

## APLICACION DE LA CURVA DE FLUJO EN LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA GUAJIRA - COLOMBIA

FÉLIX ORTIZ VASQUEZ

Departamento de Geociencias  
Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá

### RESUMEN

Durante un estudio sobre aguas subterráneas en el NE de la Península de la Guajira y debido a la carencia de datos estadísticos que permitieran llegar a un balance hídrico, se desarrolló un método que en base a medidas de caudal a la curva de flujo y la línea de drenaje en tiempo seco, para cuencas pequeñas en rocas duras y composición geológica simple, permitió en forma aproximada el cálculo de valores de infiltración para los tipos de roca más extensamente representados.

### INTRODUCCION

La necesidad de cuantificar, por lo menos aproximadamente el balance hídrico y en especial, el monto de la renovación del agua subterránea en el NE de la Península de la Guajira, de la cual no se poseían datos hidrológicos y climatológicos completos llevó a considerar un modelo, que a partir de algunas medidas de caudal, permitió la construcción de la curva de flujo y a partir de esta, el cálculo de la infiltración específica (por  $Km^2$ ) para algunos tipos de roca.

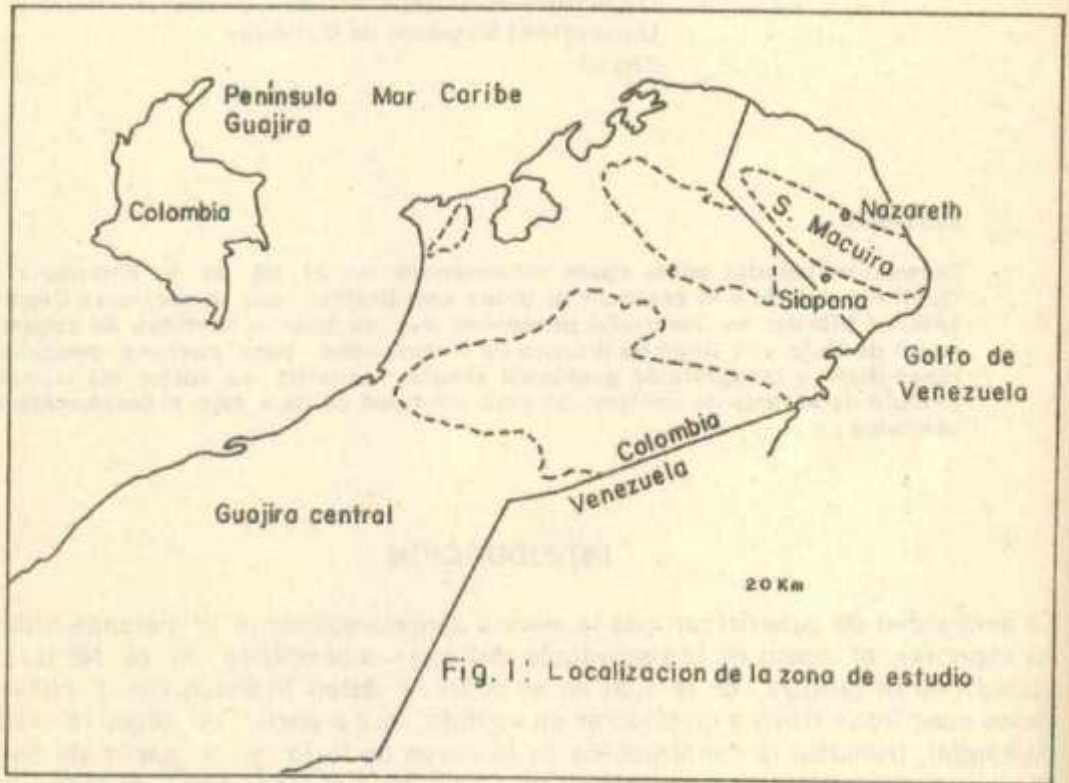
Esta situación aparece posible debido al régimen climático en esa región que diferencia un período seco de 8 meses, durante el cual los arroyos se alimentan exclusivamente del flujo base y el acuífero tiene un régimen de drenaje libre que puede ser expresado matemáticamente de acuerdo con la función exponencial de Maillet.

Para lograr la aplicación del modelo se tienen en cuenta las consideraciones sobre la línea de flujo anual y la línea de flujo en tiempo seco de NATERMANN (1950), lo mismo que las consideraciones sobre drenaje libre en rocas duras de cuencas pequeñas de WEYER (1970, 1972).

## LOCALIZACION Y MORFOLOGIA

El área a la cual concierne este estudio se encuentra localizada en el extremo NE de la Península de la Guajira, en los flancos y el piedemonte de la Serranía de Macuira.

La morfología de la región está dominada por el bloque montañoso de la Serranía de Macuira que se extiende de SE a NW alcanzando en su parte central alturas hasta de 800 m., siendo su flanco SW más empinado que el flanco NE. El bloque de la Serranía se encuentra delimitado por una planicie envolvente que se prolonga por el N el E y el S hasta la costa.



## CLIMA

La Península de la Guajira se encuentra bajo influencia directa de los vientos alisios y pertenece al cinturón comprendido como Ecuador térmico de la tierra, es decir donde se encuentran las más altas temperaturas promedio.



En base a datos tomados a partir de septiembre de 1971 y a algunos datos climatológicos de estaciones vecinas se establecieron para la región los siguientes parámetros:

La temperatura promedio en la costa y planicie aledaña es de 29 °C (datos de Bahía Honda), mientras que en Nazareth, o sea, el pie de monte de la Serranía de Macuira alcanza 27,4 °C. El punto de rocío en Nazareth es de 23 °C y la humedad relativa promedio de 78%, presentando variaciones menores al 7%.

La velocidad de los vientos es alta en dirección predominante SW, alcanza sus mayores valores en julio-agosto. La velocidad oscila frecuentemente entre 7 y 12 m/s, pero en la región costera alcanza frecuentemente 20 m/s. La evapotranspiración potencial es de 2200 mm en Nazareth y de 2.500 mm. en Bahía Honda.

El régimen de precipitación de la región está caracterizado por una época de lluvias que comienza a mediados de septiembre y se prolonga hasta diciembre, mientras que la época seca va de enero hasta agosto. Durante la época seca pueden ocurrir eventos lluviosos locales en los primeros meses del año (Figura 2).

La distribución de la precipitación en la región ocurre aproximadamente como lo muestra la Figura 3 para 1971.

La precipitación correspondiente a la zona No. 5 fue extrapolada ya que no se encuentra ninguna estación pluviométrica en ella.

Un parámetro importante es el número de eventos lluviosos. Para la época de lluvias de 1971 a 1974 se encontraron los siguientes valores:

Para la zona:

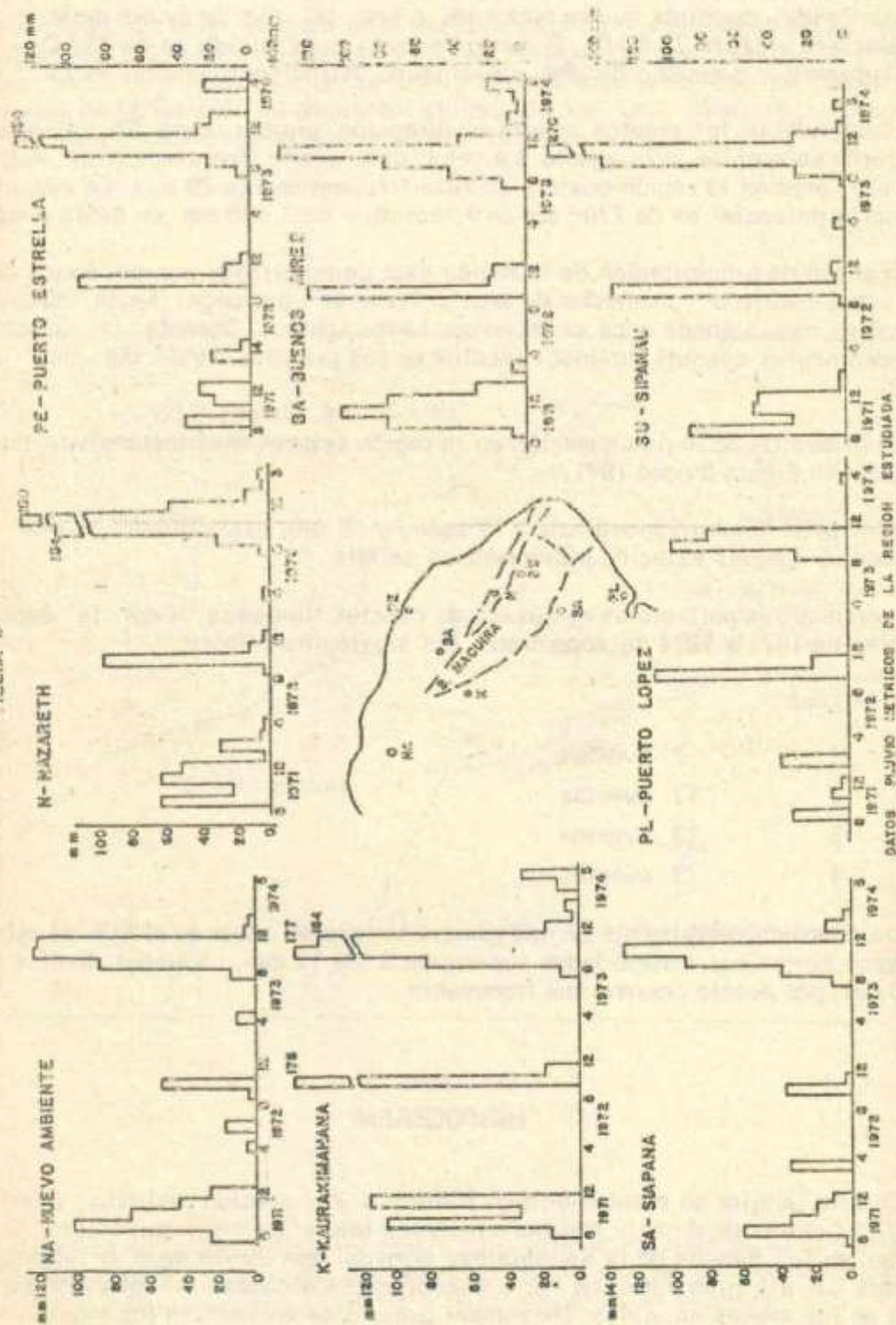
1.	7 eventos
2	17 eventos
3	18 eventos
4	29 eventos

