	45	149	38
Guatemala	26	106	-	-	-
Haití	-	-	-	-	-
Honduras	4	11	-	-	-
México	401	1 482	706 <u>f/</u>	2 674	3 170
Nicaragua	1	3	-	-	-
Panamá <u>g/</u>	6	24	-	-	-
Paraguay	-	-	-	-	-
Perú	68	165	145 <u>h/</u>	633 <u>h/</u>	159
República Dominicana	-	-	-	-	-
Uruguay	-	-	128	760	600
Venezuela	35	138	-	-	-
Guayana Británica	...	...	...	...	...
Indias Occidentales	13	85	...	...	...
Surinam	...	...	...	...	...
Total regional (excluidos los países que aparecen sin información)	2 118	4 568	3 273	18 736	8 430

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas y publicaciones varias.

a/ A filo de agua.

b/ La capacidad de cada embalse en kWh se evaluó considerando la suma de las alturas de caída de todas las centrales que se encuentran aguas abajo de él trabajando en serie hidráulica.

c/ Energía estimada.

d/ Las centrales con regulación apreciable que se han considerado son: Nilo Pecanha, Fontes, Cubatao, Ituparanga, Peixoto, Bugres, Canastra, Salto Grande, Americana e Itutinga. Al entrar en operaciones la central y el embalse Tres Marias (Río San Francisco), la potencia agregada será de 520 mW y la capacidad de energía embalsada subirá en 4 000 millones de kWh incluyendo la altura de caída de la Central Paulo Afonso.

e/ La capacidad de embalse útil de la Central Abanico se encontraba en proceso de ampliación.

f/ Plantas hidroeléctricas del sistema Miguel Alemán, central Temascal (Papaloapan), Sistema Necaxa, Lerma y La Boquilla.

g/ No incluye las centrales de la compañía del Canal de Panamá, por falta de informaciones sobre la producción.

h/ Centrales relacionadas con los embalses naturales en la cuenca superior del Sta. Eulalia. (Una parte del caudal empleado es de pasada, proveniente del Río Rimac).

industrial en cada país, se comprueba que ya hay algunos bastante desarrollados, sobre todo si se compara con los promedios nacionales correspondientes. Entre los casos para los cuales se cuenta con información pueden mencionarse especialmente el río Grande de Tárcoles (Costa Rica), aprovechado ya casi en un 40 por ciento, el sistema de Córdoba (Argentina) en más del 35 por ciento, el Papaloapan (México) 31 por ciento, el río Negro (Uruguay) en más del 25 por ciento (1958)^{8/} y el Maipo (Chile) casi en un 20 por ciento. (Véase el cuadro 16.)

Los ríos Bogotá (Colombia), Lerma-Chapala-Santiago (México) y Esmeraldas (Ecuador) tienen aprovechados un 13, 11 y 10 por ciento, respectivamente, de sus potenciales estimados.

En Brasil, los ríos Paraíba y Tieté, han sido ya aprovechados en una elevada proporción. El primero cuenta con una capacidad instalada de 664 mW y el segundo con 876 mW.

5. Características de los aprovechamientos

Para el conjunto de centrales hidroeléctricas de servicio público en operación en América Latina (1958) sobre las que se dispuso de datos, aproximadamente el 40 por ciento de la capacidad correspondió al tipo de centrales de pasada (a filo de agua) y, el saldo, al que cuenta con embalses reguladores. (Véase el cuadro 17.) La parte de la energía generada por las primeras fue de 36 por ciento. A excepción de Argentina, Brasil, Colombia, México, Perú y Uruguay, y, en menor escala, El Salvador, que en ese año contaban con mayor proporción de capacidad hidroeléctrica con regulación, en la mayoría de los países predominan las centrales de pasada. En efecto, la tendencia general por muchos años fue el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de tipo cordillerano: caudales pequeños y alturas de caída relativamente importantes, sin regulación. Las centrales se proyectaban para caudales mínimos del río con duraciones a menudo superiores al 95 por ciento. Es el tipo de central que proporcionalmente necesita menor inversión, pero implica aprovechamientos muy

^{8/} Cuando entre en servicio (1960) la central Baygorria, se tendrá aprovechado más del 45 por ciento del potencial de ese río.

bajos del recurso natural. Posteriormente, bajo las presiones simultáneas de las mayores demandas eléctricas, necesidades agrícolas y de agua potable, se empezaron a construir obras de regulación importantes para aprovechar en forma más racional el agua, generalmente con fines múltiples. En la actualidad, prácticamente en todos los países de la región se va imponiendo la idea de no realizar ningún aprovechamiento hidráulico sin estudiar con el criterio del más amplio interés público el empleo óptimo del agua, consultando simultáneamente las necesidades y posibilidades de riego, agua potable, regulación de crecidas, navegación, etc., con la producción de energía eléctrica, por lo general, como base económico-financiera de todo plan.

Principalmente en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Uruguay existen buenos ejemplos de esa política. Sin duda, la participación de las centrales hidroeléctricas con embalse irá creciendo en todos los países de la región, con la tendencia simultánea a emplearlas más para generar energía a las horas de punta (bajo factor de planta) en los sistemas alimentados simultáneamente por centrales térmicas e hidráulicas de distinto tipo (en tanto lo permitan los otros usos del agua), como sucede en la mayoría de las naciones más desarrolladas.

En un sistema amplio alimentado por centrales de diverso tipo, conviene en lo posible que la carga base la tomen las usinas hidráulicas de pasada (o las nucleares donde las hubiere), con una contribución generalmente importante de centrales térmicas (las de mejor rendimiento) y/o el aporte de una parte de las centrales hidráulicas de embalse. La totalidad o una parte apreciable de éstas junto con las turbinas de gas (donde las hubiere), toman la parte superior de la curva de carga. La zona intermedia - reducida al mínimo por la operación de las anteriores - se destina a las térmicas con menor rendimiento. Hay, por cierto, en cada caso múltiples factores que deben considerarse al respecto. Por ejemplo, los otros usos simultáneos del agua (riego, navegación, etc.) pueden imponer la administración de los embalses en forma distinta a la indicada por la sola consideración energética. También son frecuentes las centrales de pasada que disponen de una reducida regulación y que conviene operarlas con una parte de su capacidad en base y el resto en punta, etc.

Cuadro 18

AMERICA LATINA: EVOLUCION DE LA CAPACIDAD HIDROELECTRICA INSTALADA DE SERVICIO PUBLICO SEGUN PROGRAMAS

País	1958		1965	1970	Tasas de aumento	
	Potencia	Utilización	Potencia	Potencia	anual de la potencia	
	(miles de kW)	anual (horas)	(miles de kW)	(miles de kW)	1958-65	1958-70
Argentina	260	2 558	728	2 578	15.8	21.0
Bolivia	70	3 400	130	...	9.2	...
Brasil	(2 525)	5 424	5 792	...	12.6	...
Colombia	453	4 260	1 141	1 799	14.1	12.2
Chile	410	4 624	985	1 489	13.3	11.3
Ecuador	31	4 194	101	...	18.3	
Paraguay	-	-	...	...
Perú	213	3 746	859	1 419	22.0	17.1
Uruguay	128	5 938	233	933	8.9	18.0
Venezuela	35	3 943	350	4 350	39.0	49.5
Costa Rica	73	3 753	135	...	9.1	
Cuba	-	-	...	...	...
El Salvador	56	3 625	96	...	8.0	
Guatemala	26	4 077	98	...	20.8	
Haití	-	-	...	...
Honduras	4	2 750	...	...
México	1 107	3 754	2 556 ^{a/}	...	14.9	
Nicaragua	1	3 000	...	...
Panamá b/	6	2 350	...	...
República Dominicana	-	-	...	...
Guayana Británica	-	-	...	...
Trinidad y Tobago	13	6 538	...	...
Surinam	-	-	16 ^{c/}	...		
Total regional (excluidos los países que aparecen sin información)	5 405	4 640	13 220	12 568	13.6	19.4

Fuente: CEPAL a base de informaciones directas y publicaciones diversas.

a/ Hasta 1964. Programa C.F.E.

b/ No incluye las centrales de la compañía del Canal de Panamá por falta de informaciones sobre la generación.

c/ Corresponde a la potencia máxima de libre disponibilidad para servicio público, en la central de 150 mW que construye la empresa Surinam Aluminium Co. "SURALCO", en convenio con el Reino de los Países Bajos representado por el Gobierno de Surinam.

/Actualmente puede

Actualmente puede decirse que todas las centrales importantes en construcción, proyecto y planeamiento en América Latina, incluyen obras de regulación.

Dentro de la información disponible, la capacidad de embalse (1958) en toda la región alcanzó aproximadamente al 36 por ciento de la energía generada por las centrales hidráulicas y a cerca del 45 por ciento de la generada por las centrales con embalse.^{9/}

México (sistemas Miguel Alemán, Temascal, Nexaca, Lerma y La Boquilla), Brasil (sistemas de San Pablo-Cubatã y Río de Janeiro-Fontes y Nilo Peçanha-Peixoto), Uruguay (Río Negro), Argentina (sistemas de Córdoba y Mendoza) y Chile (sistemas de Abanico y Cipreses) son los países que proporcionalmente disponían de mayor capacidad de almacenamiento en relación a la energía generada (1958) por las centrales correspondientes.

La utilización de las instalaciones del servicio público en 1958 puede examinarse por países en el cuadro 18 segunda columna. Es frecuente encontrar en aquellos países donde la participación hidroeléctrica en la capacidad instalada total es grande, empleos conjuntos superiores a 4 500 horas, arrojando el promedio de América Latina más de 4 600 horas. Los principales sistemas eléctricos de la región (salvo raras excepciones, entre las que destacan Buenos Aires, Caracas, La Habana, Guayaquil y Asunción) trabajan con centrales hidráulicas de base cuyas capacidades instaladas tienen, por lo general, alta seguridad hidrológica. En sistemas menores es frecuente que la carga base sea servida por centrales hidráulicas de pasada, disponiéndose de grupos diesel para cubrir la mayor demanda a las horas de punta y para situaciones de emergencia.

El bajo empleo de las centrales hidráulicas de Argentina obedece, en parte, a que algunas de ellas, que disponen de embalse, proporcionan el suministro de punta y, en parte, reflejan la falta de obras complementarias en determinadas centrales de las provincias de Mendoza y Córdoba.^{10/}

^{9/} Véase la nota b/ del cuadro 17.

^{10/} Para los molinos I, con sólo 2 600 horas de utilización como promedio, se estudia la construcción del dique Anizácate. Asimismo, faltaría un embalse compensador en la central del dique de San Roque.

Por desgracia, la información disponible no permite hacer un análisis de las centrales en servicio o construcción en cuanto al grado o carácter de la regulación (diaria, semanal, estacional, anual, etc.), de la altura de caída, de la edad de las instalaciones, etc.

Las observaciones anteriores se refieren exclusivamente a las centrales hidráulicas de servicio público. En la autogeneración, o sea, en los servicios de abastecimiento privado, predominan por lo común las centrales térmicas (industrias petroleras, azucareras, fabriles, varias, etc.) aunque en minería metálica hay países que utilizan ampliamente la fuerza hidráulica (Perú, Bolivia). La proporción de producción hidráulica sobre el total de la autogeneración es de 35 por ciento aproximadamente.

6. Aprovechamientos previstos

En varios países existen, con carácter oficial, planes de ampliación de los sistemas de servicio público; para otros, las empresas principales han trazado sus propios programas de desarrollo. En ambos casos se encuentran algunas divergencias entre las metas trazadas y el progreso realizado en las diversas obras programadas para distintas fechas. A base de tales antecedentes, sin modificaciones, se han confeccionado las últimas cuatro columnas del cuadro 18, en el que se presentan las capacidades hidroeléctricas de servicio público previstas para 1965 y 1970, así como las correspondientes tasas anuales de crecimiento acumulativo para 1958-65 y 1958-70.

Los 13 países para los que se dispone de información hasta 1965, instalarían en conjunto 7.8 millones de kW hidráulicos en 1958-65, lo que da una tasa anual acumulativa de 13.6 por ciento. Asimismo, los seis países, para los que se dispone de información hasta 1970, prevén en conjunto la instalación de 11.1 millones de kW en 1958-70. Ello supone un crecimiento acumulativo anual de 19.4 por ciento. Ambas estimaciones muestran claramente la importancia del desarrollo hidroeléctrico en la región en los próximos años. Los mayores incrementos absolutos corresponderían hasta 1965 a Brasil y México^{11/} con 3.27 y 1.45 millones de kW respectivamente, seguidos por Colombia, Perú, Chile

11/ Sólo los planes correspondientes a la C.F.E.

/y Argentina

y Argentina con 0.69, 0.64, 0.58 y 0.46 millones de kW respectivamente. Hasta 1970, destacan entre los países con planes conocidos Venezuela y Argentina, que prevén 4.3 y 2.3 millones de kW.

Las tasas de crecimiento mayores en 1958-65, que superan ampliamente la correspondiente al promedio regional, son las de Venezuela, Perú, Guatemala y Ecuador con 39.0, 22.0, 20.8 y 18.3 por ciento, respectivamente. También son muy importantes las de Argentina, México,^{12/} Colombia, Chile y Brasil: con 15.8, 14.9, 14.1, 13.3 y 12.6 por ciento, respectivamente.

Para 1958-65, las tasas que sobresalen son las correspondientes a Venezuela y Argentina, de 49.5 y 21.0 por ciento.

En general, los aumentos previstos de la capacidad hidráulica superan a los de la térmica en casi todos los países de América Latina.^{13/}

^{12/} Sólo los planes correspondientes a la C.F.E.

^{13/} CEPAL Estado actual y reciente evolución de la energía eléctrica en América Latina, op.cit.

Capítulo III

ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE INVESTIGACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS EN AMERICA LATINA

1. Consideraciones generales

En atención a la importancia fundamental que tiene el agua para la vida y el desarrollo de los pueblos en sus diversos usos, no parece ocioso recordar brevemente, una vez más, la gran trascendencia de la investigación y el estudio de los recursos hidráulicos en todas las regiones del mundo.

Se sabe que es indispensable, para estudiar cualquier proyecto hidráulico y el diseño de sus estructuras, contar con la información hidrológica pertinente que reúna dos condiciones básicas: precisión en los datos y continuidad de éstos a lo largo de un período suficientemente amplio.

La prevención de catástrofes como consecuencia de inundaciones y el encarecimiento de las construcciones debido al sobrediseño de estructuras (inclusive los aprovechamientos eléctricos sobredimensionados) y el logro de una operación más eficiente de todas las obras hidráulicas, son los frutos que compensan con creces la recolección, elaboración y análisis adecuados de las estadísticas hidrológicas e hidrometeorológicas. Por otra parte, esas tareas sólo representan una fracción reducida de las inversiones, generalmente apreciables, que requieren las construcciones hidráulicas.

Aunque la producción de energía no constituye el fin primordial en el empleo del agua, la magnitud de los recursos hidroeléctricos de América Latina que se intuyen (más que aprecian) a través de las cifras antes presentadas, además del relevante papel que representan en el suministro de electricidad en muchos países, justificaría por sí solo un análisis detenido de los medios de que se dispone para conocer la distribución y características de las fuentes de agua en toda la región y como paso previo a cualquier intento de evaluación integral y plan de desarrollo de esos recursos.

Ya el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, en resolución aprobada el 24 de agosto de 1954, recomienda a los gobiernos y organismos correspondientes de la Organización prestar atención especial a la recopilación

/de datos

de datos hidrológicos,^{1/} labor que ha proseguido el Centro de Desarrollo de Recursos Hidráulicos.

La CEPAL, en el sexto período de sesiones, en su resolución 99 (VI) recomendó a la Secretaría que evaluara esos datos con el propósito de determinar su aprovechamiento potencial y óptimo, y en el octavo período de sesiones, en su resolución 166 (VIII) confirmó y reforzó esta recomendación. Un grupo mixto de trabajo CEPAL/DOAT/OMM va realizando por países el análisis detenido de sus recursos hidráulicos y sus aprovechamientos respectivos.

