

2.4



**ANALISIS MORFOMETRICO
DE LA CUENCA
DEL ALTO RIO MAYO**



Carlos A. BELTRAMONE *
Fernando R. CORONATO **



*** Investigador Adjunto**
**** Técnico Adjunto**



SUBSECRETARIA DE ESTADO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS
CENTRO NACIONAL PATAGONICO



28 DE JULIO 28, (9120) PUERTO MADRYN
CHUBUT (ARGENTINA)
1983



I. RESUMEN	5
II. INTRODUCCION	6
a. Generalidades.....	6
b. Ubicación del área.....	6
c. Materiales y métodos.....	6
III. CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA	7
a. Clima.....	7
b. Hidrografía.....	7
c. Geología.....	8
d. Geomorfología.....	9
e. Perfiles longitudinales.....	12
IV. ANALISIS MORFOMETRICO DE LA CUENCA	15
a. Orden de cauces.....	15
b. Longitud de cauces.....	16
c. Relación de longitud.....	17
d. Relación de bifurcación.....	17
e. Densidad de drenaje.....	18
f. Longitud de flujo no encausado.....	19
g. Leyes de composición de drenaje.....	19
h. Ley de longitudes de cursos.....	20
i. Cálculo de pendientes.....	22
j. Relación de pendientes.....	24
k. Ley de variación de pendientes.....	25
V. CONCLUSION	29
BIBLIOGRAFIA	30



I. RESUMEN:

El principal objetivo de este trabajo es el análisis cuantitativo de las formas de erosión fluvial, aplicado a una cuenca de características particulares donde predominan ambientes deposicionales (depósitos glaciales y pedimentos cubiertos) en un clima de semiaridez.

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante la metodología propuesta por Horton (1945) y Strahler (1956).

La red hidrográfica de la cuenca presenta una mayor densidad de cauces en su porción occidental que disminuye sensiblemente hacia el este al ir acentuándose las condiciones de semiaridez.

La totalidad de la cuenca cumple en forma general con los postulados de Horton y Strahler, las anomalías observadas entre los parámetros reales y los teóricos están dados por un sobredimensionamiento en el número de los cauces de primer orden que afectan a toda la progresión.

SUMMARY

The main objective of this work is the quantitative analysis of the fluvial erosion shapes in a semiarid basin in which upbuilding landscapes prevail. The statistical analysis was carried out using the methodology proposed by Horton (1945) and Strahler (1956).

The drainage density of the basin is higher in its western area but it decreases rapidly eastwards where aridity conditions increase.

The whole basin is in general according to Horton's and Strahler's postulates, the differences seen between actual and theoretic values are due to the high number of first order streams, affecting all over the progression.

II. INTRODUCCION

a) Generalidades:

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un análisis sobre geomorfología cuantitativa de la cuenca del río Mayo superior y ver el comportamiento de estos métodos de estadística matemática en una cuenca de características especiales, donde el sistema fluvial se encuentra en un ambiente semiárido, en el cual predominan zonas de pedimentos y depósitos glaciales.

Las propiedades morfométricas de la cuenca han sido analizadas utilizando la metodología propuesta por Horton (1945) y Strahler (1956).

La cuenca ha sido estudiada en su totalidad desde el límite argentino-chileno hasta la localidad de Ricardo Rojas, para una mayor precisión en los datos estadísticos se han evaluado también las subcuencas del orden inmediato inferior.

b) Ubicación del área:

La cuenca del río Mayo superior se halla ubicada en la porción Sudoeste de la provincia del Chubut, su orientación principal es Este-Oeste, extendiéndose del límite argentino-chileno hacia el Este hasta las proximidades de la localidad de Ricardo Rojas. Está comprendida entre las coordenadas geográficas de 70° 30' y 71° 45' de Longitud Oeste y los 45° 25' y 45° 50' de Latitud Sur.

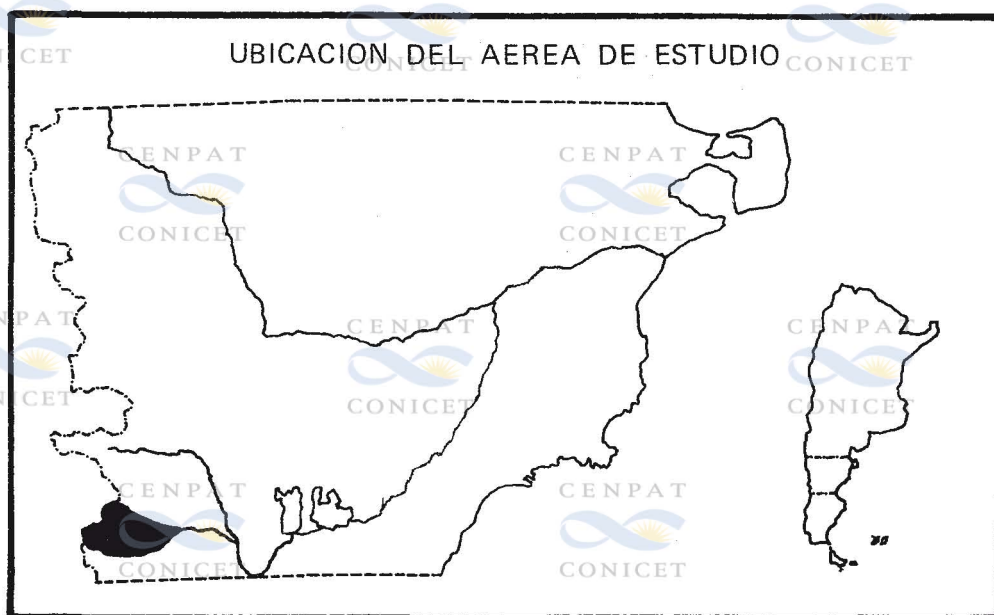


Figura 1

c) Materiales y métodos

Para el análisis de las propiedades morfométricas del sistema de cauces se utilizó la siguiente cartografía: hojas topográficas del I.G.M: a escala

1:100.000; 4572-28-29-30, 4572-34-35-36, "Coihaique" "Centro río Mayo", "Cnia. Indígena Tramaleo". "Valle Huemules". "Lago Blanco", "Paso Guen-guel". El control terrestre de la cuenca fue realizado con fotografías aéreas convencionales a escala 1:60.000 del I.G.M. Se utilizó un curvímetro estándar para la medición de las longitudes de los cauces. El cálculo de áreas se realizó mediante un planímetro polar, corroborado por el cálculo de áreas en función de las coordenadas planas de los vértices de un polígono.

III. CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA

a) **Clima:**

El clima del extremo Sudoeste del Chubut está determinado por su proximidad a la cordillera, que produce un paulatino aumento de las precipitaciones y un gradual descenso de la temperatura estival.

Según la clasificación de los distritos agroclimáticos patagónicos hecha por de Fina la cuenca del Alto río Mayo está incluida dentro de los distritos $\frac{32}{26}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{32}{26}$, $\frac{1}{2}$, es decir que las temperaturas medias oscilan entre -2° y 0° en

julio y 10° a 12° en enero. Por su parte, las precipitaciones, que aumentan sensiblemente hacia el Oeste, donde superan los 1000 mm, tienen una marcada estacionalidad invernal. Hacia el Este, ya en ambiente netamente extratropical el monto y la estacionalidad de las precipitaciones disminuyen, el borde Este de la cuenca no recibe más de 200 mm que caen, en un 35% en el trimestre invernal.

Evidentemente las características climáticas se vuelven más rigurosas en la amplia zona de la cuenca situada por encima de los 1000 m. En este sector de la Pampa del Chalfá, donde la temperatura media anual debe ser menor de 3° , la cubierta de nieve dura largo tiempo, asegurando una buena alimentación a los numerosos cursos de agua que allí nacen.

b) **Hidrografía:**

La cuenca del Alto río Mayo tiene como límites orográficos: al Oeste, los cordones cordilleranos que separan las vertientes Atlánticas del Chubut, de lo que corresponde al Océano Pacífico. Los niveles altos de la meseta del Chalfá, hacia el Sur, la separan de la cuenca del Lago Blanco y por el Norte está delimitada por los escarpes de las mesetas de Pampa del Pedrero, Pampa de la Loma Redonda y Pampa del Nire. El límite occidental de la cuenca está dado por la confluencia del Alto río Mayo y A° Chalfá para dar nacimiento al río Mayo.

El Alto río Mayo nace mediante el aporte de un sinnúmero de arroyos y cauces menores que bajan del flanco norte del C° Galera (1460 m) y Mayo (1486m) y de numerosos cerros innominados del cordón limítrofe. Sus afluentes principales son el A° Reulado, por su margen derecha, que tiene sus cabeceras en la porción Norte del cerro homónimo y por su margen izquierda el A° Nireguao cuyas nacientes se hallan en el C° Punta del Monte (1070 m).

Así también es colector principal de los cursos de agua que nacen en la ladera norte de la Pampa de Chalfía, por encima de los 700 m s.n.m.

Otro cauce principal que forma esta subcuenca es el A° Chalfía, que tiene sus cabeceras en la porción oriental de los C° Reculado y Mayo. Sus principales afluentes están dados por los A° Chalfía Chico, Chalfía Medio y A° Los Huérfanos, con sus cabeceras en las estribaciones occidentales de la Pampa del Chalfía.