Estos ocurren generalmente de una manera torrencial, cayendo el 80% de ellas en eventos cortos con intensidades superiores a los 12 mm. Valores de 60 y hasta 100 mm. por evento ocurren con frecuencia.

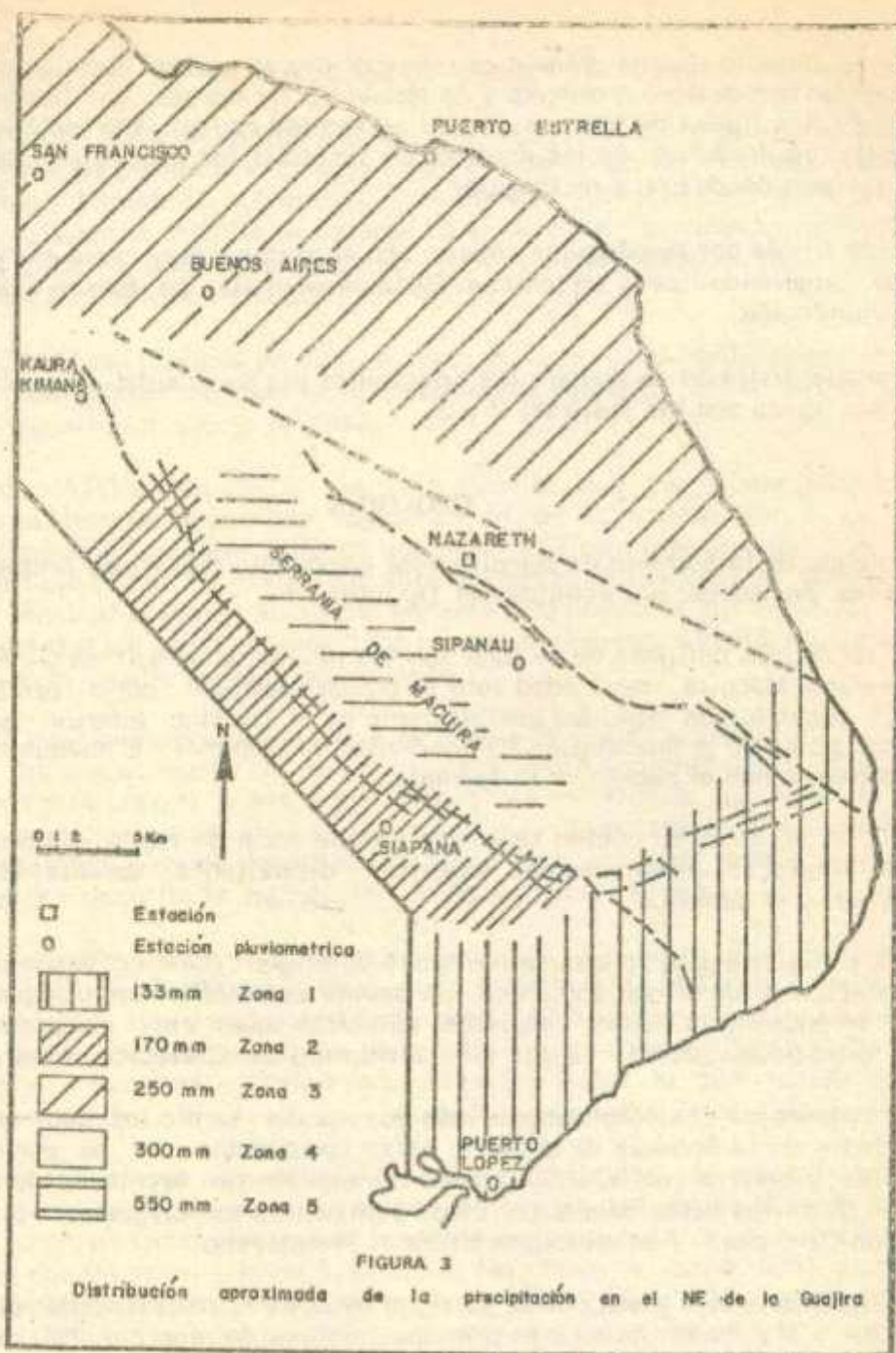
## HIDROGRAFIA

En la alta Guajira no existen arroyos perennes en sentido estricto. Las formas más frecuentes de drenaje son las corrientes intermitentes y episódicas. Sin embargo, en los flancos de la Serranía hay arroyos, que llevan agua en algunos trayectos durante gran parte del año y cuando estos alcanzan la planicie se infiltran en las arenas aluviales. De manera general se encuentran los siguientes sistemas hidrográficos:

FIGURA 2







- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) Hacia el N   | Sistema Jorotuy o Yorikoi   |
| 2) Hacia el NE  | Sistema Sharimahana         |
| 3) Hacia el E   | Sistema Sipanau             |
| 4) Hacia el SE  | Sistema Purihuau (Jasaruhu) |
| 5) Hacia el SSE | Sistema Parajimaruhu        |
| 6) Hacia el S   | Sistema Topia               |
| 7) Hacia el SSW | Sistema Huajarimaha         |

Con relación al tipo de drenaje en rocas duras, se puede distinguir en granodiorita un tipo de drenaje enrejado y la formación de cauces en forma de V, siguiendo las líneas de fractura. En los neises los cauces son más amplios y el drenaje es dendrítico. En las areniscas y limolitas los cauces son en forma de U en sistema dendrítico a rectangular.

En las filitas por su parte los cauces son angostos y muy cerca los unos de los otros, siguiendo líneas tectónicas. En la parte plana se forman amplias zonas de inundación.

De estos sistemas de drenaje los principales por su caudal y por el beneficio de sus aguas son los sistemas 2 y 3.

## GEOLOGIA

El bloque de la Serranía de Macuira está compuesto por rocas preterciarias, limitadas en rededor por estratos del Terciario.

Las rocas más antiguas de la zona son los neises y esquistos micáceos de la Formación Macuira, cuya edad solo se puede catalogar como pre-Mesozoica. Estas rocas fueron intruídas posiblemente en el Triásico Inferior por un plutón de composición granodiorítica (Granodiorita de Siapana). El conjunto ígneo-metamórfico forma el núcleo de la serranía.

Hacia el SE de dicho núcleo se encuentra una serie de rocas clásticas, en general areniscas, conglomerados, limolitas, depositadas durante el Triásico Superior y el Jurásico.

Al N y en parte al E se encuentran rocas de origen clástico y grano fino e intercalaciones de origen volcánico, levemente metamorizadas y algunas calizas. Allí se encuentran filitas, esquistos, cuarcitas finas, etc. comprendidas en las formaciones Jarara - Epana y Parauankrein, del Cretácico Superior.

Los sedimentos cronológicamente más nuevos del Terciario, que se extienden alrededor de la Serranía de Macuira, están compuestos en su mayor parte de arcillas y calizas con intercalaciones frecuentes de areniscas formando una serie de varios miles de metros. Estos sedimentos se originaron a partir del Eoceno-Oligoceno y se prolongan hasta el Pleistoceno.

El Cuaternario más joven, por su parte, se encuentra representado por arenas eólicas y aluviones presentes principalmente en la planicie NE alcanzando espesores locales superiores a 20 m.

