

ARCHIVO LS8 HOJA DE ACTIVIDADES 8: ESTIMACION DE CAUDALES DE AVENIDAS DE DISEÑO Fig. 5-7

mos propuesta por Gumbel (*). Esta función es de la forma

$$Q_T = \bar{x} + n K_T \cdot \sigma$$

donde :

Q_T = valor extremo con un intervalo de retorno de T años

nK_T = factor de frecuencia extremo (una función de la longitud de registro n y del intervalo de retorno T)

Los valores de avenidas estimados correspondientes a intervalos de retorno de 10 y 1000 años, fueron luego sujetos a un análisis regional como se describe a continuación.

5.2.4.2.3 Deducción de curvas envolventes

El parámetro físico más significativo para determinar valores extremos de avenidas en un punto es el área de cuenca hasta la estación de aforos, siendo la relación normal de la forma $Q = C * A^n$ donde Q es la descarga máxima y A el área de la cuenca. El coeficiente C y el exponente n se determinan mediante los datos disponibles.

Inicialmente todos los puntos se plotearon en una escala log-log pero, como era de esperarse, se pudieron identificar desviaciones regionales considerables. Finalmente fue posible identificar 7 regiones en el país como se muestra en la Figura 5 - 8.

En la Tabla 5-2 se presentan las cuencas incluídas en cada región y el número correspondiente de observaciones utilizados para definir las curvas envolventes.

Los grupos de valores correspondientes a cada región se plantearon para determinar los valores apropiados de los parámetros C y n. Sin embargo, se encontró que la recta envolvente resultante no definía adecuadamente la relación con el área, indicando la necesidad de emplear un exponente más complejo.

De esta manera, las curvas envolvente finales se dedujeron en base de la ecuación de Creager (**), que toma la forma general:

$$Q = K * C * A^{m-n}$$

donde: Q es la descarga máxima en m³/s.

A es el área de captación en Km².

y los parámetros K, C, m y n deben determinarse

* Gumbel, E.J., Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York, London 1967.

** Creager and Justin, Hydroelectric Handbook John Wiley and Sons Inc. 1950

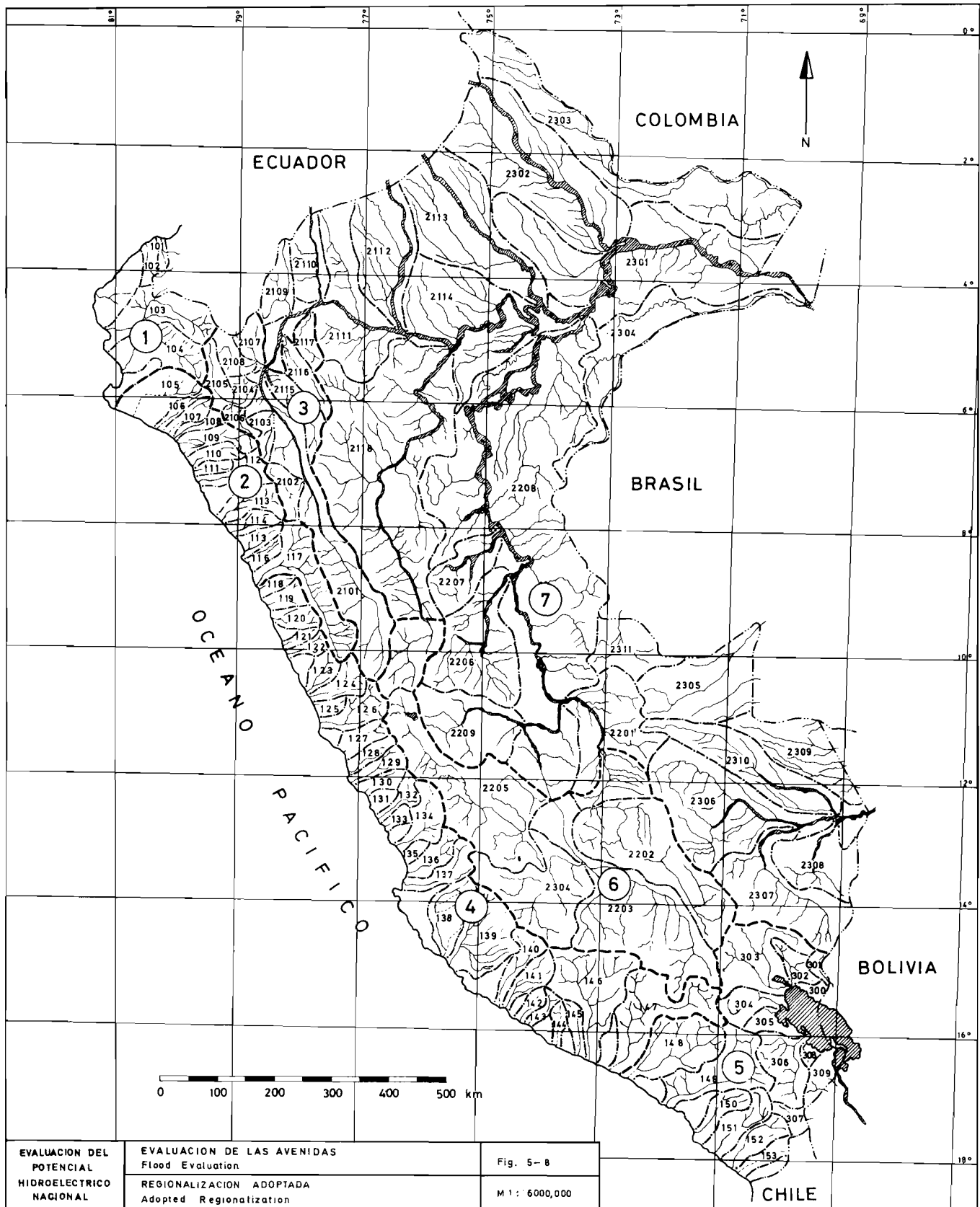


TABLA 5 - 2

RELACION DE CUENCAS INCLUIDAS EN CADA REGION DE AVENIDAS

Región	Cuenca	Número de estaciones
1	101 - 104	12
2	105 - 117	21
3	2101 - 2108 2115 - 2117	58
4	118 - 147	34
5	148 - 153 300 - 309	28
6	2201 - 2205 2118A Huallaga Sup. 2201 Urubamba Sup.	40
7	2109 - 2114 2206 - 2209 2301 - 2111 2118B - Huallaga Inferior 2201 Urubamba Inferior	0

5.2.4.2.4 Resultados

En cada región y en cada grupo de puntos correspondientes a las estimaciones de Q10 y Q1000 se determinaron los parámetros necesarios para la ecuación de Creager. Los valores resultantes se tabulan en la Tabla 5 - 3, en tanto las curvas envolventes correspondientes se encuentran indicadas en el Volumen IX del Informe.

La ausencia de datos en la región 7 hizo necesario la extrapolación de los resultados obtenidos en las regiones adyacentes. Tomando en consideración el hecho de que la mayor parte de ríos de la Selva drenan de la Sierra y que, la región se caracteriza por tener alta precipitación y altos coeficientes de escorrentía, se emplearon las curvas correspondientes a la región 6, incrementadas en 20%.

TABLA 5 - 3PARAMETROS DE LA ECUACION DE CREAGER

Región	K 1	C 10	C 1000	m	n
1	0.4	13.4	35.3	1.02	0.04
2	0.4	3.4	9.9	1.02	0.04
3	0.4	4.4	11.7	1.02	0.04
4	0.1	4.5	11.8	1.24	0.04
5	0.1	4.0	9.1	1.24	0.04
6	0.1	5.0	11.4	1.24	0.04
7	0.1	6.0	13.7	1.23	0.04

Es preciso tener en cuenta las siguientes consideraciones al aplicar e interpretar las curvas envolventes de avenidas deducidas :

- Debido a la falta de valores instantáneos, el análisis se basó en los datos de máximo caudal medio diario y por consiguiente en algunos casos individuales se podría subestimar seriamente la descarga pico.
- Las discontinuidades en los registros se producen frecuentemente por el paso de grandes avenidas. Los valores de avenidas registrados no representan por lo tanto la avenida real ocurrida.
- Los errores en las mediciones se manifiestan particularmente cuando se producen grandes avenidas debido a que se sobrepasan los límites de la curva de calibración.
- Al incluir registros relativamente cortos (< 15 años) aumenta la incertidumbre en la información.