La dirección de escorrentía de los colectores principales es en términos generales W-E. Dentro del perímetro de la subcuenca no existen cuerpos de agua destacables que puedan tener influencia sobre la morfología de la subcuenca, sino pequeñas lagunas de posible origen glacial o termokárstico.

c) **Geología:**

La descripción geológica del área ha sido tomada en base a los trabajos de García R. (1973) y González R. (1965). El elemento más antiguo reconocido corresponde a un complejo de rocas efusivas e hipabisales correspondiente a la Serie Porfirítica de edad jurásica media superior. Se trata por lo general de lavas y tobas ácidas a mesosilíceas que constituyen los cerros Compañía, Colorado y Peñascudo y una serie de lomadas y pequeños cerritos que emergen a través de los depósitos glaciales y glacioluviales. El resto del Mesozoico y Cretácico es desconocido en el área, el Terciario-Eoceno se ve representado por vulcanitas básicas, tratándose de basaltos olivínicos gris oscuro, de textura profirítica dentro de una pasta afanítica en la cual se destacan fenocristales de plagioclasas. Estas rocas fueron localizadas en la porción Noroccidental de la cuenca formando parte del C° Negro.

Sobre estas formaciones se asienta en marcada discordancia angular un potente paquete sedimentario continental integrado por conglomerados, areniscas, arcillas, areniscas tobáceas y tobas correspondientes a la Fm. Santacrucense de edad Mjocena (Fm. río Mayo de González). Su más amplia exposición se halla a lo largo del valle del río Mayo y en los flancos de la pampa del Chalfía. Por encima de ésta y en los niveles altos de la pampa del Chalfía, se desarrolla un complejo sedimentario de gran extensión areal y considerable espesor (Fm. Pedregoso de González, 1965) constituido por un conglomerado polimíctico dentro de una matriz de escasa compacidad, los clastos por lo general de formas irregulares con predominio de rocas volcánicas. La matriz está constituida por una arenisca de grano medio en la que se observa cuarzo, feldespatos y clastos líticos de diversa composición cementados por carbonatos.

Ya en el Cuaternario la cuenca ha sido ocupada por el avance del hielo en diversas épocas, lo que se ve manifestado por la presencia de depósitos morénicos cuyas mayores acumulaciones fueron encontradas en la porción occidental, conformando la topografía particular del área. Otro de los elementos principales acaecidos durante este período, es la acumulación de los extensos depósitos glacioluviales que coronan los niveles más bajos de meseta (Niveles II y III).

Por último es de destacar la presencia de los depósitos aluviales y eólicos, que ocupan principalmente áreas deprimidas, llanuras aluviales y fondos de cañadones.

Un elemento de gran importancia lo constituyen las acumulaciones de arenas en forma de extensas "lenguas". La formación de las mismas se ve favorecida por la constitución litológica de los sedimentos aflorantes y por la constancia y velocidad de los vientos.

d) **Geomorfología:**(FIG. 2)

Es propósito dar una breve descripción de las grandes unidades morfológicas existentes, las cuales aportan datos significativos en el análisis cuantitativo de la cuenca.

Las características morfológicas han sufrido los efectos del último período glacial que afectó a todo el ámbito de la Patagonia, en función a estos procesos la red higrográfica ha sufrido cambios significantes, que han controlado y modificado su ordenamiento durante el Cuaternario.

Relieve mesetiforme (Nivel I = -1.200 m): Corresponde a lo que toponímicamente se conoce como Pampa del Chalfa oficiando de divisoria entre la cuenca del Alto río Mayo y la cuenca de Lago Blanco. Se trata de una amplia planicie de relieve tabular con suave pendiente al Este, subdividiéndose en dos o tres niveles separados por escarpas de algunas decenas de metros. El cuerpo de la misma está formado por sedimentos de la Formación Santacrucesense y coronados por un potente manto de rodados.

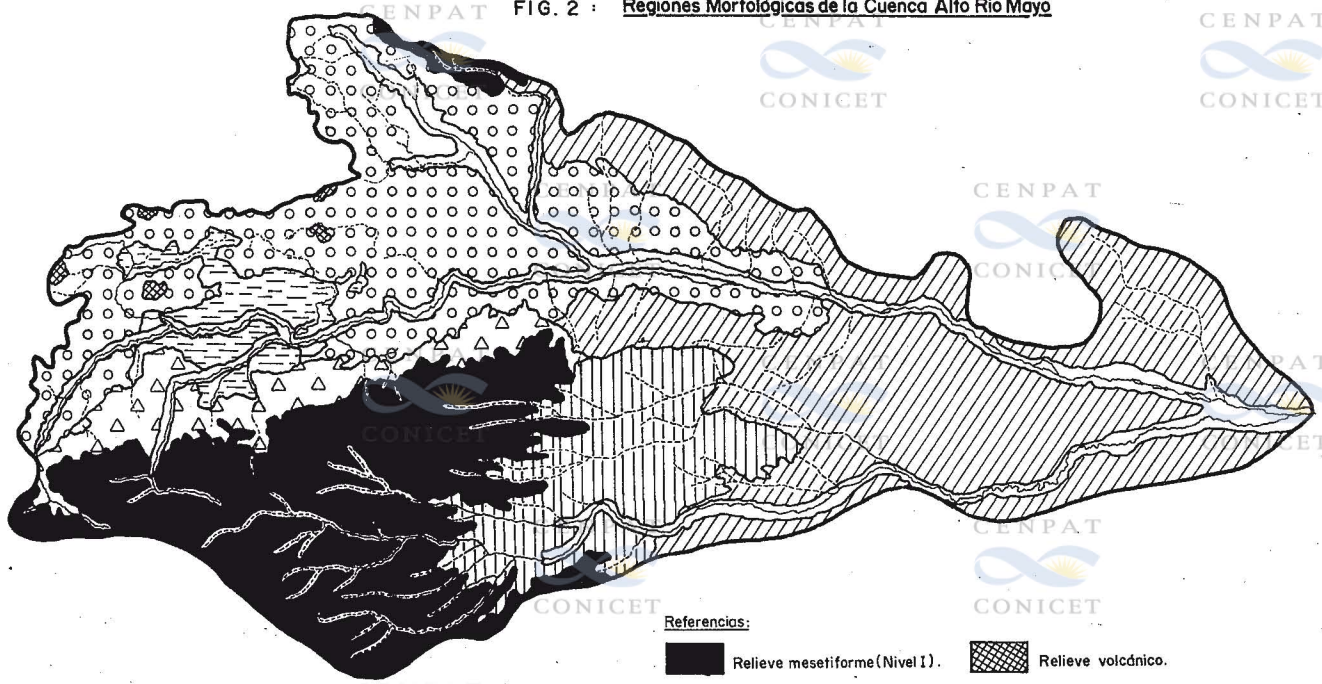
Relieve mesetiforme (Nivel II = -650 m): Se extiende con notable continuidad a lo largo de todo el curso del río Mayo, siendo más uniforme que el precedente ya que ha sido menos destruido por los procesos erosivos. El cuerpo del mismo se halla formado por sedimentos de la Fm. Santacrucesense, coronado por depósitos fluvio-glaciales.









Depósitos Glaciares: Este relieve ha sido localizado en el sector occidental de la cuenca, cubriendo los niveles bajos de la misma no sobrepasando la cota topográfica de los 900 m, desarrollando un paisaje típico de suaves lomadas, en sectores muy destruidos por la erosión e interrumpido por pequeñas cuencas cerradas de posible origen termokárstico. Hacia el Oeste este paisaje se convierte en la línea divisoria de aguas y por ende en el límite argentino-chileno, hacia el Este se han localizado depósitos morénicos sobre el valle del Alto río Mayo como morenas laterales hasta la proximidad de la localidad de Ricardo Rojas. (FIG: 3)

Relieve volcánico: Sobre el relieve de morfología glacial emerge una serie de cerros y lomadas correspondiente al Complejo Porfirítico. Dada su presencia en el sector occidental, donde los procesos de erosión glacial tuvieron amplio predominio, los mismos presentan superficies pulimentadas con numerosas muestras de rocas estriadas. (FIG. 3)

Valles y planicies fluviales: Son el producto del avenamiento de las aguas de derretimiento de hielo y nieve de los glaciares provenientes de los campos de hielo que cubrían el sector cordillerano. Se trata de valles anchos, delimitados por paredes abruptas donde afloran rocas de la Formación Santacrucesense. Las dimensiones de estos valles no guardan relación alguna con el caudal actual de