## TECTONICA

Las estructuras tectónicas predominantes son las Terciarias, representadas principalmente por las fallas de Macuira, Nazareth y Humitarra y que tienen rumbo SE - NW. A lo largo de ellas se llevó a cabo el levantamiento del bloque (Horst) de la Serranía.

Las estructuras pre Terciarias tienen rumbo WSW - ENE y están representadas por el Graben de la Guajira y algunas fallas como las de Uraitchipa, Itujuru, Yaurama y Ororio.



## LA LINEA DE FLUJO

La línea de flujo (caudales diarios) se obtiene representado en un eje de coordenadas las medidas periódicas de flujo de un colector, contra el tiempo, para un área de recarga delimitada. La gráfica obtenida así, generalmente para un año hidrológico, resume el sistema de recarga de el colector, mostrando máximos de escorrentía durante y poco después de un evento pluvial, disminuyendo regularmente durante los períodos secos. (Figura 4).

Según NATERMANN (1950) es posible, a partir de la curva de flujo, lograr una separación de los aportes medidos en el colector con respecto a su origen, como escorrentía superficial o flujo de base.

El método de NATERMANN utiliza una línea auxiliar que se obtiene uniendo los mínimos de la línea de flujo y que separa a esta de la coordenada X. La línea auxiliar delimita sin grandes altibajos un campo de flujo interpretado como proveniente de flujo base. Es decir que este segmento representa el aporte del agua subterránea al colector durante el período estudiado y sus variaciones no son otra cosa que los efectos producidos por los parámetros hidrológicos e hidrogeológicos en el cuerpo de agua subterránea.

El segmento comprendido entre la línea de flujo y la línea auxiliar por su parte, representa las variaciones del aporte de escorrentía superficial y agua de suelo (hipodérmica o interflow) o sea, aquella agua que recorriendo un camino subterráneo superficial converge en el colector pocos días después del evento lluvioso. El agua hipodérmica (interflow) no tiene por su parte interés para estudios que tengan como fin la explotación de aguas subterráneas.

En el caso presente, concerniente a la Península de la Guajira, el régimen hidrológico no permite la construcción de una curva como la de la Figura 4, ya que se tiene un período de lluvias con abundante aporte de flujo superficial y un período seco en el que se realiza un drenaje libre de las rocas que conforman las diferentes cuencas. Esquemáticamente se podría representar lo que sucede en una de estas cuencas de la siguiente manera, para un año hidrológico (Figura 5).

Es necesario aclarar que no se tienen en cuenta las lluvias de poca intensidad que puedan ocurrir en los primeros meses del año ya que especialmente en zonas áridas la pluviosidad efectiva es bastante menor que la pluviosidad medida. Teniendo en cuenta el criterio de S. MANDEL (en Yaron y otros 1973), se puede hallar la pluviosidad efectiva en esas regiones sustrayendo a la pluviosidad medida aquellas lluvias que son iguales o menores a la evapotranspiración potencial diaria. En la región del presente estudio no se tienen en cuenta aquellas lluvias menores de 12 mm.

Si nos atenemos a los planteamientos hechos por NATERMANN, el aporte del agua subterránea al colector para una zona de recarga definida estaría determinada en la gráfica por la línea a trazos (Figura 5).

Ahora bien, el comportamiento de la línea se puede dividir en dos segmentos bien determinados con una división en el punto  $Q_0$ .

En el caso específico de la Guajira si se hace una aproximación a cero a

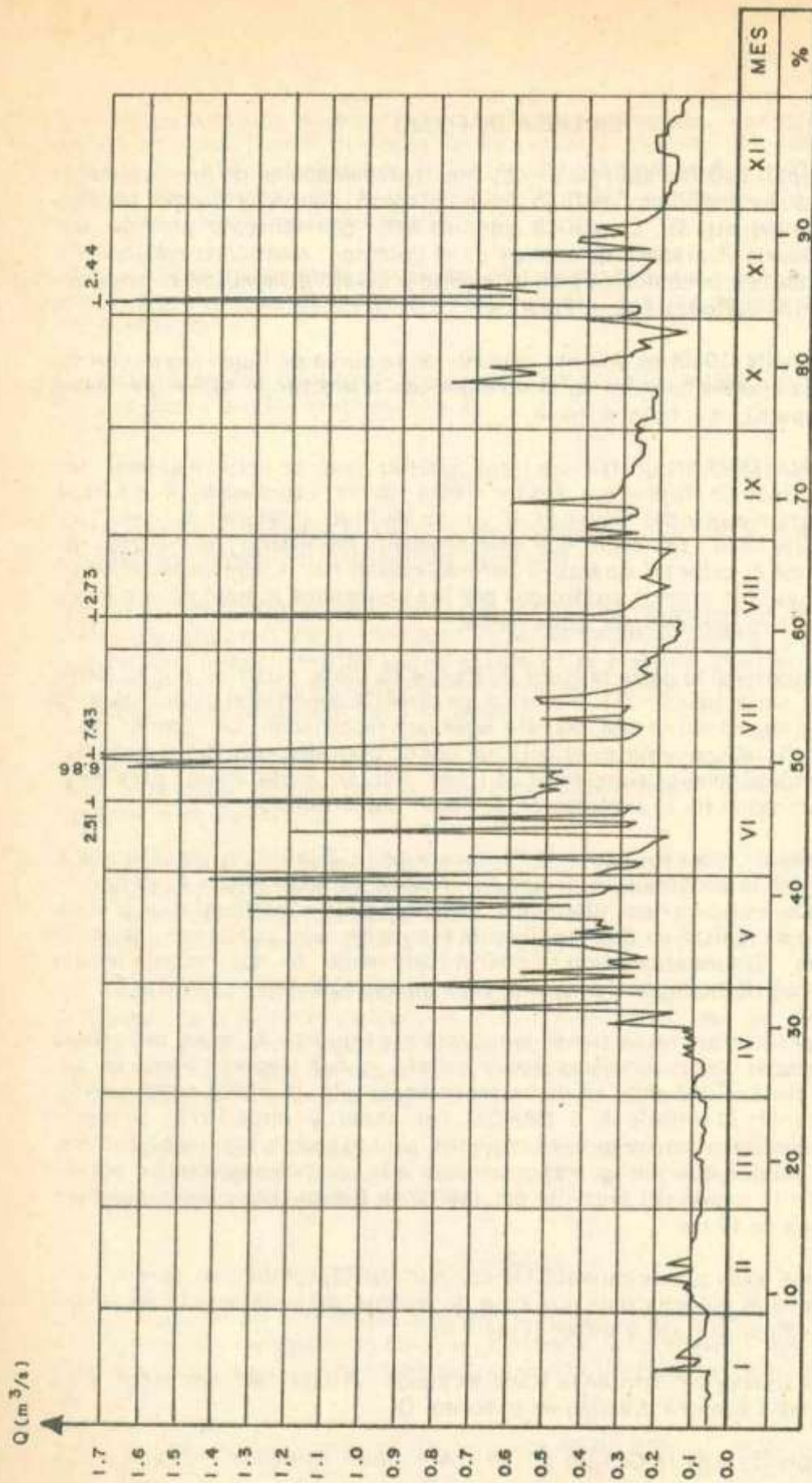


Fig. 4 Línea de flujo con precipitaciones frecuentes. Estación El Faro, quebrada Cimaya.

