

SITUACION AMBIENTAL DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

A. Recursos y rasgos naturales en la evaluación ambiental

**ESTIMACION DE ESCURRIMIENTOS SUBTERRANEOS
EN LA CUENCA DEL ARROYO AZUL (BUENOS AIRES)**

**EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS PROCESOS FLUVIALES
EN LA REGION CENTRO ORIENTAL
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

Eduardo Kruse *

*CONICET – Universidad Nacional de La Plata

AÑO II – Nro. 15 – 1992

Coordinación: Dres. Hugo L. López y Eduardo P. Tonni



provincia de buenos aires
comisión de
investigaciones científicas
calle 526 entre 10 y 11-1900 La Plata
teléfonos 43795-217374-49581

RESUMEN

En función de las características generales del medio físico (hidrogeología, morfología, clima, red de drenaje) de la cuenca superior del arroyo del Azul, se puede establecer la trascendencia de la infiltración regional para la definición de las peculiaridades del ciclo hidrológico.

Un primer análisis de los datos meteorológicos y fluviométricos permite la estimación de una parte de dicha infiltración, que se manifiesta como caudal básico del curso, producto del escurrimiento subterráneo local; a partir de ella deducir el escurrimiento subterráneo regional.

INTRODUCCION

Los caracteres generales del medio físico en la cuenca superior del arroyo del Azul, permeabilidad de los sedimentos aflorantes, escaso desarrollo de la red de drenaje, clima con excesos de agua, bajas pendientes topográficas, permiten deducir que la infiltración regional cumple un rol de importancia en el ciclo hidrológico. Se utiliza el concepto de infiltración regional para expresar el volumen global de agua que alcanza el sistema subterráneo, considerándolo como representativo de grandes superficies y períodos de tiempo modulares, con ello se suprimen los problemas de anisotropías locales que pueden enmascarar el proceso regional cuando se extrapola información puntual.

La información antecedente en las vertientes periserranas de Tandilia, permite una primera valoración, pudiéndose generalizar que el escurrimiento fluvial, en términos modulares, representa valores pequeños con respecto a la precipitación. En la zona interserrana (vertiente sur) Marchetti (1968) estima entre 3 y 7% de la precipitación. En la cuenca del arroyo Grande (vertiente norte) Sala et al (1977) establece un 4%. En el caso analizado en esta contribución se comprueba una situación similar para el arroyo Azul, donde representa aproximadamente el 4%.

En estos valores el escurrimiento fluvial incluye el escurrimiento superficial y el caudal básico, producto de la descarga del escurrimiento subterráneo local en los cursos.

La estimación del caudal básico contribuye a la cuantificación de una parte de la infiltración regional. La restante, que integra el escurrimiento subterráneo profundo, con un menor grado de verificabilidad se puede apreciar primariamente en forma indirecta a partir de la diferencia con las otras variables estimadas en el balance hidrológico.

La finalidad de esta comunicación es dar a conocer la estimación de los fenómenos citados y su importancia para definir las peculiaridades del ciclo hidrológico.

Se agradece especialmente la valiosa colaboración prestada por el personal del Departamento de Recursos Hídricos de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires, por facilitar la información fluviométrica del arroyo Azul.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA

El sector analizado corresponde a la cuenca superior del arroyo del Azul (Fig.1), situado en la vertiente noreste de las Sierras de Tandilia. Abarca un sector serrano y otro periserrano, alcanzando su mayor altura en el Cerro La Crespa con 379 m.s.n.m., extendiéndose hasta aproximadamente los 140 m.s.n.m.

Las sierras localizadas en cabeceras de la cuenca ocupan una superficie restringida y representan formas, relativamente pronunciadas, con pendientes del orden de 5%. Están integradas en general por rocas del basamento cristalino (edad precámbrica), que desde el punto de vista hidrogeológico conforman regionalmente rocas permeables por fisuración.

Un relieve de lomadas suaves domina el resto de la zona; son formas levemente inclinadas y con pendientes entre 0,5 y 2%. Las rocas del basamento cristalino se profundizan progresivamente (en Azul se encuentran a 120m bajo nivel del terreno), ubicándose por encima un complejo sedimentario permeable, por porosidad primaria, de edad cenozoica. Culmina con sedimentos arenosos-limosos de origen eólico, de buena permeabilidad, que pueden alcanzar a 3 ó 4m de espesor, a partir de los cuales evolucionan los suelos presentes.

En las partes inferiores del área, transicionalmente se pasa a formas llanas, con pendientes regionales menores del 0,2%, disminuyendo el espesor de los sedimentos de origen eólico, que no superan en general los 30 a 40 cm.

El clima actual de la región es templado húmedo (Cf) según la clasificación de Köppen, y subhúmedo-húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua, mesotermal, de acuerdo a la de Thornthwaite.

La precipitación modular anual de Azul es de 836mm (período 1901-70); presentando una distribución mensual relativamente uniforme, siendo marzo el mes más lluvioso (108mm) y agosto el de menor precipitación (40mm). La

temperatura media anual es de 14°C, con julio el mes más frío (7,2°C) y diciembre el más caluroso (21,6°C).

El diseño general de la red de drenaje es dendrítico, caracterizándose por su textura gruesa.

La suposición del carácter efluente del curso principal, a partir de la conjunción de las peculiaridades climáticas, hidrogeológicas y morfológicas, ha sido comprobada con los mapas isofreáticos y con la evolución hidroquímica en el recorrido del curso, de acuerdo a metodologías anteriormente empleadas en la provincia de Buenos Aires (Sala y Kruse, 1979).

BALANCE HIDROLOGICO

Se considera como unidad hidrológica de referencia para el balance hidrológico la cuenca superior del arroyo del Azul. Se ha fijado sus límites, de acuerdo al conocimiento actual, mediante la morfología de la superficie freática, que a su vez se corresponde con la topográfica.

En términos modulares se puede establecer:

$$Q = P - Evt \quad (1)$$

P: precipitación

Evt: evapotranspiración real

Q: escurrimiento total

$$Q = Ef + Ep \quad (2)$$

Ef: escurrimiento fluvial

Ep: escurrimiento subterráneo profundo

$$Ef = Es + Eb \quad (3)$$

Es: escurrimiento superficial

Eb: escurrimiento subterráneo local

(caudal básico)

Para el período 1901-70, los registros indican para la precipitación un valor modular de 836mm/año.

Como no se puede cuantificar la evapotranspiración, sino efectuar su estimación a partir de fórmulas empíricas, se han obtenido los siguientes resultados:

fórmula de Thornthwaite: 733 mm/año

fórmula de Coutagne : 583 mm/año

fórmula de Turc : 587 mm/año

El escurrimiento total, según la fórmula de evapotranspiración que se considere, representaría 103 mm/año, 253 mm/año y 249 mm/año respectivamente.

ESTIMACION DEL CAUDAL BASICO

a - Procedimientos

Para la estimación del caudal básico se utilizaron los caudales medios diarios del arroyo del Azul, proporcionados por el Departamento de Recursos Hídricos de la Dirección de Hidráulica (Provincia de Buenos Aires). Esta institución tiene implementada una estación de registros de caudales en las proximidades de la localidad de Azul, comprendiendo el área de drenaje hasta ese punto 1024 km^2 .

El análisis de los caudales medios diarios, que se consideran adecuados para el nivel de detalle buscado, abarcó el período 1963-80, pero debido a algunas interrupciones existentes en los registros se ha estudiado una serie de 13 años de información. Esta serie se considera aceptable para la calificación del problema planteado en forma general.