FIG. 2 : Regiones Morfológicas de la Cuenca Alto Rio Mayo



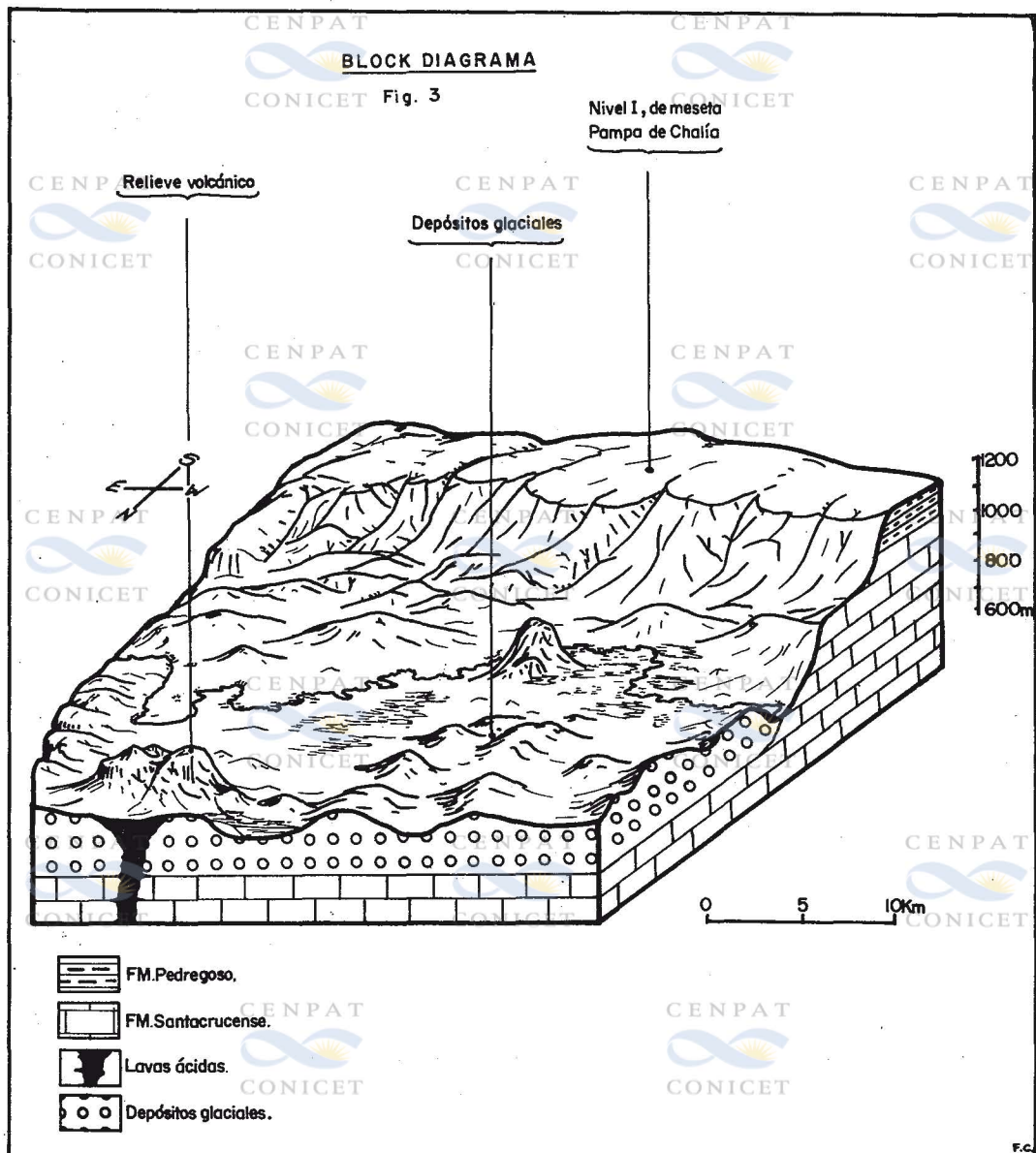
- Referencias:
- | | | | |
|---|---------------------------------|---|--|
|  | Relieve mesetiforme (Nivel I). |  | Relieve volcánico. |
|  | Relieve mesetiforme (Nivel II). |  | Relieve aluvional. |
|  | Area disectada del nivel I. |  | Valles y planicies fluviales. |
|  | Depósitos glaciales |  | Asentamiento y deslizamiento sobre ladera del Nivel I. |

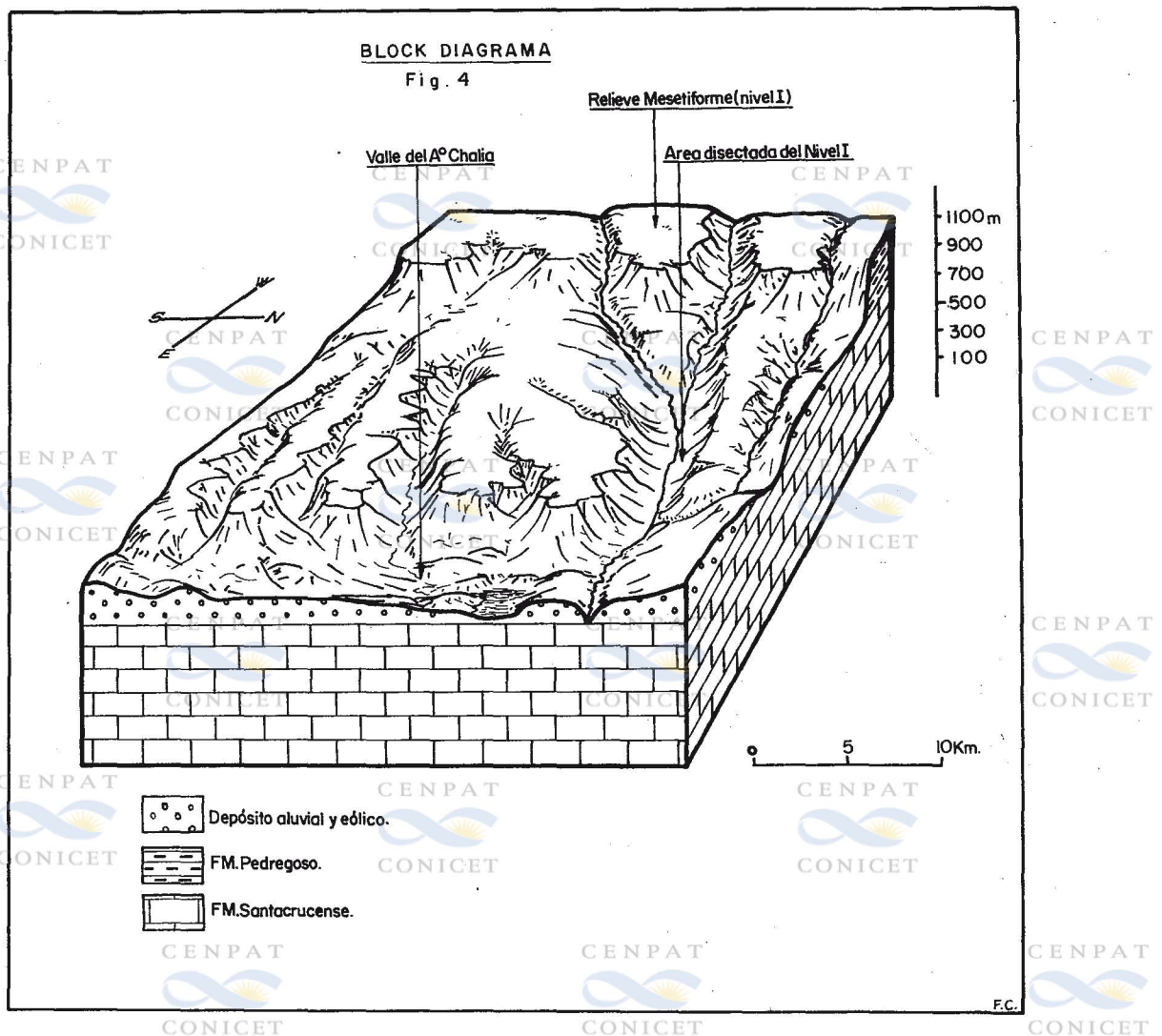
Dibujó: F. Coronato

los ríos, por lo cual es de suponer una gran merma en su caudal a través de todo el Cuaternario (Fig. 4).

Relieve aluvional: Se halla restringido a los lechos de antiguas lagunas, de fondos planos, cubiertos por sedimentos arcillos, convirtiéndose en extensos lodazales cuando reciben el agua de deshielo que confluye a estas depresiones.

Area disectada del Nivel I: Sobre la pendiente norte y oriental del primer nivel de mesetas, los distintos procesos erosivos dieron lugar a la formación de profundos cañadones de laderas empinadas formando un paisaje irregular, el cual deja al descubierto las formaciones geológicas infrayacentes.

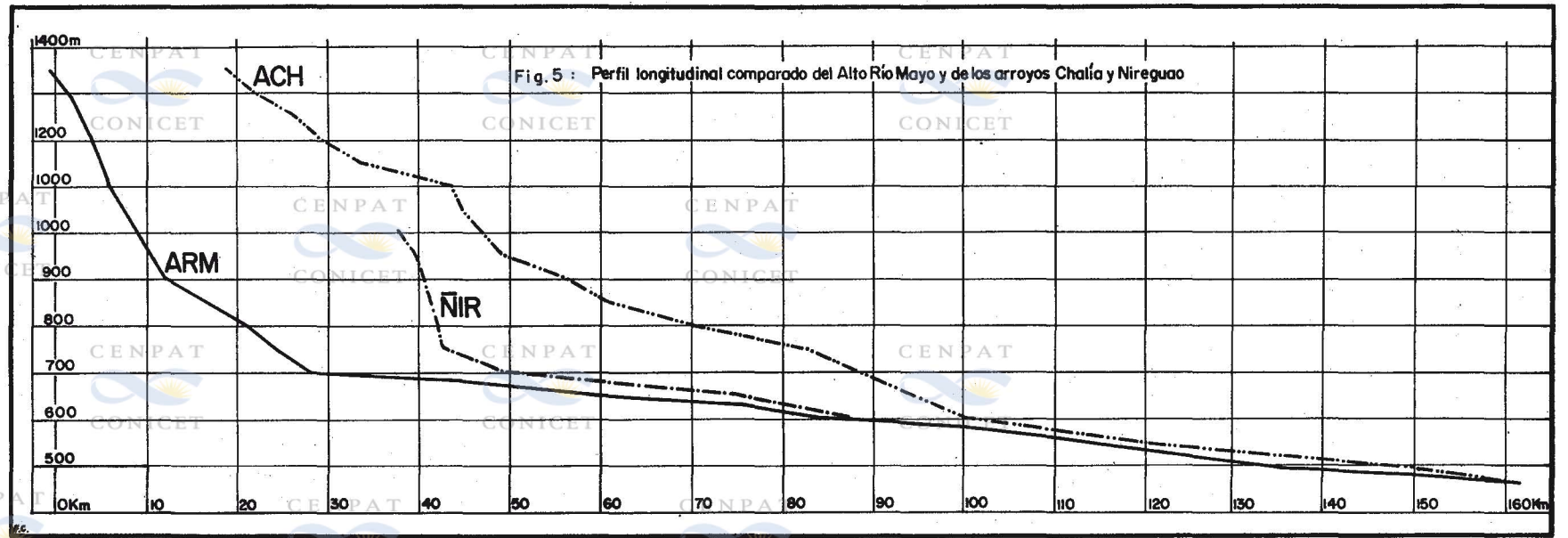
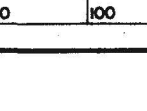
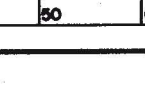
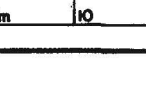
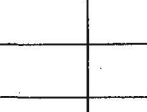
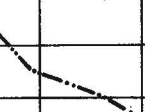
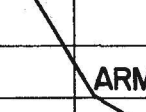
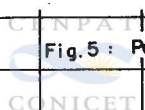