Fuente: Anuario hidrológico SCM.H. 1972



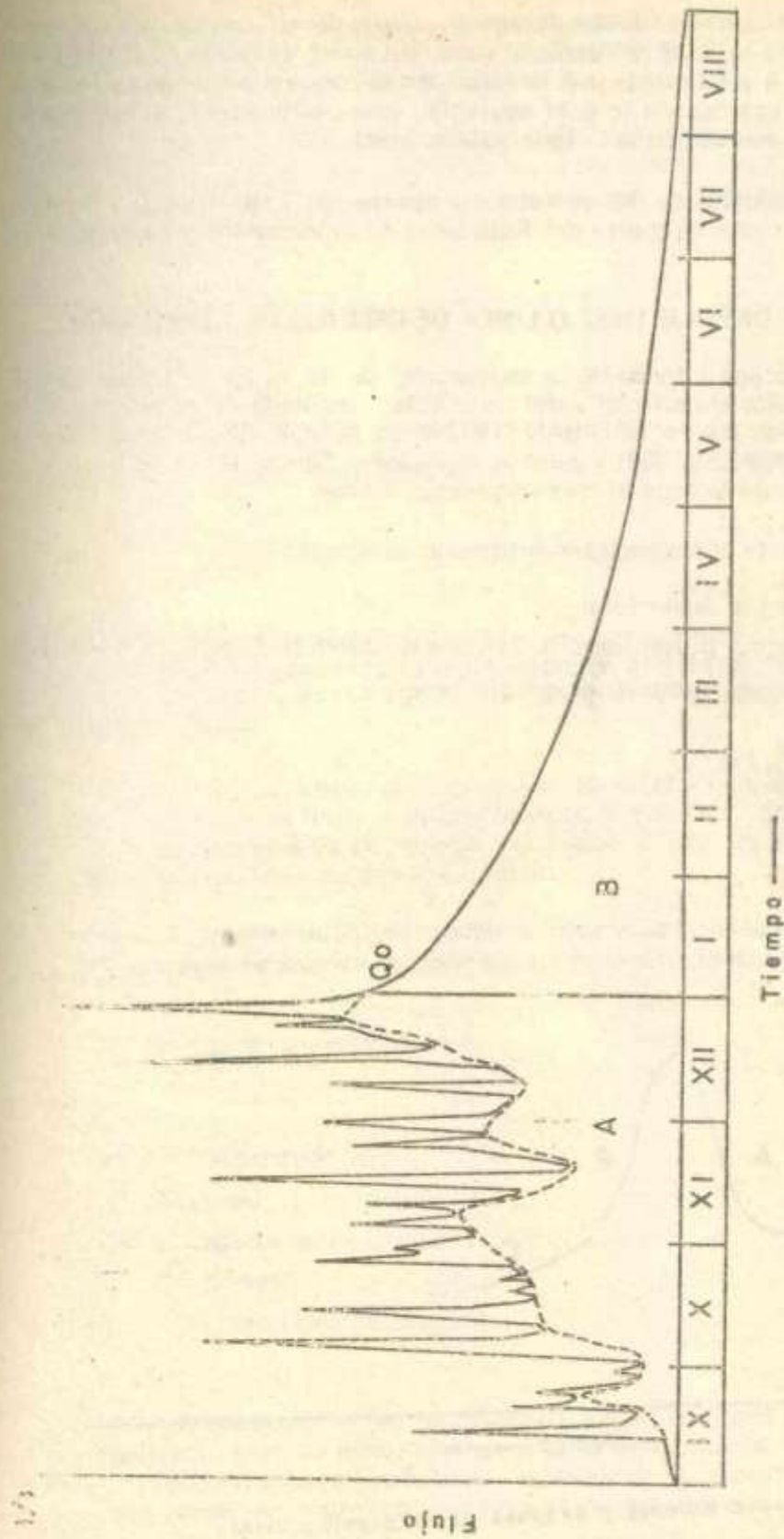


FIG. 5 : Esquema de una curva de flujo para un arroyo en la zona de estudio en el año hidrológico

principios de septiembre o finales de agosto, teniendo en cuenta que los arroyos se secan hacia el final del período seco, entonces la suma de los segmentos de superficie A y B representan la totalidad del agua almacenada y factible de utilización en esa cuenca lo cual equivale aproximadamente a la percolación (formación y renovación del agua subterránea).

Para hallar este volumen se deben tratar por aparte los segmentos A y B, separando matemáticamente el aporte del flujo base de la escorrentía superficial.

### LA LINEA DE DRENAJE LIBRE O LINEA DE DRENAJE EN TIEMPO SECO

WEYER (1972), se ocupa a fondo de la separación de la escorrentía superficial, del flujo hipodérmico (interflow) y del flujo base, teniendo en cuenta estudios anteriores como son los de: SHERMAN (1932 a, b), CHOW (1964), LAUTERBACH y GLOS (1966), BARNES (1939) y muchos otros más. Según él, si se analiza un evento pluvial se podrán separar tres segmentos a saber:

Una parte compuesta predominantemente por

- a) Escorrentía superficial
- b) Escorrentía proveniente de la capa de suelo (hipodérmica o interflow)
- c) Escorrentía subterránea o flujo base.

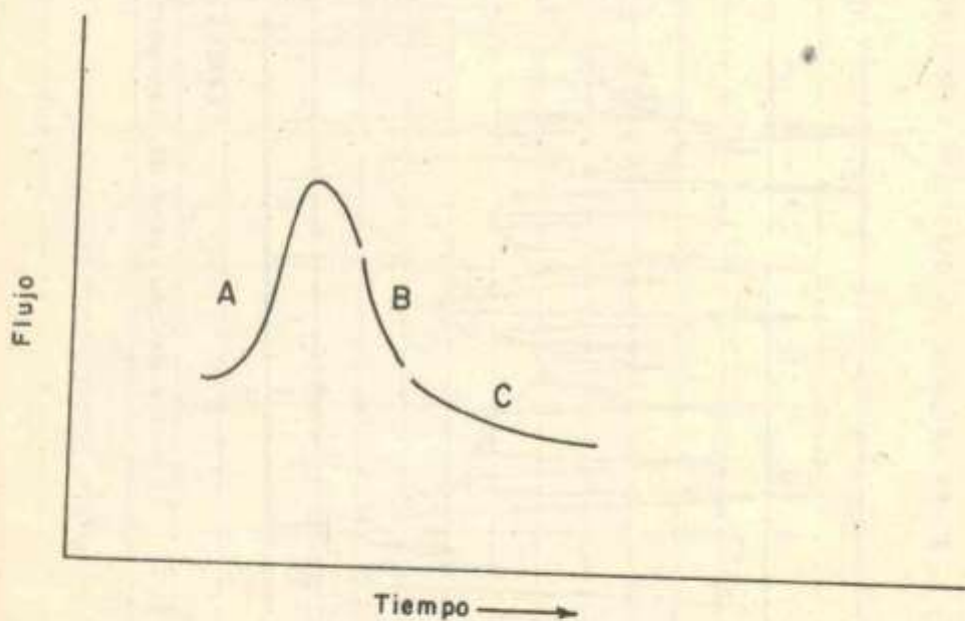


Fig. 6: Flujo durante y después de un evento pluvial



La separación de estos segmentos se puede llevar a cabo a partir del tercero de ellos, que representa la curva del flujo en tiempo seco y que bien se puede denominar curva de drenaje libre de un acuífero.

Según varios autores como BOUSINESQ (1903), HORTON (1902 - 1933), MAILLET (1904), a principios del siglo, se tenía en claro que el drenaje libre de un acuífero, es decir, el segmento C de la curva, puede ser expresado matemáticamente por la función exponencial.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$$

donde

$Q_0$  = Flujo en el tiempo  $t = t_0 = 0$

$Q_t$  = Flujo en el tiempo  $t$

$t$  = Tiempo

$\alpha$  = Coeficiente de drenaje

Representada esta ecuación gráficamente  $\alpha$  corresponde a la pendiente de la curva. En escala bilogarítmica la representación gráfica de esta ecuación corresponde (KARREMBERG & WEYER 1970) a la "Base flow recession curve" de las publicaciones inglesas.

Desde el punto de vista hidrogeológico  $Q_0$  caracteriza la dimensión del cuerpo de roca que produce el flujo, e indirectamente el volumen de vacíos de la roca cuando se delimita el área de recarga. El factor  $\alpha$  por su parte caracteriza las condiciones hidráulicas de drenaje interno.

Si se delimita la dimensión del cuerpo de roca y se emplea el aporte de flujo por  $\text{Km}^2$  entonces se emplea la ecuación de la siguiente manera:

$$q_t = q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$$

donde

$q_0$  = aporte por  $\text{Km}^2$

en el tiempo  $t = t_0 = 0$

$q_t$  = aporte en el tiempo  $t$

$t$  = tiempo

$\alpha$  = coeficiente de drenaje

Esta función exponencial no es representativa para regiones de formación geológica complicada, pero en pequeñas cuencas de composición litológica homogénea, es decir, con condiciones hidráulicas, uniformes, el drenaje libre de un acuífero o cuenca puede ser expresado por la función exponencial arriba descrita.

## CALCULO TEORICO DE RESERVAS

Para hallar el volumen de agua que sale libremente del acuífero a partir de  $Q_0$  y que está representado por el área B de la figura 5, debemos integrar esta para un tiempo determinado (WEYER (1972):

$$M = q_0 \cdot \int_{t=0}^{t_1} e^{-\alpha t} \delta t$$

$$M = \frac{Q_0}{\alpha} (-1/\alpha) \left[ e^{-\alpha t} \right]_0^{t_1}$$

$$M = \frac{Q_0}{\alpha} \cdot (e^{-\alpha t_1} - 1)$$

$$M = \frac{Q_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t_1})$$

Esta ecuación nos muestra cuanto agua fluye en el intervalo de  $t_0$  a  $t_1$ . Si se toma  $t_1$  lo suficientemente grande se puede aproximar a infinito y la ecuación se simplifica a:

$$M = \frac{Q_0}{\alpha}$$

En nuestro caso esta ecuación nos dá el total de agua que puede fluir hacia el colector.