La amplitud del problema que implica un examen sobre la cantidad y calidad de los datos hidrológicos en América Latina (tanto en el número de estaciones como en la duración de los registros), frente a las limitaciones propias de este estudio permiten sólo una visión panorámica y general del mismo. Sin embargo, es posible poner en evidencia lo siguiente:

- a) Que en varios países hay fundamentos para realizar - o iniciar al menos - la evaluación de los potenciales teóricos (examinados en el Capítulo I), con el fin de obtener cifras más fidedignas sobre la riqueza hidroeléctrica de la región y su distribución geográfica.
- b) Que a pesar de reconocerse diferentes matices regionales dentro de cada país y entre ellos, el cuadro general de los medios de investigación de los recursos hidráulicos es poco satisfactorio.
- c) Que la importancia de los datos hidrológicos para el proyecto y operación de las obras hidráulicas no ha sido captada en toda su magnitud por las autoridades competentes, las que no siempre prestarían un apoyo adecuado a los organismos encargados de tales mediciones.
- d) Que la escasez más notoria de datos fluviométricos en relación a los pluviométricos indica la preferencia que ha de darse por ahora a las evaluaciones basadas en estos últimos. También señala la conveniencia de ampliar las redes de estaciones hidrológicas

^{1/} ECOSOC: Resolución 533 (XVIII), Cooperación internacional en materia de aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

e hidrometeorológicas; dando prioridad a aquéllas de las primeras que, al cabo de algunos años, permitan establecer correlaciones con las pluviométricas ya en funcionamiento, las cuales cuentan con observaciones continuas durante un período largo.

En los párrafos siguientes se reseña brevemente la situación latinoamericana, con pleno reconocimiento de que por la escasez de informaciones básicas en algunos países y la obtención de datos parciales en otros, es posible que algunas cifras no se ajusten estrictamente a la realidad. La información numérica que a continuación aparece sólo debe considerarse, por eso, como una primera aproximación al análisis del problema en el ámbito continental.

2. Número de pluviómetros, fluviómetros y evaporímetros por países

De todas las observaciones que se hacen en materia de hidrología, las relativas a la medición de precipitaciones son (junto a las fluviométricas) las fundamentales y, al mismo tiempo, las más generalizadas. Las relaciones que se establecen entre precipitaciones y escurrimientos fluviales permiten, cuando no existen datos suficientes sobre las variaciones del caudal de un curso de agua, estimarlas a base de los datos correspondientes a las precipitaciones que, salvo raras excepciones, constituyen las estadísticas correspondientes a períodos más largos disponibles en hidrología.

Varios factores influyen en la densidad mínima de los pluviómetros requeridos idealmente en un país. Los principales serían: la irregularidad en la distribución superficial de las lluvias, las características topográficas y el fin al que se destinan las observaciones.

El área que puede cubrir representativamente un pluviómetro es, por consiguiente, muy variable; sin embargo, la cifra de 100 a 1 000 km² por pluviómetro refleja por término medio densidades de estaciones que pueden considerarse adecuadas para muchos fines en diversas regiones.^{2/} Las densidades mayores corresponden a las zonas montañosas donde la distribución de las precipitaciones es más irregular que en las planicies.

^{2/} Véase: Naciones Unidas, Proceedings of the Third Regional Technical Conference on Water Resources Development in Asia and Far East - Flood Control Series N° 13.

Cuadro 19

AMERICA LATINA: NUMERO DE PLUVIOMETROS, FLUVIOMETROS Y EVAPORIMETROS EN SERVICIO

País	Año	Superficie del territorio continental (km ²)	Densidad de población (1958) (hab./km ²)	Fluviómetros		Fluviómetros		Eva-porí-metros
				Nú-mero	Superfi-cie me-dia por pluvió-metro	Nú-mero	Superfi-cie me-dia por fluvió-metro	
Argentina	(1959)	2 778 412	7	3 613	769	537 _{a/}	5 174	110
Bolivia	(1959)	1 098 581	3	200 _{b/}	5 493	67	16 397	1
Brasil	(1959)	8 513 844	7	2 577	3 304	1 287 _{a/}	6 615	...
Colombia	(1959)	1 138 355	12	510 _{d/}	2 232	197 _{d/}	5 778	8
Costa Rica	(1958)	50 900	21	128	398	15	3 393	4
Cuba	(1958)	114 524	56	188 _{e/}	609	26 _{e/}	4 405	...
Chile	(1959)	741 767	10	479	1 549	260	2 853	19
Ecuador	(1958)	263 206	15	86 _{f/}	3 061	18 _{g/}	14 623	...
El Salvador	(1959)	20 000	122	95 _{h/}	211	41 _{h/}	488	8 _{h/}
Guatemala	(1958)	108 889	33	149 _{e/}	731	8 _{e/}	13 611	7
Haití	(1958)	27 750	123	100 _{e/}	278	29 _{e/}	957	2
Honduras	(1958)	112 088	16	62 _{g/}	1 008	40 _{g/}	2 002	...
México	(1958)	1 969 269	16	2 035 _{i/}	1 064	965 _{i/}	2 041	535
Nicaragua	(1958)	148 000	9	60 _{j/}	2 467	16 _{j/}	9 250	7
Panamá (incluye Zona del Canal)	(1959)	75 902	14	112 _{k/}	678	47 _{k/}	1 615	6
Paraguay		406 752	4	...	...	...	...	...
Perú	(1959)	1 285 215	8	127	10 100 _{l/}	90	14 300	35
República Dominicana	(1958)	48 734	57	208 _{e/}	234	10 _{e/}	4 873	...
Uruguay	(1959)	186 926	14	547 _{m/}	342	...	...	...
Venezuela	(1959)	912 050	7	1 016 _{n/}	898	248 _{n/}	3 678	143
Guayana Británica		214 971	2	...	...	...	...	...
Islas Occidentales		16 552	146	...	...	...	...	...
Surinam	(1959)	142 822	2	60 _{o/}	2 380	-	-	-

Fuentes: CEPAL, a base de la información oficial obtenida directamente (en forma de respuesta a los cuestionarios pertinentes) y publicaciones varias (véanse las notas de los países individualmente consideradas).

Nota: Las fuentes de información señaladas en este primer cuadro, así como los años límites (entre paréntesis) hasta los cuales se ha considerado la información, son válidas para los cuadros restantes. Las superficies usadas son las que aparecen en el Statistical Yearbook 1959 de las Naciones Unidas.

a/ Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables: Agua y energía eléctrica (1959) y Anuario hidrológico 1948-49-50.

b/ R. Schröder: Sugerencia para la organización de un servicio meteorológico e hidrológico adecuado para las necesidades de Bolivia (1960), estudio conjunto ECLA/DOAT/OMM (en preparación).

c/ Corresponden principalmente a la División de Aguas, Ministerio de Agricultura.

d/ Información directa complementada con Los estudios sobre recursos naturales en las Américas, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1953, Tomo II, Proyecto 29, CEA.

e/ Ibidem.

f/ R. Schröder: Estudio sobre los recursos hidráulicos de Ecuador. Estado actual de la hidrometeorología (1959), estudio conjunto ECLA/DOAT/OMM, inédito. (No incluye cuatro estaciones en las Islas Galápagos).

g/ Charles G. Hawes: Report in water resources in Ecuador, estudio conjunto ECLA/DOAT/OMM, inédito, 1959.

h/ Atilio García Prieto: La investigación de recursos hidráulicos en El Salvador (CCE/SC.5/I/DT.12), 1959.

/Con relación

Con relación a las estaciones pluviométricas, puede considerarse la conveniencia de que exista una en la unión de cada tributario importante con el curso de agua principal, lo mismo que en las derivaciones de las obras existentes y en los sitios en que se prevén nuevos aprovechamientos. Pese a la indicación anterior (que el número ideal de pluviómetros en una cuenca es función del número de confluencias entre los cursos de agua principales) es frecuente, por la similitud con las estaciones pluviométricas (aunque el significado no sea el mismo), establecer comparaciones de la superficie media de territorio correspondiente a cada estación pluviométrica.^{3/}

No obstante la importancia que se atribuye a la determinación experimental de la evaporación para establecer balances de agua en una cuenca o región, los métodos sencillos en uso (tales como el evaporímetro de tanque o el de Pichey el atmómetro de Livingstone) no miden estrictamente el proceso natural de evaporación y, por esto se consideran solamente como indicadores relativos del fenómeno que tratan de medir. En consecuencia, no se han establecido aún reglas para determinar el número óptimo de evaporímetros en determinado territorio.

En el cuadro 19 se presenta el número total de pluviómetros, fluviómetros y evaporímetros en servicio en cada país latinoamericano. Además, para los pluviómetros y fluviómetros, se da la superficie media de territorio continental por instrumento. En la contabilidad de los pluviómetros se han incluido los nivómetros, que son poco numerosos y, en conformidad con los datos disponibles, existen sólo en algunos sitios altos del macizo Andino y, preferentemente, lejos de la región ecuatorial. Los países con mayor número son Argentina: 881 y Chile: 24. Sólo diez países tienen un promedio general inferior a 1 000 km² de superficie por pluviómetro. El Salvador, República Dominicana, Haití, Uruguay y Costa Rica exhiben los mejores promedios: 210, 234, 280, 340 y 400 km² por pluviómetro, respectivamente. Cuba, Panamá, Guatemala, Argentina, Venezuela y México son los

3/ W.B. Langheim y W.G. Hoyt, en su libro Water facts for nations future, N.Y. 1959, p. 63, presentan para Estados Unidos situaciones que varían entre 6 500 km² por estación en los Estados áridos y poco poblados como Nevada, hasta 1 700 km² por estación en los de clima más húmedo y más poblados del este.

otros países con menos de 1 000 km² como promedio por pluviómetro. Se observa que los países de alta densidad demográfica, relativamente poca extensión y cuya economía está ligada estrechamente con la agricultura tropical (café, cacao, caña de azúcar, etc.) figuran entre los mejor dotados en cuanto a estaciones pluviométricas por unidad de superficie territorial. A la inversa, Perú, Bolivia, Brasil, son los que acusan mayor superficie media por pluviómetro: 10 100, 5 500 y 3 300 km², respectivamente. El resto de países tienen como promedio, más de 1 000 km² por pluviómetro.^{4/} Chile y Ecuador han suscrito (1960) sendos convenios con el Fondo Especial de las Naciones Unidas para ampliar y mejorar sus redes meteorológicas e hidrológicas a base de los estudios realizados por el Grupo de Recursos Hidráulicos CEPAL/DOAT/OMM en ambos países. Los planes correspondientes se encuentran ya en ejecución.

La información disponible es muy incompleta para analizar con detenimiento la proporción de pluviógrafos (pluviómetros registradores) que integran los respectivos planteles pluviométricos. Según dicha información, Panamá, Colombia, El Salvador, Costa Rica y Brasil presentarían las más altas relaciones: 42, 23, 20, 10 y 7 por ciento, respectivamente. La información adicional que suministran los registros automáticos (relación continua entre precipitación y tiempo), la mayor confianza en sus datos y el hecho de que los pluviógrafos no necesitan vigilancia permanente (razón por la cual son muy adecuados para lugares de difícil acceso o que quedan bloqueados en determinados períodos del año), son otros tantos motivos que explican su creciente participación en América Latina, no obstante su mayor costo.

En materia de pluviómetros, (véase el cuadro 19), El Salvador, Haití, Panamá, México, Honduras y Chile aparecen como los mejor dotados con 490, 960, 1 620, 2 040, 2 800 y 2 850 km² por unidad, respectivamente. Siguen en el mismo orden Costa Rica, Venezuela, Cuba, República Dominicana y Argentina con 3 390, 3 680, 4 400, 4 870 y 5 170 km² por pluviómetro. Bolivia,

^{4/} El promedio en Europa es de 192 km² y en Estados Unidos 1 536 km² por estación meteorológica. (Robert Grace, cita de Physical Climatology - H. Landsberg, Penn. State College, 1941). Véase R. Schroeder (CEPAL/DOAT/OMM) "Estudio de los recursos hidráulicos de Venezuela. Estado actual de la meteorología".

Ecuador, Perú y Guatemala poseen, según los datos disponibles, la mayor superficie por estación fluviométrica, ya que acusan 16.400, 14.620, 14.300 y 13.610 km² por unidad.^{5/}

La información disponible no permite un análisis estricto, por países, de las estaciones fluviométricas que miden solamente alturas de un río sin posibilidad de traducirlas a mediciones de caudal a través de curvas de descarga establecidas o por establecer. Sin embargo, las cifras antes presentadas se refieren sólo a fluviómetros que miden caudales, con excepción de Argentina, que comprende 200 estaciones destinados exclusivamente al registro de niveles con fines de navegación, y operadas por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables. Los fluviómetros destinados a la determinación de caudales están constituidos, en su mayor parte, por secciones transversales estables (vertederos, machones de puentes, marcos y estructuras de aforo, acueductos de hormigón o albafile- ría, etc.) dotadas de simples reglas graduadas (limnímetros) en las cuales debe leerse el nivel del agua. A través de fórmulas empíricas establecidas por aforos directos, o por relaciones determinadas en modelos hidráulicos, se computan los caudales correspondientes. Los registradores automáticos (limnigrafos), que sustituyen a las reglas graduadas y que gozan de ventajas similares a las ya anotadas en el caso de los pluviógrafos, van en aumento en los distintos países, pero aún su participación en el total no es muy alta. Así, se pudo establecer que en los países que se indican alcanzan las cifras siguientes (en por ciento): Costa Rica, 100; Colombia, 25; El Salvador, 17; Argentina, 13 y Ecuador, 6. En otros países, o se carece de información, o los valores indicados son tan bajos que resultan poco dignos de fe.

^{5/} Es ilustrativa la comparación con la situación similar que prevaleció en algunos países del Asia y el Lejano Oriente en 1955 (según informaciones proporcionadas por CEALC: Proceedings of the Third Regional Technical Conference on Water Resources Development):

<u>País</u>	<u>Superficie Territorial</u>	<u>Habitante por km²</u>	<u>km² por pluviómetro</u>	<u>km² por fluviómetro</u>
Birmania	677 950	29	3 660	...
Ceilán	65 610	131	137	224
India	3 288 375	116	934	6 450
Japón	369 813	241	83	138
República de Corea	93 634	230	2 340	1 610
Laos	237 000	6	59 300	47 500
Federación Malaya	131 287	46	129	501
Pakistán	944 824	87	1 630	4 180
Filipinas	299 404	74	1 450	1 310
Tailandia	514 000	39	1 280	2 940

Cuadro 20

AMERICA LATINA: SITUACION DE ALGUNAS DE LAS CUENCAS O SUBCUENCAS MEJOR
ESTUDIADAS EN CADA PAIS.