Por todas las razones anteriores, es aconsejable elaborar curvas tipo envolvente más bien que ecuaciones del mejor ajuste.

Debido a que las avenidas provenientes de áreas de captación muy pequeñas son extremadamente variables (avenidas repentinas) y a que tanto para éstas como para áreas muy grandes se disponían de datos muy limitados, la validez de las curvas deducidas se reduce sólo al rango $100 \leq A \leq 30\,000 \text{ Km}^2$.

Debe observarse asimismo que la predicción de caudales con períodos teóricos de retorno de 10 a 1000 años no indica que la probabilidad que tal caudal ocurra en el intervalo correspondiente sea de 100%. Las verdaderas probabilidades de ocurrencia

pueden calcularse usando la fórmula siguiente dada por Wilson*

$$P(Q \leq Q_T) \quad n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

donde Q_T es el caudal estimado con un período de retorno de T años y n es el período considerado. A continuación se dan los resultados para $T = 10$ y $T = 1000$.

TABLA 5 - 4

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE AVENIDAS

Intervalo de Retorno: 10 años		Intervalo de Retorno: 1000 años	
Período Años	Probabilidad de ocurrencia %	Período Años	Probabilidad de ocurrencia %
3	27	30	3
5	41	60	6
10	65	100	9
20	88	1000	63

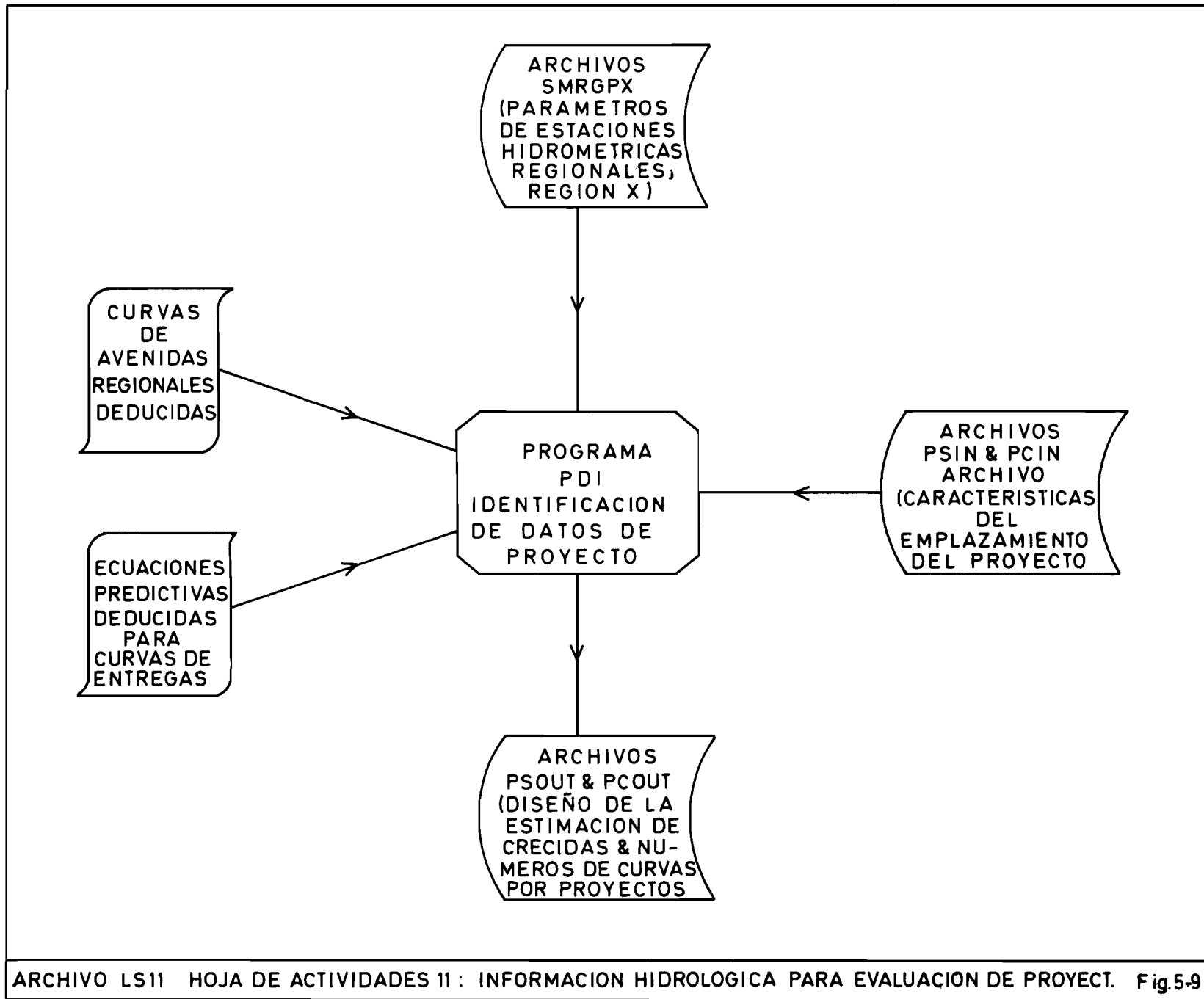
5.2.4.2.5 Aplicación

Los valores de avenidas para todos los proyectos hidroeléctricos potenciales se calcularon usando el programa PDI (Fig. 5 - 9)

Cada emplazamiento de presa o de derivación se identificó de acuerdo a las coordenadas y al área de captación y se les asignó la región de avenidas apropiada. Sobre la base de las ecuaciones deducidas para las curvas envolventes se calcularon entonces los valores de Q_{10} y Q_{1000} a emplearse en el dimensionamiento de estructuras de vertederos para cada emplazamiento de proyecto.

En el volumen IX del Informe se puede encontrar detalles específicos de los caudales de avenidas para cada proyecto considerado.

* Wilson, E.M., Engineering Hydrology
The Mac Millan Press Ltd., London
1975.



5.2.4.3 Estimación del Transporte de Sedimentos

En la evaluación de proyectos potenciales de energía hidroeléctrica es necesario considerar los efectos de los sedimentos de los ríos en la vida útil del desarrollo. En proyectos que involucran almacenamiento a mediano y largo plazo, debe tomarse en cuenta la acumulación de depósitos en el cuerpo del reservorio, lo que tiene el efecto de reducir el almacenamiento activo disponible. Dichos depósitos pueden ser en suspensión y material de arrastre. Debido a que la gravedad específica de tal material es mayor que la unidad, las partículas en suspensión tienden a depositarse en el lecho del cauce a menos que entren en acción corrientes ascendentes debido a la turbulencia. Al ingresar a un reservorio, la velocidad de la corriente y la turbulencia disminuyen notablemente y se depositan las partículas más grandes y la mayor parte del material de arrastre. Las partículas más pequeñas permanecen en suspensión mayor tiempo y se depositan más adelante en el reservorio, aunque las partículas sumamente pequeñas podrán eventualmente ser transportadas a través de las turbinas o por los vertederos. En casos donde se prevea una excesiva carga de sedimentos se pueden incorporar aliviaderos especiales a la estructura de captación como ayuda para la limpieza periódica. Cuando se prevea un mínimo almacenamiento deben emplearse métodos artificiales para acelerar el proceso de deposición natural para prevenir los daños consiguientes a las turbinas.