## CALCULO TEORICO DE LA INFILTRACION TOTAL

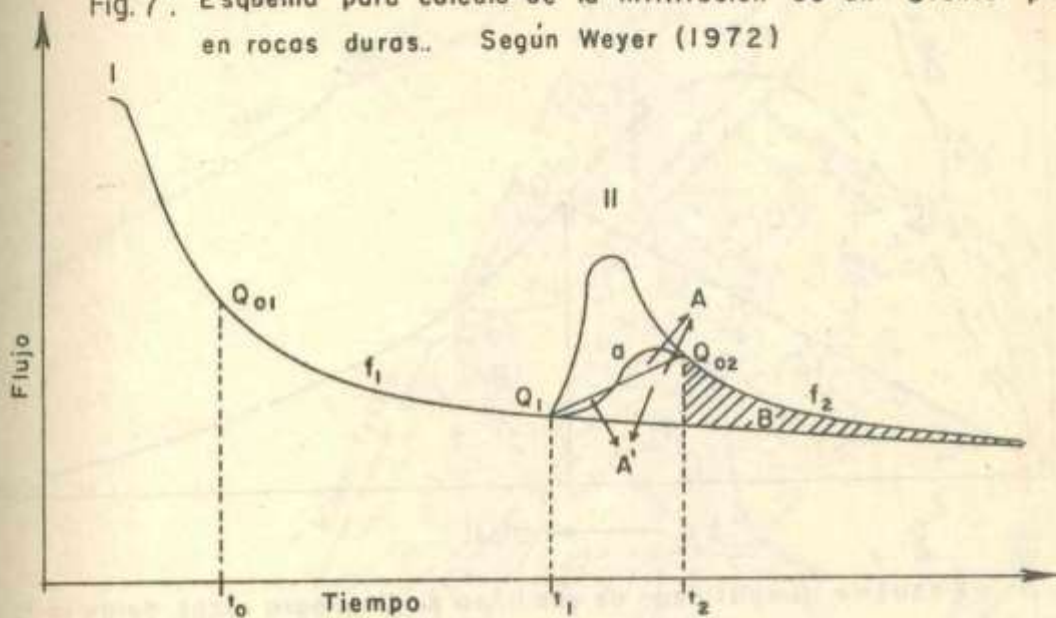
La mayor dificultad, debido a la carencia de datos, consiste en calcular el monto de la renovación y formación del agua subterránea en la cuenca durante el período de lluvias, parámetro representado por la integral de la superficie A de la Figura 2. Una aproximación desarrollada a partir de la curva de flujo de un evento pluvial puede facilitar su cálculo.

Si consideramos esquemáticamente la forma en que se refleja un evento pluvial en la curva de flujo, obtendremos de acuerdo al sistema de NATERMANN (1950) una curva modelo como la que muestra la Figura 7, desarrollada por WEYER (1972) para eventos pluviales aislados, durante el verano, en rocas duras

En el modelo propuesto por WEYER la infiltración o renovación del agua subterránea está representada por la suma de las superficies A y B siendo el aumento entre los puntos  $Q_1$  y  $Q_0$  delimitado por la curva auxiliar entre ellos. Como se dificultaba el cálculo de la superficie A se trazó la línea recta  $Q_1 - Q_0$  y se aproximó el área A al área  $A^1$  llegando a la conclusión de que el error



Fig.7: Esquema para cálculo de la infiltración de un evento pluvial en rocas duras. Según Weyer (1972)



debido a esta aproximación sería muy pequeño en relación con el volumen total. Este modelo generalizado se puede aplicar al caso de la Guajira, ya no para un único evento pluvial, sino para la época de lluvias. Partiendo de la extrapolación lograda con la curva de drenaje libre, se encuentra el punto  $Q_0$ , o sea, el momento en que la reserva de agua subterránea es máxima, es decir, aquel en que el aporte de flujo base al colector es mayor. Por otra parte al ser nulo el flujo superficial del arroyo hacia el final del período seco tendremos que el punto de partida al comienzo del período lluvioso es cero.

La aplicación generalizada del modelo de WEYER podrá entonces realizarse como en la Figura 8 y tendríamos los elementos para hallar en una aproximación, el volumen de agua que percola en la roca durante un año hidrológico.

Este sería como se indicó anteriormente:

$$VM = A + B$$

$$A = \frac{q_0 \cdot t_r}{2} \quad ; \quad t_r = \text{tiempo del período lluvioso}$$

$$B = \frac{q_0}{a} \quad ; \quad q_0 = \text{Aporte por Km}^2 \text{ 2 días después de la última lluvia.}$$

$$VM = \frac{t_r \cdot q_0}{2} + \frac{q_0}{a}$$

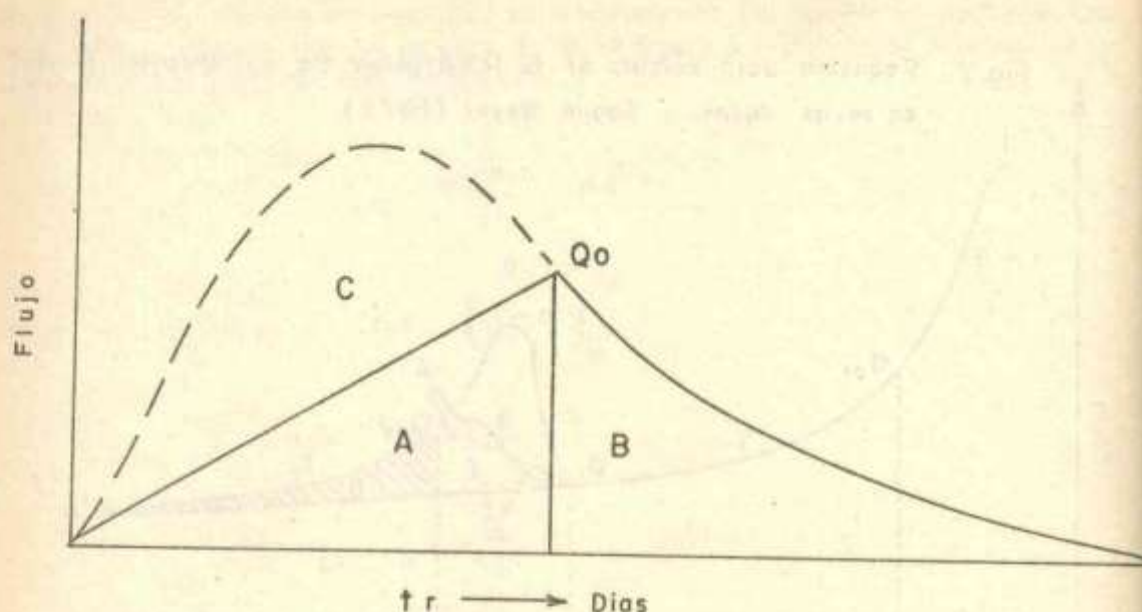


Fig. 8 : Esquema simplificado de una línea de flujo para rocas duras en la Gu

$A + B + C =$  Escorrentia total en un año

$C =$  Flujo superficial

$A =$  Flujo base durante el periodo de lluvias

$B =$  Flujo base durante el periodo seco

El punto  $q_0$  se toma dos días después de la última lluvia ya que experimentalmente se ha llegado a la conclusión de que en las cuencas pequeñas en condiciones normales el flujo hipodérmico habrá cesado en ese tiempo más aún teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la región

A partir de la ecuación anterior, es decir con los parámetros  $q_0$  y  $t_r$  podemos hallar el volumen de renovación del agua subterránea

Para tal efecto se delimitaron en el área de estudio cuencas pequeñas, algunas de litología uniforme que permitieron sacar valores aproximados de aporte  $qt_1$ ,  $qt_2$ ,  $qt_3$  por unidad de superficie, Figura 9 Además, se analizaron los eventos lluviosos, teniendo así el tiempo transcurrido y se llevaron a cabo medidas de caudal en el periodo seco.

Para la obtención del factor  $\alpha$ , o sea, la pendiente de la curva se procedió gráficamente ploteando en escala semilogarítmica las medidas de caudal contra el tiempo transcurrido. El resultado es una recta que tiene la pendiente  $\alpha$ . Al prolongar esa recta en ambos sentidos se obtiene el valor teórico de los aportes por  $Km^2$  para cada punto entre  $q_0$  y  $qt$ , a partir de los cuales se puede construir la curva completa de drenaje libre del acuífero.