País, cuenca o subcuenca	Superficie (km ²)	Pluviómetros		Fluviómetro	
		Número	Superficie media por pluvió- metro (km ²)	Número	Superficie media por fluvió- metro (km ²)
<u>Argentina</u>					
Río Negro	189 196	102	1 855	49	3 861
Sistema Córdoba a/	70 873	237	299	29	2 444
Zona Norte b/	170 000	320	531	79	2 152
<u>Bolivia</u>					
Lago Titicaca-Río Desaguadero	43 400	32	1 356	4	10 850
<u>Brasil</u>					
Doce	88 000	93	946	116 o/	759
Paranáíba	219 000	24	9 125	57 o/	3 842
Grande	147 000	165	891	166 o/	886
Uruguay	169 000	114	1 482	118 o/	1 432
San Francisco	614 000	476	1 290	178 o/	3 449
Tiete	72 000	76	947	37 o/	1 900
<u>Colombia</u>					
Río Cauca (hasta Manizales)	25 142	47	535	38	662
Río Magdalena (hasta Honda)	56 903	127	448	69	825
<u>Chile</u>					
Río Maipo	16 000	59	302	15	1 067
Río Bío-Bío	26 960	48	562	19	1 419
<u>Ecuador</u>					
Río Guallabamba (región Interandina)	4 000	3	1 333	2	2 000
Río Ambi	1 100	3	367	1	1 100
<u>Paraguay</u>					
...
<u>Perú</u>					
Río Rimac	3 630	4	908	5	726
Río Mantaro (hasta afluente Chinchihuasi)	27 590	9	3 066	15	1 839
<u>Uruguay</u>					
Río Negro	69 175	...	...	12	5 765

Fuente: Véase fuentes y notas del cuadro anterior.

a/ Incluye ríos primero, segundo, tercero, cuarto y Carcaraña.

b/ Constatada por las cuencas altas, en territorio argentino, de los ríos: Bermejo hasta Elordi, Salado hasta Suncho Corral y Dulce hasta Santiago del Estero.

c/ Corresponden principalmente a la "Divisão de Aguas"- Ministerio de Agricultura

Quadro 20 (continuación)

País, cuencas o subcuencas	Superficie (km ²)	Pluviómetros		Fluviómetros	
		Número	Superficie media por pluvió- metro (km ²)	Nú- me- ro	Superficie media por fluvió- metro (km ²)
<u>Venezuela</u>					
Río Tuy	6 750	129	52	74	91
Lago Valencia	2 800	71	39	14	200
<u>Costa Rica</u>					
Río Grande de Tarcoles	2 105	22	96	4	526
Río Reventazón	2 105	27	78	5	421
<u>Cuba</u>					
Río Manabaniilla	200	...	...	...	...
<u>El Salvador</u>					
Río Lempa (hasta central "5 de Noviembre")	6 540	40	164	21	311
<u>Guatemala</u>					
Lago Amatitlán-Michatoga	2 700	15	180	1	2 700
Lago Atitlán	560	4	140	-	-
<u>Haití</u>					
...
<u>Honduras</u>					
Río Ulua	24 290	13	1 868	18	1 350
Río Chamalescón	6 548	9	7 276	2	3 274
<u>México</u>					
Río Lerma-Chapala-Santiago	125 555	208	604	67	1 874
Río Balsas	108 000	45	2 400	53	2 038
<u>Nicaragua</u>					
Lago Nicaragua y Río San Juan	29 000	27	1 074	7	4 143
<u>Panamá</u>					
Chiriquí	1 700	7	243	6	283
Santa María	3 300	11	300	6	550
<u>República Dominicana</u>					
Río Yaque del Norte	7 003	...	...	7	1 000
<u>Guayana Británica</u>					
...
<u>Indias Occidentales</u>					
...
<u>Surinam</u>					
...

/En cuanto

En cuanto a estaciones evaporimétricas en operación: México, Venezuela y Argentina se distinguen netamente con 535, 143 y 110, respectivamente. Perú, Chile y Colombia figuran con 35, 19 y 8, respectivamente. También Bolivia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Haití y Nicaragua cuentan con observaciones de este tipo.

No obstante que en algunos países como Argentina, Brasil, Colombia, Chile y México se miden arrastres sólidos en ciertos cursos de agua, no se ha obtenido información adecuada para su inclusión en el presente estudio.

3. Número de pluviómetros y fluviómetros por cuencas y subcuencas seleccionadas

La distribución de los pluviómetros y fluviómetros es muy irregular en cada país, como se deduce de la comparación entre los cuadros 19 y 20. En este último, se presenta la situación de algunas de las cuencas y subcuencas mejor estudiadas en cada país, en cuanto a superficie media cubierta por cada pluviómetro y fluviómetro en operación.

Obsérvese, por ejemplo, en materia de pluviometría, la situación de Perú, Bolivia y Brasil que, pese a que se registran para todo el territorio las superficies medias más altas por estación, en cuencas específicas se obtienen valores bastante más favorables. En las cuencas de los ríos Rimac y Mantaro (hasta el afluente Chinchihuasi) en Perú se registran 908 y 3 066 km² por pluviómetro. La cuenca del Titicaca - Río Desaguadero en Bolivia - presenta 1 356 km² por pluviómetro y en las de los ríos Grande y Tieté en Brasil se obtienen 891 y 947 km² por estación, respectivamente. Observaciones similares pueden hacerse para los demás países tanto en pluviometría como en fluviometría. El otro aspecto altamente ilustrativo del cuadro 20 es el que se refiere a la experiencia que, en calidad de grandes promedios, dan los países latinoamericanos sobre la extensión superficial en que un pluviómetro o fluviómetro aparece suficientemente representativo, en cuencas con aprovechamientos hidráulicos en explotación, construcción y proyecto. En la mayor parte de las cuencas examinadas se comprueba que existe una dotación de menos de 1 000 km² por pluviómetro, y en las zonas montañosas y cordilleranas (véanse Colombia, Chile y Ecuador) la cuantía se modifica acusando unos 500 km² por pluviómetro. En materia de fluviometría (habida cuenta de la observación ya hecha acerca de la poca significación que tiene

/indicar la

indicar la superficie para la que un fluviómetro se considera suficiente como promedio), podría señalarse que entre 500 y 2 000 km² de cuenca por estación son valores frecuentes. A la luz de estas cifras, puede apreciarse la pobreza para América Latina en su conjunto de los medios disponibles para recopilar datos hidrológicos e hidrometeorológicos.

4. Duración de los registros

El caudal de agua en un río puede variar mucho de un año a otro y de una estación del año a otra, y aún, entre las horas del día. Es, por consiguiente, de la mayor importancia contar con medios para medir continuamente los gastos por un largo período a fin de poder precisar con el grado de seguridad conveniente los caudales medios - mensuales, estacionales o anuales - de que se dispondrá para un proyecto. Además, los valores extremos correspondientes a grandes crecidas y caudales muy bajos (de estiaje) pueden ser las condiciones decisivas de un proyecto. Por ejemplo, las crecidas excepcionales, de frecuencias tan remotas como 1 en 1 000 ó 1 en 2 000 años suelen emplearse para dimensionar las obras de rebalse en ciertos embalses. Como los valores altos y bajos se dan en forma muy irregular, para determinar por extrapolación esos caudales extremos, debido a la pérdida de una de tales oportunidades de registro es posible que transcurran muchos años antes de que se presente una situación similar. Por todas estas razones conviene iniciar las observaciones hidrológicas mucho antes de proceder a la construcción de las obras.

Algunas grandes catástrofes relacionadas con roturas de embalses han tenido su origen en la subestimación de las mayores crecidas por discontinuidad de los registros hidrológicos o series de registros cortos. Por otra parte, son cuantiosas las pérdidas originadas en sobre dimensionamiento de obras y deficiente operación de instalaciones que reconocen como origen la misma causa: datos hidrológicos inadecuados, principalmente por reducida extensión de registros. En América Latina hay varios casos de centrales hidroeléctricas construidas para caudales sobrestimados que, por esta causa, trabajan con factores de planta bajos, sin dejar de mencionar la situación inversa en que se subaprovecha la fuente por falta de seguridad en los caudales disponibles.

/En diversos

En diversos países de la región pueden verse estaciones hidrológicas (que en un tiempo formaban parte de la red permanente de mediciones), que ya no realizan observaciones o han sido desmanteladas sin llegar a completar un período hidrológico que pueda considerarse representativo, o permita establecer correlaciones válidas con otros registros pluviométricos o fluvio-métricos de extensa duración, perdiéndose así el esfuerzo y la labor iniciales. Con frecuencia, tales situaciones tienen su origen en la dotación insuficiente de fondos para esas labores por falta de apreciación cabal de su importancia.

En la recolección de antecedentes para el presente estudio se contó en algunos casos con informaciones que abarcaban solamente hasta los primeros años de la década de 1950.^{6/} A objeto de uniformar la situación de la mayoría de los países para los cuales se disponía de datos hasta diciembre de 1958, se prolongaron los años de duración de los registros de aquéllos, en la hipótesis de que no se hubieren producido interrupciones de observación. Con este procedimiento, los países en los cuales se contó con información indirecta, un tanto atrasada, que hubieran instalado pluviómetros y fluviómetros dos o tres años antes de 1958, quedarían subestimados en cuanto a número de equipos, pero poco afectados en la duración de sus registros.

En el cuadro 21 se consigna el número de estaciones según la duración de sus registros en años, para cada país y para algunas cuencas seleccionadas entre las mejores conocidas. El cuadro incluye numerosas estimaciones y debe considerarse en forma muy provisional. En efecto, la información sobre la existencia y ubicación de pluviómetros y fluviómetros fue más completa que sobre el período de operación y registro. Para completar la visión de conjunto y calcular el coeficiente de cobertura se hicieron apreciaciones cuando faltaban esos datos, basadas, en lo posible, en consideraciones sobre la creación de la entidad propietaria o iniciación de sus labores (estaciones de ferrocarril) aeropuertos, etc.) y en los casos restantes asignándoles (en forma arbitraria) una duración relacionada con las

^{6/} Esto ocurrió sobre todo en los países de América Central y las Antillas donde se empleó principalmente la información del Instituto Panamericano de Geografía e Historia de la Organización de los Estados Americanos: Los estudios sobre recursos naturales en las Américas, por no haberse recibido información directa de ellos.

Cuadro 21

AMERICA LATINA: NUMERO DE ESTACIONES SEGUN LA DURACION (EN AÑOS) DE SUS REGISTROS

País	Cuenca	Año	En todo el país								En algunas de las cuencas mejor estudiadas							
			Menos de 5 años		6 a 15 años		16 a 30 años		Más de 30 años		Menos de 5 años		6 a 15 años		16 a 30 años		Mas de 30 años	
			Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio
<u>Argentina</u>		(1959)	-	1	1 327a/	271a/	1 330a/	77	956	188	-	-	37	28	39	5	26	16
Río Negro			-	-							-	-	37	28	39	5	26	16
Sistema Córdoba			-	1	85	5	91	16	61	7	-	1	85	5	91	16	61	7
Zona Norte B/			-	-	115	59	121	15	84	5	-	-	115	59	121	15	84	5
<u>Bolivia</u>		(1959)	18	30	53	27	73a/	10	56a/	-	-	-	6	1	12	3	14	-
Lago Titicaca-Río Desaguadero			-	-	6	1	12	3	14	-	-	-	6	1	12	3	14	-
<u>Brasil</u>		(1959)	110	120	836a/	360	408	737	1 223a/	70								
Río Doce											1	4	12	25	42	85	-	2
Río Paranaíba											-	11	11	32	4	14	-	-
Río Grande											2	2	3	22	81	141	-	1
Río Uruguay											33	19	7	23	13	76	-	-
Río San Francisco											15	12	27	42	56	105	5	19
Río Tiete											1	-	14	16	16	21	-	-
<u>Colombia</u>		(1959)	282	132	122	49	79	14	27	1								
Río Cauca (hasta Manizales)											10	15	27	22	7	1	3	-
Río Magdalena (hasta Honda)											74	40	24	16	28	12	1	1
<u>Chile</u>		(1959)	61	72	230a/	110a/	92	68	96	10								
Río Maipo											8	2	14	5	12	5	12	3
Río Bio-Bio											4	9	6	1	8	6	13	3
<u>Ecuador</u>		(1958)	53a/	17	27	1	5	-	1	-								
Río Guayllabamba											2	1	-	1	-	-	1	-
Río Ambi											1	1	2	-	-	-	-	-
<u>Paraguay</u>		
...		
<u>Perú</u>		(1959)	22	32	84	23a/	20	19	1	16								
Río Rimac											-	-	2	1	2	1	1	2
Río Mantaro											-	-	2	1	2	1	1	2

/Cuadro 21 (cont.)

Cuadro 21 (continuación 1)

País	Cuenca	En todo el país								En algunas de las cuencas mejor estudiadas							
		Menos de 5 años		5 a 15 años		16 a 30 años		Más de 30 años		Menos de 5 años		6 a 15 años		16 a 30 años		Más de 30 años	
		Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio
<u>Uruguay</u>	(1959)	...	-	...	5	...	1	...	6	...	-	...	5	...	1	...	6
	Río Negro	...	-	...	5	...	1	...	6	...	-	...	5	...	1	...	6
<u>Venezuela</u>	(1959)	221	202a/	570a/	30	186	16	39	-	23	67	77	2	21	5	8	-
	Río Tuy	23	67	77	2	21	5	8	-	9	10	41	3	14	1	7	-
	Lago Valencia	9	10	41	3	14	1	7	-	10	3	7	1	4	-	1	-
<u>Costa Rica</u>	(1958)	42	10	51	5	34	-	1	-	10	3	7	1	4	-	1	-
	Río Grande de Tarcoles	10	3	7	1	4	-	1	-	10	5	11	-	6	-	-	-
	Río Reventazón	10	5	11	-	6	-	-	-	...	...	...	...	...	...	...	...
<u>Cuba</u>	(1958)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Hanabaniña	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<u>El Salvador</u>	(1959)	34	40a/	24	1	15	-	22	-	12	20	10	1	9	-	9	-
	Río Lempa (hasta "5 de Noviembre")	12	20	10	1	9	-	9	-	...	...	...	...	...	...	...	...
<u>Guatemala</u>	(1958)	-	-	40	8	103	-	6	-	-	-	3	1	11	-	1	-
	Lago Amatitlán-Michatoga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-
	Lago Atitlán	-	-	-	-	-	-	-	-	...	...	...	...	...	...	...	...
<u>Haití</u>		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

<u>Honduras</u>	(1958)	18	40	38	-	5	-	1	-	4	18	9	-	-	-	-	-
	Río Ulúa	4	18	9	-	-	-	-	-	-	2	4	-	4	-	1	-
	Río Chamalecón	-	2	4	-	-	-	-	-	...	...	...	...	...	...	...	...
<u>México</u>	(1958)	170a/	90a/	754	451	520	359	407	65	2	10	87	20	95	33	24	4
	Ríos Lerma-Chapala-Santiago	2	10	87	20	95	33	24	4	29	21	16	28	-	3	-	1
	Río Balsas	29	21	16	28	-	3	-	1	...	...	...	...	...	...	...	...

Cuadro 21 (continuación 2)

País	Cuenca	En todo el país								En algunas de las cuencas mejor estudiadas							
		Menos de 5 años		6 a 15 años		16 a 30 años		Más de 30 años		Menos de 5 años		6 a 15 años		16 a 30 años		Más de 30 años	
		Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio	Plu- vio	Flu- vio
<u>Nicaragua</u>	(1958)	25	14	8	-	21	-	6	2								
	Lago Nicaragua-Río San Juan									8	5	1	-	16	-	2	2
<u>Panamá</u>	(1959)	37	36	28	4	18	-	29	7								
	Río Chiriquí									5	6	2	-	-	-	-	-
	Río Santa María									10	6	-	-	1	-	-	-
<u>República Dominicana</u>		-	...	72	...	133	...	3	...								
	Río Yaque del Norte									...	...	...	...	...	...	...	...
<u>Guayana Británica</u>																	
<u>Indias Occidentales</u>																	
<u>Surinam</u>																	

Nota: Para aquellos países donde sólo se dispuso de información del Instituto Panamericano de Geografía e Historia - Los estudios sobre recursos naturales en las Américas, México 1953, Proyecto 29, OEA, se estimó que las estaciones (pluvio y pluviométricas), existentes en 1953 y que aparecen en esa publicación, funcionaban regularmente en 1958.

a/ Incluyen estimaciones.

b/ Constituida por las cuencas altas, en territorio argentino, de los ríos Bermejo hasta Elordi, Salado hasta Suncho - Corral y Dulce hasta Santiago del Estero.

conocidas en el mismo país.^{7/}

En materia de pluviometría son frecuentes los casos en que se dispone de una alta (o relativamente alta) duración de registros, debido a que muchos instrumentos fueron instalados originalmente por instituciones privadas, con fines ligados estrechamente a sus actividades principales, (empresas de ferrocarriles al iniciar sus obras de construcción, compañías agrícolas y ganaderas, empresas de aviación, etc.).

Obsérvese la alta proporción de pluviómetros con registros de muchos años de duración en Brasil, Argentina, México, Bolivia y Chile, por ejemplo, y, por otra parte, la acción amplia pero más reciente de algunos organismos oficiales en países como Colombia y Venezuela.

En cuanto a fluviometría, Argentina, Brasil y México han iniciado sus observaciones en escala amplia antes que los demás países de la región, para los que se dispone de tales informaciones. En seguida Chile y, posteriormente, Colombia, presentan la labor sistemática más reciente de sus organismos oficiales encargados de esa labor, al igual que los países de Centroamérica.

