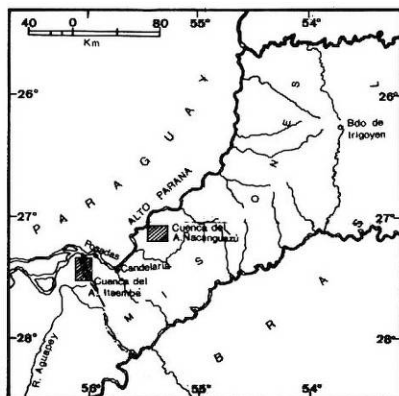


**ALGUNAS PROPIEDADES MORFOMETRICAS DE DOS CUENCAS  
HIDROGRAFICAS DE LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA**

*por*

**Edmundo C. Drago**



Santo Tomé (Santa Fe)  
Argentina  
1972

ALGUNAS PROPIEDADES MORFOMETRICAS DE DOS CUENCAS  
HIDROGRAFICAS DE LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA

Edmundo C. Drago  
Instituto Nacional de Limnología  
José Macía 1933 - Santo Tomé (Santa Fe)

RESUMEN

Se estudiaron dos cuencas hidrográficas situadas al SW. de la provincia de Misiones, Argentina. Ambas cuencas están situadas en una misma zona geológica, con suelos muy poco permeables. Los cursos principales, Arroyos Nacanguazú e Itaembé, son tributarios de la margen izquierda del río Alto Paraná.

Mediante el "análisis de Horton" se examinaron las características morfológicas de ambas cuencas, midiéndose varios parámetros como la densidad de avenamiento, relación de relieve e índice de compacidad. Estos parámetros caracterizan a las cuencas como unidades geomorfológicas.

La adaptación de las redes fluviales analizadas a los principios establecidos por Horton y reelaborados por Strahler, ha sido completamente satisfactoria.

**SUMMARY: Some morphometric properties in two drainage basins from Misiones province, Argentina.**

Two drainage basins from the SW of Misiones, Argentina, have been studied. Both basins have homogeneous geology and low soil permeability. The main streams, Nacanguazú and Itaembé, are left margin tributaries of the Upper Paraná River.

Through "Horton's analysis" the morphologic characteristics of both basins have been examined by measuring several parameters like drainage density, relief ratio and basin compactness (also described as basin circularity). These parameters characterize the basins as geomorphic units.

The fitting of the analyzed basins to the principles established by Horton and Strahler has been satisfactory.

## INTRODUCCION

Uno de los fines del geomorfólogo en el estudio de los paisajes terrestres, caracterizados por ciclos erosivos debido a la actividad fluvial, es aquel de interpretar la modalidad del desarrollo de dichos paisajes.

Con este fin el investigador tiene a su disposición los datos relevantes directamente (litología, relieve, tectónica, vegetación, etc., con sus diferentes morfotipos), y los datos obtenidos de las observaciones sistemáticas tendientes a establecer el tipo climático local.

En el análisis de las características de una cuenca hidrográfica los métodos cuantitativos han tenido un considerable impulso debido al trabajo fundamental de Horton (1945). La importancia de estos métodos deriva del hecho que, mediante la aplicación de los mismos, es posible efectuar investigaciones sobre grandes áreas e inmediatamente establecer una comparación entre las mismas, hecho esencial en el reconocimiento de los estadíos evolutivos de fenómenos en acto.

Desde el punto de vista práctico, los estudios de este tipo facilitan la interpretación de las relaciones recíprocas entre las características geomórficas e hidrológicas de una cuenca imbrífera, cuyo conocimiento es de vital importancia para todas las obras de ingeniería que necesitan conocer las condiciones geohidrológicas del área en cuestión (sistemación de cuencas, construcción de embalses, etc.).

En la presente nota se han utilizado los métodos morfo-métricos ya adoptados y aplicados con buenos resultados por Horton (1945) y Strahler (1957).