Este proceso en principio se puede realizar para la región con 2 ó 3 puntos, o



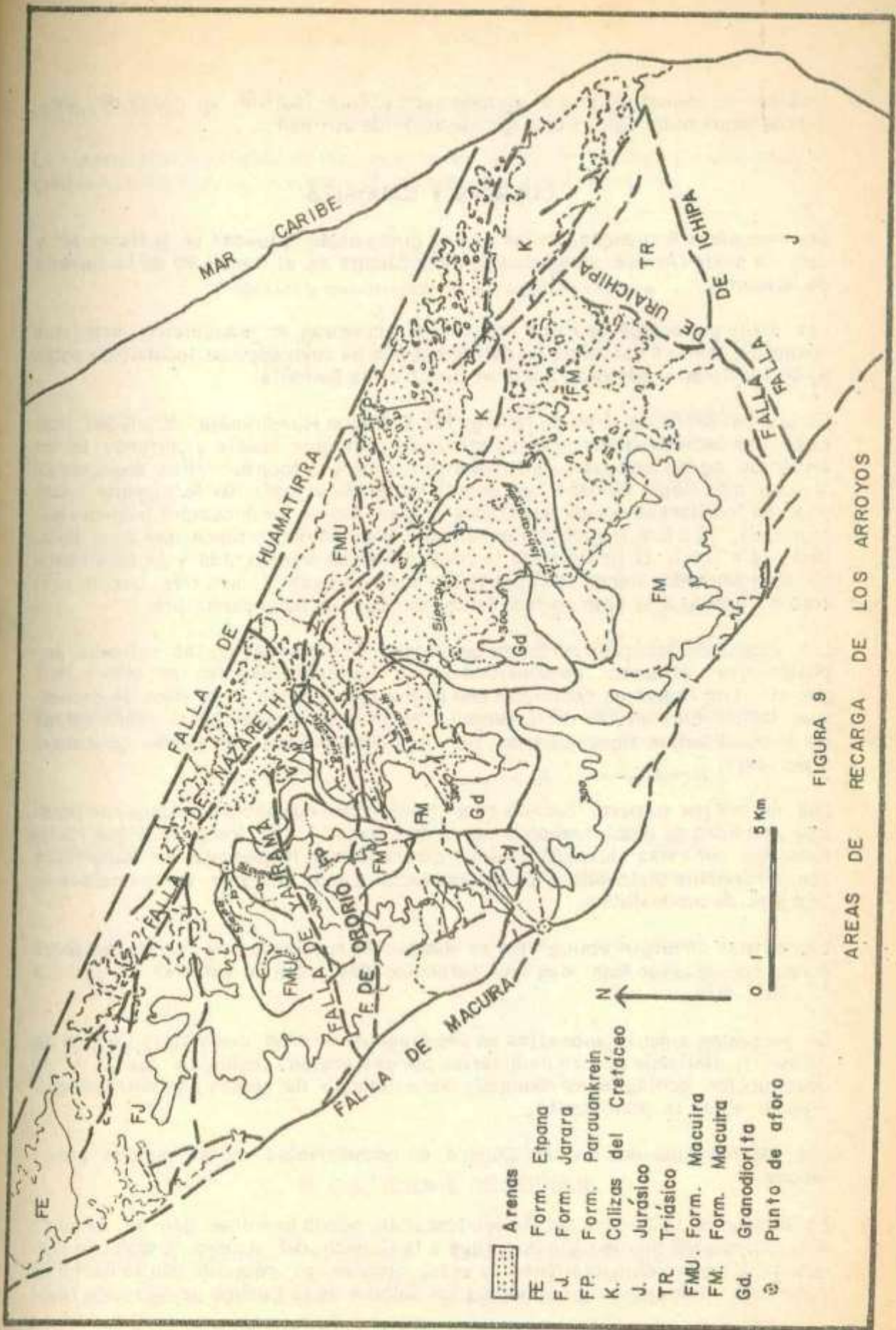


FIGURA 9  
AREAS DE RECARGA DE LOS ARROYOS



medidas de caudal durante el período seco y debe facilitar en casos de carencia de datos hidrológicos una aproximación de utilidad.

## CUENCAS Y CAUDALES

Se escogieron 6 cuencas, de las cuales cinco están situadas en el flanco NE y sólo la sexta (Arroyo Huajarimaja) se encuentra en el flanco SW de la Serranía de Macuira.

Las áreas de recarga de estos arroyos se encuentran en granodiorita, esquistos micáceos, neises cubiertos en partes por arenas cuyo espesor localmente sobrepasa los 10 m. y adelgaza hacia el flanco de la Serranía.

Excepción hecha del área de recarga No. 6 Arroyo Huajarimaja, se pueden describir las otras áreas como de composición geológica simple y uniforme. En los trayectos de los arroyos en granodiorita los arroyos forman valles angostos en V, con morfología aledaña ligeramente empinada y formando localmente escarpes. En los flancos menos empinados la granodiorita se encuentra bastante meteorizada, (0 a 6 m.) mientras en taludes empinados se forma una zona dislocada (4 a 7 m.) El límite entre la zona dislocada meteorizada y la roca fresca es bien marcado, siendo la cubierta bastante permeable, mientras que la roca fresca, debido a su bajo cerrado fracturamiento, es poco permeable.

Los esquistos micáceos muestran un sistema de diaclasas cortas, rellenas, perpendiculares al rumbo. La densidad de las diaclasas mayores es menor de 1 por m<sup>2</sup>. Los esquistos conforman una morfología abrupta y en ellos se encuentran las mayores alturas de la Serranía, están meteorizadas hasta varios metros de profundidad en algunas partes, pero su permeabilidad se puede considerar como baja.

Los neises por su parte, cuando están frescos son compactos y aunque muestran una densidad de diaclasamiento menor de 1 por m<sup>2</sup>, con frecuencia los vacíos formados por estas alcanzan a varios centímetros y localmente se encuentran zonas bastante dislocadas. La meteorización puede alcanzar en los neises de 0 a 5 m. de profundidad.

Las arenas de origen eólico que se encuentran cubriendo en parte las rocas duras son de grano fino, muy bien seleccionadas y con un valor  $K_f = 1 \cdot 10^{-4}$  a  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Se presentan algunas anomalías en las áreas de recarga, como en la Cuenca del Arroyo Huajarimaja que se caracteriza por una acción tectónica fuerte y su construcción geológica es dominada por un bloque de neises bastante resquebrajado sobre la granodiorita.

Los valores obtenidos de esta Cuenca, en consecuencia, no se pueden generalizar.

En el caso de la Cuenca del Arroyo Nazareth, puede preverse que su afluente del extremo NW pierde agua que fluye a la Cuenca del Arroyo Ruaruhu, o sea, que la delimitación subterránea de estas cuencas no coincide con la hecha en superficie. Por esta razón aparecen los valores de la Cuenca de Nazareth bajos



mientras que los de la Cuenca del Ruaruhu son bastante altos.

La composición litológica de las respectivas áreas de recarga y los aportes logrados en cada tipo de roca por Km<sup>2</sup> se presentan a continuación:

**TABLA 1**  
**Extensión y composición de las áreas de recarga**

ARROYO	PUNTO DE AFORO	AREA DE RECARGA Km <sup>2</sup>	COMPOSICION LITOLOGICA
1 Ishuararuhu	a	6,1 Km <sup>2</sup>	4 Km <sup>2</sup> granodiorita 2,1 Km <sup>2</sup> esquistos
	b	15,8 Km <sup>2</sup>	4,2 Km <sup>2</sup> granodiorita
2 Sipanau	a	4,5 Km <sup>2</sup>	Granodiorita
	b	11,5 Km <sup>2</sup>	9 Km <sup>2</sup> granodiorita
	c	18,5 Km <sup>2</sup>	10,3 Km <sup>2</sup> granodiorita 8,2 Km <sup>2</sup> arenas
3 Nazareth	a	22 Km <sup>2</sup>	11,5 Km <sup>2</sup> granodiorita 5,5 Km <sup>2</sup> esquistos 5 Km <sup>2</sup> arenas
4 Ruaruhu	a	6 Km <sup>2</sup>	3,3 Km <sup>2</sup> arenas 2,7 Km <sup>2</sup> esquistos filitas
5 Siapa	a	16 Km <sup>2</sup>	8 km <sup>2</sup> Neis 8 Km <sup>2</sup> esquistos filitas
6 Huarimaha	a	5,5 Km <sup>2</sup>	4 Km <sup>2</sup> granodiorita 1,5 Km <sup>2</sup> Neis

### EL COEFICIENTE DE DRENAJE

Para obtener el coeficiente de drenaje  $\alpha$  se representaron gráficamente los valores  $q_1$ ,  $q_2$  y  $q_3$  en escala semilogarítmica en la coordenada mientras que en la abscisa se señalan los días, como se puede ver en la Figura 10.