En el presente estudio una proporción determinada de la capacidad total de almacenamiento originada por cada presa se consideró como almacenamiento muerto debido a la acumulación de depósitos de sedimentos. Tal consideración se hizo indispensable por la muy limitada disponibilidad de datos de sedimentos en el Perú. (Debe señalarse que si bien estas prevenciones reducen la capacidad de regulación de tales reservorios, se mantienen algunos beneficios en forma de caída neta).

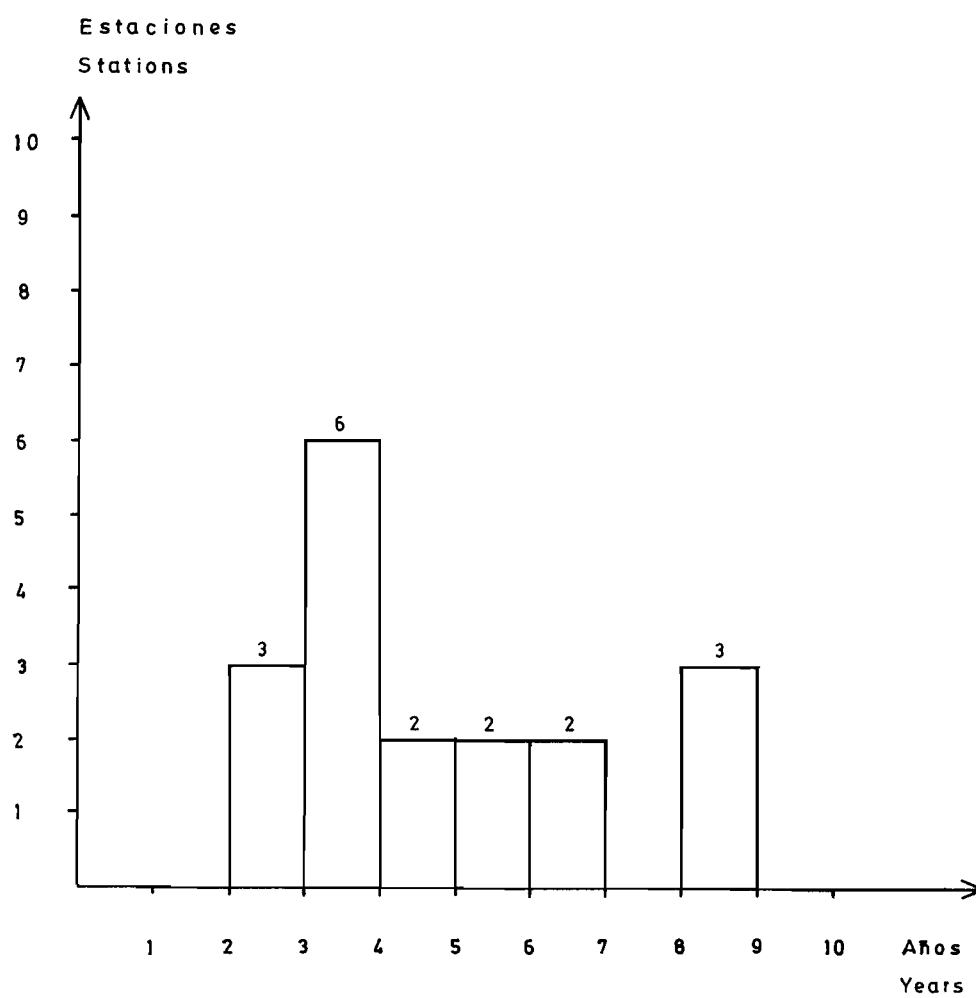
El objetivo de los estudios de sedimentación que se describen en las secciones siguientes es de proporcionar la información básica para el refinamiento de la consideración anterior en el curso de estudios de propósitos más detallados.

5.2.4.3.1 Disponibilidad de información

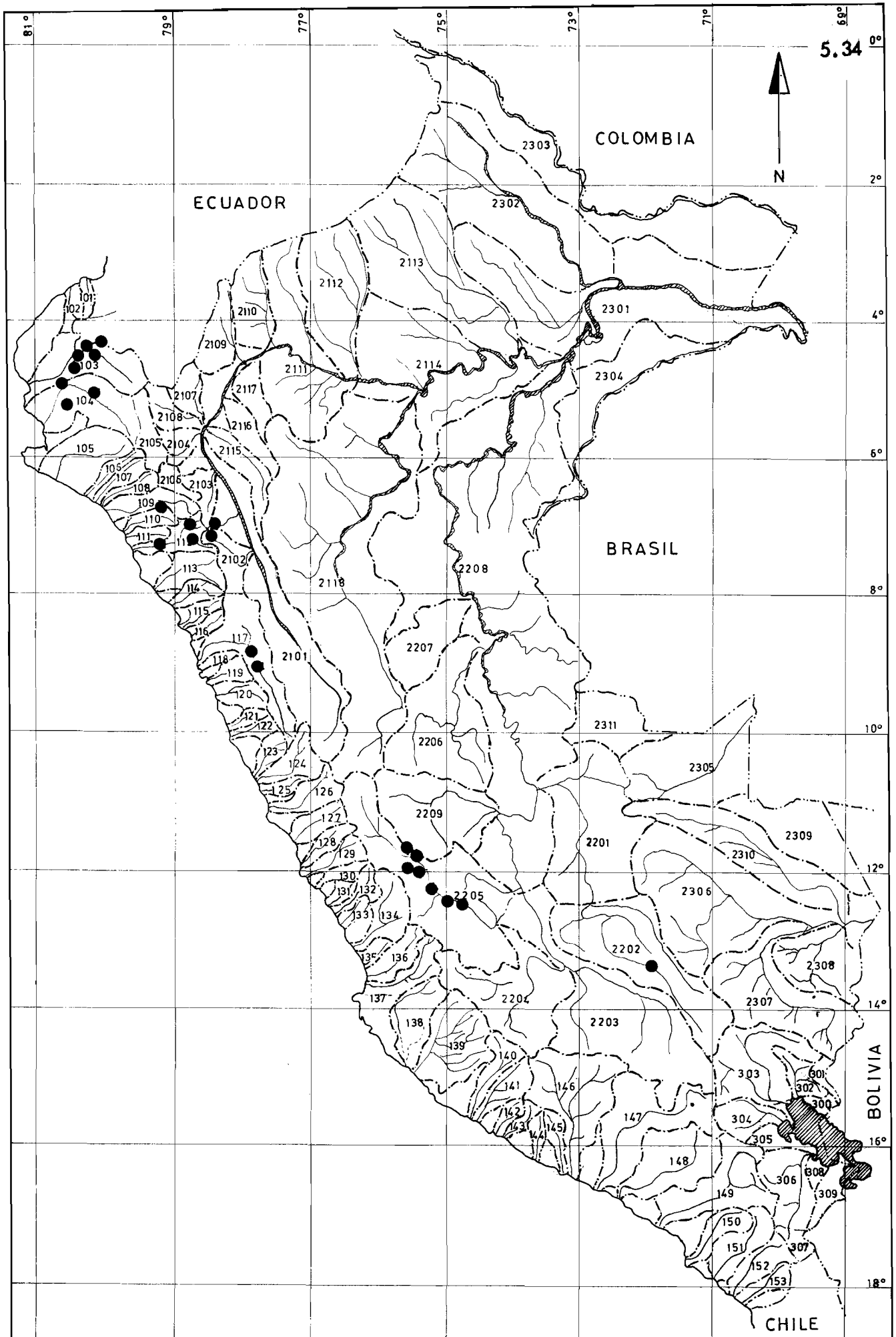
En el presente estudio de transporte de sedimentos se analizaron los registros de sedimentos en suspensión de 23 estaciones. De éstas, hay 5 que sólo tienen mediciones esporádicas o estimaciones de poca precisión. Los datos fueron obtenidos de las siguientes fuentes, tanto directa como indirectamente de informes publicados: Ministerio de Agricultura (MA), Proyecto Chira-Piura (PCHP), Proyecto Jequetepeque-Zaña (PJZ), INIE, MEM y ONERN.