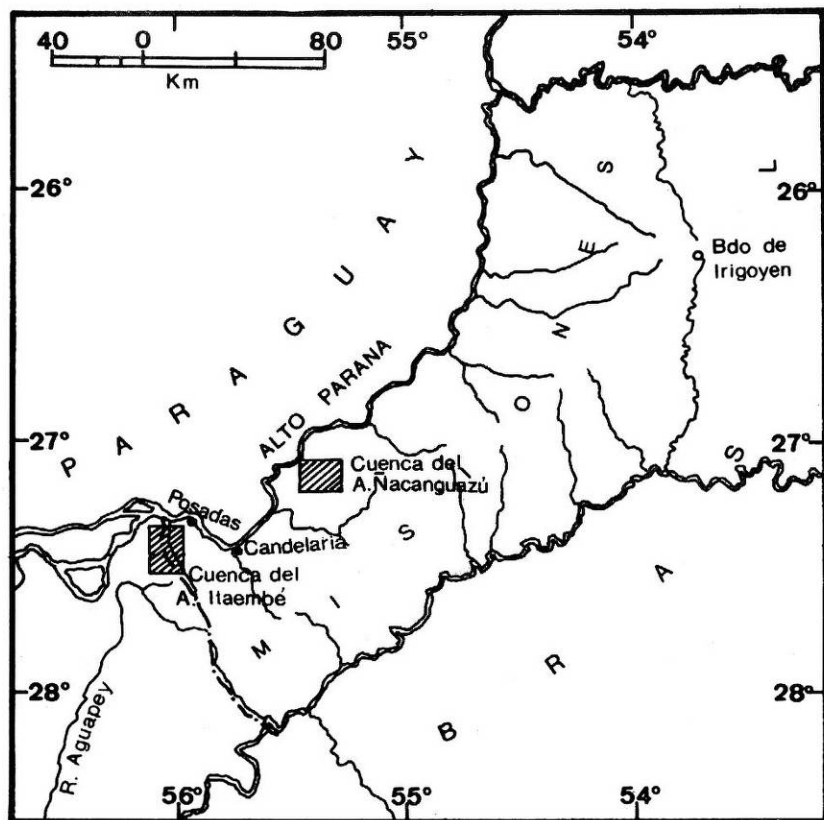


FIG. I - SITUACION GEOGRAFICA DE LAS CUENCAS EN ESTUDIO

El objetivo de este trabajo es aquel de verificar la posibilidad de la aplicación de tales métodos en algunas cuencas de la provincia de Misiones (Fig.I). Las medidas necesarias para la identificación de algunas características morfométricas han sido realizadas sobre la base del empleo de las cartas topográficas escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Militar (hojas 2754-19, Santo Pipó; 2757-30, Posadas; y 2757-29, Estancia San Borjita).

La elección de las cuencas hidrográficas, cuyo nivel de base local está representado por el río Alto Paraná, ha estado subordinada a la homogeneidad de las condiciones orográficas, geológicas y climáticas existentes en el ámbito de las mismas.

#### CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS CUENCAS

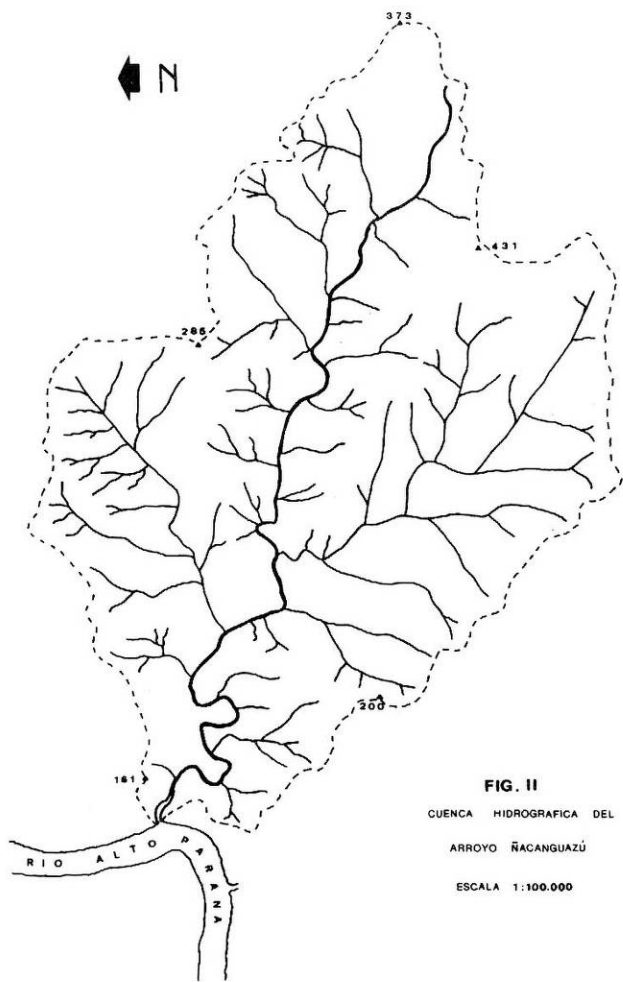
Las cuencas fluviales en estudio se hallan situadas en el extremo suroeste de la provincia de Misiones y poseen las siguientes coordenadas geográficas: la cuenca del Arroyo Nacanguazú se encuentra entre los 27°05' y 27°15' de latitud sur y los 55°10' y 55°26' de longitud oeste; por su parte, la cuenca del Arroyo Itaembé se halla situada entre los 27°20' y 27°35' de latitud sur y los 55°55' y 56°10' de longitud oeste.