Un examen similar para algunas cuencas seleccionadas confirma el grado de investigación muy irregular que existe entre ellas en un mismo país y aun entre distintos ríos de la misma cuenca o tramos de un mismo río, según sea la distancia y accesibilidad a ellos de los centros demográficos principales.

5. Coeficiente de cobertura

El índice de cobertura en pluviometría y fluviometría toma en cuenta simultáneamente la densidad de las estaciones de observación y la antigüedad de los registros correspondientes, para juzgar el grado de desarrollo de las investigaciones hidrológicas en una cuenca o territorio, ya que ambos elementos desempeñan un papel independiente.

^{7/} La agrupación se realizó considerando que para los efectos de realizar un proyecto definitivo de mediana importancia, los registros inferiores a cinco años de observación son deficientes. Los comprendidos entre 6 y 15 años podrían emplearse en algunos casos especiales, pero con reparos. Los comprendidos entre 16 y 30 pueden considerarse buenos en la mayoría de los casos y, los con más de 30 años, muy buenos.

Este índice se define por el producto de dos factores: el número de estaciones de observación por cada 10 000 km² del territorio que se examina ^{8/} y la edad promedio, en años, de los registros correspondientes.

En el cuadro 22 se presentan esos coeficientes por países, tanto para las estaciones pluviométricas como para las fluviométricas.

Los países que reflejan a través de este coeficiente el mejor conocimiento pluviométrico de su territorio son: El Salvador, Cuba, Argentina, México, Panamá, Costa Rica y Guatemala con los siguientes valores: 765, 393.6, 313, 299, 292, 268 y 260 respectivamente. Chile, Venezuela y Nicaragua aparecerían en una situación media con 124, 122 y 107, respectivamente, en tanto que Perú, Ecuador, Bolivia, Honduras, Colombia y Brasil tienen los coeficientes más bajos. En relación al coeficiente que se examina conviene observar la importancia que adquiere en algunos casos la densidad de pluviómetros y, en otros, la edad media de los registros; Argentina, Cuba y México acusan una densidad de pluviómetros intermedia y una edad de registros alta; en El Salvador y Costa Rica, a la inversa, es elevada la densidad de pluviómetros y edad de registros intermedia; Nicaragua, Brasil y Bolivia presentan baja densidad de estaciones y elevado número de años de registro.

Los coeficientes de cobertura para la investigación fluviométrica, señalan a México, El Salvador, Argentina, Chile y Panamá como los países con un mejor conocimiento de su territorio en esta materia con los siguientes valores: 97 y 53, para los dos primeros y 45 para los tres últimos. Si en Argentina se consideran exclusivamente los fluviómetros operados para la determinación de caudales, el coeficiente se reduce a 16. En situación intermedia aparecen Brasil, Uruguay, Venezuela, Nicaragua y Colombia con: 27, 22, 16, 14 y 12. Los coeficientes menores se registran en Ecuador, Bolivia, Guatemala, Honduras, Costa Rica y Perú.

^{8/} En el presente estudio se ha preferido emplear el número de estaciones por 10 000 km² en lugar de 1 000 km², como en CEALO, op.cit., por resultar demasiado baja la densidad de estaciones en algunos países.

Cuadro 22

AMERICA LATINA: COEFICIENTES DE COBERTURA

País	Pluviometría			Fluviometría		
	Promedio de duración de registro (i) a/	No. de estación ² o/10 000 km ² de superficie (ii)	Coefficiente (i)x(ii)	Promedio de duración de registro (iii) a/	No. estación ² de superficie (iv)	Coefficiente (iii)x(iv)
Argentina	24.1	13.0	313.3	23.9	1.9	45.4
Bolivia	19.8	1.9	37.6	7.0	0.7	4.9
Brasil	26.6	3.0	79.8	17.9	1.5	26.9
Colombia	9.8	6.0	58.8	6.5	1.9	12.4
Chile	19.0	6.5	123.5	10.8	4.2	45.4
Ecuador	7.6	3.3	25.1	2.3	0.7	1.6
Paraguay	...	...	...	...	...	...
Perú	9.7	1.0	9.7	15.8	0.7	11.1
Uruguay b/	...	...	...	32.0	0.7	21.7
Venezuela	11.0	11.1	122.1	6.0	2.7	16.2
Costa Rica	10.1	26.5	267.7	3.8	2.9	11.0
Cuba	24.0	16.4	393.6	...	...	...
El Salvador	16.1	47.5	764.8	2.6	20.5	53.3
Guatemala	19.0	13.7	260.3	9.0	0.7	6.3
Haití	...	36.0	...	...	10.5	...
Honduras	8.6	5.5	47.3	2.7	3.6	9.7
México	26.0	11.5	299.0	10.4	9.3	96.7
Nicaragua	26.0	4.1	106.6	13.0	1.1	14.3
Panamá c/	19.7	14.8	291.6	7.2	6.2	44.6
República Dominicana	20.8	42.7	888.2	...	2.1	...
Guayana Británica	...	...	...	...	...	...
Trinidad y Tobago	...	...	...	...	...	...
Surinam	...	...	...	...	...	...

Nota: En el cálculo de los coeficientes de cobertura, se han considerado, junto con las estaciones existentes, las que han sido suspendidas cuando la información disponible así lo permitía.

a/ En el caso de las estaciones respecto a las cuales no se contó con datos sobre la duración de registros, se atribuyó arbitrariamente una edad estimada en relación al promedio de las otras del mismo país.

b/ La información disponible se limitó únicamente a las estaciones fluviométricas del Río Negro.

c/ Incluye la Zona del Canal.

/obsérvese que

Obsérvese que El Salvador registra la mayor densidad de estaciones junto a una de las menores duraciones de registros como promedio y, a la inversa, Argentina presenta una densidad reducida de estaciones junto a la más elevada duración de registros en promedio.

A continuación se presentan mapas de América Latina, en los que se indican a grandes rasgos los coeficientes de cobertura pluviométricos y fluviométricos en algunas regiones. (Véase mapas III-1 y III-2.)

Al examinar esos mapas se han de tener presente algunas circunstancias especiales.

Hay zonas áridas en el continente en las que se justifica la ausencia de estaciones pluviométricas y fluviométricas o una muy baja densidad de éstas. Tal es el caso de extensas regiones como la planicie alta de México y el desierto de Chihuahua, la península de Baja California (principalmente en su extremo noreste), la faja árida de la costa del Perú y el norte de Chile, el suroeste de Bolivia, noroeste y sureste de Argentina. Además, hay zonas áridas menos extensas al sur del Caribe, en Venezuela, Puerto Rico y México (noroeste de Yucatán, además de Tehuantepec y el curso medio del río Balsas-Mexcala). Una situación algo diferente corresponde al "Polígono das Secas" (noreste del Brasil) que, a un promedio relativamente bajo de lluvia, se añade principalmente la gran irregularidad de ésta. Por lo tanto, las investigaciones pluviométricas y fluviométricas tienen en este caso gran interés a fin de regular los ríos para construir obras de riego.

Hay extensas zonas inexploradas y otras apenas habitadas que en la selva Amazónica arrojan promedios bajísimos de densidad de población y, por ende, existe una gran ausencia de estaciones pluviométricas y fluviométricas (Estados y regiones de Río Branco, Amazonas, Pará, Mato Grosso, Acre y Guapuré en Brasil y regiones de los llanos en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia).

Finalmente, al examinar los planos fluviométricos conviene recordar la importancia de ligarlos con los pluviométricos, por las enormes ventajas que generalmente tiene ampliar las estadísticas de caudal a base de correlaciones adecuadas con las correspondientes a precipitaciones. Las zonas centrales de México, Guatemala, Costa Rica, Argentina, El Salvador y el /noreste del

noreste del Brasil son ejemplos de otras tantas regiones donde se podrían obtener, para estudios concretos, más amplias informaciones sobre caudales que las sugeridas por los coeficientes de cobertura respectivos, con los antecedentes disponibles en pluviometría.

Una comparación con los países de otras áreas, a través de los índices de cobertura, muestra que los de América Latina en su conjunto tienen un conocimiento muy limitado de sus recursos hidráulicos. Por ejemplo, del grupo de países más desarrollados, entre los que se dispone de información completa, el Japón tiene coeficientes de cobertura cinco y cuatro veces superiores a los más altos registrados en la región en pluviometría y fluvimetría, respectivamente, por países (El Salvador y México).^{9/}

6. Disponibilidad de mapas con curvas de nivel

No ha sido posible establecer por países la disponibilidad de mapas con curvas de nivel a escalas tales que permitan realizar trabajos de evaluación de los potenciales teóricos integrales.^{10/}

^{9/} Con el objeto de facilitar otras comparaciones se presenta un cuadro con los coeficientes de cobertura respectivos en algunos países de Asia y el Lejano Oriente.

<u>País</u>	<u>Pluviometría</u>	<u>Fluviometría</u>	
		<u>En general</u>	<u>De caudal únicamente</u>
Birmania	77	...	...
Ceilán	2 840	400	820
India	535	32	18
Japón	3 900	...	380
República de Corea	77	81	27
Laos	1	8	-
Federación Malaya	1 550	240	57
Pakistán	368	288	...
Filipinas	104	38	37
Tailandia	202	51	5

Fuente: CEALO, op.cit.

^{10/} 1:500 000 y mayores. En todos los países existen mapas a escala más reducida con curvas de nivel, como por ejemplo, los empleados con fines de navegación aérea 1:1 000 000.

/Institutos geográficos

Institutos geográficos pertenecientes a las fuerzas armadas de distintos países realizan trabajos cartográficos tanto por métodos aerofotogramétricos como de medición directa a escalas que permiten, por lo general, suficiente detalle planimétrico y altimétrico (1:200 000; 1:250 000; 1:500 000; 1:1 000 000; etc.) para los fines antes indicados. Por lo tanto, es posible que extensas regiones en diferentes países posean, desde luego, una buena base en materia cartográfica, al menos para iniciar la evaluación integral de sus recursos hidroeléctricos.

7. Organismos encargados de las mediciones hidrológicas

Casi en todos los países existe una serie de organismos fiscales, semi-fiscales y privados que se ocupan de las observaciones hidrológicas (incluyendo las hidrometeorológicas) y, en algunos casos, de las investigaciones correspondientes.

Entre las instituciones de financiamiento público que realizan actividades de este tipo se cuentan, además de los servicios meteorológicos nacionales, los servicios agrícolas, de navegación y vías fluviales, de agua potable y alcantarillado, de aviación, empresas eléctricas, ferrocarriles, fuerzas armadas, universidades, etc., y entre las instituciones de carácter privado, principalmente las empresas eléctricas, las agrícola-industriales (compañías que cultivan café, plátano, caña de azúcar, etc.), las de aviación y algunas mineras.

Lamentablemente, las labores que se realizan con la intervención de numerosos organismos son sólo aprovechadas en una proporción muy reducida por falta de uniformidad, coordinación y centralización de observaciones. Un buen número de datos benefician únicamente y en forma limitada a la empresa o institución que realiza las observaciones y sólo una reducida proporción de ellos se publican, llegando así a las distintas personas o instituciones interesadas.

La coordinación de los numerosos organismos encargados en cada país de las observaciones hidrológicas es de singular importancia para los fines siguientes:

- a) Planear y distribuir adecuadamente las estaciones y evitar las superposiciones en unos lugares y los vacíos en otros;

/b) Uniformar los

- b) Uniformar los instrumentos y métodos, a fin de reducir los costos y facilitar la comparación de resultados; y
- c) Elaborar y publicar las observaciones registradas.

Así, con el costo adicional relativamente pequeño que implicaría esa coordinación, sería posible en muchos países multiplicar considerablemente el rendimiento que se obtiene en la actualidad de la labor dispersa, y, en parte, ignorada.

En varios países se ha propuesto la creación de una Comisión Nacional Coordinadora de todas las actividades hidrológicas y meteorológicas que, a su vez, podría formar parte de otro organismo, también de carácter nacional, para coordinar todas las actividades relacionadas con el desarrollo de los recursos hidráulicos.^{11/}

En el cuadro 23, se resumen las principales instituciones que en cada nación realizan alguna función hidrológica. Sin duda, hay mucho más instituciones (sobre todo de carácter privado) que las que figuran en el cuadro.

En Argentina, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Chile, México y Perú existe alguna coordinación de funciones, aunque de distinta amplitud e intensidad. Ecuador ha creado la Dirección General de Meteorología e Hidrología con jurisdicción en toda la república.^{12/}

En la mayoría de los países existen publicaciones meteorológicas que abarcan parte de las observaciones hidrometeorológicas.

En cambio, en materia fluviométrica, solamente Argentina, Brasil, Colombia, Perú, México y Panamá cuentan con esas publicaciones.

^{11/} Véase: CEPAL/DOAT/OMM Los recursos hidráulicos de Chile y Los recursos hidráulicos de Ecuador.

^{12/} Marzo de 1960. Esta institución satisface las recomendaciones generales del Grupo de Recursos Hidráulicos CEPAL/DOAT/OMM, que cumplió su misión en Ecuador en 1959.

Cuadro 23

AMERICA LATINA: PRINCIPALES INSTITUCIONES QUE EFECTUAN
 MEDICIONES PLUVIOMETRICAS Y/O PLUVIOMETRICAS

País	Fiscales y semifiscales	Privadas	Coordinación de funciones	Centralización y publicación de datos
Argentina	Servicio Meteorológico Nacional. Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables. Agua y Energía Eléctrica.		El Servicio Meteorológico Nacional registra las observaciones de todos los pluviómetros oficializados que se encuentran instalados en el país y atendidos por el Servicio Meteorológico Nacional, Ferrocarriles, reparticiones nacionales, provinciales y particulares.	<u>Publicación:</u> "Anuarios hidrológicos de agua y energía eléctrica". "Anuarios hidrológicos de construcciones portuarias y vías navegables". "Estadísticas climatológicas", del Servicio Meteorológico Nacional; esta institución centraliza la información de hidrometeorología.
Bolivia	Dirección General de Meteorología. Servicio Agrícola Interamericano. Corporación Boliviana de Fomento. Dirección General de Ferrocarriles del Estado. Lloyd Aéreo Boliviano. Universidad Mayor de San Andrés. Dirección General de Riesgos.	PANAGRA Bolivian Power Company Limited.	Dirección General de Riesgos y Dirección General de Meteorología.	...

Cuadro 23 (continuación 1)

País	Fiscales y semifiscales	Privadas	Coordinación de funciones	Centralización y publicación de datos
Brasil	Ministerio de Agricultura Departamento Nacional de Obras contra las secas de Ministerio da Viagem e O- bras Publicas. Servicio de Meteorología. Comissão Es- tadual de E- nergia Elé- trica do Rio Grande do Sul, Comissão de Vale do San Francisco. Departamento de Aguas e Energia Elé- trica de Sao Paulo e Para- na. Centrais Elé- tricas de Mi- nas Gerais.	Companhia Brasileira Administra- dora de Ser- vicios Té- nicos. Empresas Elé- tricas Brasi- leiras.	...	Publicación: "Anuarios flu- viométricos" y "Forjas hidráu- licas del Ministerio da Agricultura".
Colombia	Servicio Me- teorológico. Ministerio de Obras Públi- cas. Ministerio de Guerra. Instituto Geo- gráfico Agustín Codazzi. Instituto de aprovechamiento de Aguas y Fo- mento Eléctri- co. Empresa de A- cueducto y Al- cantarillado de Bogotá. Empresas Públi- cas de Medellín. Empresa Colom- biana de Aeró- dromos.	Empresa de Energía E- léctrica de Bogotá. Fe- deración Na- cional de Ca- feteros. Instituto Geo- gráfico de Los Andes Colom- bianos.	El Comité Nacio- nal de Meteor- ología e Hidrolo- gía coordina funciones en to- do el territorio.	Centralización parcial. Publicación: "Boletín del Instituto de Aprovechamiento de Aguas". "Boletines varios". "Anales del Observatorio Meteorológico Nacional".