e) **Perfiles longitudinales de los ríos Nireguao, A° Chalfá y Alto río Mayo:**

Los ríos representados en los perfiles demuestran que están condicionados por la influencia del último período glacial y los cambios climáticos posteriores. La disminución del caudal luego del último período frío, los procesos de erosión periglacial que han depositado abundante material en sus interfluvios y por último la erosión antrópica, que trajeron como consecuencia la deforestación y la sobrecarga animal, han producido un aumento en la relación carga-caudal. Este sobredimensionamiento en la relación carga-caudal se ve representado en los tramos superiores, donde se crea un perfil convexo dando quiebres abruptos, éstos también se producen en la confluencia de dos colectores por modificación de la relación antedicha y de la dependiente.

Fuera ya del área de sus cabeceras, el aspecto general de estos perfiles es cóncavo dado por una relación constante en su caudal, la disminución de la carga por desgaste y abandono selectivo de los materiales. (Fig. 5).



IV. ANALISIS MORFOMETRICO DE LA CUENCA:

Análisis morfométrico cuantitativo: Para los fines descriptivos y para su mejor ordenamiento analítico se ha subdividido la cuenca total en dos subcuencas de orden menor, las que hemos denominado: subcuenca del Arroyo Chálía y subcuenca del Alto río Mayo y que en adelante quedarán bajo la denominación de ACH y ARM respectivamente; la totalidad de la cuenca llevará la denominación de CRM; las tres han sido analizadas en forma individual con la finalidad de resaltar mejor las anomalías morfológicas.

a) Orden de Cauces:

Para el análisis de la composición de los sistemas de cauces, se han seguido los lineamientos de Horton (1945, pág. 285) y de Strahler (1952). En los que "cada cauce externo se denomina segmento de primer orden, la conjunción de dos segmentos de primer orden forma un cauce de segundo orden y se prolonga hasta que se une con otro cauce de segundo orden donde se origina otro de tercer orden, etcétera."

También se utilizó el criterio de Morisawa (1957, pág. 1029) quien extiende los cursos de agua hasta la crenulación superior de la última curva de nivel o bien incluye todos aquellos cursos omitidos que sugieran las sucesivas crenulaciones indicadas en la carta topográfica.

El número total de cauces para cada orden se da en la Tabla 1.

TABLA 1

ORDEN	ARM	ACH	CRM
N 1	970	719	1.689
N 2	198	91	289
N 3	53	18	71
N 4	14	6	20
N 5	3	2	5
N 6	1	1	2
N 7			1

De esto se obtiene que la cuenca CRM es considerada de orden 7, para las subcuencas ARM y ACH resultó un orden n-1, siendo las mismas de orden 6.

De la Tabla 1 se obtiene el porcentaje del número de cauces de cada orden, en relación al total de los de su cuenca respectiva, valores obtenidos en la siguiente ecuación:

$$PN_u = \frac{Nu \cdot 100}{NT}$$

De tal manera se obtienen los siguientes resultados expresados en la Tabla 2.

TABLA 2

ORDEN	ARM	ACH	CRM
N 1	78 %	86 %	81 %
N 2	16 %	11 %	14 %
N 3	3 %	2 %	3 %
N 4	1 %	0,7 %	1 %
N 5	0,7 %	0,2 %	0,7 %
N 6	0,3 %	0,1 %	0,3 %
100% = 1239		100% = 837	100% = 2076

b) Longitud de cauces:

El cauce principal de la cuenca CRM es de 7° orden, pero su longitud no ha sido medida dado que a cierta distancia de la confluencia de los colectores principales de las subcuencas ARM y ACH se seleccionó un punto representativo como boca de cuenca; por tal razón se examinaron los primeros seis órdenes, los resultados obtenidos se indican en la Tabla 3.

TABLA 3

ORDEN	ARM	ACH	CRM
L 1	1.463 km	822 km	2.285 km
L 2	551 km	288 km	839 km
L 3	343 km	116 km	459 km
L 4	229 km	114 km	343 km
L 5	86 km	86 km	172 km
L 6	128 km	57 km	185 km
Totales	2.800 km	1.483 km	4.283 km

Longitud promedio: se calcula en base a los valores obtenidos en las Tablas 1 y 3, resultando de la fórmula:

$$\bar{L}_u = \frac{L_u}{N_u}$$

Los valores obtenidos se dan en la Tabla 4.

TABLA 4

ORDEN	ARM	ACH	CRM
L 1	1,51 km	1,14 km	1,35 km
L 2	2,78 km	3,16 km	2,90 km
L 3	6,47 km	6,44 km	6,46 km
L 4	16,36 km	19,00 km	17,15 km
L 5	28,67 km	43,00 km	34,40 km
L 6	128,00 km	57,00 km	93,50 km

Porcentaje de la longitud de los cauces: Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$PL_u = \frac{L_u \cdot 100}{l_u}$$

A partir de los datos de la Tabla 3 se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 5

ORDEN	ARM	ACH	CRM
L 1	52%	55%	53%
L 2	20%	19%	20%
L 3	12%	8%	11%
L 4	8%	8%	8%
L 5	3%	6%	4%
L 6	5%	4%	4%
100% = 2800 km		100% = 1483 km	100% = 4283 km

c) Relación de Longitud:

De la observación de la Tabla 4 se deduce que la longitud media de los cauces aumenta de un orden al siguiente según una relación aproximadamente constante para cada sistema de drenaje. Según Strahler "la longitud media de los segmentos de cauce se triplica aproximadamente cada vez que aumenta el orden de los mismos". Esta relación viene dada según la fórmula:

$$RL = \frac{L_u}{L_{u-1}}$$

Es decir, el cociente entre la longitud media de los cauces de un orden dado y el del orden inmediato inferior.

Los valores de RL obtenidos quedan expresados en la Tabla 6

TABLA 6

ORDEN	ARM	ACH	CRM
RL ₂₋₁	1,84	2,77	2,15
RL ₃₋₂	2,33	2,04	2,23
RL ₄₋₃	2,53	2,95	2,65
RL ₅₋₄	1,75	2,26	2,00
RL ₆₋₅	4,46	1,33	2,72
RL	2,58	2,27	2,35

d) Relación de Bifurcación:

Puede definirse como "la proporción existente entre el número de segmentos

de un orden dado y los del orden inmediato superior" (Strahler 1945). Esto queda matemáticamente expresado por la siguiente fórmula:

$$RB = \frac{N_u}{N_u + 1}$$

Para el sistema de jerarquización de Strahler, que se usó en este trabajo, no pueden existir valores menores de 2. Valores vecinos a 2 son, según Horton (1945, pág. 290) propios de las cuencas fluviales de poco gradiente, para cuencas montañosas o altamente disectadas pueden alcanzarse valores de 3 y 4 y aún superarlos.

En base a los datos de la Tabla 1, se obtuvieron los siguientes valores:

TABLA 7

ORDEN	ARM	ACH	CRM
R B ₂₋₁	4,90	7,80	5,84
R B ₃₋₂	3,73	5,06	4,07
R B ₄₋₃	3,79	3,00	3,55
R B ₅₋₄	4,67	3,00	4,00
R B ₆₋₅	3,00	2,00	2,50
R B ₇₋₆			2,00
R B	4,02	4,19	3,66

e) Densidad de drenaje:

Es definida como el cociente entre todos los cauces de una cuenca (cualquiera sea su orden) y el área de la misma. Varía inversamente a la dureza de las rocas, a su impermeabilidad y a la cobertura vegetal; una mayor densidad de drenaje revelará por lo tanto una litología menos resistente, menos permeable y menos protegida por la vegetación (Strahler 1981, pág. 532).

Densidades bajas son, según el mismo autor, las menores a 4 km/km², pudiendo alcanzarse valores más de diez veces superiores que son considerados como altos. En las zonas de "bad-lands" hasta cien veces superiores.

Matemáticamente la densidad viene dada por la fórmula:

$$D = \frac{L_{1, 2, 3, \dots}}{A}$$

y en el caso presente es de:

- Para la subcuenca ARM: 1,84 km/km²
- Para la subcuenca ACH: 1,71 km/km²
- Para la cuenca CRM: 1,80 km/km²

Como se ve, son valores bajos, acordes con la litología de la región y con su eficaz cobertura vegetal: herbácea en su mayoría e incluso boscosa en las zonas más occidentales. Valores aún menores han sido señalados en otras

cuenca fluvial del país (1,28 para la del río Manso, [Rabassa,1978] 0,54 para el río Cuarto; 0,50 para el río Tercero [Iriando, 1972]).

f) **Longitud del flujo no encauzado:**

Este término designa el recorrido que debe efectuar el agua sobre el suelo, antes de concentrarse en un cauce definido. Según Horton este parámetro "es una de las variables independientes más importantes, que afecta el desarrollo hidrológico y fisiográfico de una cuenca de drenaje".