Cabe destacar que el cauce del A. Itaembé constituye, prácticamente desde sus cabeceras y hasta su desembocadura en el Alto Paraná, parte del límite interprovincial entre las provincias de Misiones y Corrientes.

La cuenca del A. Nacanguazú (Fig.II) posee una superficie de 344 km<sup>2</sup>, un perímetro de 89 km, una altura máxima de 460m, una mínima de 79m, y una media de 190m s.n.m. El número total de cauces es de 114, con una longitud total de 263 km; la pendiente media del cauce principal es del 0,3%.

Por su parte, la cuenca del A. Itaembé (Fig.III) presenta una superficie de 228 km<sup>2</sup>, un perímetro de 77 km, una altura máxima de 182m, una mínima de 73m, y una media de 113m s.n.m. El número total de cauces para esta cuenca es de 167, con una longitud total de 228 km. La pendiente media del cauce principal es del 0,2%. En la Fig.IV han sido representados los perfiles longitudinales correspondientes a los dos cauces principales.

Las cuencas hidrográficas en estudio se hallan incluidas dentro de la meseta misionera. La constitución geológica de esta es muy uniforme, y salvo las formaciones recientes, está constituida por espesos mantos de rocas efusivas básicas (basaltos), que llevan intercaladas lentes irregulares de areniscas. Esta

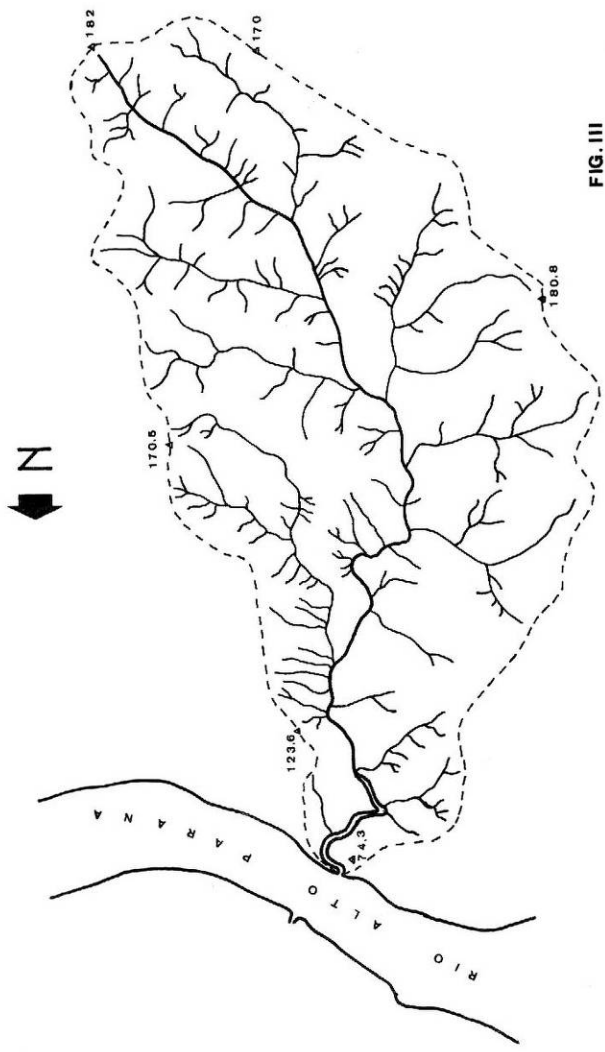


**FIG. II**

CUENCA HIDROGRAFICA DEL

ARROYO ÑACANGUAZÚ

ESCALA 1:100.000



**FIG. III**

CUENCA HIDROGRAFICA DEL

ARROYO ITAEMBÉ

ESCALA 1:100.000

formación corresponde a los períodos Jurásico o Cretácico, (Padula, Mingramm, 1968).

Exceptuando los perfiles rocosos de las serranías, toda la superficie de la región se halla cubierta por un espeso suelo areno-arcilloso, rojo, con un tenor laterítico más o menos acentuado (Frenguelli, 1946).