Dado que el objetivo perseguido era una estimación modular del caudal básico, se utilizó como procedimiento de separación a partir del caudal fluvial, aquél que si bien es subjetivo como la mayoría de los conocidos, resultaba más simplificado, de fácil aplicación y que posiblemente minimiza los aportes subterráneos.

Por el manifiesto carácter efluente del arroyo en el tramo considerado, y como consecuencia de la dinámica lenta, pero continua que caracteriza al escurrimiento subterráneo, una relativa uniformidad de caudales en estiaje es indefectiblemente producto de la descarga de las aguas subterráneas. Cuando tiene lugar una crecida, se produce en los hidrogramas una respuesta por el escurrimiento superficial. Para separar este flujo directo del subterráneo se establece una recta que une el punto de subida con el punto de la curva de agotamiento que vuelve a registrar caudales menores, relativamente uniformes. De esta forma los caudales inferiores a la recta resultan de la influencia de las aguas subterráneas al arroyo.

De la serie completa de datos y a los fines ilustrativos, se ha elegido como ejemplo el año 1965, que se muestra en la Fig.2.

A partir de la información diaria del caudal básico, se han calculado sus valores mensuales, módulos mensuales y anuales. Además se han relacionado estos valores con el caudal fluvial total y con los volúmenes precipitados.

b - Cuantificación

La descarga fluvial media del arroyo para el período considerado es de $1 \text{ m}^3/\text{seg}$, y a partir de la estimación realizada se deduce que el escurrimiento subterráneo local (caudal básico) aporta el 45% del caudal fluvial.

En el año 1965, que había sido seleccionado para ilustración (Fig.2) se verifica que el caudal fluvial anual está por debajo de los valores medios, siendo de $0,5 \text{ m}^3/\text{seg}$ y significa el caudal básico un 55% del mismo.

La distribución modular mensual del escurrimiento (Fig.3 a-) registra el mínimo en febrero y el máximo en setiembre. En la Fig. 3 b-) se muestra la relación porcentual entre la precipitación y el caudal básico y el fluvial.

El escurrimiento fluvial significa aproximadamente un 4% y el básico un 2% de la precipitación.

La distribución de las precipitaciones, tanto en sus términos anuales como mensuales no necesariamente rigen las variaciones del escurrimiento fluvial. Si se consideran los valores anuales se comprueba que los años más lluviosos no siempre coinciden con los que indican mayor escurrimiento fluvial, ni los menos lluviosos los de menores caudales.

De la comparación de los módulos mensuales de precipitación y escurrimiento fluvial surge que los meses de menores precipitaciones coinciden con los de mayores valores de escurrimiento y los más lluviosos con los de menores.

No se ha dilucidado a que se debe este hecho, pero puede estar comprendido en las siguientes posibilidades, menor evapotranspiración en los meses menos lluviosos, retardo de la infiltración de los meses más lluviosos, o por la combinación de ambos efectos.

Se plantea como hipótesis, el significado de la variación en la capacidad de almacenamiento subterráneo, como factor de control en la definición de estos fenómenos.

INFILTRACION REGIONAL

A partir de las fórmulas (2) y (3) se tiene:

$$Q = E_b + E_p + E_s \quad (4)$$

$$I_r = Q - E_s \quad (5) \quad I_r: \text{Infiltración regional}$$

$$I_r = E_b + E_p \quad (6)$$

De acuerdo a las estimaciones realizadas el escurrimiento superficial significaría 17mm/año (aproximadamente 2% de la precipitación).

La valoración de la Infiltración regional a partir de (5) resulta de 86 mm/año (Evt según Thornthwaite), 236 mm/año (Coutagne) y 232 mm/año (Turc).

Los análisis efectuados indican que el escurrimiento subterráneo local representaría 14mm/año (aproximadamente 2% de la precipitación).

Si se tiene presente la ecuación de la continuidad, a partir de (6) el escurrimiento subterráneo profundo sería de 72 mm/año si se aplica Thornthwaite en la apreciación de la evapotranspiración, valor que se incrementaría si llegan a ser válidas las otras dos estimaciones.

Para la aplicabilidad de las estimaciones de evapotranspiración, existen algunas pautas que se deben tener en cuenta. Las investigaciones realizadas en las proximidades de Mar del Plata (Sala et al., 1980), muestran que de acuerdo al funcionamiento del sistema hidrológico, los valores de evapotranspiración obtenidos mediante la aplicación de la fórmula de Thornthwaite son exagerados, consecuentemente la infiltración que se puede esperar es mayor que la que arroja el balance con esta fórmula. Por otra parte no se cuentan con verificaciones que permitan establecer el rango de validez de las de Turc y Coutagne y por lo tanto el de la infiltración regional que se deduce a partir de ellas.

Si se acepta lo mencionado y que se puede hacer la extrapolación, dadas las condiciones climáticas relativamente similares existentes entre la cuenca del arroyo del Azul y Mar del Plata, se estaría en condiciones de aproximar la infiltración regional. Según la fórmula de Thornthwaite daría el valor mínimo que se puede esperar. Por el contrario no es posible definir el máximo, aunque si se consideran las fórmulas de Coutagne y Turc se podría establecer un máximo probable.

Con las observaciones expuestas se puede fijar a la infiltración que alimenta el escurrimiento subterráneo profundo en un valor mínimo de 72 mm/año (9% de la precipitación) y un máximo de 222 y 218 mm/año, no pudiéndose descartar valores aún mayores.

Si se considera la hidrogeología regional, la morfología-fisiografía y la existencia de una extensa costa marina en el sector oriental de la Provincia de Buenos Aires, se puede concluir que los excedentes de agua del balance hidrológico, deben tener una salida del sistema por medio de un escurrimiento subterráneo profundo.

CONCLUSIONES

- La descarga del escurrimiento subterráneo local en el arroyo (caudal básico) representa en términos modulares un 45% del escurrimiento fluvial total.

- La infiltración regional, a pesar de las características anisotrópicas locales, resulta un valor significativo en la definición del ciclo hidrológico, que sería superior, en sus valores medios, a un 11% de la precipitación (escurrimiento subterráneo local 2%); mientras que el escurrimiento superficial sería de 2% de la precipitación.

- El estado de la capacidad de almacenamiento subterráneo sería un factor condicionante para el escurrimiento fluvial.

- El escurrimiento subterráneo profundo (valor modular 9% de la precipitación) podría representar uno de los modos depletivos naturales de importancia en los fenómenos de inundaciones.

- Los resultados obtenidos, aunque localizados, contribuyen cuantitativamente a sostener la tesis sustentada en la "Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires" (Sala, González y Kruse, 1983).