Arroyo	Ishuararuku		Sipano		Nazareth		Ruoruhu		Slopo		Hua
		Días des- pues de la lluvia		Días des- pues de la lluvia		Días des- pues de la lluvia		Días des- pues de la lluvia		Días des- pues de la lluvia	
Q1 l/s 26.II.72	2,0	57	a) 0,8 b) 5,5	57	14	15					
Q2 l/s 17.V.72	a) 1,0 b) 6,0	134	a) 0,3 b) 4 c) 12	134	10	63	12	63	a) 7,5 b) 2,5	63	6,0
Q3 l/s 21.VI.72					7	98	10,5	98	a) 4,5 b) 1,5	98	5,0
Area de recar- go Km <sup>2</sup>	a) 6,1 b) 15,8		a) 4,5 b) 11,5 c) 18,5		22		6		a) 16 b) 8		6
q1 l/s.Km <sup>2</sup>	0,32		a) 0,18 b) 0,47		0,63						
q2 l/s.Km <sup>2</sup>	a) 0,16 b) 0,31		a) 0,07 b) 0,35 c) 0,5		0,45		2,0		a) 0,46 b) 0,3		1,
q3 l/s.Km					0,31		1,75		a) 0,28 b) 0,18		0

Tabla Nº 2 MEDIDAS DE CAUDAL Y APORTES ESPECIFICOS



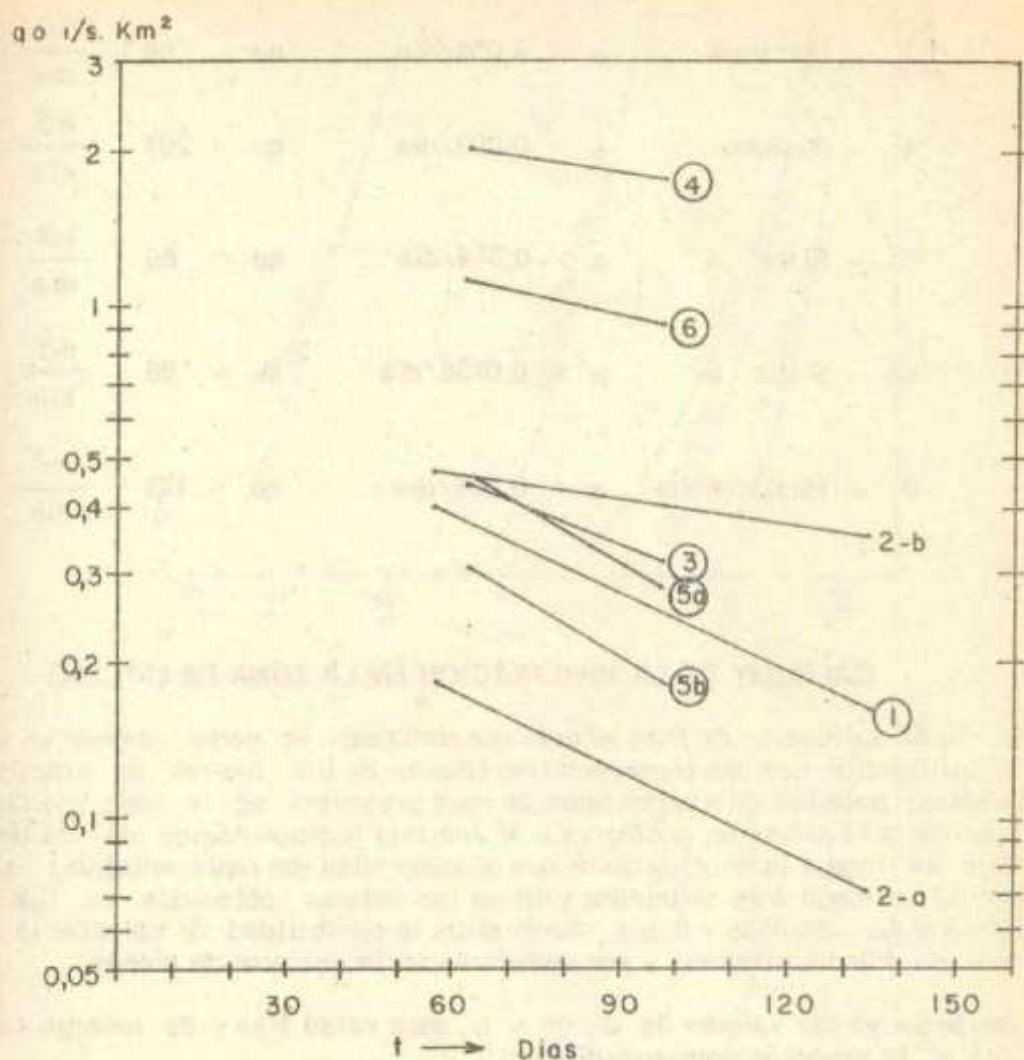


Fig. 10: Representación semilogarítmica de caudales

Si representamos la curva de drenaje libre a partir de los puntos obtenidos en la Figura 10, tendremos la siguiente situación: (Ver Figura 11).

Los valores obtenidos para  $\alpha$  y  $q_0$  son:

$$1 \text{ -- Ishuararuhu} \quad \alpha = 0.012/\text{día} \quad q_0 = 47,5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ Km}^2$$

$$2a \text{ -- Sipanau a} \quad \alpha = 0.0123/\text{día} \quad q_0 = 31,1 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ Km}^2$$

$$2b \text{ -- Sipanau b} \quad \alpha = 0.004/\text{día} \quad q_0 = 51,8 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ Km}^2$$

3	- Nazareth	$\alpha = 0.009/\text{día}$	$q_0 = 69,1$	$\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$	$\text{Km}^2$
4	- Ruaruhu	$\alpha = 0.003/\text{día}$	$q_0 = 207$	$\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$	$\text{Km}^2$
5a	- Siapa a	$\alpha = 0,014/\text{día}$	$q_0 = 65$	$\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$	$\text{Km}^2$
5b	- Siapa b	$\alpha = 0,0135/\text{día}$	$q_0 = 95$	$\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$	$\text{Km}^2$
6	- Huajarimaha	$\alpha = 0,006/\text{día}$	$q_0 = 121$	$\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$	$\text{Km}^2$

### CALCULO DE LA INFILTRACION EN LA ZONA DE ESTUDIO

El fin de aplicación de este método generalizado es poder obtener un valor de la infiltración que sea representativo (dentro de los límites de exactitud propuestos) para los diferentes tipos de roca presentes en la zona estudiada. De acuerdo a la situación geológica y al análisis hidrogeológico de las líneas de flujo se llega a la conclusión de que no todas ellas son representativas, sino que por el contrario solo se pueden utilizar los valores obtenidos en los arroyos Ishuararuhu, Sipanau y Siapa, dando ellos la posibilidad de calcular la infiltración en granodiorita,neis y por deducción en la cubierta de arenas.

Teniendo ya los valores de  $\alpha$ ,  $q_0$  y  $t_r$  para estas áreas de recarga se puede aplicar la ecuación correspondiente:

$$A_u = A + B$$

$$A_u = \frac{t_r \cdot q_0}{2} + \frac{q_0}{\alpha}$$

a) Para granodiorita en el área de recarga Sipanau a:

$$A_u = 31,1 \text{ m}^3 \cdot \text{Km}^2 \cdot 120 \text{ días} + \frac{31,1 \text{ (m}^3/\text{día}) \cdot \text{Km}^2}{0.0123 \text{ día}}$$

$$A_u = 4394 \text{ m}^3 \cdot \text{Km}^2 = 4,4 \text{ mm} \cdot$$

Poniendo como base una pluviosidad calculada de 310 mm/año.

$$A_u = 1,5\% \text{ de } P \quad P = \text{Pluviosidad}$$



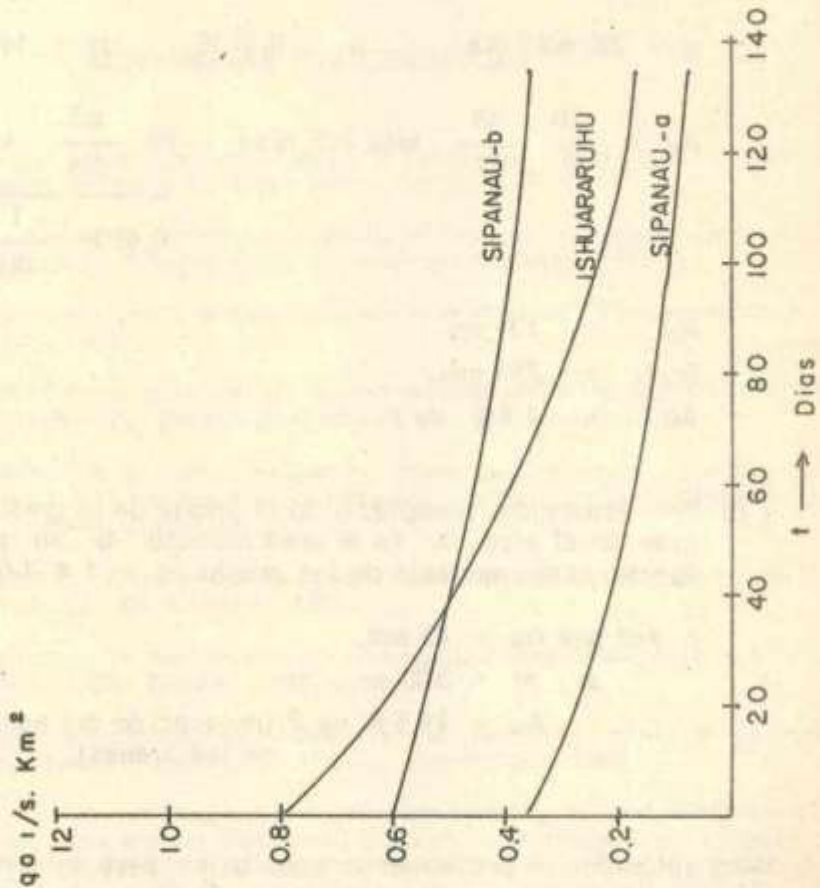
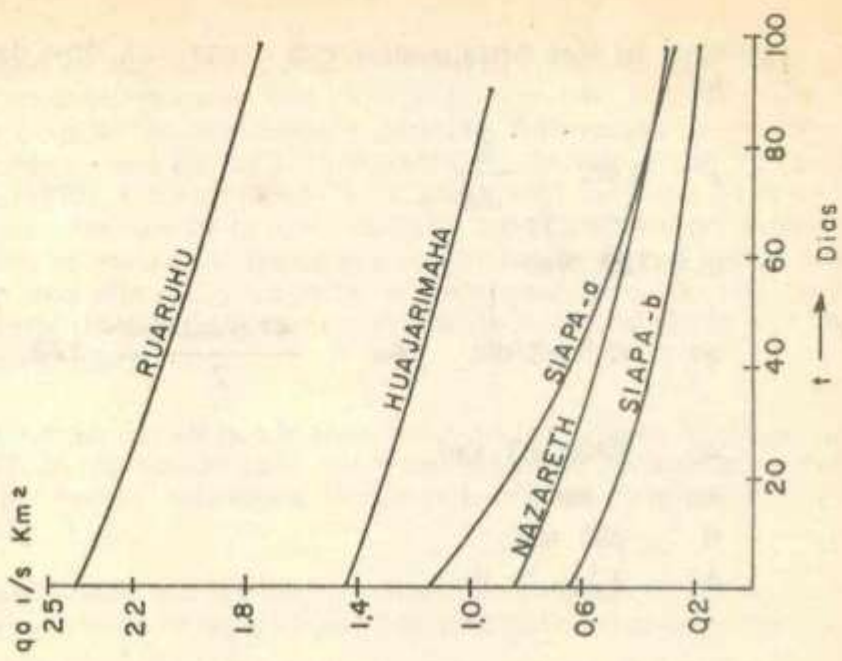