Hay varias maneras de calcular esta longitud, la forma más usual es a través de la densidad de drenaje "debido a que la longitud del flujo no encauzado es, en la mayoría de los casos, aproximadamente igual a la mitad de la distancia promedio entre dos cauces y por lo tanto es sensiblemente igual a la mitad de la inversa de la densidad de drenaje". (Horton 1945, pág. 284).

O sea: $P = 1/2D$. Calculados a partir de los datos de la tabla 8, los valores de la longitud del flujo no encauzado son:

TABLA 8

Para la subcuenca ARM:	0,27 km
Para la subcuenca ACH:	0,29 km
Para la cuenca CRM:	0,28 km

g) **Leyes de composición de drenaje:**

Ley del número de cauces; Primera ley de Horton: Horton (1945, pág. 291) define la ley del número de cauces como: "El número de segmentos de órdenes sucesivamente inferiores de una cuenca dada, tiende a formar una progresión geométrica que comienza con el único segmento de orden más elevado y crece según una relación constante de bifurcación". Por lo tanto la relación entre los órdenes y el número de segmentos de cauces está dada en base a una **función exponencial negativa**, quedando expresada mediante la siguiente fórmula:

$$Nu = RB^{(K - u)}$$

donde:

- Nu = Número de cauces del orden considerado "u".
- RB = Relación de bifurcación.
- K = Orden de la cuenca.

Mediante esta ecuación es posible calcular los valores teóricos de "Nu"; al comparar estos valores con los reales, resaltan ciertas anomalías (super abundancia de algún orden o déficit de otro), estos valores quedan expresados en la Tabla 9.

TABLA 9

ORDEN	A R M		A C H		C R M	
	VALOR REAL	VALOR CALCULADO	VALOR REAL	VALOR CALCULADO	VALOR REAL	VALOR CALCULADO
N1	970	1050	719	1291	1689	2404
N2	198	261	91	308	289	657
N3	53	65	18	73	71	180
N4	14	16	6	18	20	49
N5	3	4	2	4	5	13
N6	1	1	1	1	2	4

De los valores obtenidos en la Tabla 9, resalta una abultada diferencia entre los valores reales y los calculados para ACH, esto es a consecuencia de los altos valores de RB_{2-1} (Tabla 7).

Se puede representar esta progresión geométrica en forma gráfica, en la cual sobre el eje vertical, a escala logarítmica, están dados los valores de "Nu" y sobre el eje horizontal, a escala aritmética, los valores de "u" (Figura 6) donde quedan expresadas las anomalías ya señaladas, puesto que los puntos no forman una línea recta perfecta.

Es posible calcular las ecuaciones de estas rectas teóricas, partiendo de que la ecuación $Nu = Rb^{(K-u)}$ se asimila a una exponencial negativa de forma $Y = ae^{-bx}$, donde "Y" es el número de cauces de orden "u" variable dependiente de "x", que es el orden de los mismos, independiente.

Resolviendo los sistemas de ecuaciones obtenidas a partir de los valores de las progresiones teóricas, se obtienen las ecuaciones de las rectas que los grafican (Tabla 10).

TABLA 10

A R M	$Y = 4270,41 \cdot e^{-1,396 x}$
A C H	$Y = 4943,50 \cdot e^{-1,413 x}$
C R M	$Y = 8793,32 \cdot e^{-1,2973 x}$

h) Ley de longitudes de cursos (Segunda ley de Horton)

La misma fue definida por Horton (1945) como "la longitud media acumulada de segmentos de cauces de órdenes sucesivos que forman una progresión geométrica cuyo primer término es la longitud media de los segmentos de primer orden y tiene por razón una relación de longitud constante".

La misma queda expresada como: $L\bar{u} = L_1 RL^{(u + 1)}$

donde:

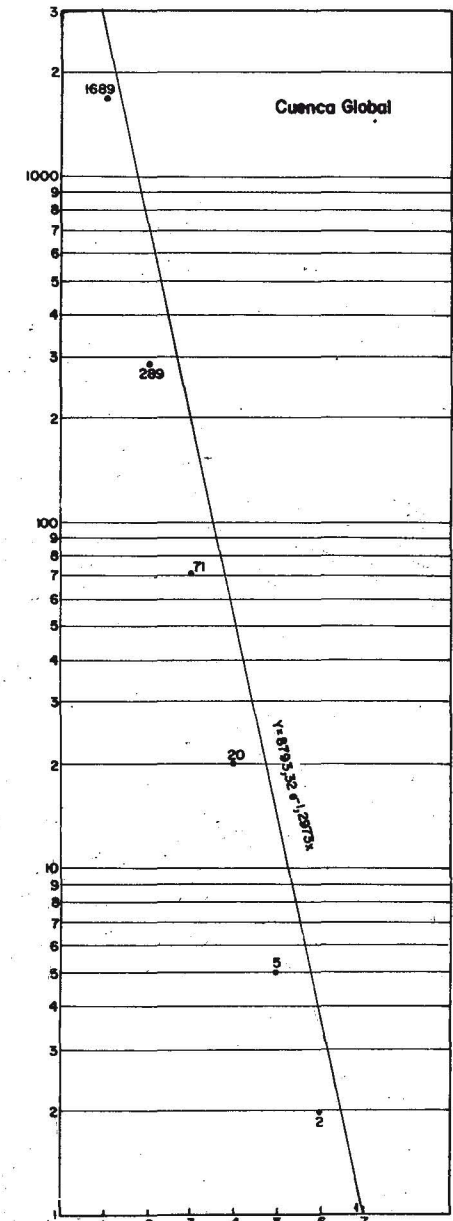
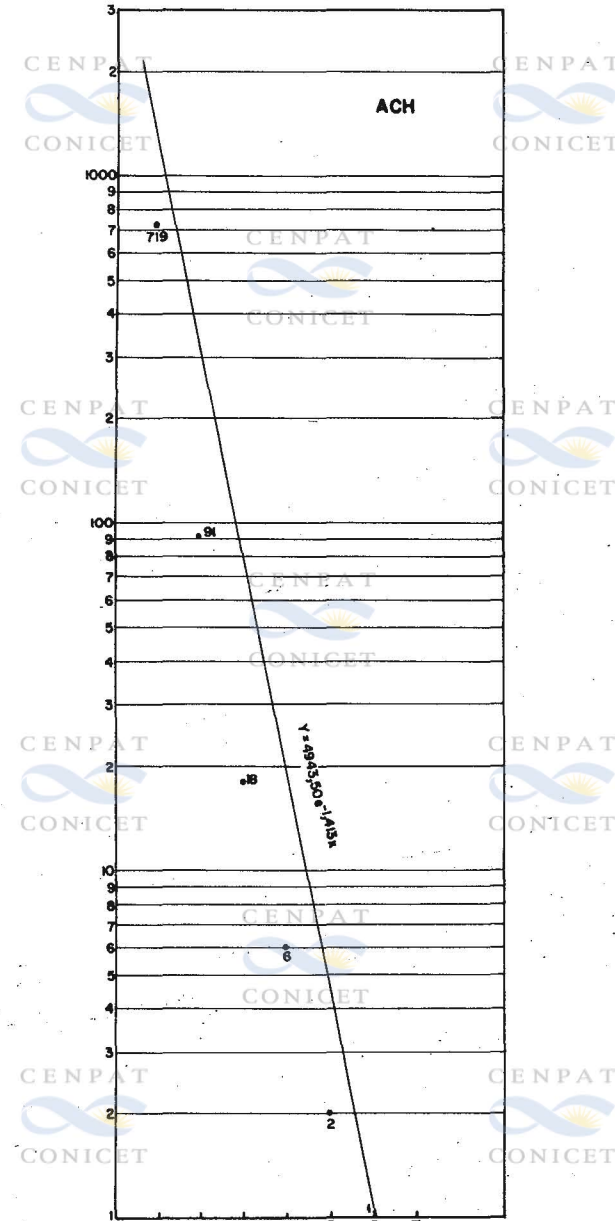
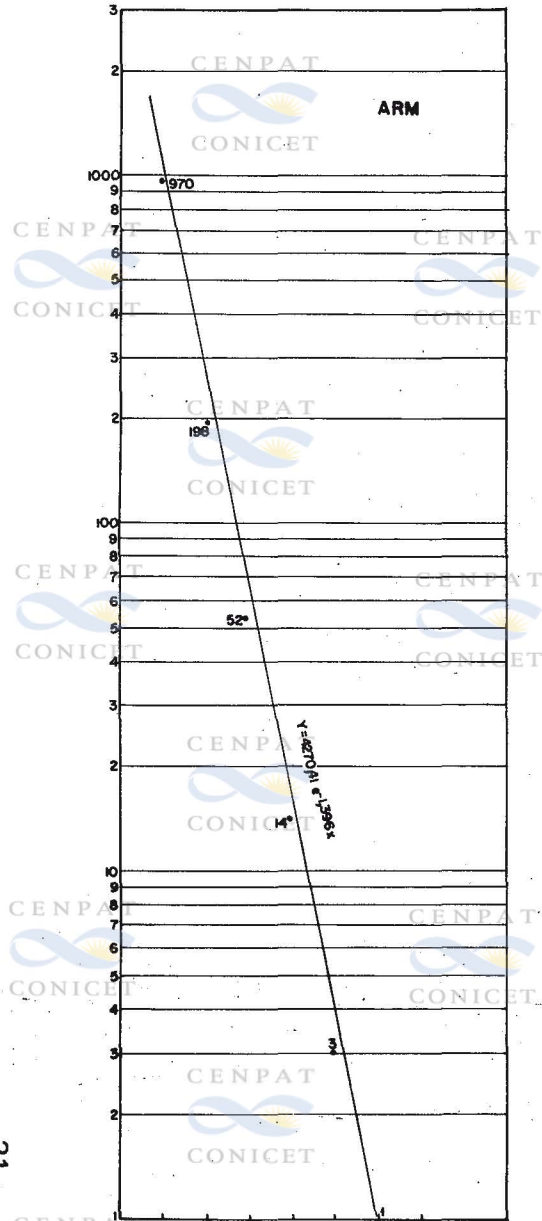
$L\bar{u}$ = Longitud promedio acumulado de los cauces de orden "u".