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

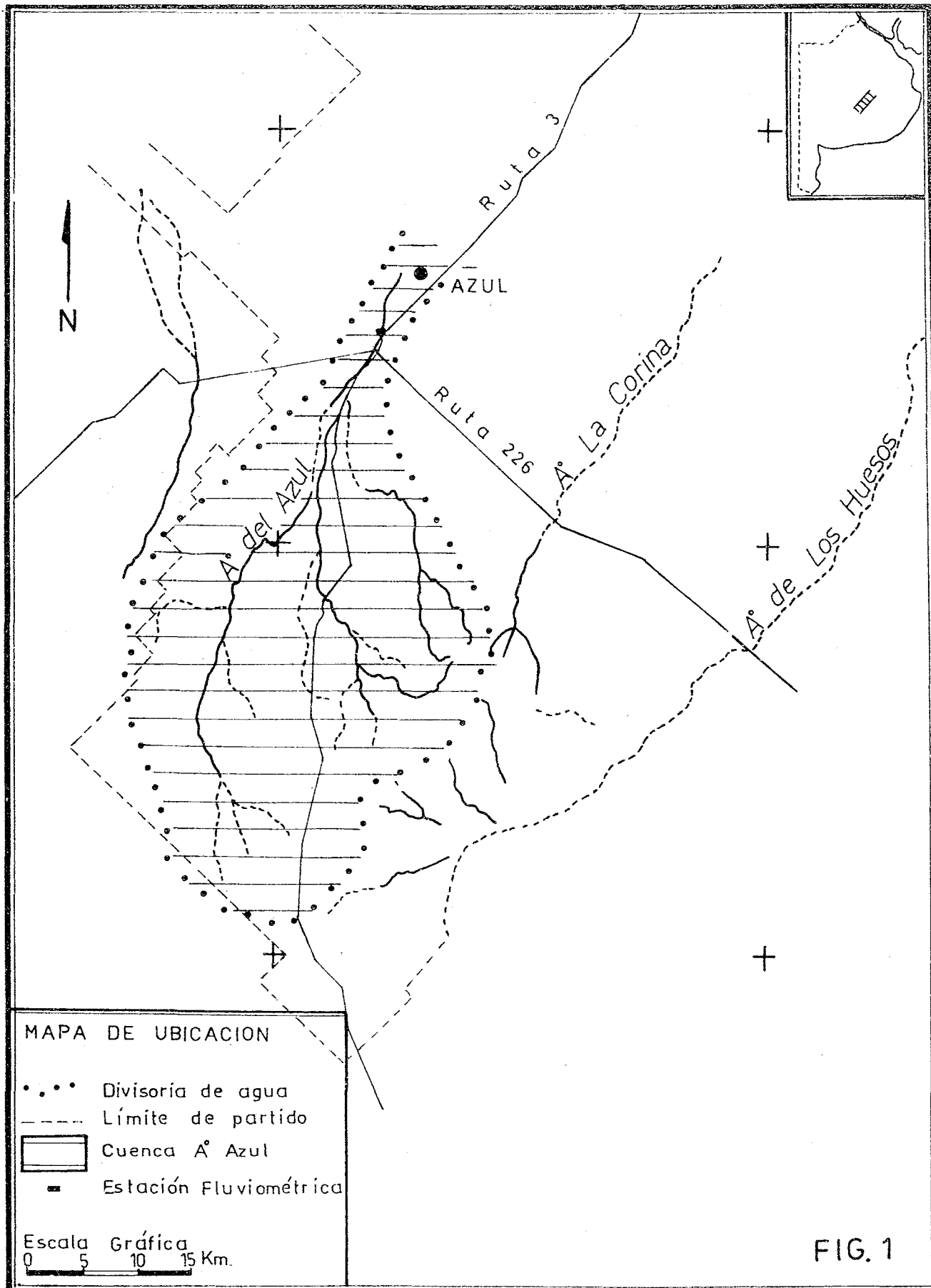
MARCHETTI, A. - 1968. "Estudios hidrológicos de la zona sud de la Prov. de Buenos Aires". Dir.Gen.de Geol. y Minería. Inédito. Carp.578. Bs.As.

SALA, J.M. et al - 1977. "Caracterización hidrológica preliminar del ambiente periserrano de Balcarce". Convenio Min.As.Agr.- Facultad de Cs. Nat. y Museo. Inf.Interno. La Plata.

SALA, J.M. y E.KRUSE - 1979. "Estimación de transmisividades regionales en base al balance hidroquímico de arroyos". IXº Congr. Nac. del Agua, II, 141-149. San Luis.

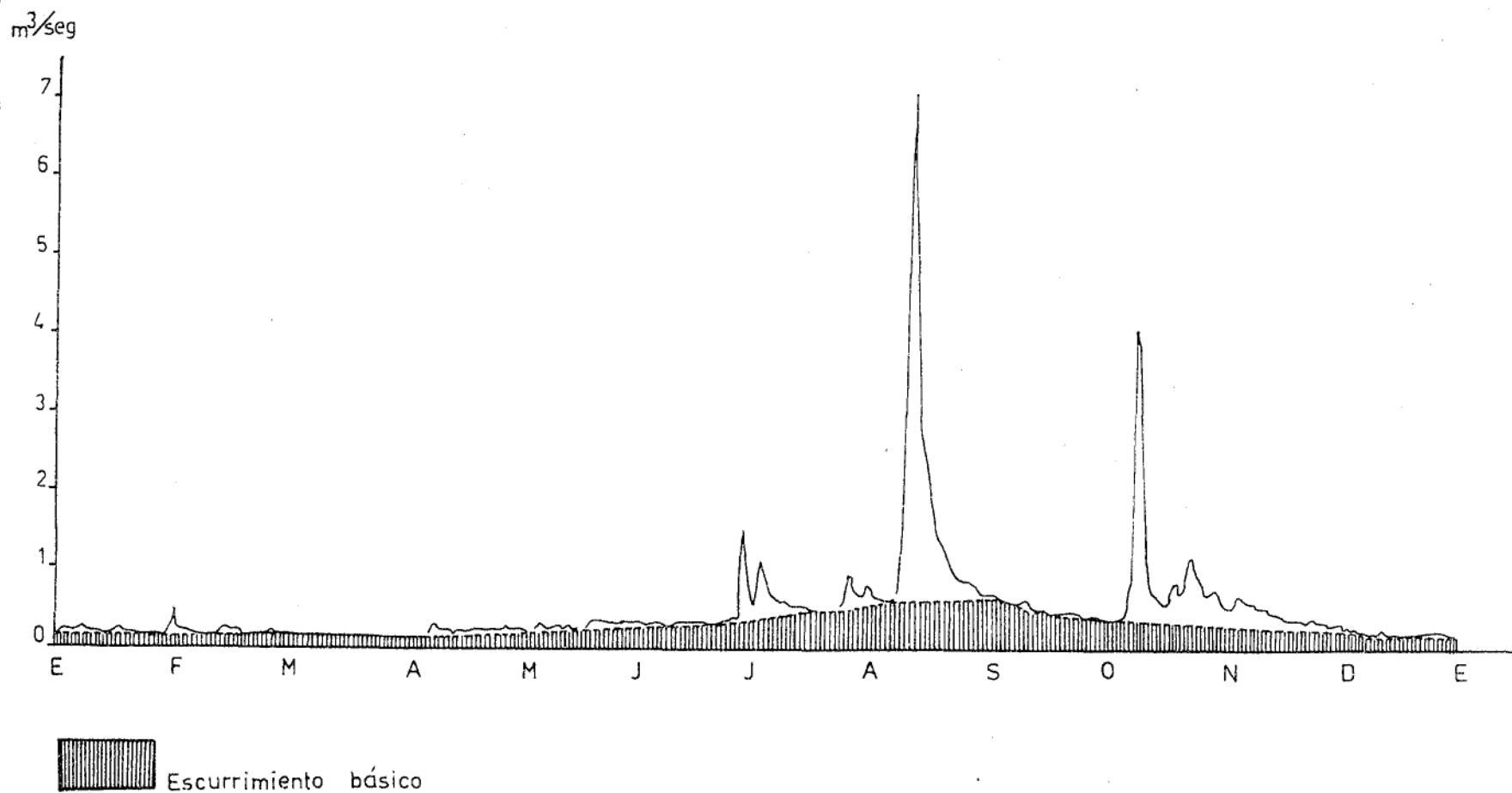
SALA, J.M. et al - 1980. "Contribución al conocimiento geohidrológico del área de Mar del Plata y alrededores". Convenio O.S.N. - Fac.Cs.Nat. y Museo Inf.Interno. La Plata.

SALA, J.M., GONZALEZ, N. y E.KRUSE- 1983. "Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires". Actas Coloquio Hidrología de Grandes Llanuras. T.II.Olavarría.