Cuadro 23 (continuación 2)

País	Fiscales y semifiscales	Privadas	Coordinación de funciones	Centralización y publicación de datos
Colombia	Corporación Valle del Cauca.			
Chile	Oficina Me- teorológica de Chile. Fuerza Aérea de Chile. Dirección General de Riego. Dirección de Obras Sanita- rias. Empresas Na- cionales de E- lectricidad. (ENDESA). Servicio A- grometeoro- lógico. Universida- des.	Braden Copper Com- pany PANAGRA.	No existe, aunque se mantienen con- tactos informati- vos entre algunas instituciones.	No existen.
Ecuador	Dirección Ge- neral de Me- teorología. Dirección de Aviación Civil. Armada y Fuer- za Aérea E- cuatoriana. Observatorio Astronómico. Comisión E- jecutiva de Vialidad de la Provincia de Guayas. Servicio Cooperativo Interameri- cano. Caja Nacio- nal de Riego. Municipalidad de Ibarra.	Asociación Banamera de Ecuador. Anglo E- cuatorian Oil-Fields.	Dirección General de Meteorología e Hidrología (crea- da en III-1960).	No existe centralización. Publicación: "Boletín Meteor- ológico de la Dirección Gene- ral de Meteorología". Boletín Meteorológico de la Ar- mada. Publicaciones del Observato- rio Astronómico.
Paraguay	...	...	...	...

Cuadro 23 (continuación 3)

País	Fiscales y semifis- cales	Privadas	Coordinación de funciones	Centralización y publicación de datos
Perú	Dirección Ge- neral de Me- teorología. (Ministerio Aeronáutico). Servicio Me- teorológico. (Ministerio de Fomento). Servicio Me- teorológico del Ministe- rio de Agri- cultura. Corporación Peruana de Aviación Ci- vil. Servicio Cooperativo Interameri- cano. Dirección de Aguas e Irri- gación. (Mi- nisterio de Fomento). Dirección de Aguas de Re- gadío. (Mi- nisterio de Agricultura. Corporación Peruana del Santa.	Estanco del Tabaco de Particulares. Compañía Administra- da del Guano Cerro de Pasco Corpora- tion.	La Dirección Gene- ral de Meteorolo- gía dirige y coordina las ob- servaciones en todo el territe- rio. En medi- ciones fluvio- métricas, coor- dinan su labor el Ministerio de Fomento y el Ministerio de Agricultura.	La Dirección General de Meteorología centraliza toda la información meteoro- lógica y pública. Boletín Anual Meteorológico. Boletín Climatológico mensual. Boletín diario. Publicación hidrológica. Boletín diario de informa- ción general.
Uruguay	Servicio Me- teorológico Administra- ción General de las Usinas Eléctricas y los Teléfonos del Estado, (UTE.)	...	...	El Servicio Meteorológico centraliza informaciones y publica: "Boletín" y "Revis- ta meteorológica".

Cuadro 23 (continuación 4)

País	Fiscales y semifiscales	Privadas	Coordinación de funciones	Centralización y publicación de datos
Venezuela	Ministerio de Obras Públicas. Ministerio de Agricultura y Gría. Corporación Venezolana de Fomento (Cafrent). Ministerio de Defensa. Instituto Nacional de Obras Sanitarias.	Shell, Mene Grande Socory Vacuum Creole, Gran Ferrocarril Venezolano. Iron Mine Company of Venezuela.	No existe, aunque se mantienen contactos informativos entre algunas instituciones.	El Servicio Meteorológico centraliza algunas informaciones y publica boletines bimensuales y un anuario.
Costa Rica	Servicio Meteorológico Nacional. Instituto Costarricense de Electricidad (I.Ca.Ec). Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola.	Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Compañía Bananera de Costa Rica. Compañía Huletera de Costa Rica. Northern Railway Company. PANAGRA.	El "Instituto Costarricense de Electricidad" y el "Servicio Meteorológico Nacional".	No Existe centralización, <u>Publicación:</u> "Boletín Trimestral" del Servicio Meteorológico Nacional.
Cuba	Observatorio Nacional. Comisión de Fomento de Río Hondo.	Compañía Cubana de Aviación. Observatorios de Padres Jesuitas.	...	... El Observatorio Nacional de Casa Blanca ha editado publicaciones.

Cuadro 23 (continuación 5)

País	Fiscales y semifiscales	Privadas	Coordinación de funciones	Centralización y publicación de datos
El Salvador	Servicio Meteorológico Nacional. Departamento de Meteorología (Ministerio de Defensa). Centro Nacional de Agronomía. Instituto Tropical de Investigaciones Científicas. (Universidad Nacional). Departamento de Ingeniería Agrícola. (Ministerio de Agricultura). Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.	Ferrocarriles Internacionales de Centro América Ferrocarril de El Salvador Compañía Luz Eléctrica de Santa Ana. Compañía Luz Eléctrica de Sonsonate. PANAGRA.	No existe.	No existe centralización. Publicación: Anales del Observatorio Nacional Meteorológico. Boletín Meteorológico de la Universidad del Salvador. Revista de la Asociación de Cafeteras.
Guatemala	Ministerio de Agricultura. Dirección General de Obras Públicas.	United Fruit Company. Empresas Eléctricas de Guatemala.	...	...
Haití	Ministerio de Obras Públicas.	Observatorio Meteorológico del Seminario de San Marcial.	...	...

Cuadro 23 (continuación 6)

País	Fiscales y semifiscales	Privadas	Coordinación de funciones	Centralización y publicación de datos
Honduras	Dirección General de Irrigación. Servicio Meteorológico Nacional.	Tela Railroad Company	No existe	...
México	Servicio Meteorológico Mexicano. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Comisión Federal de Electricidad.	...	Existe intercambio de informaciones y coordinación parcial entre las principales instituciones.	<u>Publicación:</u> Boletines hidrológicos de la: Comisión Federal de Electricidad, Secretaría de Recursos Hidráulicos y de la Comisión Nacional de Irrigación.
Nicaragua	Comisión Nacional de Energía.	...	...	...
Panamá	Servicio Cooperativo Interamericano de Fomento Económico. (S.C.I.F.E.)	Compañía Canal de Panamá. (Sección de Meteorología e Hidrología).	Existe intercambio de información entre las dos instituciones nombradas.	Publicaciones de la Compañía del Canal de Panamá y de la Dirección de Estadística y Censo de la República de Panamá.
República Dominicana	Servicio Meteorológico de la Marina de Guerra. Sección Hidrológica y Diseños de riego. (Secretaría de Obras Públicas y Riego). Ayuntamiento de Santiago.	Grenada Company. Barahona Company.	...	...
Guyana Británica	...	...	...	...
Indias Occidentales	...	...	...	...
Surinam	...	...	...	...

8. Personal y grado de preparación

Los servicios hidrológicos fiscales y semifiscales han alcanzado grados de desarrollo muy desiguales en los distintos países, y aún existen diferencias apreciables dentro de un mismo país entre los distintos organismos que realizan mediciones pluviométricas y fluviométricas. Dos son los factores directos e inmediatos que obstaculizan con más frecuencia el desarrollo eficiente de estas actividades: escasez de personal y de dinero. Salvo algunos casos excepcionales, son aún reducidas las remuneraciones que se pagan en América Latina a las personas que se dedican a estas labores, de ahí que sean pocos los especialistas en hidrología e hidrometeorología con que cuenta la región.

Al nivel inferior no universitario de los observadores, es frecuente en muchos países el empleo en otras actividades de personas ocupadas que, sólo por aumentar sus ingresos (y en algunos casos gratuitamente), realizan las observaciones y llenan los formularios que han de remitirse a las oficinas centrales.

La rutina en la tarea de tales observadores, sin preparación especial, sumada a una deficiente labor de verificación superior, traen consigo, a veces, la introducción paulatina de vicios de operación y aun fallas en los instrumentos, que pueden pasar inadvertidas por mucho tiempo en las oficinas donde se elaboran e interpretan los datos, con las consecuencias inherentes.

Solamente para tres países pudo obtenerse información bastante completa y fidedigna del personal ocupado en actividades hidrológicas e hidrometeorológicas, por grado de preparación, en las principales instituciones. Véase el cuadro 24.

Cuadro 24

PERSONAL OCUPADO EN MEDICIONES Y ESTUDIOS HIDROLOGICOS
 E HIDROMETEOROLOGICOS, POR GRADO
 DE PREPARACION

País	Universitaria especializada		No universitaria	
	Superior	Grado medio	Enseñanza secundaria	Enseñanza elemental
Argentina <u>a/</u>	16	7	30	397
Colombia <u>b/</u>	16	16	17	598
Chile <u>c/</u>	9	26	52	286

a/ "Agua y Energía Eléctrica" solamente en estudios hidrológicos.

b/ "Empresas Acueducto de Bogotá", "Corporación Valle del Cauca",

"Empresas Públicas de Medellín" e "Instituto Aprovechamiento de Aguas", estudios hidrológicos e hidrometeorológicos.

c/ "Dirección General de Riego", "ENDESA" y "Fuerza Aérea de Chile", en estudios hidrológicos e hidrometeorológicos.

ANEXO

1. Evaluación del potencial bruto superficial de escurrimiento a base de datos pluviométricos verificados por una estación pluviométrica

En el punto 4 del capítulo I se explica la determinación del potencial bruto superficial de escurrimiento de una región o país, por división del territorio en pequeñas cuencas tributarias (subcuencas) con la información hidrológica proveniente de un fluviómetro instalado en el punto más bajo de cada una de ellas. Pero, si esa división implica superficie mayores a 400-500 km² (situación corriente en América Latina a causa de la escasez de datos pluviométricos), conviene proceder en la forma que a continuación se indica, mediante una segunda subdivisión en microáreas por un cuadrículado convencional. (Véase gráfico I-4.)^{1/} Sea A, la superficie en km² de una de tales subcuencas, F, la estación pluviométrica correspondiente y t, el lado en km de cada cuadrícula. De un mapa con curvas de nivel a escala adecuada (1:500 000-1:1 000 000) se estima la altura media H de cada cuadrícula, sobre el nivel del mar. De la información pluviométrica extensa^{2/} dispuesta en forma de curvas isoyetas, se aprecia el aporte hidráulico de cada cuadrícula al escurrimiento total Qm de la subcuenca, sea calculando las pérdidas medias anuales por evapotranspiración para toda la superficie A^{3/}, sea calculando

1/ Este procedimiento fue propuesto por el Comité sobre Energía Eléctrica de la Comisión Económica para Europa, Naciones Unidas, Hydroelectric potential in Europe and its gross, technical and economic limits (E/ECE/EP/131).

2/ Idealmente se recomiendan unos 30 años.

3/ Por una de las siguientes fórmulas:

i)
$$e_1 = \frac{\sum t^2 p - 31\ 536\ Q_m}{31\ 536 \times 10^3}$$
 (altura de agua en mm) donde:
p = altura de la precipitación pluvial en mm., para cada cuadrícula
31 536 x 10³ = número de segundos del año, o bien:

ii)
$$e_2 = P - Q_m \text{ (m}^3\text{/seg.)}; \text{ donde}$$

$$p = \frac{\sum t^2 p}{31\ 536} = \frac{\sum V}{31\ 536}$$
 representa el caudal medio anual de las precipitaciones pluviales en la superficie A, expresado en m³/seg.

/para cada

para cada cuadrícula de área (t^2) esa pérdida mediante una de las fórmulas empíricas que existen (Vermeule, Khosla, Justin, etc.), en función de variables tales como: altura sobre el nivel del mar, temperatura media, precipitaciones, etc. En este último caso se realiza una corrección final, modificando proporcionalmente el aporte de cada cuadrícula, de modo que el escurrimiento medido en F sea igual a la suma de los aportes de todas ellas. Con el caudal estimado en definitiva como entrega de cada cuadrícula al caudal Q_m , se procede a determinar el potencial P_s , de cada una de ellas y, por suma, el correspondiente a toda la subcuenca.

2. Representación gráfica del potencial bruto lineal

En el punto 4 del capítulo I se expuso, en líneas generales, la forma de evaluar el potencial bruto lineal. En esta sección se indican algunos detalles del mismo y su representación gráfica.

Sea el tramo A B de un río (Véase el gráfico I - B).

El caudal medio anual debe ser conocido en cada uno de estos puntos, por verificación directa (o verificación directa y covariación, según el mismo criterio indicado para determinar el potencial bruto superficial) de una serie estadística que abarque 20 años o más.

También deberán determinarse en metros las elevaciones o cotas H_A y H_B de ambos puntos sobre el nivel del mar.

El potencial teórico máximo del tramo considerado queda dado en kW por la fórmula (2) que involucra un rendimiento del 100 por ciento y que es el límite al que tiende la suma de un conjunto de plantas en serie hidráulica:

$$P_L = 9.8 \frac{Q_A + Q_B}{2} (H_A - H_B) \quad (2)^{4/}$$

donde Q_A y Q_B son los caudales medios medidos inmediatamente aguas abajo de A y arriba de B respectivamente, expresados en metros cúbicos por segundo.

^{4/} En el primer tramo de un río la fórmula se reduce a:

$$P_L = \frac{9.8}{2} Q_B (H_A - H_B).$$

/Una representación

Una representación gráfica de ese potencial se presenta en el mismo gráfico I - B.

En coordenadas rectangulares y a una cierta escala se llevan en ordenadas las elevaciones H_A y H_B y en abscisas los caudales Q_A y Q_B . El área sombreada P representa a una escala conveniente el potencial P_L .

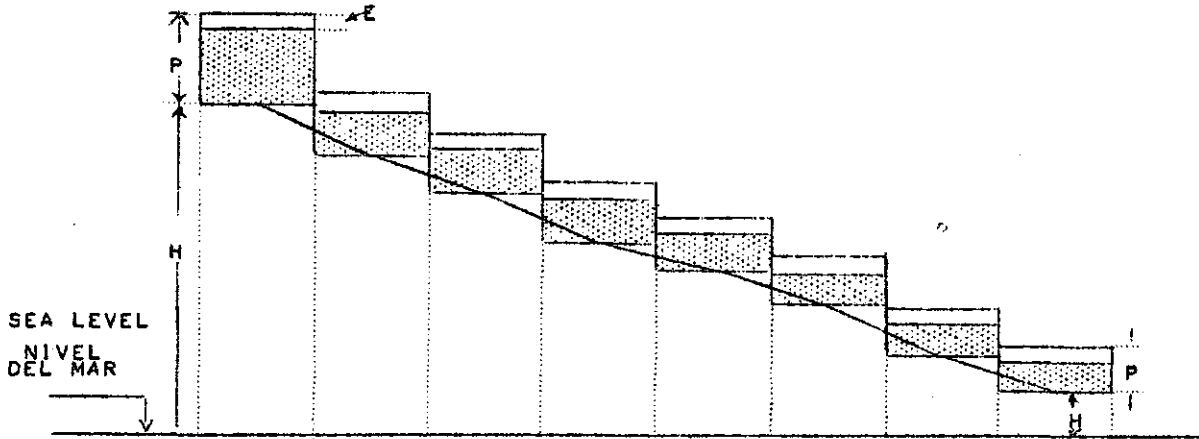
En el gráfico I - C se presenta el diagrama correspondiente al curso principal de un río y de sus dos tributarios que se juntan a éste en los puntos C y E. A su vez, el segundo tributario tiene un pequeño afluente. Nótese que el tributario constituido por un solo tramo queda representado por un triángulo tal como el $B_1 C B$; en cambio, cuando el tributario tiene a su vez un afluente, los diagramas elementales se superponen para formar elementos geométricos como el $D_1 G D_2 H E D$. El sombreado diferente permite distinguir los potenciales de los diversos elementos componentes. Conviene observar que los puntos de igual cota (en la base de los diagramas de los tributarios) tales como B y C (respectivamente D y E), materializan un mismo lugar del río principal, sólo que están designados con distintas letras porque indican el caudal del río sin incluir e incluido el del tributario.

Es fácil determinar el potencial comprendido entre los nacimientos de un sistema fluvial y un punto X en el curso principal, midiendo en el diagrama pertinente el área representativa que queda por encima de una recta horizontal X-X trazada a la cota de ese punto. En general, el potencial comprendido entre dos puntos determinados de un río queda dado por el área del diagrama comprendida entre las horizontales trazadas en él, a las cotas propias de esos puntos.