El registro disponible más largo fue de 8 años y la distribución del tiempo de registro y del número de estaciones está representada en el gráfico de la Fig. 5-10. La mayor parte de estas estaciones están ubicadas en cuencas de la Costa; se disponen de muy pocos datos en ríos de la Sierra y ninguno en los de la Selva, la ubicación de las estaciones se muestra en la Fig. 5-11.

No se encontraron registros continuos de material de arrastre.



EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL	ESTACIONES CON REGISTROS DE SEDIMENTOS Stations with Sediment Records	Fig. 5-10
	NUMERO DE ESTACIONES Y AÑOS DE REGISTRO Number of Stations and Years of Record	



EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL	ESTACIONES CON REGISTROS DE SEDIMENTOS	Fig. 5-11
	Stations with sediment records	

5.2.4.3.2 Evaluación

Debido al empleo de unidades diferentes para el tiempo y volumen, el primer paso consistió en estandarizar las dimensiones de los registros disponibles. Primeramente se consideraron valores mensuales a fin de aprovecharse un mayor número de valores para establecer relaciones entre carga de sedimentos y caudal.

La mayor parte de sedimentos se transportó durante periodos de avenidas, o sea entre los meses de diciembre a mayo. Durante estos periodos el transporte de sedimentos representará normalmente más del 90% del total anual. Como resultado de esta observación, se estimó por consiguiente justificable considerar los registros tomados únicamente en el periodo de grandes avenidas como representativo del transporte anual de sedimentos. Los datos anuales resultantes según se emplean en el análisis siguiente se dan en la Tabla 5-5.

Se investigaron dos tipos de relaciones básicas

$$Q_s = a Q_l^n$$

donde:

Q_s es el volumen anual de sedimentos en suspensión (ton/año)
 Q_l es el volumen anual del flujo ($Km^3/año$)

y

$$Q_s = a A^n$$

donde: A es el área de cuenca (Km^2)

En ambos casos el coeficiente a y el exponente n deben determinarse de acuerdo a los datos disponibles.

Los 23 datos de volúmenes medios anuales de sedimentos se plotearon con el correspondiente volumen anual y áreas de cuenca respectivamente, como se muestra en las Figs. 5-12 y 5-13.

Las ecuaciones correspondientes para las curvas son:

$$Q_s = 4800 * Q_l^{0.8}$$

y

$$Q_s = 3283 * A^{0.76}$$

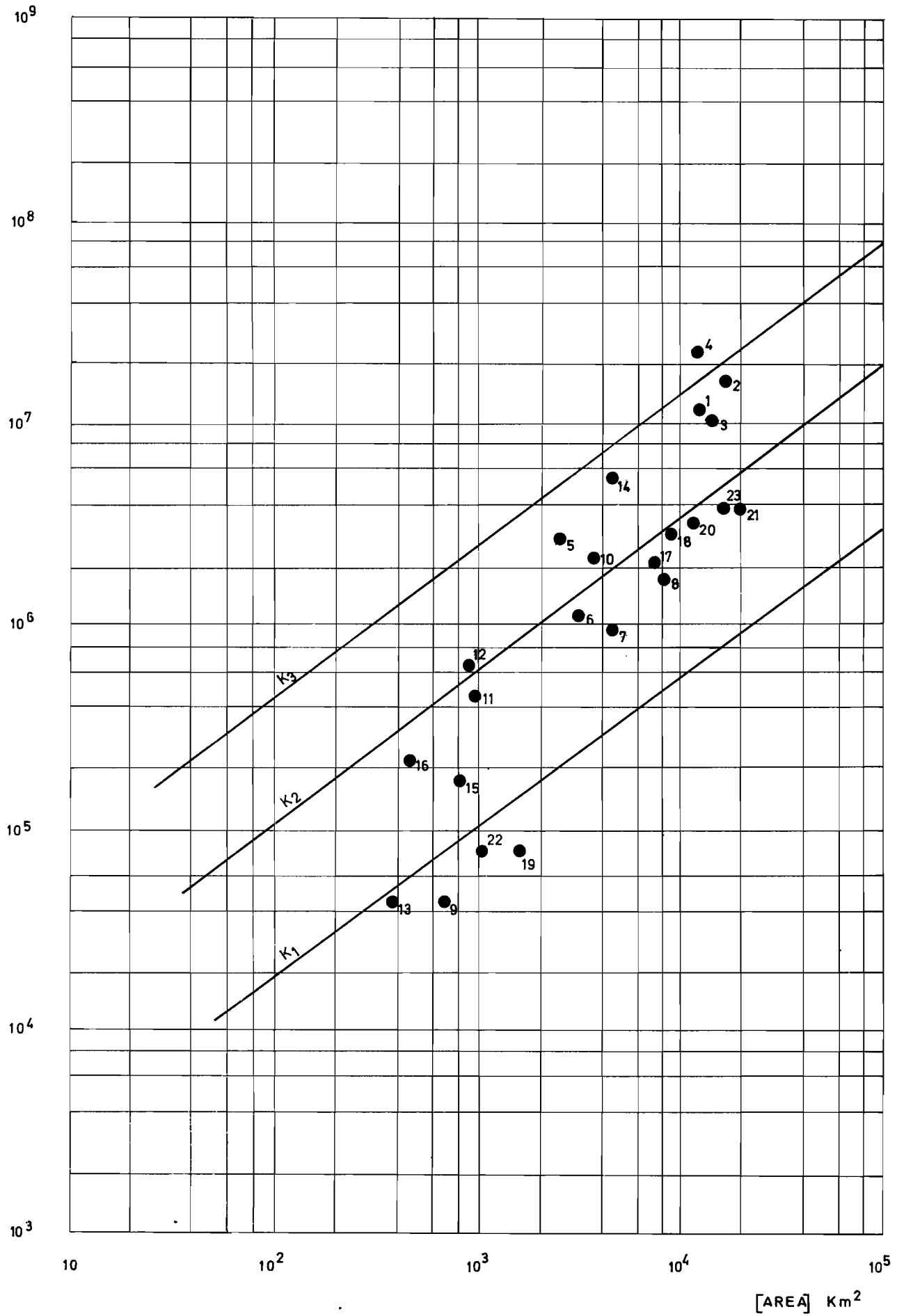
En vista del pequeño número de observaciones y su concentración en cuencas de la Costa, no fue posible distinguir variaciones regionales. Sin embargo, se estimó conveniente hacer uso de otras fuentes de información, en un esfuerzo por reflejar las diferentes condiciones del país que normalmente influyen el transporte de sedimentos. Esta información comprende lo siguiente:

- Observaciones personales de la erosión relativa efectuada por geólogos del proyec

VALORES ANUALES DE SEDIMENTOS (10³ ton/año)