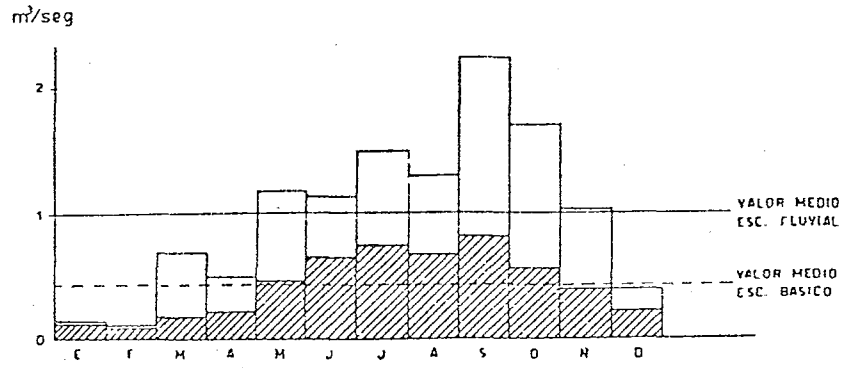
CAUDAL FLUVIAL A° AZUL

Año: 1965

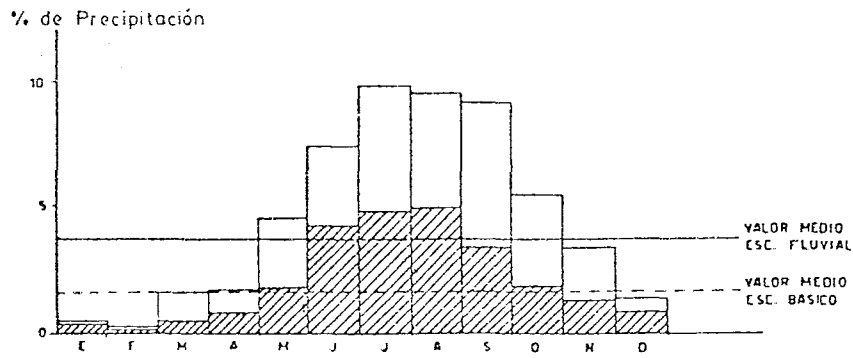


Escurrimiento básico

ESCURRIMIENTO FLUVIAL Y BASICO DEL A° AZUL



a- DISTRIBUCIÓN MODULAR MENSUAL



b- VARIACION PORCENTUAL

 Caudal básico

FIG.3

**EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS PROCESOS FLUVIALES
EN LA REGION CENTRO ORIENTAL
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

INTRODUCCION

La modelación de los cauces y de la configuración de una red de drenaje en los ambientes de alto relieve se puede relacionar fundamentalmente con el escurrimiento superficial. En los ambientes de bajo relieve, donde predominan los movimientos verticales de agua (infiltración-evapotranspiración), sus características muestran además el peso relativo de otras variables del ciclo hidrológico.

En este trabajo se describen algunas características de los procesos fluviales en arroyos cuyas nacientes se encuentran en llanuras pedemontanas de la Provincia de Buenos Aires, específicamente en el sector centro oriental (Fig. 1). El tema comprende un tratamiento integrado de aspectos hidrológicos superficiales, subterráneos y geomorfológicos.

CONSIDERACIONES GENERALES

En vinculación con los aspectos fluviales es posible distinguir en la región las siguientes particularidades:

- nacientes de los cauces principales en los llanos interserranos.
- baja densidad de drenaje (del orden de $0,10 \text{ km/km}^2$).
- cauces de dimensiones pequeñas, con similares magnitudes en la profundidad (2-3 m) y en el ancho (3-4 m), pero bien definidos.

Estas características son consecuencia de la interacción entre el medio físico, las condiciones climáticas y las hidrológicas.

El relieve se define como una llanura con suaves ondulaciones (lomas), con pendientes topográficas reducidas (alrededor de 1%), pero que resultan significativas comparadas con los ambientes más llanos circundantes (0,1-0,2 %).

En la superficie del terreno se reconocen como predominantes a se-

dimentos permeables (limoarenosos o arenolimosos), ocupando un área menor, restringida a las sierras, rocas consolidadas (basamento cristalino y rocas sedimentarias Paleozoicas).

La región presenta un clima templado húmedo con una precipitación media del orden de 800 mm/año (Tabla N°1). La evapotranspiración modular, estimada a partir de fórmulas empíricas, oscila entre 560 y 740 mm/año. Si bien por razones de seguridad para una evaluación, es frecuente utilizar los valores máximos (método de Thornthwaite), la evapotranspiración real sería menor, de acuerdo a evidencias geohidrológicas (Kruse, E y Rojo A, 1987).

Los balances hidrológicos indican excesos de agua que deben enresar del sistema como escurrimiento superficial y/o subterráneo.

Según los balances, la infiltración representa en sus valores medios, aproximadamente al 10% de la precipitación.

El volumen infiltrado alimenta al escurrimiento subterráneo, pudiéndose reconocer un escurrimiento de carácter local y otro regional (Fig. 2). El primero tiene como zona de descarga los arroyos y posibilita que en ellos escurra agua en forma permanente, manifestándose como su caudal básico. El escurrimiento regional ingresa a un sistema de flujo profundo.

De acuerdo a los registros disponibles (Dirección Provincial de Hidráulica), el escurrimiento fluvial, que incluye al mencionado caudal básico y al escurrimiento superficial (flujo directo de agua sobre la superficie del terreno), significa en sus valores medios alrededor del 4% del volumen precipitado (Marchetti, 1968; Sala et al, 1977).

Si bien es difícil distinguir el efecto del escurrimiento superficial y del caudal básico en la modelación de los cauces, se debe tener en cuenta que en el primer caso se debe relacionar con fenómenos rápidos e intensos localmente, mientras que en el segundo se trataría de un proceso lento pero continuo en el tiempo.

Dadas las condiciones descriptas, se intenta plantear el grado de influencia que pueden tener la combinación de estos factores en las particularidades morfológicas de los cauces.

EXPERIENCIAS Y OBSERVACIONES

Los mapas isofreáticos ejecutados para los casos que se analizan demuestran que la descarga del escurrimiento subterráneo local se produce en los arroyos. Con fines ilustrativos, en las Figs. 3 y 4, se reproducen algunos de esos mapas (Kruse, 1986; Sala et al, 1987).

Esta característica se cumple desde prácticamente las nacientes de los cursos, siendo éste el origen de su alimentación de agua en forma permanente.

El sistema subterráneo representa a un continuo espacio-tiempo, donde no se pueden acelerar los escurrimientos. Ante un mayor volumen infiltrado, teniendo en cuenta la ley de la continuidad, se produce el afloramiento del flujo local en los sectores topográficamente más bajos. Si la energía acumulada es suficiente se originan las nacientes de los cauces en los llanos interserranos.

Dado que son más conocidos los procesos relacionados con el escurrimiento superficial es conveniente citar algunas evidencias del efecto particular de la descarga subterránea y de su flujo como caudal básico.

a - efecto particular de la descarga subterránea

Este fenómeno posibilita que el fondo y márgenes del cauce estén sometidos a períodos de humedecimiento, favoreciendo a los procesos de meteorización y posterior erosión.

La descarga se puede manifestar en forma difusa o concentrada, en ambos casos, afectando a un área que se ubica por debajo y en determinadas circunstancias, por encima del nivel del agua fluvial.

La manifestación difusa se deduce por la humedad que suele caracterizar a una franja inferior de los márgenes. En algunos sectores del A° Vivoratá(*) (1), Azul (2) y Tapalqué (3), se observa con claridad este fenómeno.