La región dentro de la cual se encuentran ambas cuencas está sujeta a un clima de régimen subtropical sin estación seca. La temperatura media anual supera los 20°C, pero entre cinco y seis meses del año los registros están por debajo de este valor; la amplitud térmica estacional es poco marcada.

Las lluvias exceden los 1.300 mm anuales, con máximos en otoño y primavera, y mínimos en invierno.

Fitogeográficamente, ambas áreas se hallan bajo el Dominio Subtropical, pero se sitúan en distintas Provincias: la cuenca del A. Ñacanguazú en la Provincia Misionera y la del A. Itaembé en la Provincia Mesopotámica.

#### PROPIEDADES MORFOMETRICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS

La jerarquización de las redes fluviales pertenecientes a las dos cuencas en estudio fue realizada de acuerdo al esquema de Horton (1945). De acuerdo a éste, los ríos de primer orden son aquellos que no tienen tributarios; los de segundo orden son los que poseen tributarios de 1° orden, y así sucesivamente. Se debe precisar que si tenemos un río de 2° orden (o de orden superior), no se lo considera así sólo después de su unión con otro de 1° orden, sino que de los dos se selecciona el de mayor longitud y se lo considera de tal orden.

Strahler (1957), sugiere un camino distinto para designar los órdenes: él restringe la designación de orden a segmentos de ríos. Así, la unión de dos ríos de 1° orden originan un segmento de 2° orden; dos segmentos de este tipo forman un río de 3° orden, y así sucesivamente.

Este método simplifica el cómputo, pero naturalmente, disminuye la longitud del río principal. En realidad, entre estos dos criterios existe muy poca diferencia, por lo cual se ha adoptado el método del primero.

En la tabla siguiente se dan los datos del número total de ríos correspondientes a cada orden dentro de las dos cuencas, las cuales tienen una jerarquía máxima del 5° orden:



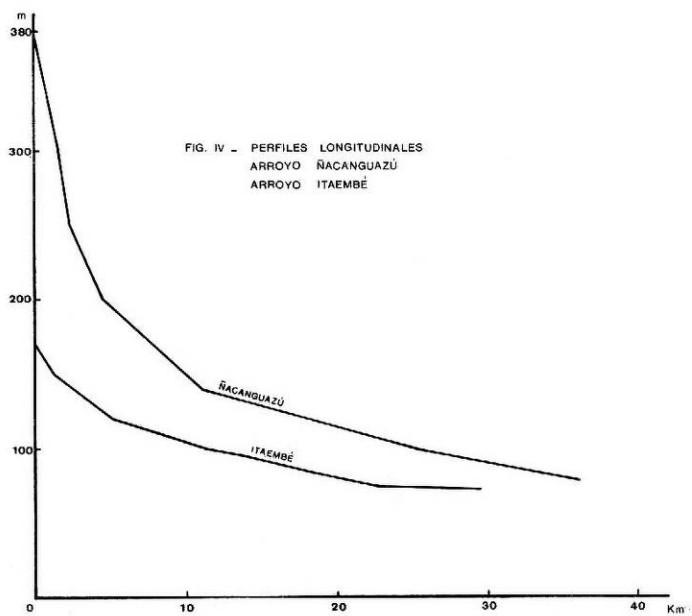


FIG. IV - PERFILES LONGITUDINALES  
ARROYO RACANGUAZÚ  
ARROYO ITAEMBÉ

	<u>N1°</u>	<u>N2°</u>	<u>N3°</u>	<u>N4°</u>	<u>N5°</u>
A. Nacanguazú	75	29	8	1	1
A. Itaembé	121	33	10	2	1

Horton (1945) estableció la siguiente ley: el número (N) de ríos de cada orden dentro de una determinada cuenca forma, aproximadamente, una serie geométrica inversa, en la cual el primer término es la unidad y la relación es la relación de bifurcación (Rb). Matemáticamente, esta ley se puede expresar en la forma siguiente:

$$Nu = Rb^{(s-u)} \quad (1) \quad \text{donde}$$

Nu es el número de ríos de orden u, s es el orden de la cuenca y Rb es la relación de bifurcación, que significa la relación existente entre el número de ríos de un orden dado y aquel del orden sucesivo. Desarrollando logarítmicamente la (1) tenemos:

$$\log Nu = s \log Rb - u \log Rb \quad (2)$$

y sustituyendo por

$$\begin{aligned} a &= s \log Rb \\ y \\ b &= u \log Rb \end{aligned}$$

la (2) representa una recta del tipo

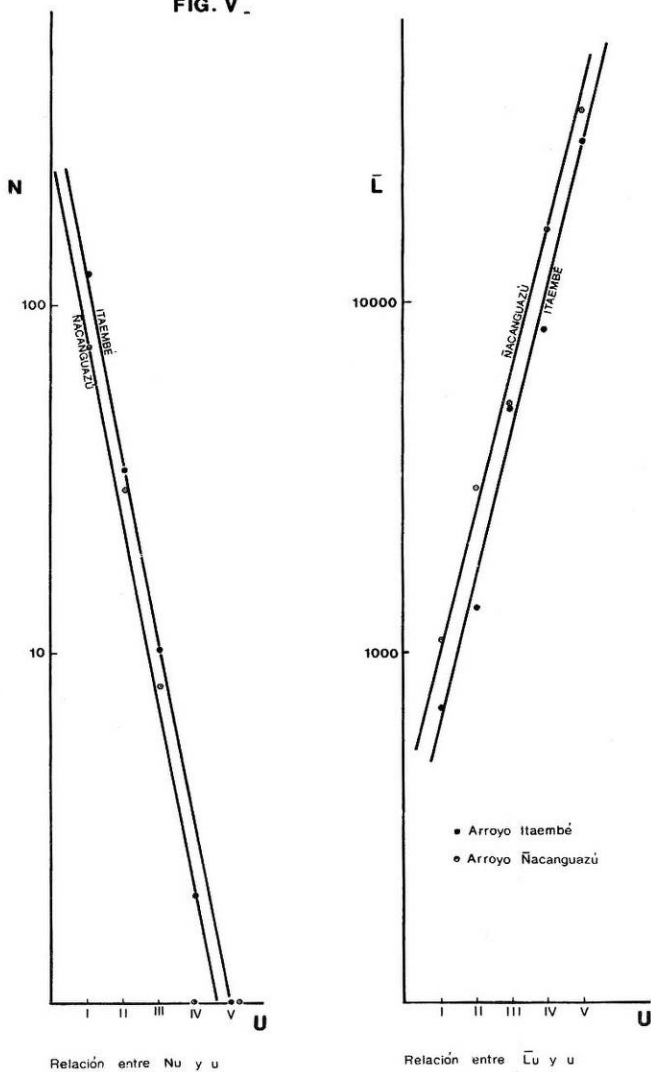
$$\log Nu = a - bu \quad (3)$$

Existiendo una serie geométrica, se obtiene una recta si los números de ríos de cada orden son llevados en escala logarítmica sobre la ordenada, y confrontados con los órdenes en escala aritmética sobre las abscisas.

Esto último ha sido efectuado en la Fig.V para las cuencas de los Arroyos Nacanguazú e Itaembé. En esta última, los puntos experimentales muestran una mayor adaptación a la ley que en la primera. Por este hecho, se puede adelantar que la cuenca del A. Nacanguazú presenta una menor jerarquización de su red fluvial, especialmente en sus órdenes más altos (4° y 5°), que se apartan sensiblemente de la recta.

No obstante ello, ambos coeficientes de correlación son altamente significativos, siendo para la cuenca del Nacanguazú igual a -0,97 y para la del A. Itaembé igual a -0,99. Las ecuaciones de las rectas respectivas son las siguientes:

FIG. V \_



$$A. \text{ Nacanguazú: } \log Nu = 5,55350 - 1,20022 u \quad (4)$$

$$A. \text{ Itaembé: } \log Nu = 5,97607 - 1,23949 u \quad (5)$$

Horton (1945), propuso también una segunda ley relativa a la longitud de los ríos, cuyo enunciado es el siguiente: la longitud media de los ríos de cada orden en una cuenca hidrográfica dada, tiende a formar una serie geométrica directa, en la cual el primer término es la longitud media de los ríos de 1° orden. Análíticamente, esta ley se puede expresar de la siguiente manera:

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_1^{(u-1)} \quad (6) \quad \text{donde}$$

$\bar{L}_u$  es la longitud media de los ríos de orden  $u$ ,  $\bar{L}_1$  es la longitud media de los ríos de 1° orden,  $R_1$  es la relación de longitud (stream length ratio) entre la longitud media de los ríos de orden  $u$  y aquella de los ríos de orden  $u-1$ .