FIGURE \bar{I} - A
GRAFICO \bar{I} - A

EVALUATION OF BULK SURFACE POTENTIAL BASED ON PLUVIOMETRIC
AND FLUVIOMETRIC INFORMATION

EVALUACION DEL POTENCIAL BRUTO SUPERFICIAL A BASE DE INFORMACION
FLUVIO Y PLUVIOMETRICAS



MAP II - 1
MAPA II - 1

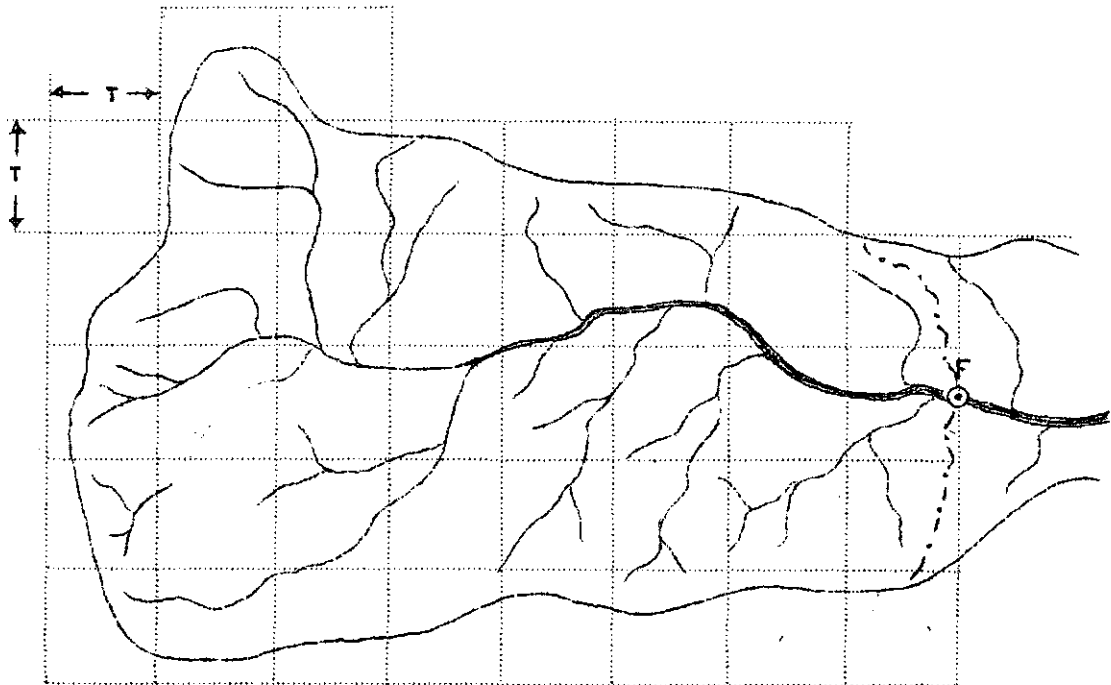


GRAFICO I - B
 BASIC DIAGRAM OF LINEAR BULK POTENTIAL
 DIAGRAMA BASICO DEL POTENCIAL BRUTO LINEAL

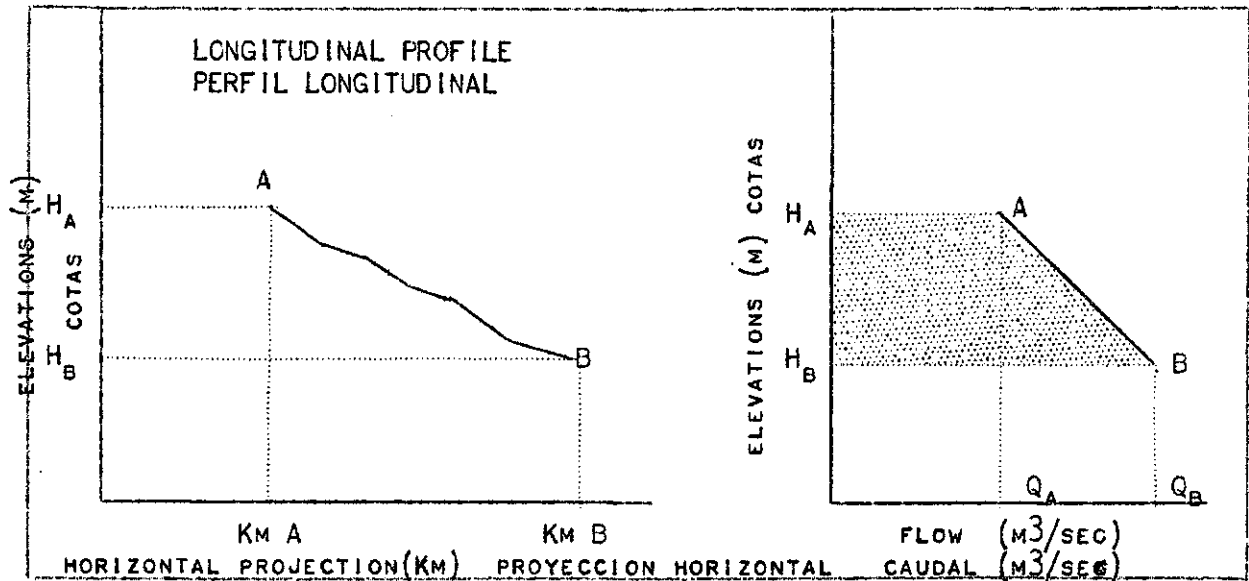
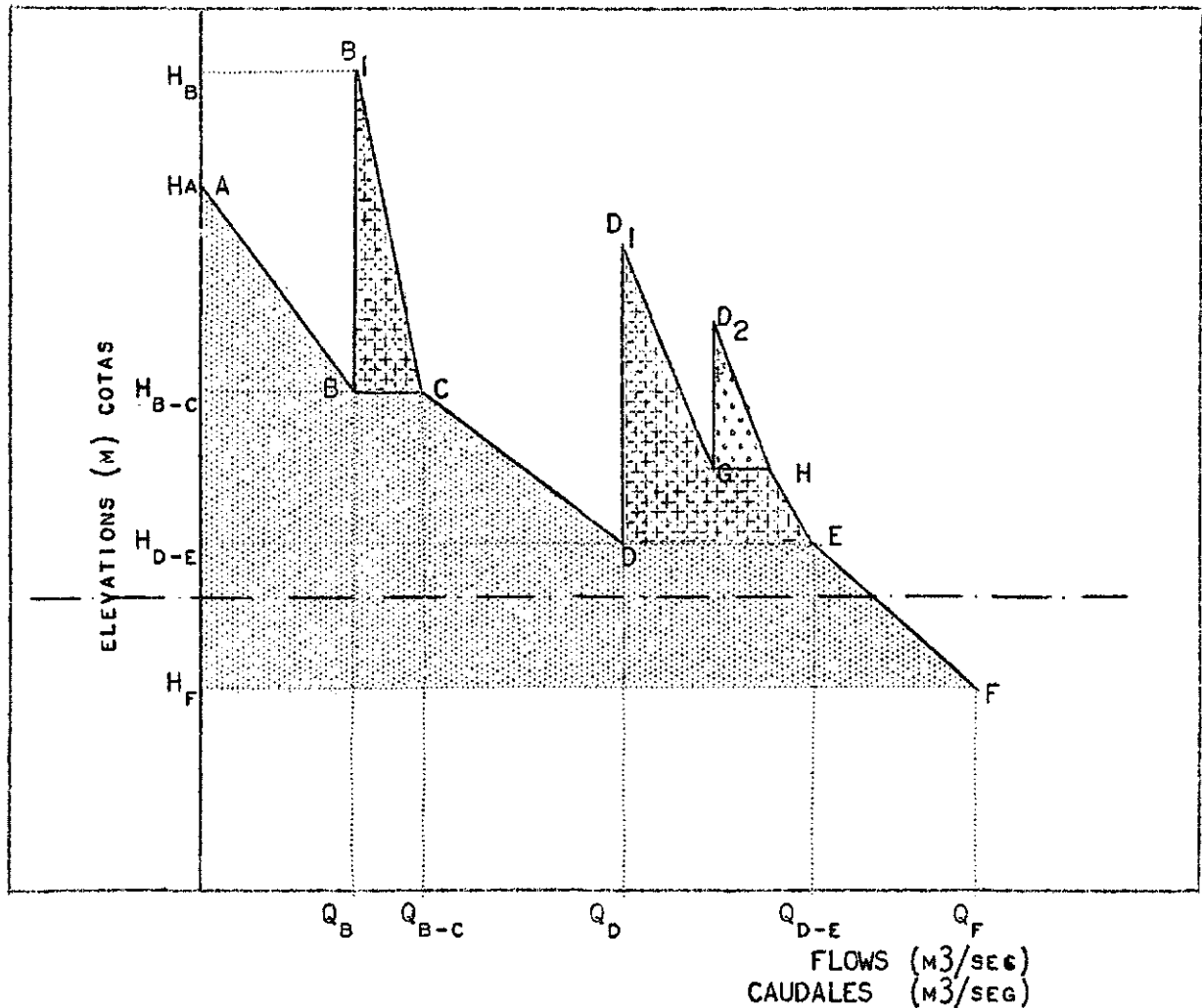
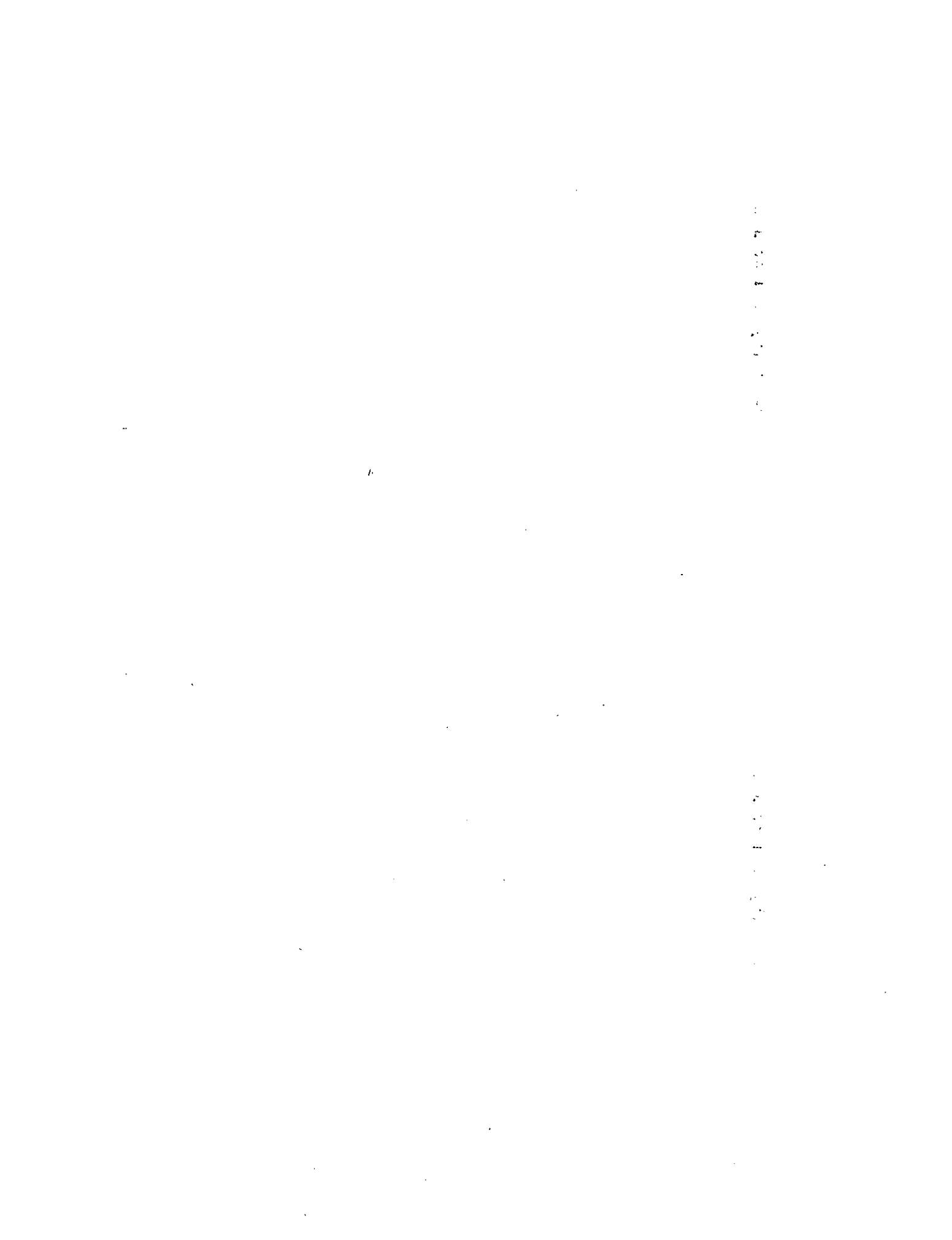


FIGURE I - C
 GRAFICO I - C

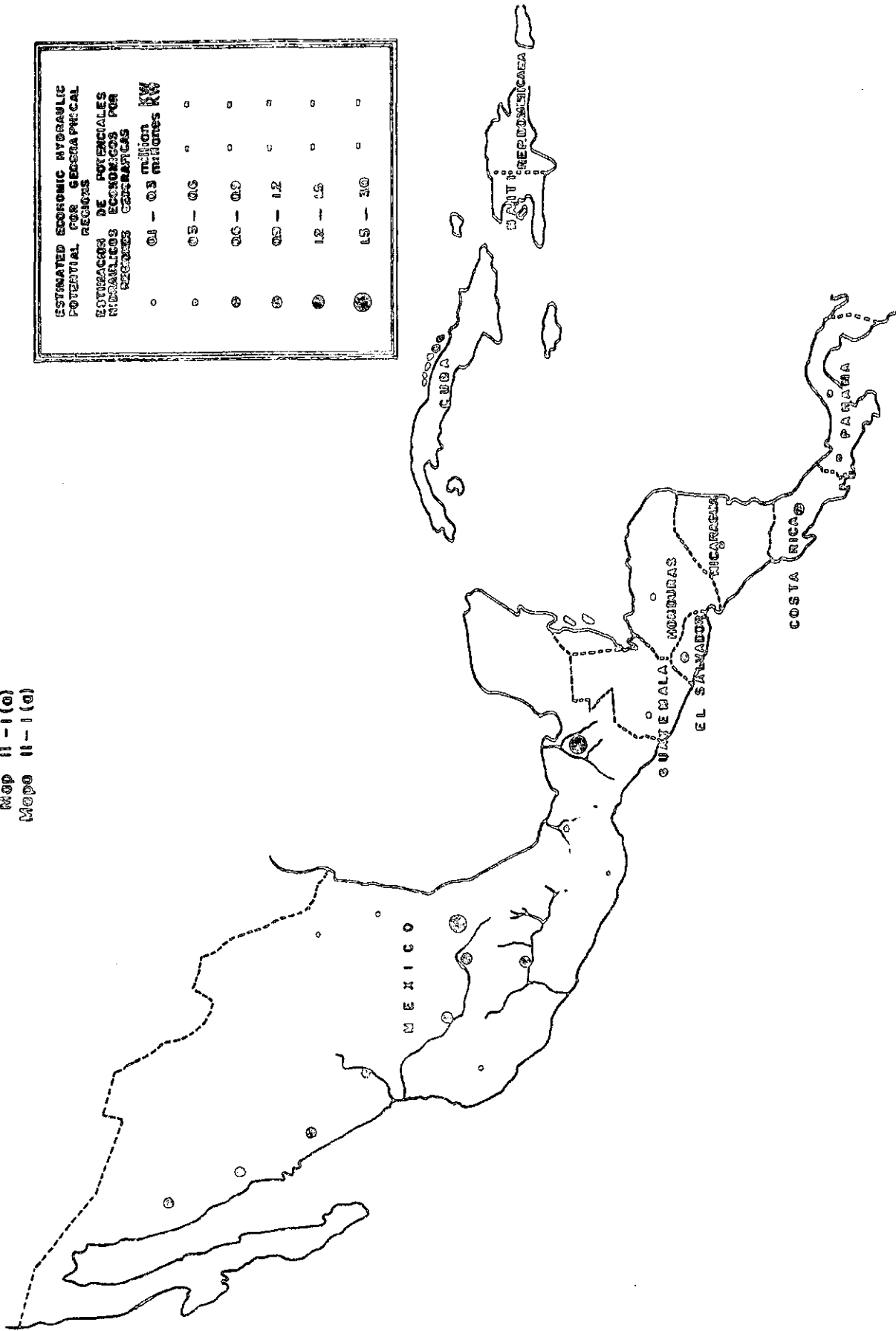
DIAGRAM OF LINEAR BULK POTENTIAL OF A RIVER AND ITS TRIBUTARIES
 DIAGRAMA DEL POTENCIAL BRUTO LINEAL DE UN RIO Y SUS TRIBUTARIOS