L_1 = Longitud promedio de los cauces de primer orden.

RL = Relación de longitud promedio de la cuenca.

u = Orden considerado.

Fig.6: Primera ley de Horton. NUMERO DE CAUCES



A partir de esta ecuación se calculan los valores teóricos, (cuya comparación con los valores reales de las longitudes promedio acumuladas, permite identificar sobredimensionamiento o enanismo de algún orden de cauce) representados en Tabla 11.

TABLA 11

ORDEN	A R M		A C H		C R M	
	VALOR REAL	VALOR CALCULADO	VALOR REAL	VALOR CALCULADO	VALOR REAL	VALOR CALCULADO
L1	1,51	1,51	1,14	1,14	1,35	1,35
L2	4,29	3,90	4,30	2,59	4,25	3,51
L3	10,76	10,05	10,74	5,87	10,71	9,13
L4	27,12	25,93	29,74	13,33	27,86	23,73
L5	55,79	66,90	72,74	30,27	62,26	61,69
L6	183,80	172,61	129,74	68,71	155,76	160,40

Nuevamente en este caso, como en IV g, las diferencias que presenta la subcuenca del A° Chalia son las más marcadas, alejándose sensiblemente de la recta teórica (Fig. 7). Sin embargo dicha figura permite observar que los puntos reales siguen una línea recta, que si bien defasada de la teórica, demuestra que son los cauces de primer orden los responsables del alejamiento entre ambas rectas.

Como por definición la ecuación de longitudes medias acumuladas toma su punto de partida en el término de primer orden, una diferencia en este punto de partida acarrea una diferencia en todo el resto de la progresión. La recta que forman los valores reales muestra que el valor que deberían tener los cauces de primer orden sería de 1,85 km si no existiera el poderoso control geomorfológico impuesto por la marcada disección de cañadones paralelos.

Asimilando la ecuación $Lu = L_1 \cdot RL (u + 1)$ a una función exponencial positiva del tipo $y = ae^{bx}$; es posible calcular las ecuaciones de las rectas teóricas que grafican las progresiones de la segunda ley.

Ellas son:

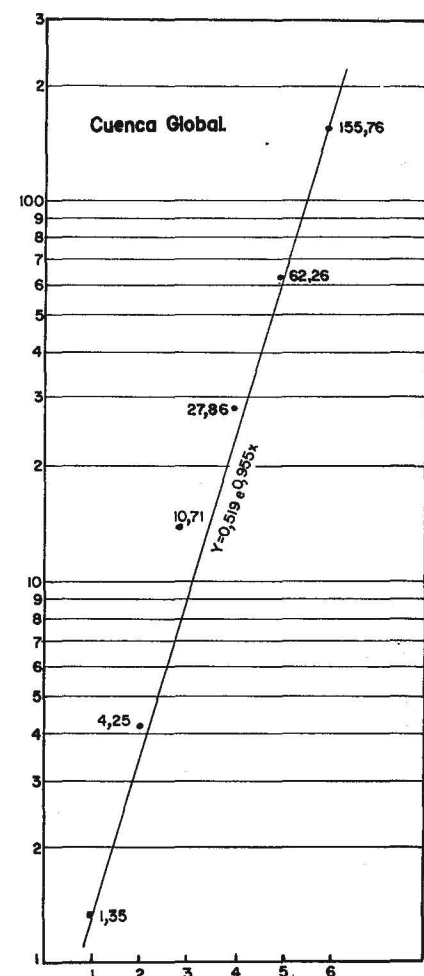
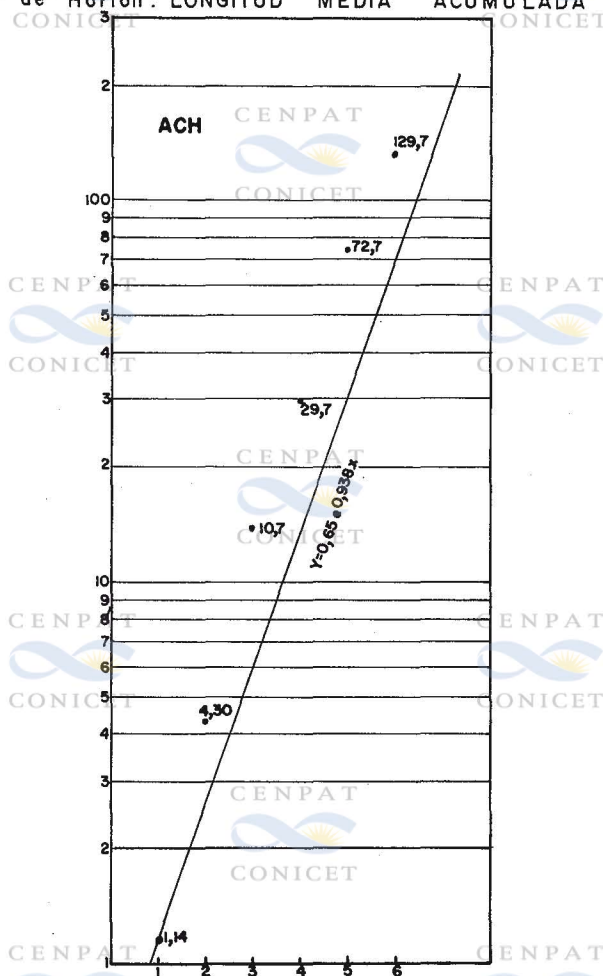
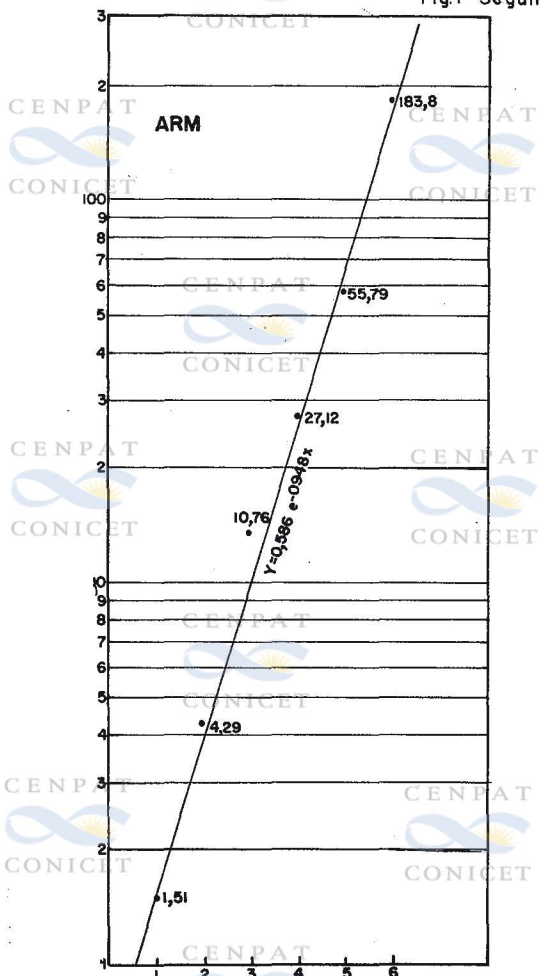
TABLA 12

ARM	$Y = 0,536 \cdot e^{0,948 x}$
ACH	$Y = 0,65 \cdot e^{0,938 x}$
CRM	$Y = 0,519 \cdot e^{0,955 x}$

i) Cálculo de las pendientes:

La pendiente media de un cauce queda definida como "la razón entre el

Fig.7: Segunda ley de Horton. LONGITUD MEDIA ACUMULADA



desnivel vertical y la distancia horizontal, medidos desde el extremo superior al inferior de un único segmento de cauce de orden dado" (Strahler 1956).

La longitud promedio de los cauces ya fue determinada en Tabla 4. El desnivel medio de los cauces de distintos órdenes fue medido en base a las cartas topográficas del I.G.M., cuyos valores obtenidos se dan en la Tabla 13.

TABLA 13

	ARM	ACH	CRM
D ₁	165 m	121 m	138,6 m
D ₂	133 m	135 m	135 m
D ₃	128 m	139 m	132,5 m
D ₄	131 m	185 m	155,5 m
D ₅	57 m	232,5 m	147,5 m
D ₆	205 m	90 m	127 m

Con los valores consignados en las Tablas 4 y 13 se obtuvieron los siguientes valores de pendiente (Tabla 14):

TABLA 14

	A R M		A C H		C R M	
	%	GRADOS	%	GRADOS	%	GRADOS
P ₁	10,9	6° 14'	8,6	4° 56'	10,27	5° 52'
P ₂	4,8	2° 44'	4,3	2° 27'	4,62	2° 39'
P ₃	2,0	1° 08'	2,2	1° 42'	2,05	1° 10'
P ₄	0,8	0° 28'	1,0	0° 33'	0,91	0° 31'
P ₅	0,23	0° 08'	0,6	0° 21'	0,43	0° 15'
P ₆	0,16	0° 05'	0,16	0° 05'	0,16	0° 05'

j) Relación de pendientes:

En forma análoga al cálculo de la relación de longitud o de bifurcación, se puede calcular la relación de pendiente RP para cada subcuenca y verificar la constancia de la razón de incremento de la pendiente al ir disminuyendo el orden de los cauces.