TABLA 5-5

Código	Nº	Nombre	Río	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	Promedio	Area (Km ² .)	Específico (Ton/año/Km ²)
200302	1	Solana Baja	Chira				18,612	15,198	3,530				12,400	11,712	1.06
200305	2	Puente Sullana	Chira				29,901	16,957	3,708				16,900	16,115	1.05
200307	3	Rosita	Chira				31,639	168	3,658				11,800	13,000	0.91
200309	4	Ardilla	Chira				28,236	21,803					25,000	11,600	2.16
200310	5	Pte. Internacional	Macará					4,535	708	3,265	2,565		12,700	2,500	1.08
200314	6	Los Encuentros	Quiroz				611	1,824					1,220	3,100	0.39
200406	7	Pte. Nácara	Piura					2,133	12				1,070	4,511	0.24
200407	8	Puente Piura	Piura				1,029	7,029	92	430	633		1,800	8,000	0.22
201001	9	El Batán	Zaña					50	8	80	34		43	673	0.06
201201	10	Ventanillas	Jequetepeque	1,611	488	5,293	2,035	4,173	940	3,630	504		2,300	3,620	0.64
201203	11	Las Paltas	Puclush			635	331	688	134	917	101		470	1,065	0.44
201204	12	Puente Chilete	Chilete			1,079	330	611	350	1,085	145		600	980	0.61
201703	13	Quitarcasa	Quitarcasa							73	30	25	43	384	0.11
201706	14	La Balsa	Santa							8,600	3,990	4,980	5,900	4,260	1.38
220206	15	Jesús Túnel	Cajamarca	69	78		60	117	198	521	45		180	800	0.22
220208	16	Namora-Bocat	Namora	198	352		212	158	145	249	26		225	430	0.52
230403	17	Pte. San Miguel	Urubamba										2,000	7,700	0.26
230909	18	Pte. Stuart	Mantaro										3,100	9,130	0.34
230913	19	Angasmayo	Cunas										83	1,620	0.05
230914	20	Chupuro	Mantaro										3,400	12,400	0.27
230918	21	Villena	Mantaro	1,350	4,945	3,796	2,394	7,097					3,900	18,500	0.21
230925	22	Yanacocha	Cunas										80	970	0.08
230926	23	La Mejorada	Mantaro						8,533	1,347	1,785		3,900	17,500	0.22

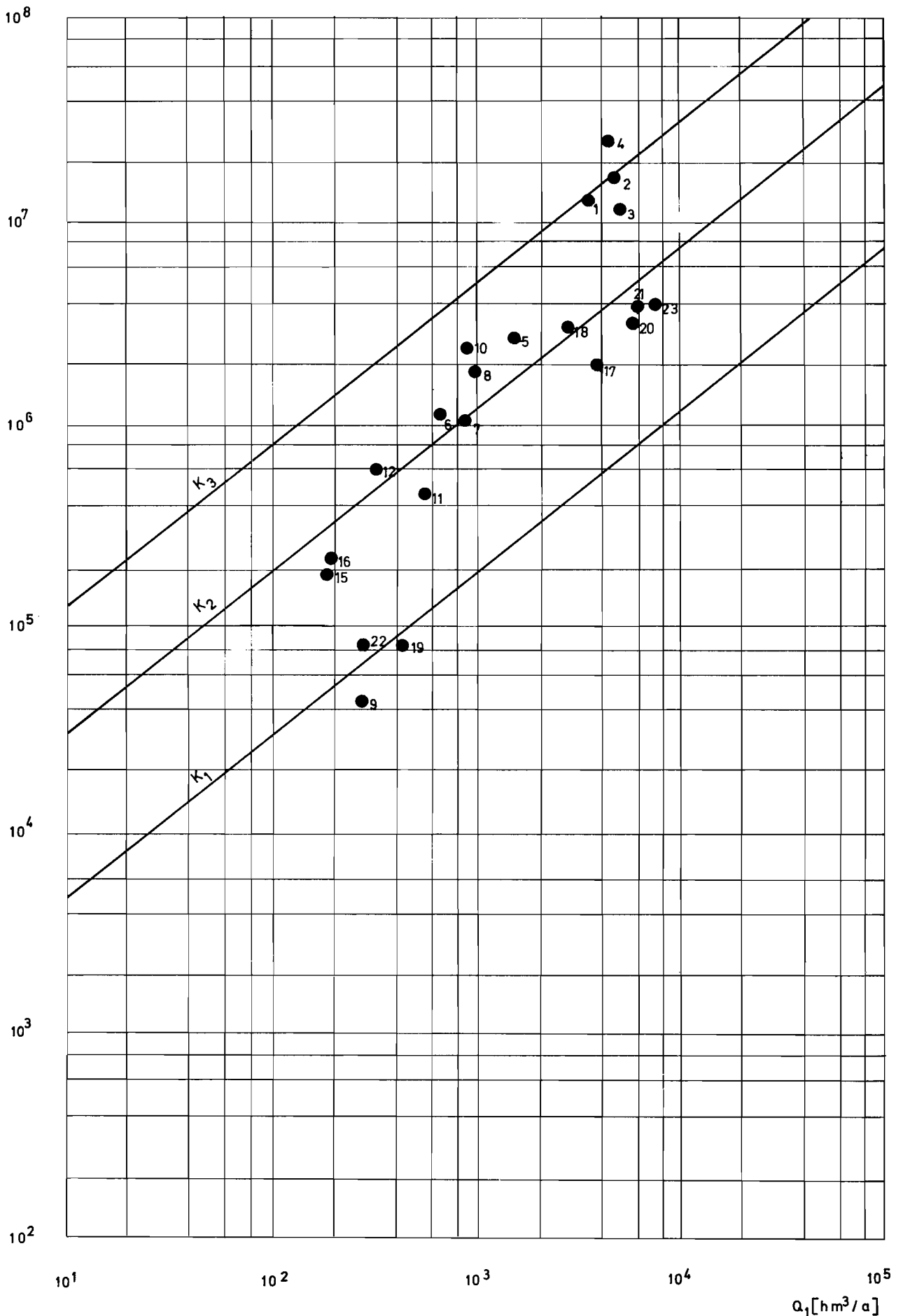


EVALUACION DEL
POTENCIAL
HIDROELECTRICO
NACIONAL

CURVAS ENVOLVENTES DE SEDIMENTOS
Sediment envelope Curves

TRANSPORTE ANUAL Y AREA
Annual Transport and Area

Fig. 5-12



EVALUACION POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL	CURVAS ENVOLVENTES DE SEDIMENTOS Sediment Envelope Curves	Fig: 5 - 13
	TRANSPORTE ANUAL Y ESCURRIMIENTO ANUAL Annual Transport and Flow Volume	

to durante investigaciones de campo.

- Intercambio de opiniones con hidrólogos de la ONERN, incidiendo en la preparación actual de los mapas que indican los grados de erosión y la sedimentación potencial en el Perú.
- Informes publicados.

Sobre la base de estas informaciones, se modificaron las relaciones previas para incluir un coeficiente regional K_i , siendo las ecuaciones resultantes generales

$$Q_s = K_i * 4800 * Q_l^{0.8}$$

$$Q_s = K_i * 3283 * A^{0.76}$$

Donde: $K_1 = 0.158$; $K_2 = 1.00$; $K_3 = 4.10$

El valor de K_i aplicable a una región determinada será función de la topografía, geología, erosión, vegetación y precipitación halladas. K_1 indica bajo transporte de sedimentos en tanto que K_3 indica alta erosión y transporte de sedimentos. Para aplicar las curvas en un proyecto potencial, se tendrá que recurrir a las fuentes de información previamente señaladas a fin de determinar el valor apropiado para K_i .

5.2.4.3.3 Aplicación

En el presente estudio se estimaron los caudales medios en puntos de todos los ríos afluentes significativos del Perú (Sección 5.2.4) y así es posible aplicar la relación entre volumen de sedimentos y caudal. De manera alternativa se pueden aplicar las curvas que relacionan sedimentos en suspensión y áreas de cuenca, aunque debe señalarse que podrán obtener resultados algo diferentes.

La pérdida de almacenamiento activo en un reservorio debido a la sedimentación depende de la carga de sedimentos del caudal de entrada, del grado de deposición (eficiencia de retención) y de la gravedad específica del material depositado. Normalmente puede asumirse que un 90% de los sedimentos ingresantes se retendrán en los reservorios de regulación mensual o mayor.

La profundidad de los sedimentos transportados puede calcularse empleando la fórmula:

$$gl = \frac{gs}{\gamma}$$

donde: gl es el espesor anual de sedimentos (mm/año)

gs es la carga anual del transporte de sedimentos (ton/año/Km^2) = $\frac{Q_s}{A}$

γ es el peso específico de los sedimentos (ton/m^3).