La aplicación de esta ley en las dos cuencas arrojó un resultado positivo (Fig. V); tal es así que los coeficientes de correlación para las mismas dieron un valor igual a 0,99, es decir, ampliamente significativos. Las ecuaciones correspondientes a la relación entre los órdenes y sus longitudes medias son las siguientes:

$$A. \text{ Nacanguazú: } \log \bar{L} = 6,1277 + 0,8777 u \quad (7)$$

$$A. \text{ Itaembé: } \log \bar{L} = 5,5584 + 0,9258 u \quad (8)$$

Como dato ilustrativo, en la siguiente tabla se dan los valores de las longitudes medias (en km) correspondientes a los diversos órdenes en ambas cuencas:

	1°	2°	3°	4°	5°
A. Nacanguazú	1,09	2,97	5,24	16,80	37,00
A. Itaembé	0,69	1,46	5,02	8,45	29,50

Las condiciones del desarrollo de la red hidrográfica de una determinada cuenca, son mejor evidenciadas cuantitativamente efectuando el cálculo de dos índices significativos del grado de disección o textura de una cuenca: la densidad de avenamiento (D) y la constante de permanencia del canal (C). La primera es la relación entre la sumatoria de la longitud de todos los cauces comprendidos en una cuenca y el área de esta última (Horton, 1945); la segunda indica el área necesaria para que pueda subsistir un cauce de un kilómetro de longitud (Schumm, 1956).

Los valores de D para las cuencas en estudio son de un valor igual a  $0,76 \text{ km}^2/\text{km}^2$  (A. Nacanguazú), y  $1,00 \text{ km}^2/\text{km}^2$  (A. Itaembé), valores que sitúan a estas cuencas dentro de las pobremente disectadas.

El valor de C (channel maintenance) para la cuenca del Nacanguazú es de  $1,32 \text{ km}^2/\text{km}$  y para la del A. Itaembé de  $1,00 \text{ km}^2/\text{km}$ . Esto significa que en la primera, el área necesaria para que se origine 1 kilómetro de cauce nuevo es de  $1,32 \text{ km}^2$ , mientras que para la segunda la superficie debe ser de  $1 \text{ km}^2$ .

Las diferencias encontradas para las dos cuencas en estos parámetros de textura pueden tener origen en la desigual densidad de la cobertura vegetal; en efecto, mientras en la cuenca del A. Nacanguazú se mantiene la típica selva subtropical misio nera, la que retardaría el desarrollo de una más densa red de canales, en la del A. Itaembé la vegetación es menos densa y en partes ha desaparecido debido a la mano del hombre.

Los elementos hasta ahora analizados permiten definir en términos cuantitativos la dinámica de la red fluvial en las áreas examinadas en función de los varios factores que directa o indirectamente ejercen su influencia sobre ella, sin considerar, no obstante, la disposición de las líneas de avenamiento, de la cual depende el tipo de estructura geométrica de la red misma.

El examen de ésta última es sin duda indispensable para la individualización de las tendencias evolutivas de las cuencas fluviales y para la determinación de la modalidad y velocidad de los procesos de transformación que en ellas tienen lugar; estos, evidentemente, están claramente ligados al estado de jerarquización logrado por la red hidrográfica, la cual depende naturalmente, de las condiciones litológicas, tectónicas, climáticas y de vegetación dentro de las cuales aquella se desarrolla.

El parámetro que se adopta en este caso es la llamada relación de bifurcación ( $R_b$ ), la cual se entiende como el cociente entre el número de segmentos fluviales de un dado orden ( $N_u$ ) y el número de segmentos del orden inmediatamente superior ( $N_{u+1}$ ). Este parámetro puede dar una indicación de la organización jerárquica de la red fluvial: a elevados valores de este cociente corresponden, en efecto, desviaciones notables en la frecuencia de canales de órdenes sucesivos y por lo tanto, al menos teóricamente, bajos grados de jerarquización.

Para obtener una más representativa relación de bifurcación Strahler (1953), utilizó la media ponderada de este parámetro ( $R_b$ ), obtenida multiplicando la  $R_b$  de cada par sucesivo

de órdenes por el número total de ríos incluidos en la relación y, finalmente, calculando la media de la suma de estos valores.

Los valores así obtenidos para las cuencas del Nacanguazú e Itaembé son del orden de 3,1 y 3,7, valores que indican que estas áreas poseen un grado de jerarquización normal, ya que el valor óptimo se considera igual a 2.

La forma de una cuenca fluvial gobierna, principalmente, la velocidad con la cual el agua es aportada a la corriente principal, a medida que ésta procede desde sus cabeceras hasta su desembocadura. En otras palabras, a medida que la cuenca se desvía de la forma circular, el tiempo de concentración será mayor, y el régimen de desagüe será mucho más lento.