Los valores de RP obtenidos son:

TABLA 15

RELACION PENDIENTE	A R M	A C H	C R M
R P ₂₋₁	0,44	0,50	0,45
R P ₃₋₂	0,42	0,50	0,44
R P ₄₋₃	0,40	0,45	0,44
R P ₅₋₄	0,28	0,60	0,47
R P ₆₋₅	0,71	0,27	0,37
R P	0,45	0,47	0,47

k) Ley de variación de pendientes: (Tercera ley de Horton)

La pendiente media de los cauces, tal como su longitud media acumulada o su número, varía según una progresión geométrica (creciente en el caso de las longitudes, decreciente en los otros dos casos). En forma totalmente análoga a las dos leyes anteriores, la de variación de pendientes puede expresarse matemáticamente como:

$$P_{\bar{u}} = P_1 \cdot RP^{(u-1)}$$

donde:

- $P_{\bar{u}}$ = Pendiente promedio de los cauces del orden considerado.
- P_1 = Pendiente promedio de los cauces de primer orden.
- RP = Relación de pendiente
- u = Orden considerado

A partir de esta ecuación se calculan los valores teóricos y su comparación con los valores reales de las pendientes muestra una correspondencia bastante estrecha, como no alcanzaba a ser en los dos casos anteriores de la primera y segunda ley.

TABLA 16

	SUBCUENCA A R M		SUBCUENCA A C H		CUENCA C R M	
	VALOR REAL	VALOR CALCULADO	VALOR REAL	VALOR CALCULADO	VALOR REAL	VALOR CALCULADO
P ₁	10,9	10,9	8,6	8,6	10,27	10,27
P ₂	4,8	4,9	4,3	4,0	4,62	4,42
P ₃	2,0	2,2	2,2	1,9	2,05	1,90
P ₄	0,8	1,0	1,0	0,9	0,91	0,82
P ₅	0,23	0,45	0,6	0,41	0,43	0,35
P ₆	0,16	0,20	0,16	0,19	0,16	0,15

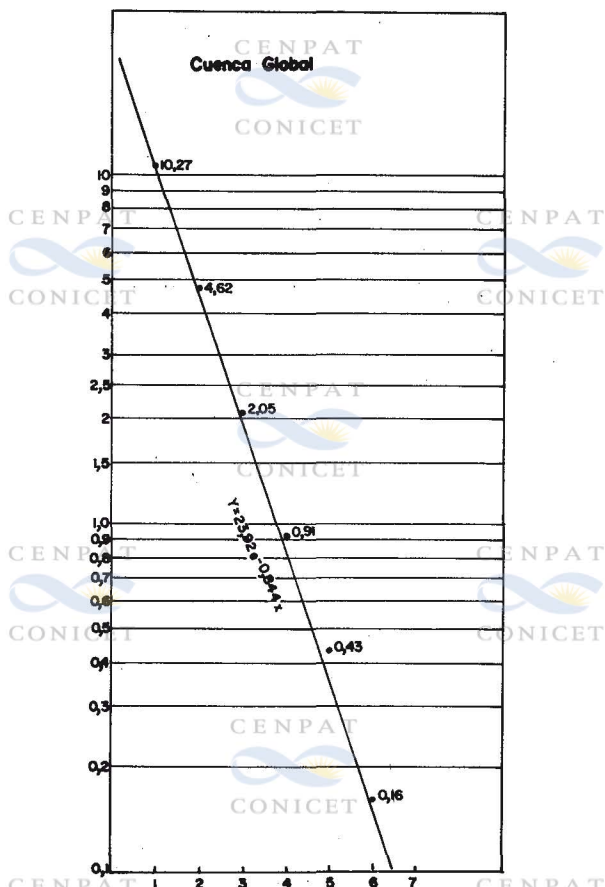
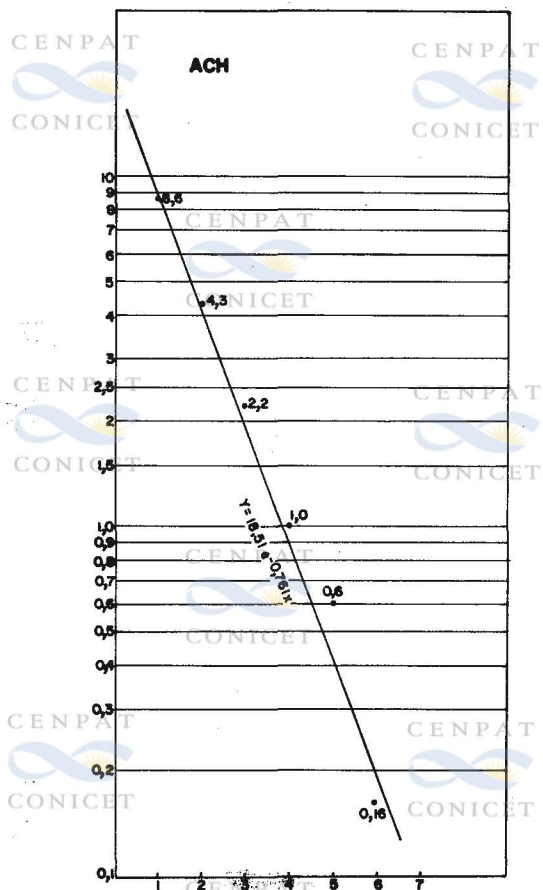
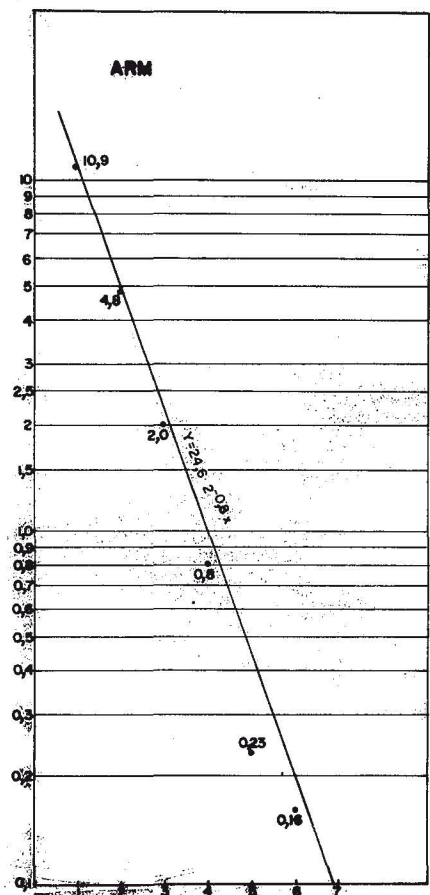
Al asimilar la ecuación $P_u = P_1 \cdot RP^{(u-1)}$ a una función exponencial negativa de la forma $y = ae^{-bx}$ se pueden calcular las ecuaciones de las rectas formadas por los valores teóricos, a las cuales se aproximan los valores reales de las pendientes medias.

TABLA 17

Las ecuaciones de regresión de las rectas teóricas son:

- Para la subcuenca A R M: $y = 24,6 \cdot e^{-0,8 \cdot x}$
- Para la subcuenca A C H: $y = 18,51 \cdot e^{-0,761 \cdot x}$
- Para la cuenca C R M: $y = 23,92 \cdot e^{-0,844 \cdot x}$

Fig.8: Tercera ley de Horton. PENDIENTE MEDIA DE LOS CAUCES.