(*) la numeración se refiere a sitios de observación que se encuentran ubicados en las Figs. 5 y 6.

A veces existe una descarga difusa y no necesariamente escurre el agua en superficie. Aparecen pequeños bajos distinguidos por la presencia de una vegetación hidrófila (juncos, junquillos) en los que se produce una descarga continua, pero el caudal de ésta es superado por el volumen evaporotranspirado. Ejemplos de esta situación resultan las cabeceras de los arroyos El Durazno(4), La Tapera(5) y de Los Padres(6).

La otra evidencia de las descargas analizadas se reconoce en un flujo concentrado en puntos de las márgenes del cauce, originando hilos de agua. Estos son de escasa longitud (del orden de centímetros a metros) y dan lugar a pequeñas e incipientes cárcavas. Este tipo de expresión responde a una disminución de la permeabilidad de los sedimentos en profundidad. Se presenta en las nacientes del arroyo Las Brusquitas(7), donde aparecen rocas cuarcíticas próximas al lecho. También se encuentran en A°Azul(8) y Tapalqué(9), respondiendo a una menor permeabilidad de los sedimentos.

Se ha observado que la descarga concentrada por debajo del espejo de agua suele originar un burbujeo, producto de la presión que ejerce el agua debido a una energía residual en el flujo subterráneo. Este burbujeo es visible en algunos tramos del A°Azul(10), de las Huesos(11) y Las Brusquitas(12), donde es escasa la profundidad del agua en el curso.

Como dato cualitativo, comprobatorio de ese potencial energético, se puede mencionar que en una perforación poco profunda, ubicada en el cauce del A°Las Brusquitas(13), se presentan niveles piezométricos que ascienden aproximadamente 4 m. por encima del nivel del agua fluvial.

A través de los burbujeos, en los casos donde el material del lecho, por ser arenoso y sin mayor cohesión, lo permite, la energía es suficiente como para movilizar el sedimento e incluso desplazarlo a cortas distancias, tal como fue reconocido en un afluente del A°Azul(14).

b - efecto del caudal básico

Como ya fuera expresado, el caudal básico de los arroyos es producto de la afluencia del escurrimiento subterráneo local, pudiendo signi-

ficar una proporción destacable del caudal fluvial. Ello se determinó en el A°Azul(15), donde representa un 45% del flujo total anual.

El balance hidrológico en esa cuenca permitió establecer una precipitación media de 836 mm/año y un valor máximo de evapotranspiración de 733 mm/año.

A su vez la información hidrométrica disponible permitió establecer un escurrimiento fluvial de 31 mm/año, de los cuales 17 mm/año corresponden al superficial y 14 mm/año al caudal básico (Kruse, 1985). Es posible apreciar que ambos componentes del caudal fluvial presentan cuantitativamente magnitudes similares.

El caudal básico se caracteriza por su permanencia en el tiempo, aunque con oscilaciones durante el año. El mínimo se registra en febrero y el máximo en setiembre. En la Fig. 7 es posible observar la distribución de sus valores medios y su relación con el caudal total y la precipitación. Estas variaciones se pueden asociar con distintas velocidades de corriente y por lo tanto con la menor o mayor posibilidad de influencia en los procesos de modelación del cauce.

La velocidad de la corriente influye en el movimiento y desplazamiento de las partículas de los sedimentos que constituyen el cauce, que en los casos analizados corresponden predominantemente a las fracciones arenosas y limosas.

De acuerdo a las mediciones efectuadas (A°Vivoratá(16)(17), Las Brusquitas(18)(19) y El Durazno(20)(21)) se han determinado velocidades medias del caudal básico que oscilan entre 0,10 y 0,20 m/seg. Por otra parte la información antecedente (Dirección Provincial de Hidráulica-Buenos Aires) vinculada a estaciones de registros continuos de caudal en el A°Azul(15) y el A°de los Huesos(22) muestran una variación entre 0,05 y 0,30 m/seg.

Una aproximación cualitativa para indicar la posible incidencia de la velocidad en la remoción del material se puede obtener de los clásicos diagramas de Hjulstrom.

Para las mayores velocidades mencionadas del escurrimiento básico

y considerando la granulometría que caracteriza a los cauces, la corriente tendría capacidad para movilizar y desplazar los sedimentos, pero se estaría en condiciones límites, ya que tanto las partículas de mayor como de menor tamaño necesitarían velocidades superiores para levantarlas.

Se debe tener en cuenta que las velocidades medias de flujo son el producto de la distribución de velocidades en la sección. Para ilustrar esta característica se han seleccionado algunos aforos típicos del A° Azul (15). Es posible apreciar las variaciones detectadas en un tramo recto del arroyo para distintas condiciones de flujo: únicamente caudal básico (Figs. 8 A y 8 B), caudal básico más escurrimiento superficial (Fig. 8 C) y una crecida (Fig. 8 D).

La probabilidad de movilización del material a partir del caudal básico se reduce hacia las márgenes del cauce. En relación al efecto sobre el fondo debe reconocerse una variabilidad temporal entre velocidades menores (Fig. 8 A) que no tendrían capacidad para poner en movimiento el sedimento y las mayores (Fig. 8 B) que sí la poseerían.

Es decir que el proceso erosivo es factible cuando se registran valores altos de caudal básico. El transporte de material puede ser como carga de fondo o en suspensión. En el primer caso el desplazamiento será intermitente y en el segundo, en especial las partículas más finas, pueden ser transportadas por las mínimas velocidades de la corriente.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se tratan de esbozar modelos conceptuales simples que permiten reconocer la influencia de las variables hidrológicas fundamentales en el modelado de los cauces.

a - procesos originados en el escurrimiento superficial únicamente

En este caso hipotético se trataría de una corriente fluvial, teóricamente conformada sólo por escurrimiento superficial. Intervendría una energía potencial que se convierte en cinética al circular el agua por el cauce.

Los balances de la región indican un volumen de agua anual de escasa significación cuantitativa, que escurre en forma esporádica.

De esta forma el cauce podría permanecer seco por períodos prolongados, posibilitando el desarrollo de la vegetación que inhibiría los procesos erosivos.

b - procesos originados en el escurrimiento fluvial (escurrimiento superficial más caudal básico)

Se origina un flujo permanente con variaciones temporales. Si se trata de los valores mínimos de caudal básico (Fig. 8 A) serían reducidas las posibilidades de movilización del material del lecho, aunque sí es factible su transporte en suspensión.

Tanto el aumento del caudal básico (Fig. 8 B) como la adición a éste del escurrimiento superficial (Fig. 8 C y 8 D) permitirían el movimiento y desplazamiento del material limoarenoso sin cohesión que conforma el lecho.

c - procesos originados en el escurrimiento fluvial más el efecto particular de la descarga subterránea.

En este caso a la energía potencial y cinética del escurrimiento fluvial, conformado por el superficial y el básico, se le debe sumar la energía ascendente de la descarga subterránea sobre el fondo y márgenes del cauce. Esta última energía variará a lo largo del curso según el gradiente hídrico subterráneo y de acuerdo a la altura que alcance el nivel fluvial.

Cuando el nivel es bajo, este potencial energético adicional tiene capacidad para movilizar y transportar los sedimentos del cauce.

En los tramos en que es mayor la profundidad del agua, ésta ejercerá una carga estática y la acción erosiva puede disminuir.

De esta forma el fondo representa un límite con movimiento vertical permanente de agua y no inerte como sería si no se produjera la descarga subterránea.