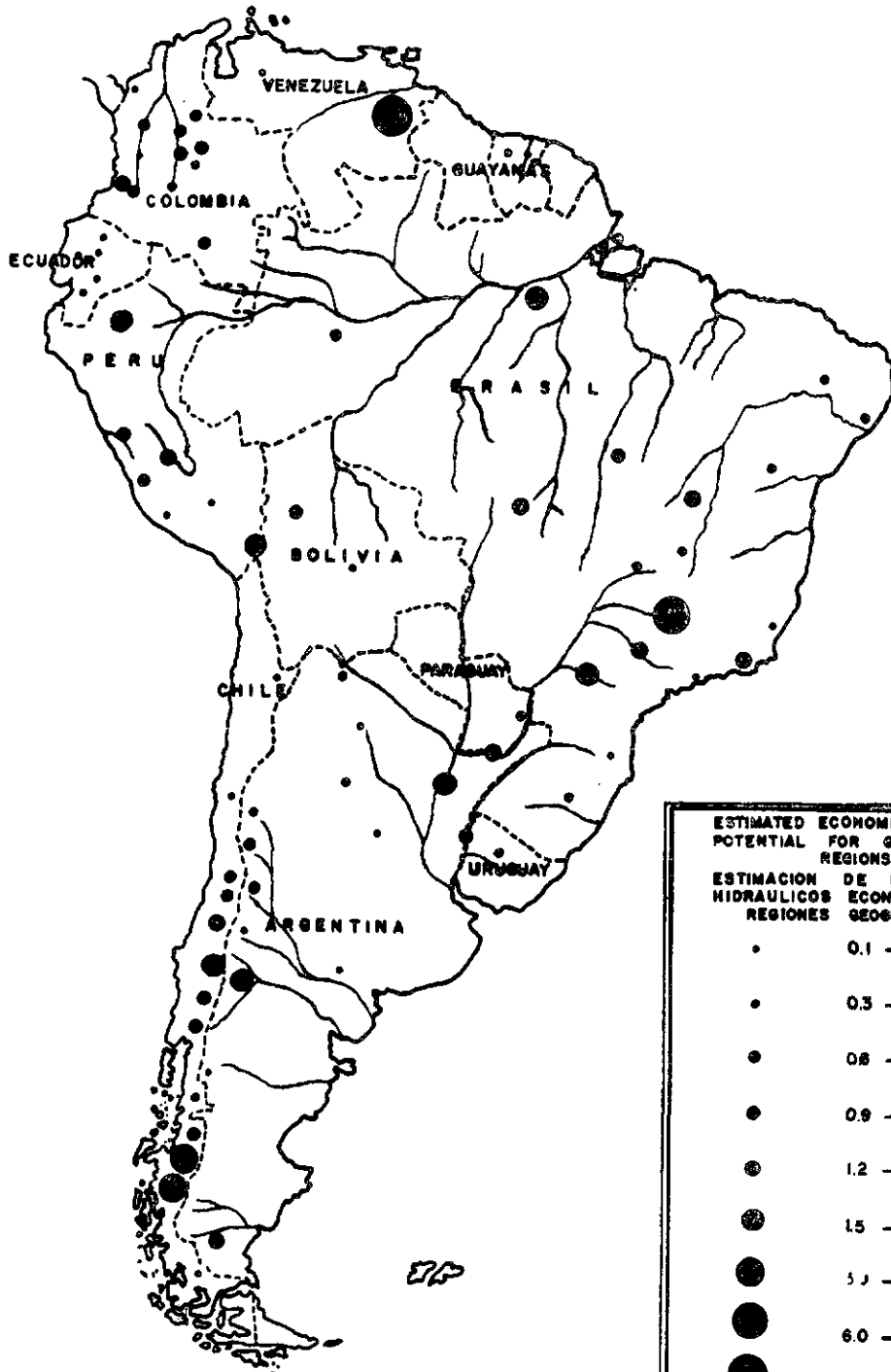


Map II-1(a)
 Mapa II-1(a)

ESTIMATED ECONOMIC HYDRAULIC POTENTIAL FOR GEOGRAPHICAL REGIONS	
POTENCIALES ECONOMICOS POR REGIONES GEOGRAFICAS	
0	0.1 - 0.3 million KW
1	0.5 - 0.5
2	0.6 - 0.9
3	0.9 - 1.2
4	1.2 - 1.5
5	1.5 - 3.0



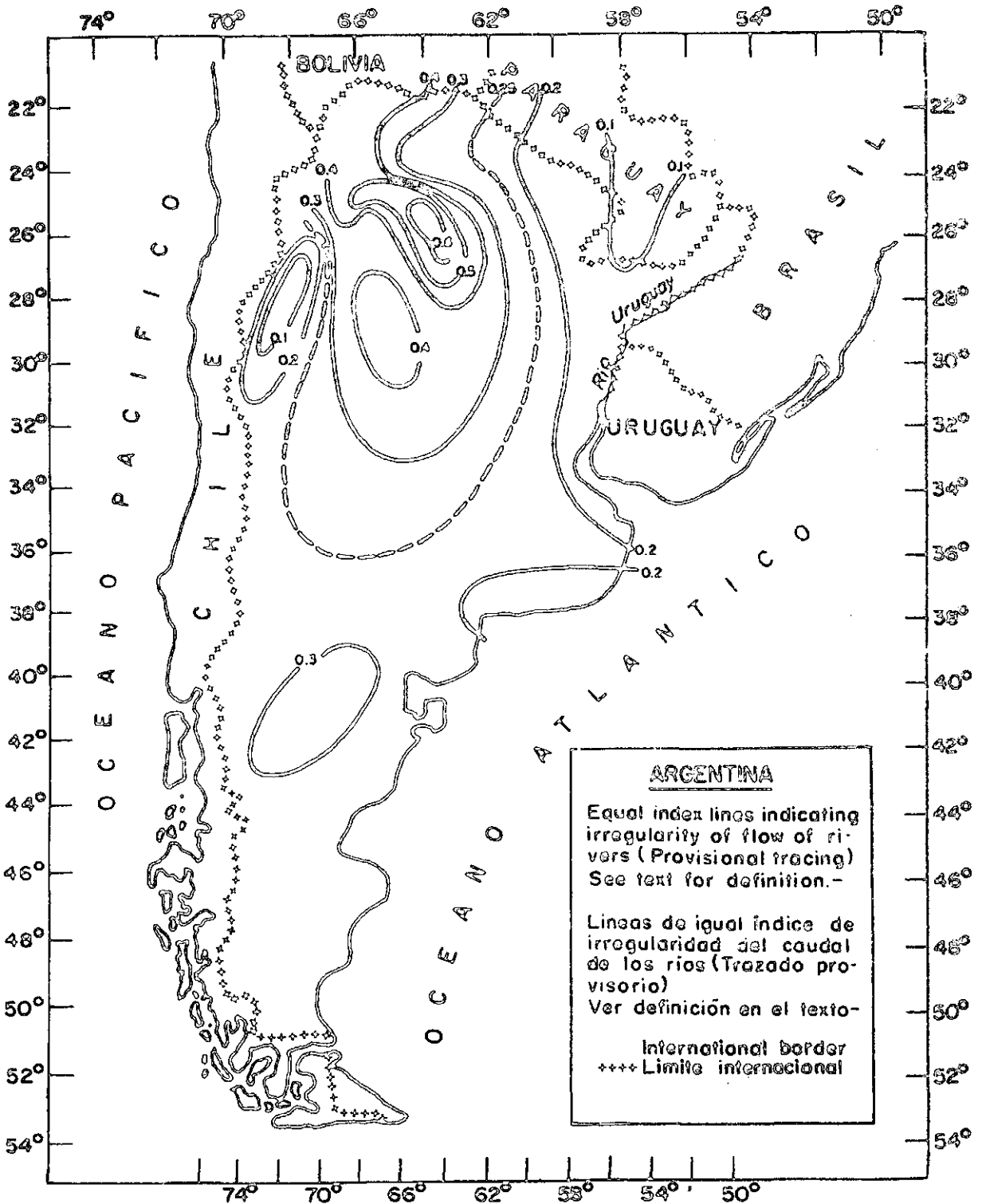
Map II-1(b)
 Mapa II-1(b)



ESTIMATED ECONOMIC HYDRAULIC POTENTIAL FOR GEOGRAPHICAL REGIONS	
ESTIMACION DE POTENCIALES HIDRAULICOS ECONOMICOS POR REGIONES GEOGRAFICAS	
•	0.1 - 0.3 million KW millones KW
•	0.3 - 0.6 " "
•	0.6 - 0.9 " "
•	0.9 - 1.2 " "
•	1.2 - 1.5 " "
•	1.5 - 3.0 " "
•	3.0 - 6.0 " "
•	6.0 - 10.0 " "
•	> 10.0 " "

ETP

Map II-2
Mapa II-2



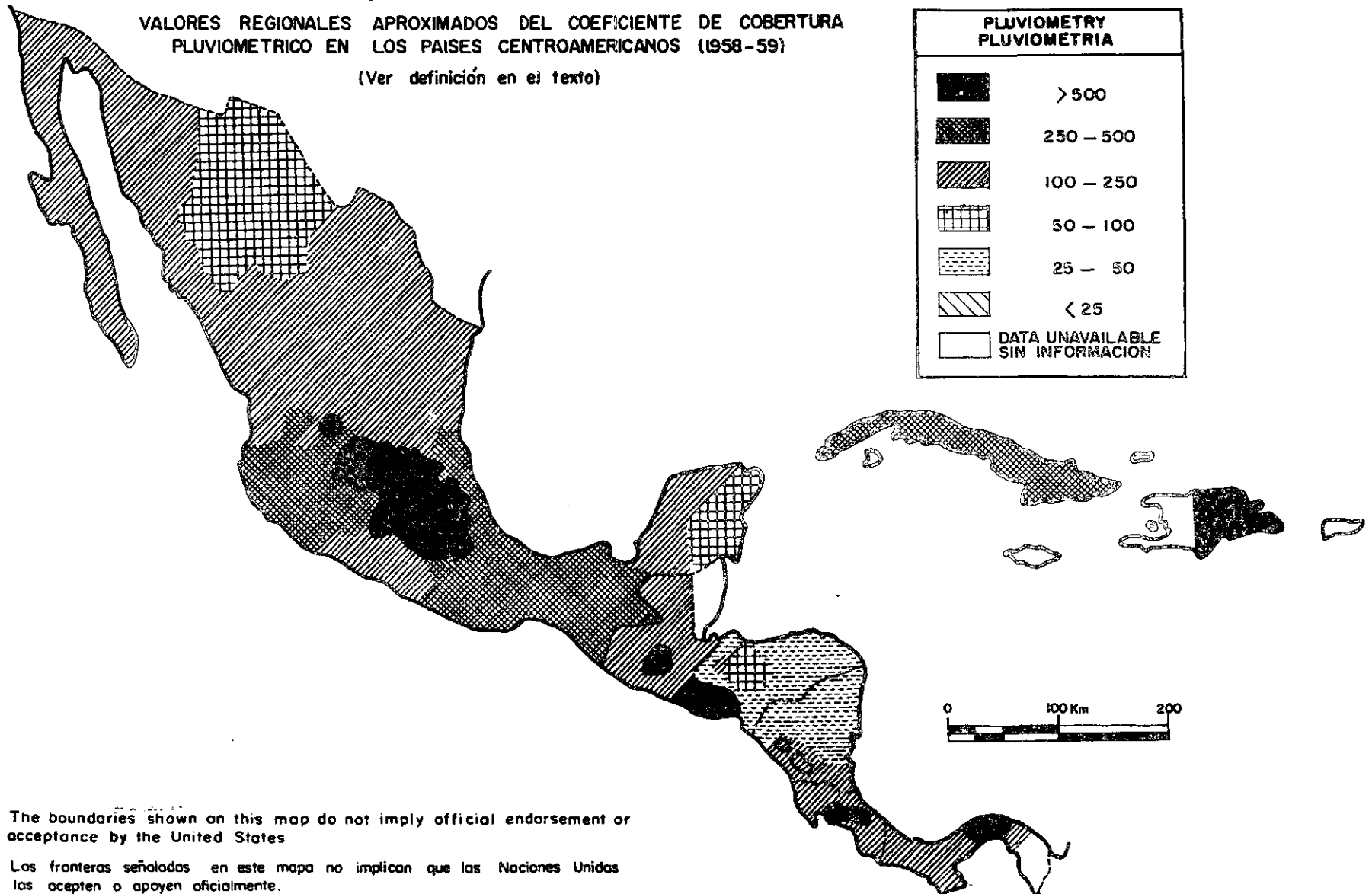
Mapa III-1(a)

APPROXIMATE REGIONAL VALUES OF THE PLUVIOMETRIC COVERAGE
COEFFICIENT IN CENTRAL AMERICA

(See text for definition)

VALORES REGIONALES APROXIMADOS DEL COEFICIENTE DE COBERTURA
PLUVIOMETRICO EN LOS PAISES CENTROAMERICANOS (1958-59)

(Ver definición en el texto)



The boundaries shown on this map do not imply official endorsement or acceptance by the United States

Las fronteras señaladas en este mapa no implican que las Naciones Unidas las acepten o apoyen oficialmente.