Por ejemplo, para un transporte específico de sedimentos de $gs = 750 \text{ ton/año Km}^2$ corresponderá un espesor anual de $gl = 0.5 \text{ mm/año}$ asumiendo un valor medio de $\gamma = 1.5 \text{ tons/m}^3$ para la gravedad específica.

La gravedad específica de los sedimentos depositados en un reservorio tendrá normalmente el rango $1.0 \leq \gamma \leq 2.0$ y en ausencia de datos medidos se puede

asumir un valor medio de 1.5. Durante el presente estudio no se efectuó ningún análisis de granulometría.

La relación entre sedimentos en suspensión y material de arrastre puede mostrar una variación considerable. Se supone que en los tramos superiores de los ríos prevalecerá el arrastre en el lecho incrementándose la proporción de sedimentos en suspensión a medida que se avanza hacia la desembocadura. En las relaciones deducidas en el presente estudio solamente se consideran sedimentos en suspensión ya que se disponían únicamente de estos datos. Por consiguiente debe hacerse un ajuste incremental considerando las condiciones locales a los valores de sedimentos obtenidos a fin de tomar en cuenta el arrastre. Generalmente puede asumirse que el arrastre de fondo será de un 5 a 25% adicional de los sedimentos en suspensión, o acarreo de superficie; sin embargo bajo ciertas condiciones halladas en el Perú se pueden avizorar valores más altos.

En este estudio no fue posible determinar relaciones regionales dada la pequeña cantidad de observaciones. De las 23 estaciones analizadas 16 están en la cuenca del Pacífico y 7 están ubicadas en ríos de la Sierra. Debido a esto sólo se pueden confiar en los resultados cuando se aplican a cuencas de la Costa. También se pueden adecuar a los tramos superiores de ríos que se originan en la Sierra; para tramos aguas abajo es posible que se sobreestime la carga de sedimentos. Debido a la ausencia completa de datos en la Selva no se pudieron efectuar evaluaciones realistas.

Un transporte elevado de sedimentos es probable que ocurra en cuencas que tengan una precipitación anual del orden de 300 mm debido a que en estos casos no se forma la vegetación necesaria para prevenir la erosión del suelo. Esta tendencia se acentúa por las marcadas características estacionales de la escorrentía y descargas de gran velocidad en cortas duraciones de tiempo. Esta situación predomina en las cuencas del Pacífico y se refleja en los valores muy altos de transporte de sedimentos.

Las áreas de cuenca hasta la estación de aforos consideradas tienen áreas de 17,000 Km². La mayor erosión no ocurre en las partes elevadas, sino en las partes intermedias de las cuencas donde la precipitación es muy fuerte y la vegetación es escasa. Un aumento de la precipitación favorece la vegetación reduciendo la erosión en tanto una disminución de la precipitación no produce el escurrimiento suficiente para un transporte de sedimentos apreciable. El transporte elevado de sedimentos en la Costa se traduce en la ecuación $Q_s = CA^n$ con un valor de 0.76 para el exponente. Un valor $n > 1$ indica que el transporte específico de sedimentos aumenta con el área.

En general el transporte específico de sedimentos varía inversamente con el área de cuenca. Las cuencas del Océano Atlántico tiene por lo menos 1000 mm de precipitación anual y también una vegetación bien formada. Las cuencas estudiadas tienen áreas menores a 19 000 Km². Se supone que el exponente podría tomar valores de $n < 1$, pero se necesitan mediciones durante un período suficiente y en diferentes lugares para obtener relaciones válidas.

5.2.4.4 Estimación de Pérdidas Potenciales por Evaporación

Las pérdidas por evaporación de la superficie de reservorios artificiales o los naturales puede reducir considerablemente el volumen de agua disponible para la generación

neración consiguiente de energía hidroeléctrica y de otros usos.

La tasa de evaporación depende principalmente de los siguientes factores meteorológicos: radiación solar, temperatura del aire, velocidad del viento, presión de vapor y nubosidad. A fin de definir las relaciones y mecanismos implicados se han propuesto una diversidad de fórmulas complejas basadas en la termodinámica, balance de energía y la teoría de la turbulencia. Sin embargo tales métodos requieren mediciones precisas y complicadas en un emplazamiento determinado y normalmente se tiene que recurrir a relaciones empíricas basadas en datos de evaporación de tanque.

El gran número de reservorios potenciales a considerarse en el presente estudio, en regiones con un amplio rango de características climáticas y meteorológicas junto a la limitada disponibilidad de datos impidieron las evaluaciones de proyectos individuales. De este modo, se concentraron los esfuerzos en la identificación de relaciones regionales basadas en la variación de la evaporación con la altura, y así los valores estimados deducidos forman una base para calcular pérdidas potenciales en niveles de estudio más avanzado.

La evaluación de un proyecto al nivel actual se efectuó sin tomar en cuenta las pérdidas por evaporación o incrementos por precipitación sobre el área superficial de agua. En un número limitado de casos tales ajustes podrían ser válidos para la evaluación de la entrega y la consiguiente generación de potencia pero en general se estimó que la inclusión de tales consideraciones de segundo orden no sería realista debido a las notables incertidumbres asociados con los caudales de entrada estimados.

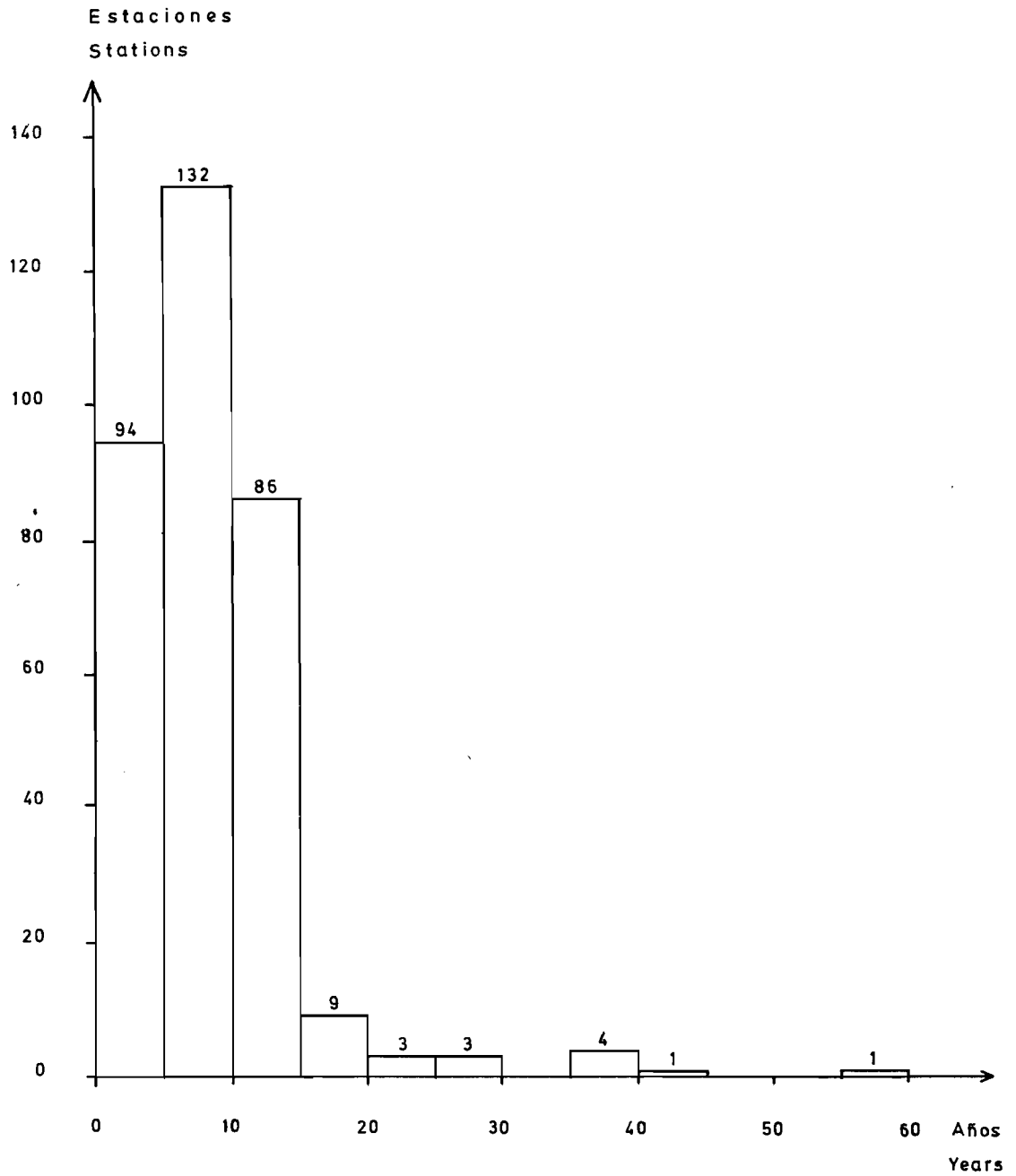
Cuando se proponga el uso de lagos naturales para fines de regulación es muy conveniente el análisis cuidadoso de pérdidas superficiales por evaporación debido a que normalmente será necesario mantener el balance de aguas existente por razones sociales, económicos y ambientales. De esta manera se dió especial importancia al caso del Lago Titicaca.