La aplicación de este modelo de comportamiento surge de las experiencias y observaciones realizadas en la región y conduce a establecer que:

- el espaciamiento de la red de drenaje se presenta como una respuesta del volumen infiltrado que alimenta al escurrimiento subterráneo local y descarga en los cursos.
- dicha descarga y su flujo como caudal básico, dada su permanencia en el tiempo, permiten mantener húmedo el material del cauce, conservando así esa cohesión en los sedimentos. Ello favorece un proceso erosivo lento a través de un aumento del caudal básico o por la presencia esporádica de escurrimiento superficial.
- los procesos vinculados a la descarga subterránea, contribuyen conjuntamente con el escurrimiento superficial al desarrollo de la red de drenaje, destacándose su influencia en el alargamiento, profundización y ensanchamiento de los cauces.

Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a los Prof. J.M. Sala y F. Fidalgo de la U.N. La Plata por sus valiosos aportes y sugerencias, a la Lic. L. Varela de la CIC (Buenos Aires) por la lectura crítica del manuscrito y a la Ing. A. Strelzik y Lic. C. García de la Dirección Provincial de Hidráulica (Buenos Aires) por la colaboración en la recopilación de la información fluviométrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- KRUSE, E. (1985). Escurrimiento subterráneo local y regional en la cuenca del arroyo Azul. 1as. Jorn. Geológicas Bonaerenses. Actas, 409-419.
- (1986). Aspectos geohidrológicos de la región sudoriental de Tandilia. Rev. Asoc. Geológica Argentina, 41 (3-4): 367-374.
- KRUSE, E. y A. ROJO (1987). Una interpretación de los conos de depresión de Mar del Plata (Argentina) en relación a la estimación de evapotranspiración. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, XI: 827-836 (España).
- MARCHETTI, A. (1958). Estudio hidrológico de la zona sud de la provincia de Buenos Aires. Direc. Gen. de Geol. y Min. Carpeta 578. Inédito.
- SALA, J.M. et al. (1977). Informe hidrológico preliminar del área periserrana de Balcarce. Conv. Min. As. Agr. (Bs. As.) U.N. La Plata.
- SALA, J.M., KRUSE, E. y R. AGUGLIÑO. (1987). Investigación hidrológica de la cuenca del arroyo Azul. Com. Inv. Cient. Prov. Buenos Aires. Serie Informes, N° 37: 1-235.

TABLA N°1

Algunos datos de valores medios de precipitación y evapotranspiración real

LOCALIDAD	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION REAL según fórmula		
		Thornthwaite	Turc	Coutagne
Miramar	826	734	605	600
Mar del Plata	809	709	572	567
La Copefina	841	706	572	573
Balcarce	835	696	584	584
Azul	836	733	587	583
Tandil	818	708	572	579