Uno de los parámetros utilizados generalmente para expresar cuantitativamente la forma de una cuenca, es el índice de compacidad K (Gravelius, 1914), definido como el cociente entre el perímetro de la cuenca (P) y la circunferencia de un círculo cuya área es igual a aquella de la cuenca (A):

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (9)$$

Los valores de K para las cuencas de los arroyos Nacanguazú e Itaembé son del orden de 1,35 y 1,44, respectivamente. Este último valor indica una forma más alargada de la cuenca, por lo que se puede esperar un tiempo de concentración más elevado para esta área que para la primera.

En realidad, ambas cuencas presentan un valor que se aleja de la forma circular (K = 1), lo que indicaría un porcentaje más bien alto de geometría irregular, que incidiría en el avenamiento normal de ambas cuencas.

Observando las dos áreas en estudio, vemos que a pesar de que ambas no difieren mucho en el valor de su densidad de avenamiento, una de ellas posee un mayor número de cauces, es decir, difieren en lo que se podría llamar la disección, o mejor, la textura de la cuenca.

Para definir la relación de textura Smith (1950), utilizó el cociente entre el número de canales interceptados por la isohipsa de altura media de la cuenca (v) y el perímetro de esta última (P):

$$T = v/P \quad (10)$$

Al mismo tiempo, Smith (1950) propuso los siguientes ti-

pos de textura: pobre si  $T < 4$ ; media si  $4 \leq T < 10$ ; fina si  $10 \leq T < 50$ ; y ultrafina si  $T \geq 50$ . Resulta evidente que este parámetro es una medida de la mayor o menor proximidad de los canales de avenamiento.

Los valores obtenidos para las cuencas de los Arroyos Nacanguazú e Itaembé son del orden de 0,69 y 0,66, respectivamente; valores que colocan a estas áreas, de acuerdo con los límites establecidos por Smith, dentro de las de textura pobre.

Las indicaciones sobre la disección de estas cuencas que habían sido ya señaladas por los valores de la densidad de avenamiento, resultan por lo tanto, confirmadas por este parámetro.

Una notable contribución a la evaluación del grado de desarrollo de una cuenca ha sido lograda con la introducción de la relación de relieve ( $R_h$ ), definida como el cociente entre el relieve total de una cuenca y la máxima dimensión de ésta medida paralelamente a la línea de drenaje principal (Schumm, 1956), es decir

$$R_h = H_a - H_b / L \quad (11)$$

donde  $H_a$  representa la cota más elevada,  $H_b$  la cota más baja y  $L$  la longitud máxima de la cuenca medida paralelamente al cauce principal de la misma.

Debido al hecho que, con el proceder de la evolución, los procesos erosivos tienden normalmente a la nivelación de las superficies drenadas, y a favorecer cada vez más el desarrollo lineal de los cauces, existe una relación directa entre la relación de relieve y el estadio evolutivo, en el sentido que en las cuencas maduras o seniles el  $R_h$  estará siempre representado por valores muy próximos al cero.

Los datos relativos a este parámetro para las cuencas de los Arroyos Nacanguazú e Itaembé son del orden de 0,013 y 0,004 respectivamente; estos dos valores son muy bajos, e indican un notable desarrollo longitudinal de los ríos principales dentro de cada cuenca. Es necesario notar que, los valores dados por este parámetro, se adaptan al tipo morfológico del área, es decir, zonas de relieve bajos y antiguos.

Uno de los elementos que da una idea tridimensional de una cuenca es la curva hipsométrica; para poder comparar las curvas relativas de las dos áreas en estudio, se ha adoptado el método hipsométrico porcentual propuesto por Strahler (1952), que confronta las áreas de las secciones planimétricas de una cuenca hidrográfica con las relativas elevaciones respecto a la desembocadura de aquella.

En este trabajo se han utilizado como contornos límites de las varias secciones las isohipsas de 50 en 50 metros, y las medidas de las respectivas superficies fueron efectuadas mediante el uso de un planímetro polar (Modelo Salmoiraghi).

En un sistema cartesiano han sido llevadas en abscisas las relaciones entre las superficies de cada sección (a) y el área total de cada cuenca (A), y en ordenadas las relaciones entre los desniveles de las secciones respecto al plano de base (h) y el desnivel total (H) de las cuencas en examen.

Observando las curvas hipsográficas relativas correspondientes a las cuencas de los Arroyos Nacanguazú e Itaembé (Fig. VI), podemos ver que ofrecen una fuerte disparidad en su disposición; así, la correspondiente al A. Nacanguazú presenta una concavidad muy acentuada comparada con la del A. Itaembé.