5.2.4.4.1 Disponibilidad de información

El análisis de la tasa de evaporación fue llevado a cabo empleando valores anuales, identificándose unas 340 estaciones con la información requerida. Los datos fueron obtenidos de las oficinas del SENAMHI y de ONERN y de varios informes individuales de proyectos.

En la fig. 5-14 se muestra la relación entre las estaciones de control y el número de años de registro disponibles, en donde puede observarse que el registro más largo es de 55 años. Los registros indicados se refieren a mediciones con los evaporímetros de tanque clase A del Weather Service de Estados Unidos y Piché habiendo unos 90 del primer tipo y 250 del segundo. Se encontraron un total de 48 estaciones con lecturas de ambos tipos de evaporímetros.

Se dispusieron de valores anuales de evaporación de tanque y lecturas mensuales del evaporímetro Piché, el cual normalmente se encuentra instalado en la caseta meteorológica principal.



EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL	ESTACIONES CON REGISTROS DE EVAPORACION Stations with evaporation records	Fig. 5-14
	NUMERO DE ESTACIONES Y AÑOS DE REGISTRO Number of stations and years of record	

5.2.4.4.2 Evaluación

Los datos disponibles de los evaporímetros Piché se incluye en el análisis a fin de aumentar el tamaño de la muestra, pero es necesario tratar tales lecturas con cuidado. Es cuestionable si tales observaciones pueden ser un índice confiable de la evaporación o evapotranspiración ya que la radiación solar es un factor importante en el proceso de evaporación*. Generalmente, tales atmómetros se emplean para estimar la evapotranspiración en lugar de la evaporación de lago o del agua libre.

El método más empleado para estimar la evaporación de un lago es mediante la aplicación de un coeficiente de lago a tanque a la evaporación de lago observada, y es el método más práctico para el cálculo de la evaporación de lago durante el planeamiento de reservorios propuestos.

En la presente evaluación los datos disponibles fueron empleados para deducir relaciones regionales entre la evaporación medida y la altura, habiéndose elegido las regiones tomando en cuenta la distribución de horas de sol sobre el país.

Las diferencias entre las medidas de evaporación utilizando los evaporímetros de tanque clase A y Piché, y la evaporación real de lago, provienen de distintos factores. La temperatura del ambiente ejerce gran influencia sobre las mediciones de lago, la cual afecta al equipo de medición en un grado mayor que a una masa grande de agua. El calor absorbido por las paredes del evaporímetro representa una entrada de energía adicional, una proporción de la cual se transforma en evaporación, conduciendo a una sobrestimación de la evaporación en alturas bajas y medianas. En grandes alturas se puede esperar una subestimación debido a la frecuente congelación y descongelación de agua en el tanque; proceso que absorbe energía que de otro modo contribuirían a la evaporación.

Los errores de los evaporímetros Piché surgen de diversos factores meteorológicos que son una función de la ubicación del instrumento. En particular, es determinante saber si el instrumento está en caseta o al aire libre; en general aquellos instalados al aire libre darán valores significativamente más altos y son más sensibles a los factores disturbadores.

Los valores obtenidos de los tanques clase A y Piché en caseta pueden relacionarse mediante un factor de conversión de la forma

$$E_a = K_1 * E_{pc}$$

donde: E_a = evaporación de tanque clase A (mm/año)

E_{pc} = evaporación de Piché en caseta (mm/año)

K_1 = factor de conversión ($0.9 \leq K_1 \leq 1.4$)

Con el fin de determinar el valor adecuado para el factor de conversión K_1 ,

* WMO, Technical Note N° 83

Measurement and Estimation of Evaporation and Evapotranspiration, Geneva 1966

se seleccionaron 35 estaciones que tenían datos de ambos tipos de evaporímetros. Los pares correspondientes de valores se muestran gráficamente en la Fig. 5 - 15, en la cual el valor de $K_1 = 1.1$ se dedujo y empleó para transformar los datos de Piché a estimados de tanque clase A.

Los valores estimados de evaporación anual de un lago pueden obtenerse por la aplicación del coeficiente apropiado de lago o tanque a la evaporación de tanque anual observada. Se hace, así la consideración de que sobre una base anual el cambio en almacenamiento de energía del lago es despreciable, siendo los coeficientes determinados mediante comparaciones entre la evaporación de tanque con la evaporación de lago observada. La relación toma la forma

$$E_L = K_2 * E_A$$

donde:

E_L = evaporación de lago (mm/año)

E_A = evaporación de tanque clase A (mm/año)

K_2 = factor de conversión lago a tanque ($0.6 \leq K_2 \leq 0.8$)

En condiciones normales puede asumirse un valor de $K_2 = 0.7$ pero es necesario hacer un ajuste en base a las diferentes condiciones climáticas. En general, se reduce el valor en zonas áridas y se aumenta en regiones húmedas*. Cuando coinciden las grandes alturas y la temperatura ambiente es posible que $K_2 > 1.0$