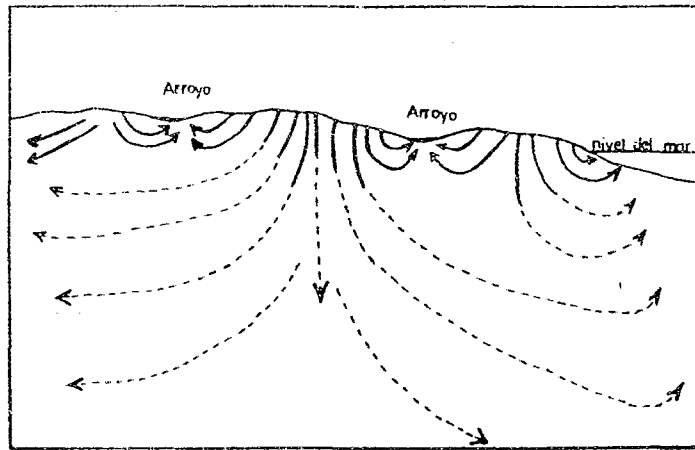
FIG. 1

MAPA DE UBICACION

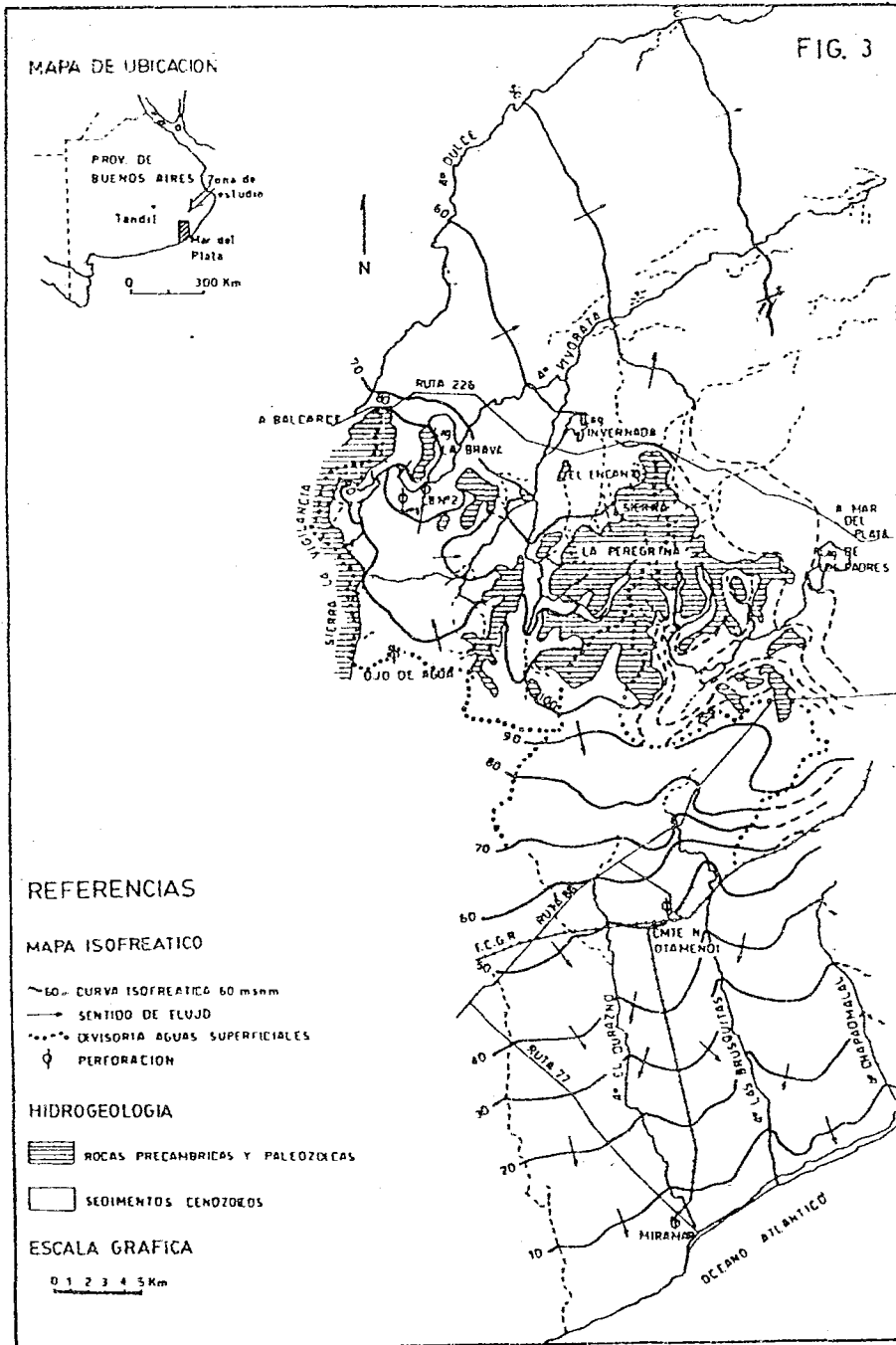


FIG. 2

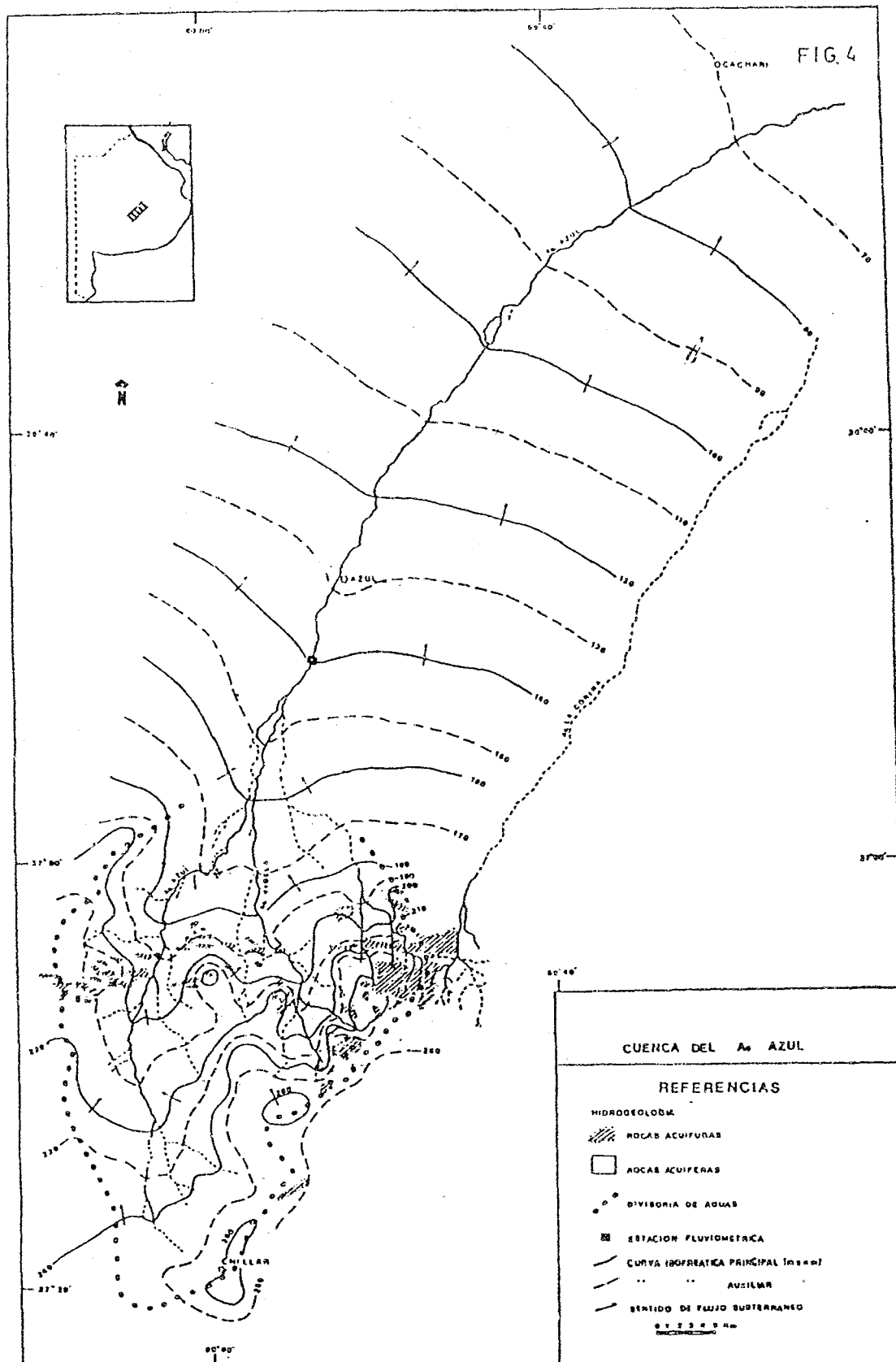
Esquema de escurrimientos subterráneos



→ Escorrimento local
- - - - - Escorrimento intermedio y regional

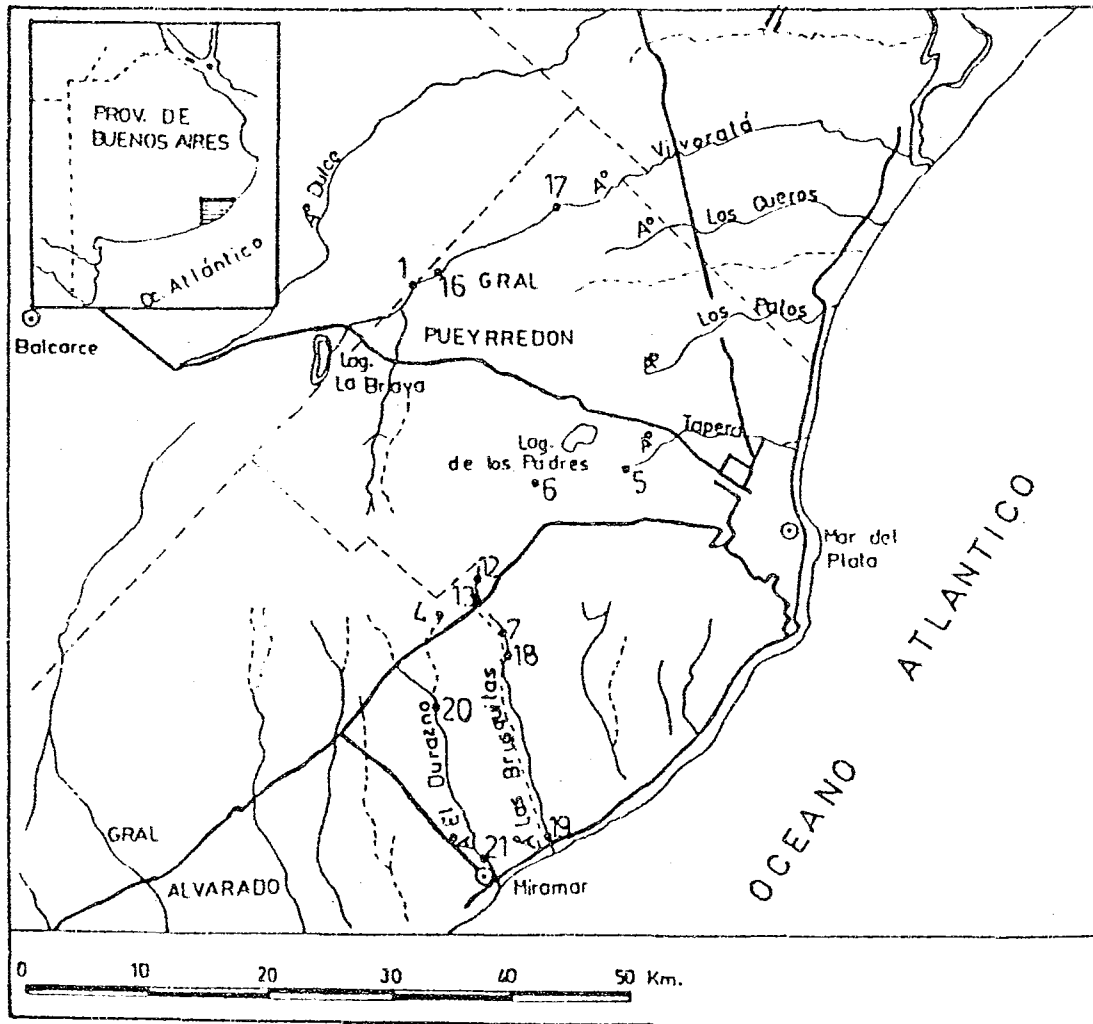


MAPA ISOFREATICO — Según Kruse (1986) —



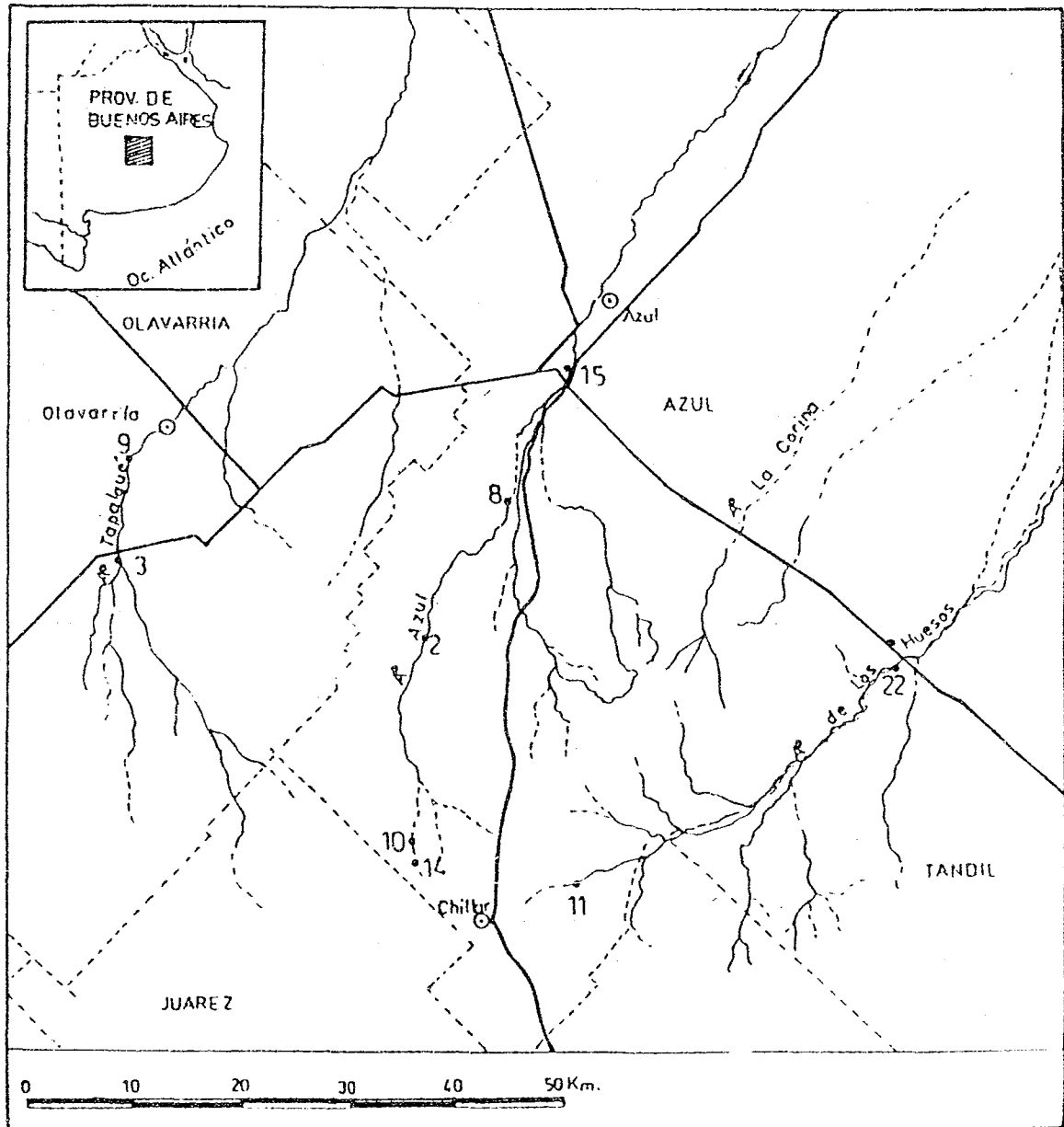