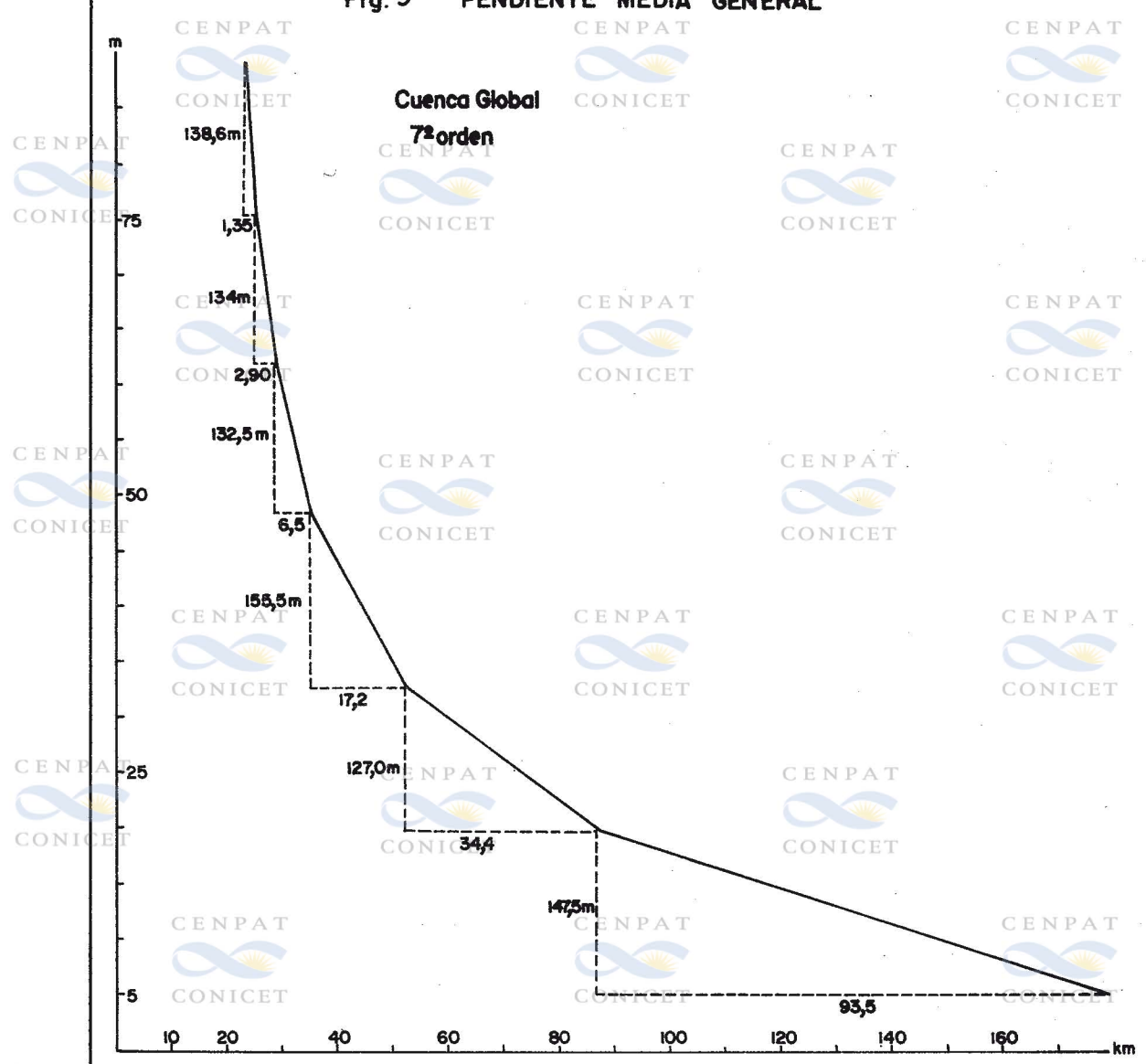


CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

Fig. 9 PENDIENTE MEDIA GENERAL



CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

F.C.

CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET 27

CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

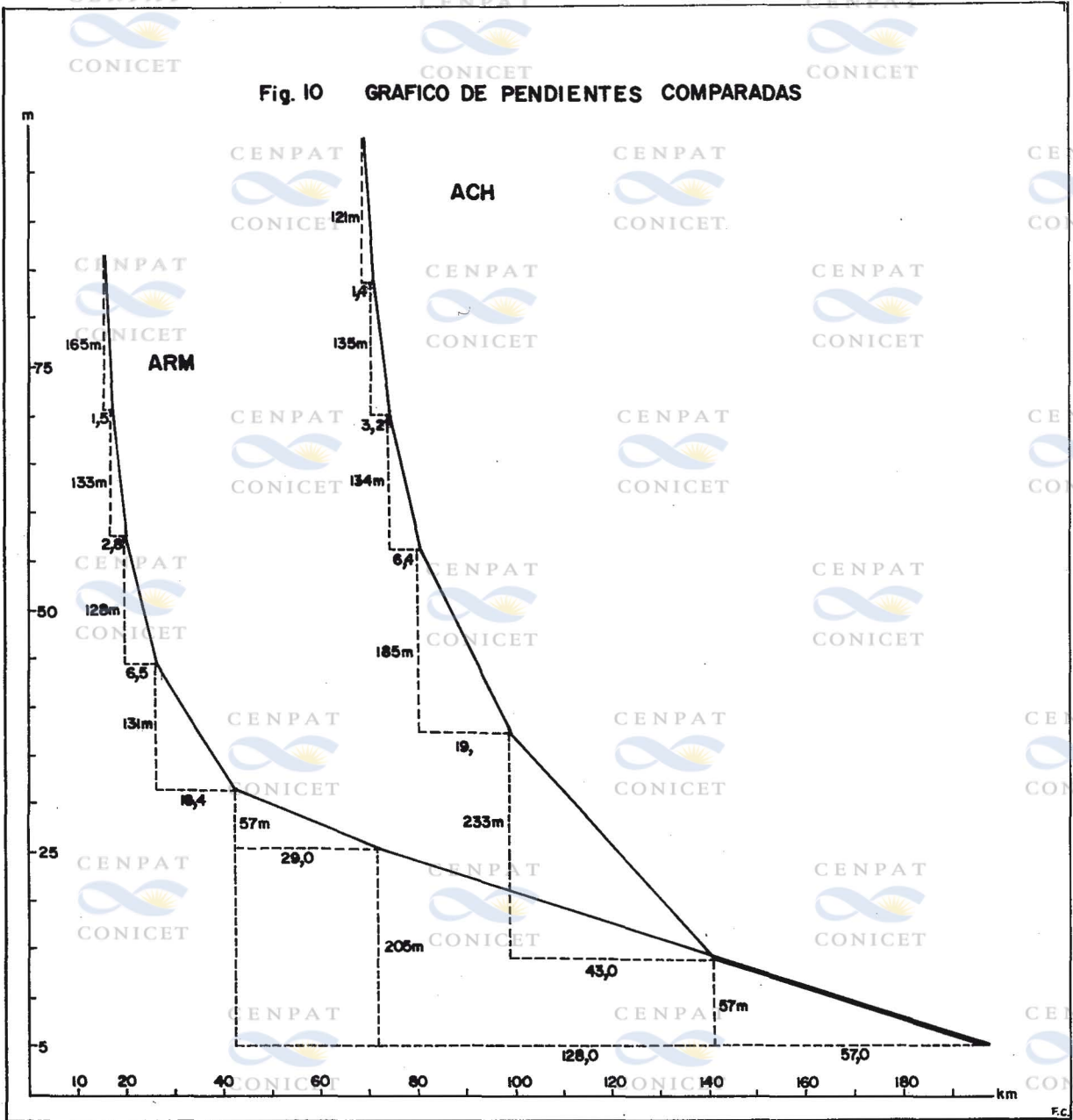
CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

CENPAT
CONICET

Fig. 10 GRAFICO DE PENDIENTES COMPARADAS



V – CONCLUSIONES:

- La relación de bifurcación para la cuenca global es de 3,66 respondiendo a las características articuladas del relieve.
- Para la subcuenca del ACH, la relación de bifurcación entre los órdenes 2-1 es de 7,90; valor anormal que refleja el alto grado de disección que presenta la misma en sus cabeceras, dando un relieve de colinas disectadas, donde gran cantidad de cauces paralelos desaguan en un colector común.
- La subcuenca ARM responde en su totalidad a la primera Ley de Horton, tanto para los valores reales como para los calculados.
- Para la subcuenca del ACH el elevado valor de RB_{2-1} , produce un gran defasaje entre las rectas para los valores reales y calculados (FIG. 6), siendo estos valores los que afectan a toda la progresión en la totalidad de la cuenca.
- La cuenca en su totalidad se ajusta claramente a la segunda Ley de Horton. Las diferencias que presenta la subcuenca ACH son más marcadas observándose un defasaje entre la recta teórica y la real (Fig. 7) aunque es de observar que los puntos reales siguen una línea recta que si bien defasada de la teórica, demuestra que son los cauces de primer orden los responsables del alejamiento entre ambas rectas.
- De la observación de los perfiles longitudinales, se puede establecer que la cuenca no ha alcanzado su perfil de equilibrio, lo que trae aparejado un incremento de la erosión hídrica, profundizando sus cauces con mayor intensidad en la cuenca de recepción, que es donde se concentra el mayor caudal líquido, debido a una menor relación de evapotranspiración potencial que en el resto de la cuenca.
- Los procesos de erosión hídrica se ven incrementados por el pastoreo no regulado y abusivo y la tala de bosques, dando lugar a fenómenos torrenciales originando escorrentías superficiales que son causa de la grave erosión hídrica manifestada por profundas cárcavas y torrentes, con una gran incisión vertical en las laderas de la pampa del Chaliá, su crecimiento lateral se produce por desbarrancamiento de las paredes del canal.
- A causa de la intensa erosión hídrica en bordes de cañadones y depresiones que en época de menor precipitación dejan en superficie un predominio de sedimentos arenosos y limos-arenosos sueltos, son las que originan focos propicios para la erosión eólica que en el área se ven representados en formas de "lenguas" con dirección del viento predominante.



BIBLIOGRAFIA:

FIDALGO, F., RIGGI, J., (1965). *Los rodados patagónicos en la Meseta de Guenguel y alrededores (Santa Cruz)*. Asoc. Geol. Arg. T XX N° 3 pp. 273-325.

FOLK, R. y Ward, W., (1957). *Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameter*. Journ Sed. Petrology; 27 (L): 3-26.

GONZALEZ, R. (1965). *Descripción geológica de la hoja 49, Lago Blanco*. Prov. del Chubut. Dir. Nac. Min. y Geol.

HORTON, Robert E., (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Amer. Bull. 56 (3): 275-370.

MORISAWA, Marie, (1962). *Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau*. Geol. Soc. Amer. Bull 73. 1025-1046.

RABASA, Jorge, (1978). *Geomorfología cuantitativa de la cuenca del río Manso superior, Río Negro, Arg. Primera Parte: Análisis de Horton*. Rev. Asoc. Geol. Arg.

STRAHLER, Arthur N., (1957). *Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*. Transactions. Am. Geophys Union, 38 (6): 913-925.





76983 CENTRO NACIONAL PATAGONICO - CONICET
Hecho el depósito que establece la Ley 11.723