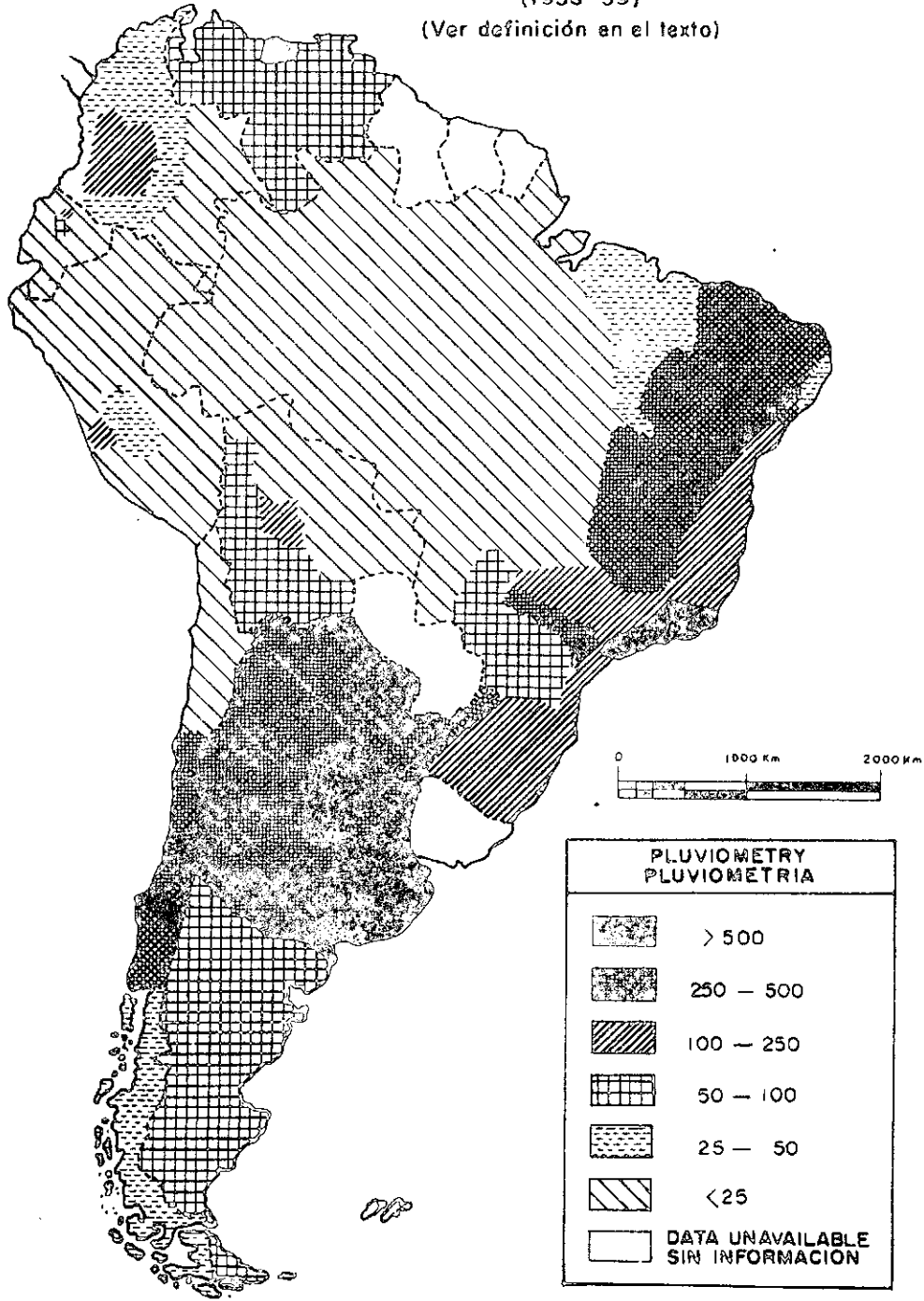
Map III-1 (b)
Mapa III-1 (b)

APPROXIMATE REGIONAL VALUES OF THE PLUVIOMETRIC COVERAGE
COEFFICIENT IN LATIN AMERICA

(See text for definition)

VALORES REGIONALES APROXIMADOS DEL COEFICIENTE DE
COBERTURA PLUVIOMETRICO EN LOS PAISES SUDAMERICANOS
(1950-59)

(Ver definición en el texto)



The boundaries shown on this map do not imply official endorsement or acceptance by the United Nations

Las fronteras señaladas en este mapa no implican que las Naciones Unidas las acepten o apoyen oficialmente

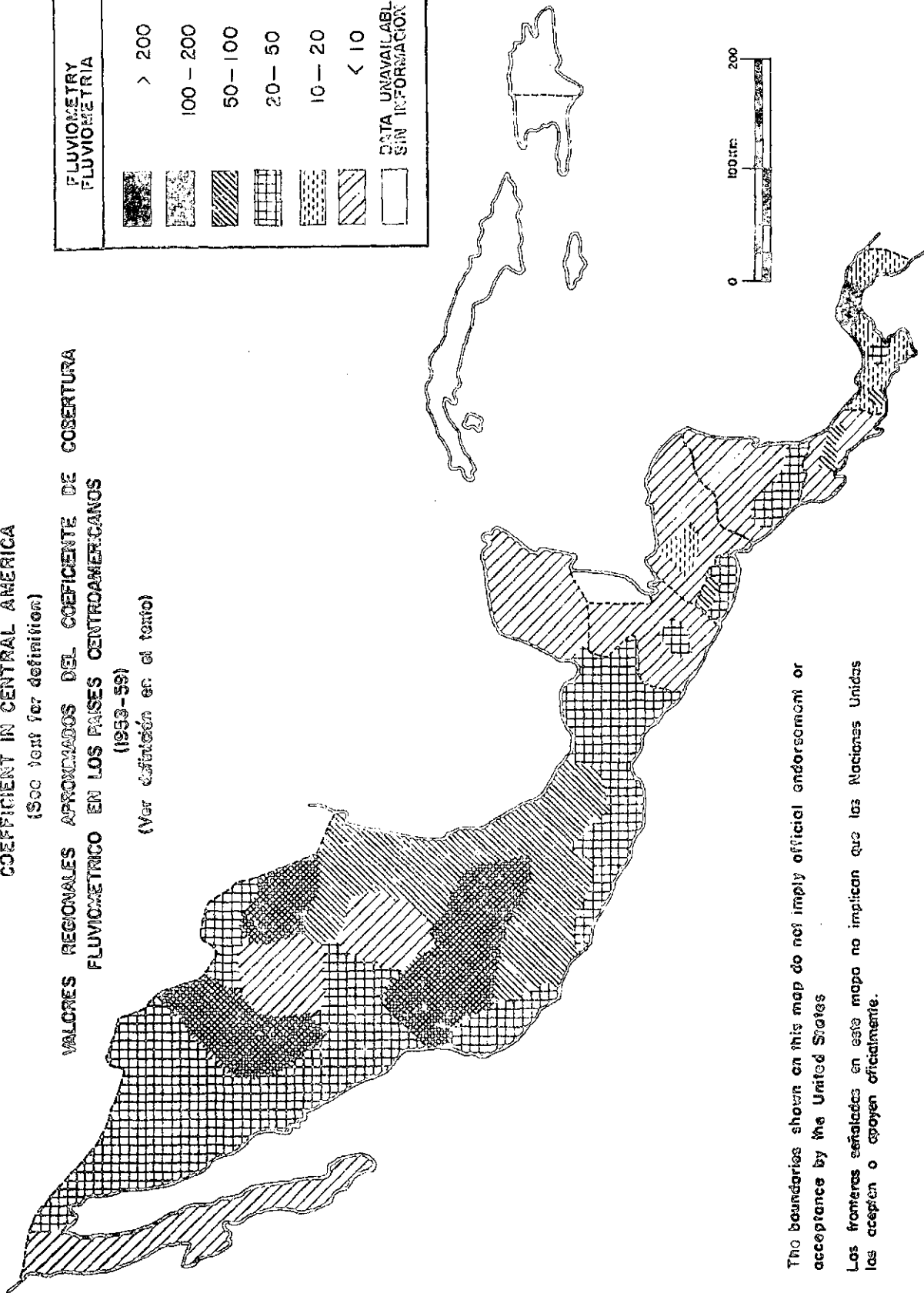
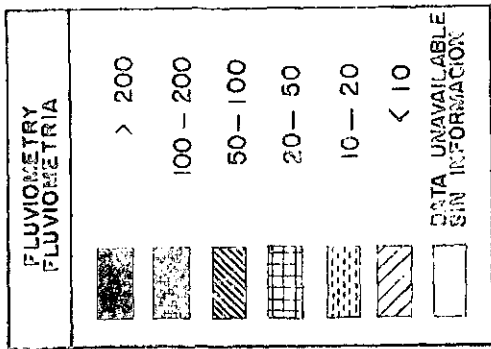
Map III - 2 (a)
 Mapa III - 2 (a)

**APPROXIMATE REGIONAL VALUES OF THE FLUVIOMETRIC COVERAGE
 COEFFICIENT IN CENTRAL AMERICA**

(See text for definition)

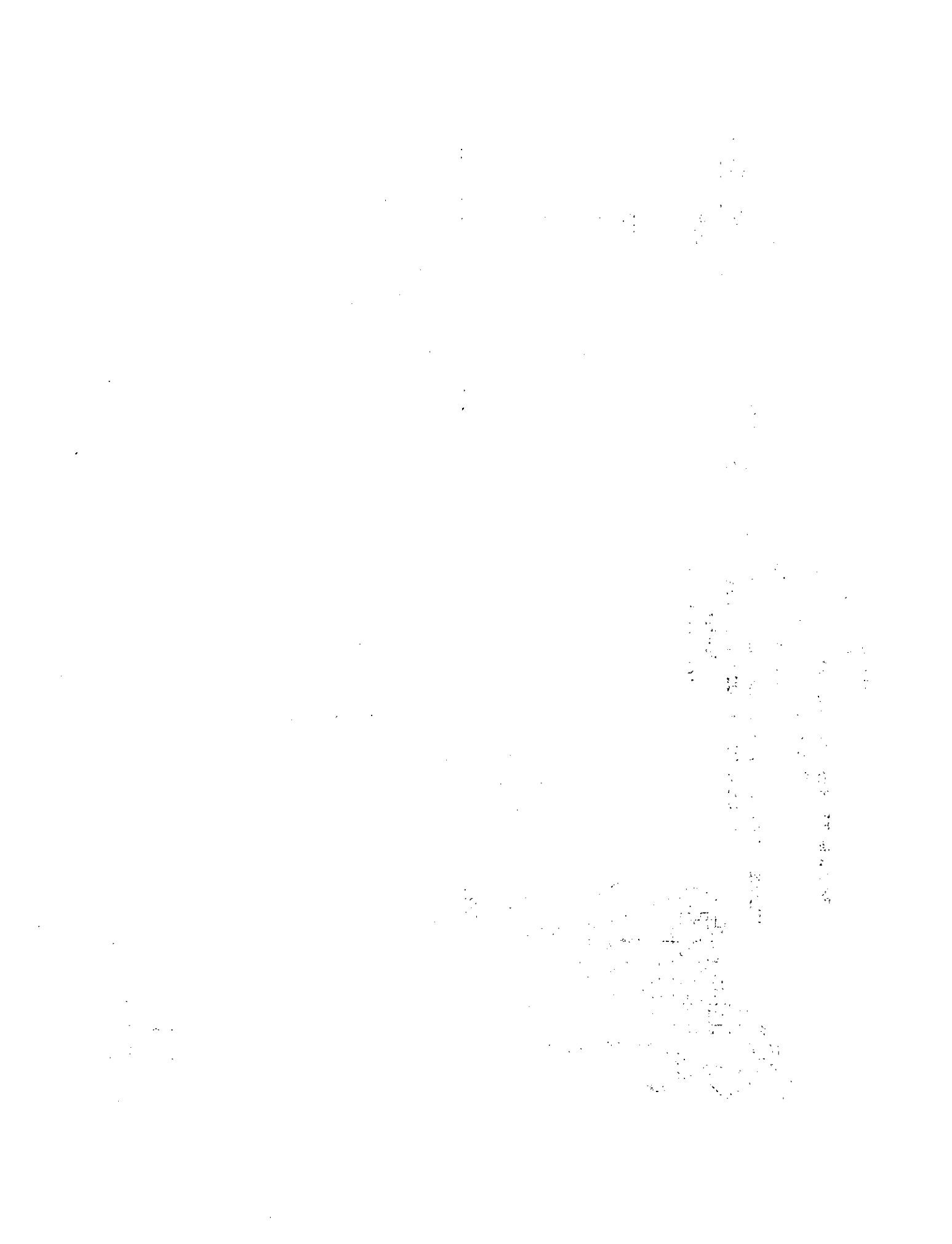
**VALORES REGIONALES APROXIMADOS DEL COEFICIENTE DE COBERTURA
 FLUVIOMETRICO EN LOS PAISES CENTROAMERICANOS**
 (1953-59)

(Ver definición en el texto)



The boundaries shown on this map do not imply official endorsement or acceptance by the United States

Los fronteras señaladas en este mapa no implican que las Naciones Unidas las acepten o apoyen oficialmente.



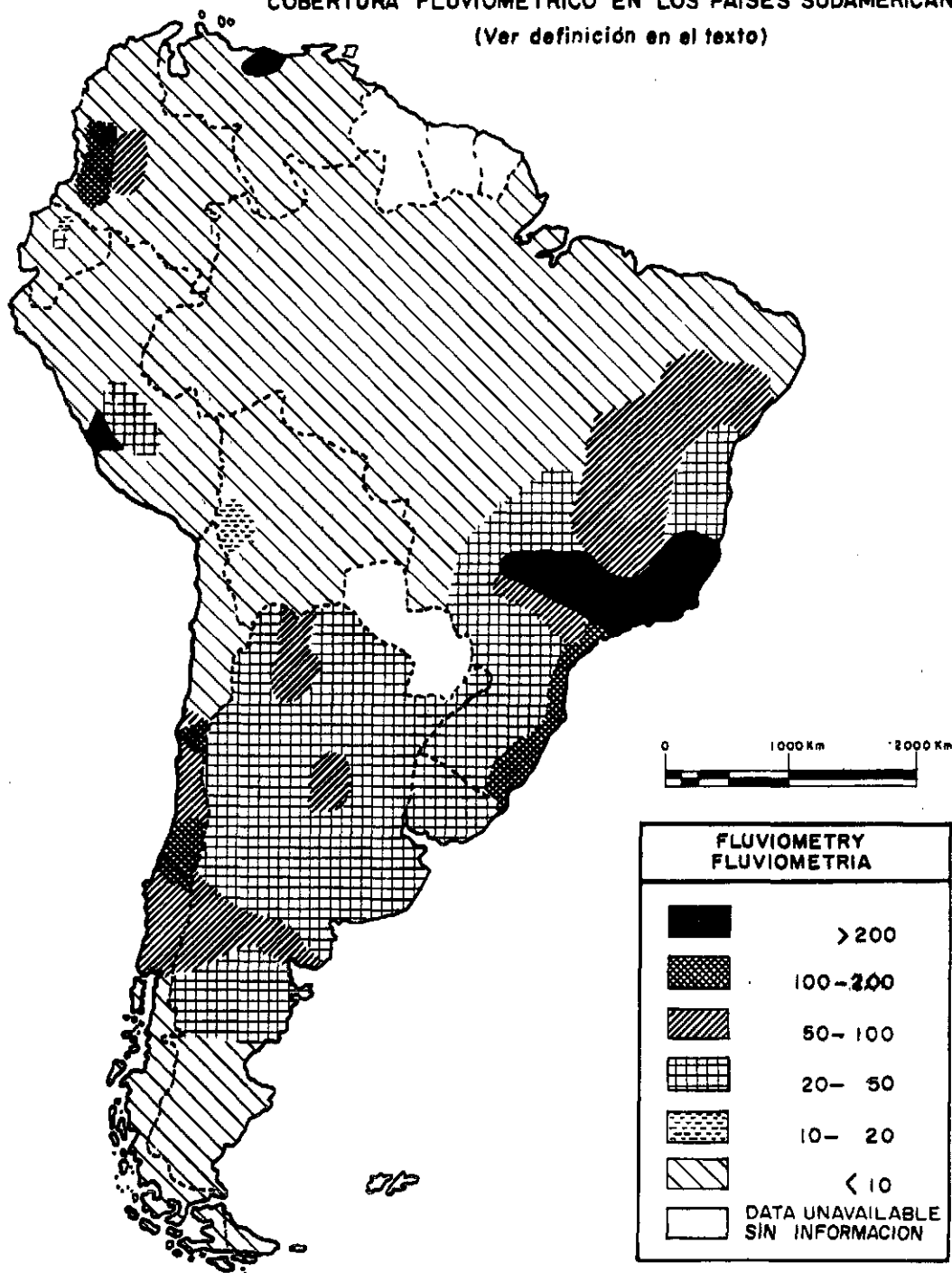
Map III-2 (b)
Map III-2 (b)

APPROXIMATE REGIONAL VALUES OF THE FLUVIOMETRIC COVERAGE
COEFFICIENT IN LATIN AMERICA

(See text for definition)

VALORES REGIONALES APROXIMADOS DEL COEFICIENTE DE
COBERTURA FLUVIOMETRICO EN LOS PAISES SUDAMERICANOS

(Ver definición en el texto)



The boundaries shown on this map do not imply official endorsement or acceptance by the United Nations

Las fronteras señaladas en este mapa no implican que las Naciones Unidas las acepten o apoyen oficialmente

DEPT. OF THE ARMY
WASHINGTON, D. C.

OFFICE OF THE
CHIEF OF STAFF

MEMORANDUM FOR THE RECORD

DATE: 10/15/50
SUBJECT: [Illegible]

1. [Illegible]

2. [Illegible]

3. [Illegible]

4. [Illegible]

5. [Illegible]

6. [Illegible]

7. [Illegible]

8. [Illegible]

9. [Illegible]

10. [Illegible]

11. [Illegible]

12. [Illegible]