5.2.4.4.3 Resultados

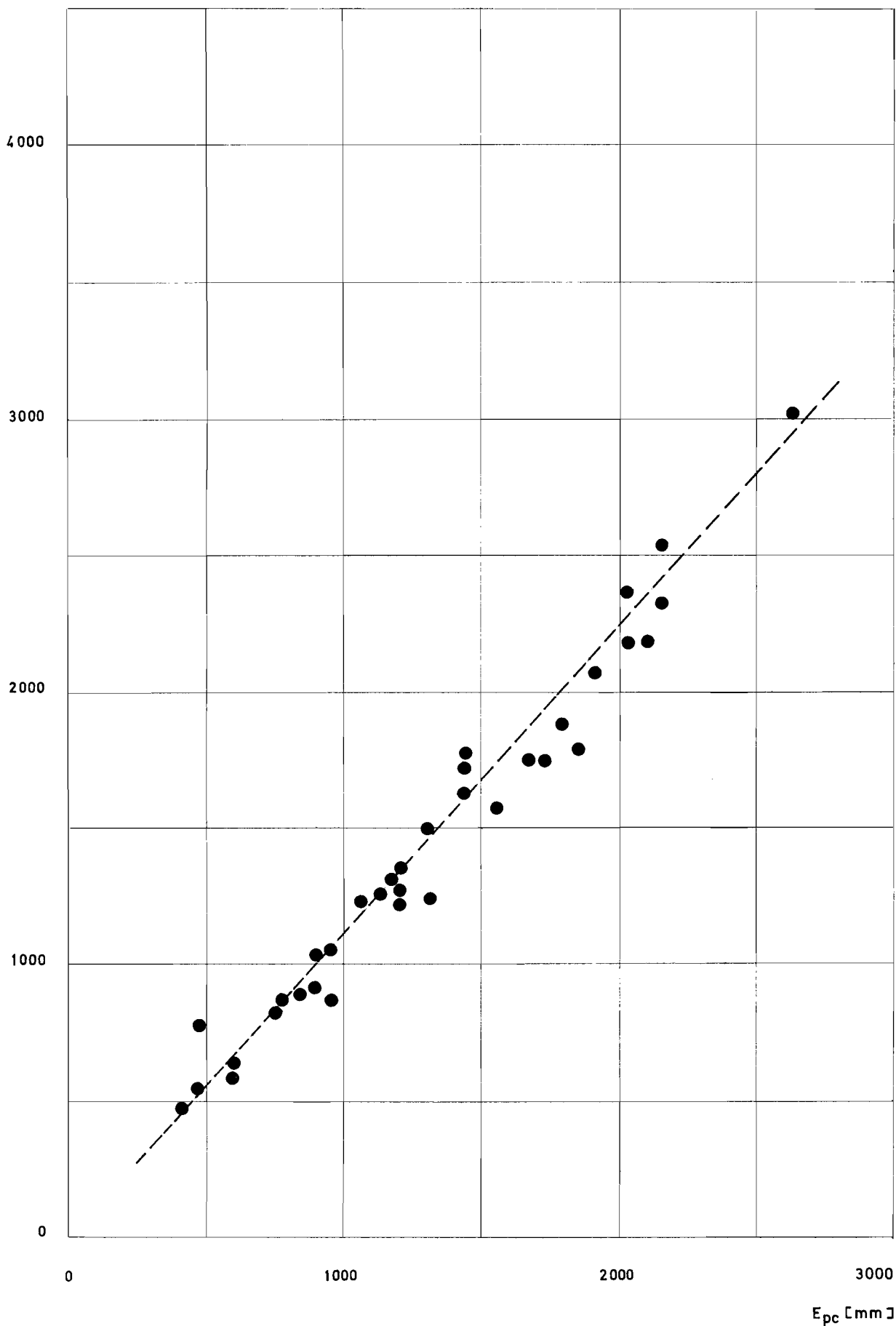
En base a los datos disponibles de evaporación de tanque y Piché transformado se dedujeron relaciones entre la evaporación y la altura para las 7 regiones geográficas que se muestran en la Fig. 5 - 16. Los resultados de cada región se muestran en el volumen IX del informe.

En la región de la Costa se encuentra gran variación de la evaporación en bajas alturas. Tales diferencias surgen de variaciones locales significativas en las condiciones meteorológicas y de la presencia de microclimas que se manifiestan como extremadamente áridos o predominantemente cubierto de neblinas. En las regiones de la Costa la evaporación tiende a incrementarse hasta cierto límite y luego disminuye. El aumento es debido a la reducción de la humedad del aire en tanto la disminución se debe a la baja de la temperatura del aire.

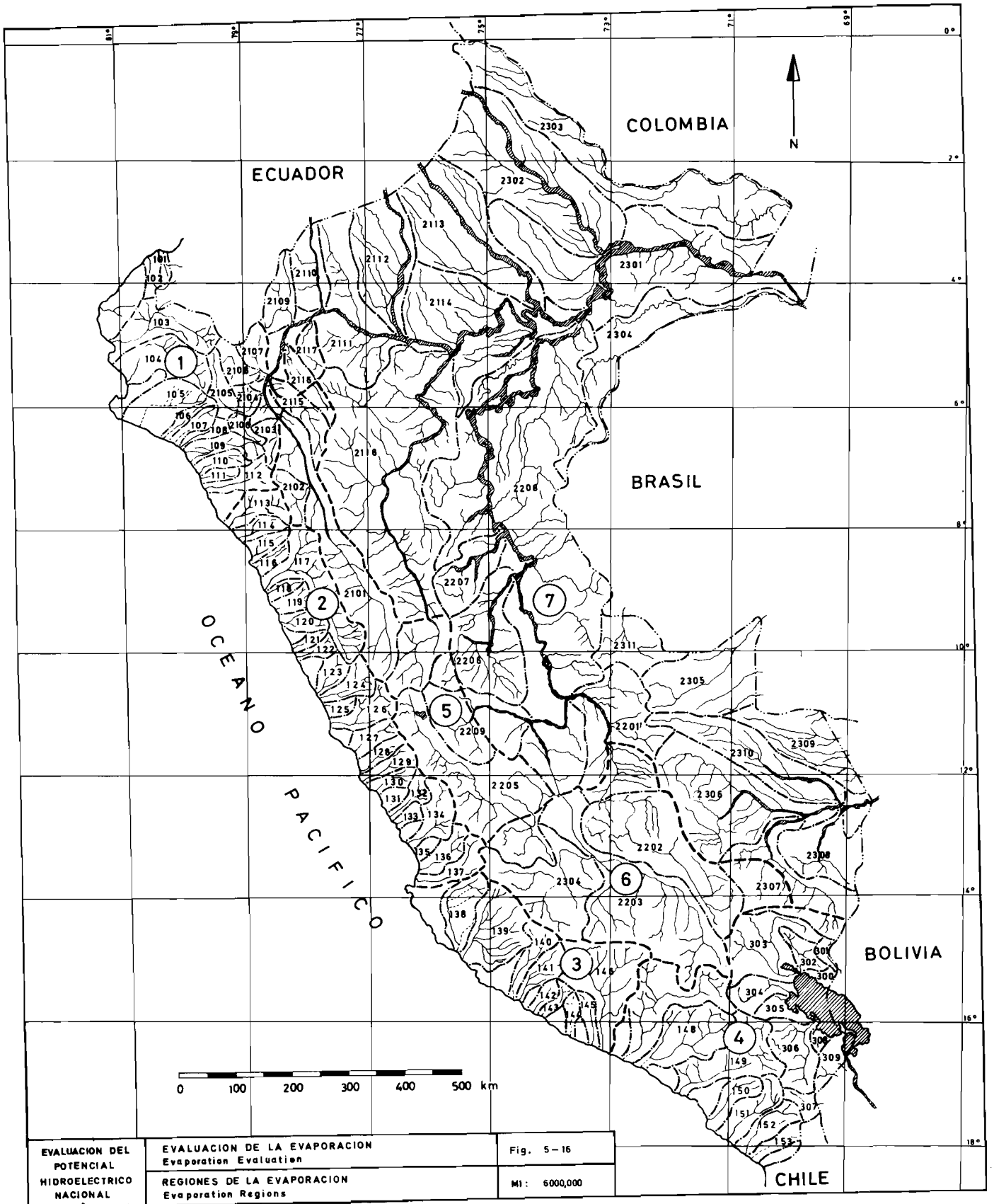
En la región de la Sierra se puede intuir una disminución de la evaporación con la altura aunque la tendencia no está bien definida. En la región del Lago Titicaca las condiciones parecen ser algo similares a las encontradas en la Costa; sin embargo, los valores absolutos de la evaporación son mucho mayores debido a la considerable influencia de la radiación solar (Fig. 5 - 17). Además, las tendencias están mejor definidas. Estimaciones previas de la evaporación real del Lago Titicaca, basadas en análisis

* WMO Technical Note N°126 - Comparison between Pan and Lake Evaporation Geneva 1973.

E_d [mm]



EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL	RELACION DE EVAPORIMETROS Evaporimeter Relationship	Fig. 5-15
	EVAPORACION TANQUE-A Y PICHE Class a pan and piche evaporation	



EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL	EVALUACION DE LA EVAPORACION Evaporation Evaluation	Fig. 5-16
	REGIONES DE LA EVAPORACION Evaporation Regions	MI: 6000,000