Este hecho revelaría una mayor tendencia hacia la madurez por parte de la primera, mientras que la segunda se situaría en un estadio evolutivo menos avanzado.

#### CONSIDERACIONES FINALES

La aplicación de los sistemas de análisis geomorfológicos cuantitativos a las cuencas estudiadas nos permite afirmar, aún teniendo en cuenta el carácter preliminar del trabajo, que la estructura y el desarrollo de las dos redes fluviales se adaptan decididamente a los principios establecidos por Horton y posteriormente elaborados por Strahler.

Tratándose de principios con un marcado carácter estadístico, es particularmente útil y significativo constatar que sus aplicaciones a nuestras cuencas, y por lo tanto a todas las áreas que presentan las mismas características, posee un fundamento válido.

La selección de las cuencas, efectuada con la idea de que constituyen dos áreas suficientemente representativas del tipo de avenamiento de un área más vasta, homogénea por clima y condiciones geológicas, ha resultado sostenida por el desarrollo similar de los parámetros correspondientes.

La constante de permanencia de los cauces, que caracteriza en modo cuantitativo la dinámica del desarrollo del avenamiento, presenta en las dos redes estudiadas valores que difieren muy poco entre sí. Los valores de la densidad de avenamiento, también bastante similares para ambas cuencas, permiten clasi-



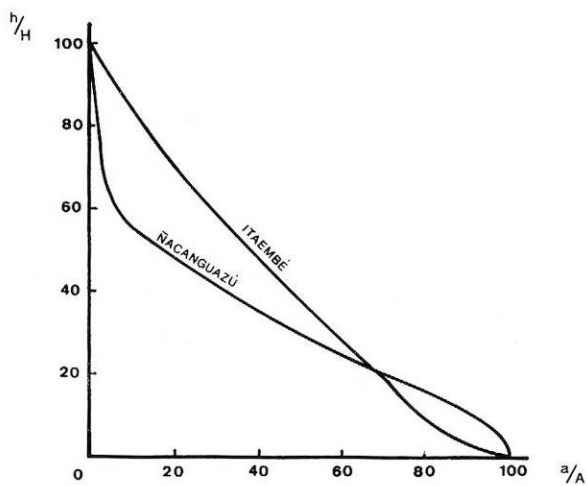


FIG. VI . CURVAS HIPSOGRÁFICAS RELATIVAS  
DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN ESTUDIO

ficar a las mismas como pobremente disectadas, con una media de 0,88 kilómetros de cauces por unidad de superficie.

Esta clasificación a su vez, coincide con los datos obtenidos para el índice de textura, que dan una media de 0,67.

La relación de bifurcación presenta valores que, en función de cuanto fue sugerido por Horton, serían característicos de regiones montañosas con retículos hidrográficos medianamente organizados.

El conjunto de los datos morfométricos obtenidos podría valorar la hipótesis de la existencia de un valor medio indicativo para la provincia de Misiones. De cualquier modo, tales deducciones podrán ser sólo confirmadas mediante la elaboración de un mayor número de datos relativos a una serie de cuencas distribuidas por toda la provincia, elaboración que se entiende se realizará en un futuro próximo.

#### BIBLIOGRAFIA

- FRENGUELLI, J. 1946. Las grandes unidades físicas del territorio argentino. Geografía de la República Argentina (G&A), Tomo III:5-114. Buenos Aires.
- GRAVELIUS. 1914. Flusskunde. Berlin and Liepzig.
- HORTON, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. of America Bull., vol. 56:275-370. New York.
- PADULA, E. y A. MINGRAMM. 1968. Estratigrafía, distribución cuadro geotectónico-sedimentario del "Triásico" en el subsuelo de la llanura chaco-paranense. Actas de las Terceras Jornadas Geológicas Argentinas, Tomo I: 291-331 Buenos Aires.
- SCHUMM, S. A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. of America Bull., 67:597-646. New York.
- SMITH, K. G. 1950. Standarts for grading texture or erosional topography. Am. Jour. Sci., 248:655-668.
- STRAHLER, A. N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geol. Soc. of America Bull., 63:1117-1142. New York.
- \_\_\_\_\_, 1953. Revisions of Horton's quantitative factors in erosional terrain: Paper read before Hydrology Section of Am. Geophys. Union, Washington, D.C.

- STRAHLER, A. A. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Am. Geophys. Union Transactions. 38:913-920. Washington.

Recibido para su publicación: abril 17 de 1971