Fig.11: Curvas de drenaje de los arroyos estudiados durante el tiempo seco

- b) Para un área mixta granodiorita - esquistos, área de recarga Ishuaru - hu a:

$$\alpha = 0,012 \cdot \frac{1}{\text{día}}$$

$$tr = 120 \text{ días}$$

$$q_0 = 47,5 \text{ m}^3/\text{día} \quad Au = \frac{47,5 \text{ m}^3/\text{día}}{2} \cdot 120 + \frac{47,5}{0,012}$$

$$Au = 6808 \text{ m}^3 \text{ Km}^2,$$

$$Au = 7 \text{ mm},$$

$$N = 330 \text{ mm},$$

$$Au = 2,1\% \text{ de P.}$$

- c) Para un área de neis - esquistos, área de recarga Siapa a y b:

$$q = 78 \text{ m}^3/\text{día} \quad \alpha = 0,0135 \quad tr = 165 \text{ días}$$

$$Au = \frac{78}{2} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ kms } 165 \text{ días} + \frac{78 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ km}^2}{0,0135 \cdot \frac{1}{\text{día}}}$$

$$Au = 13 \text{ mm}.$$

$$Si N = 293 \text{ mm}.$$

$$Au = 4,4\% \text{ de P.}$$

- d) Por deducción, reemplazando el aporte de la granodiorita por km. obtenida en el área -a- en el área Sipanau -b- se puede encontrar un aporte casi constante de las arenas  $q = 1,4 \text{ l/s. km}^2$ .

$$\text{o sea que } Au = 43 \text{ mm}.$$

$$\text{si } N = 300 \text{ mm}.$$

$$Au = 14,5\% \text{ de P. (renovación del agua subterránea en las arenas).}$$

Los datos obtenidos se presentan un poco bajos, pero primero que todo hay que tener en cuenta de que son datos mínimos. En segundo lugar se debe tener en cuenta que la granodiorita posee capacidad de almacenamiento en los metros más superficiales donde se encuentra meteorizada y dislocada. Esta situación es aplicable a los nieves y esquistos aunque ellos presentan una infiltración mayor.



En las arenas aunque en un principio debería infiltrarse toda el agua lluvia sólo alcanza a un 15% aproximadamente. Este valor si bien es bajo se puede justificar por la alta evapotranspiración, aún después de haber infiltración en la parte superior. Algunos autores como EINSELE (1970), MANDEL YARON *et al.* (1973), BOZORGZAD-ARBAT, (1970), KOONIN (1958), ERICSON (1958) y otros se ocupan de la evapotranspiración después de la infiltración en zonas áridas y del movimiento del agua en terrenos no saturados, llegando a la conclusión de que la evapotranspiración puede ser muy alta. Por otra parte la evapotranspiración total de las lluvias de menor intensidad que la evapotranspiración potencial diaria alcanza el 20% de la pluviosidad anual.

Además se debe tener en cuenta que la intensidad de las lluvias juega un papel importante. El 80% de las lluvias caen con intensidades altas siendo valores de 60 hasta 100 mm. por evento, corrientes, lo que indudablemente propicia la escorrentía superficial.

En resumen, se puede decir que los valores obtenidos parecen estar de acuerdo con la realidad climática de la región y que son justificables como valores mínimos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BOZORGZAD-ARBAT, D. :- Versickerungsvorgänge in Lysimetern und in "Inseln" aus oberem Buntsandstein im Saarland. Diss. Univ. Tübingen, 1970.
- CHERNYSHEW, S. N. :- Estimation of the permeability of the jointy rocks in massif. Dt. geol. Ges. Percol. through fissured rocks proceedings, Stuttgart, 1972.
- ERIKSON, E. :- The chemical climate and saline soils in arid zones. Cpte-rendu de recherches, UNESCO, Paris, 1958.
- HINE, T. G. :- Relation of fracture traces, joints and ground water occurrence in the area of the Bryanville Quadrangle, Central Kentucky. Kent. Geol. Surv., 1970.
- KARREBERG, H. u. WEYER, K. U. :- Beziehungen zwischen geologischen Verhältnissen und Trockenwetterabfluß in kleinen Einzugsgebieten des Rheinischen Schiefer gebirges. Z. dt. geol. Ges., S: 27-41, Hannover, 1970.
- KNOBLICH, K. u. ORTIZ F. :- Wasserversorgungsprobleme auf der Guajira - Halbinsel. Wasser u. Boden 4, S: 83 - 85, Hamburg, 1975.
- KOONIN, V. V. :- Conditions in the formation of underground waters in desert. Intern. Ass. of Scient. Hydrology, IUGG, Toronto, 1958.
- NARBE, S. :- The discharge recession as criterion on the retention capacity of basins. Intern. Ass. of Sci. Hydrol. Publ. 76, S: 162-167, Gentbrugge, 1968.
- NATERMANN, R. :- Die Linie des langjährigen Grundwassers ( $A_{U L}$ ) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). Die Wasser wirtschaft, Sonderh. Vorträge der gewasserkdl. Tagung Sept. 1950 München, 12-14, München, 1951.
- ORTIZ, F. :- Abastecimiento de Agua para la región de Bahía Honda. INGEOMINAS, Inf. 1600 Bogotá, 1971.
- y ALVAREZ, A. :- Posibilidades para el abastecimiento en agua dulce de Puerto López. INGEOMINAS, Inf. 1628, Bogotá, 1972.

POLUVARINOVA - KOCHINA, P. YA. -Theorie of groundwater Movement. Princeton Univ. Press, 1962.

SCHOELLER, H. -Arid zone hydrology recent developments. UNESCO, Paris, 1959.

L'interpretation des analyses chimiques des eaux salées. Proceeding of the Teheran Symposium. UNESCO, 1961.

Les eaux souterraines, hydrologie dynamique, recherche, exploration et evaluation des ressources. Masson & Cie, Paris, 1962.

SHARP, J. u MAINI, Y. N. T. -Fundamentals considerations on the hydraulic characteristics of joints in rocks. Dt. geol. Ges. Percol through fissured rocks proceedings. Stuttgart, 1972.

TISON, I. J. -Hydrologie et salinité des saux souterraines. "Salinity Problems in the arid zones". Proceeding of the Teheran Symposium. UNESCO, 1961.

UDLUFT, P. -Bestimmung des entwasserbaren Kluftraumes mit Hilfe des Austrocknungskoeffizienten nach Maillet, dargestellt am Einzugsgebiet der Lohr (Nord-Spessart). Z. dt. Geol. Ges. Bd. 123. S. 53-63. Hannover, 1972.

WEYER, K. U. -Ermittlung der Grundwassermenge in den Festge steinen der Mittelgebirge aus Messungen des Trockenwetterabfludes. Geol. Jahrb., Reihe C. H. 3, Hannover, 1972.

*(Originales recibidos en noviembre de 1977)*