MAPA ISOFREÁTICO — SEGUN SALA ET AL (1987) —

FIG. 5



5 Sitios mencionados en el texto

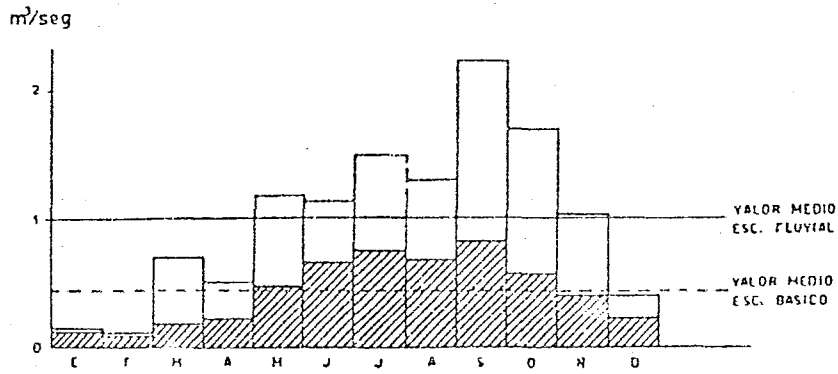
FIG. 6



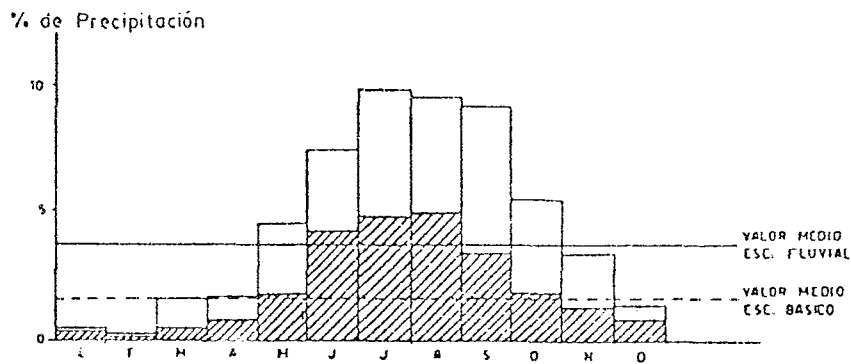
.9 Sitios mencionados en el texto

FIG. 7


ESCURRIMIENTO FLUVIAL Y BASICO DEL A° AZUL



a - DISTRIBUCION MODULAR MENSUAL

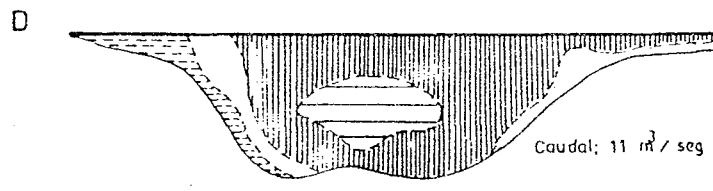
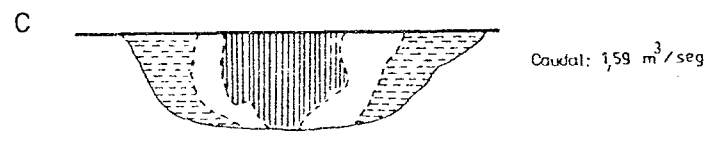
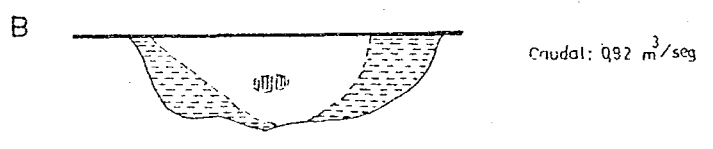
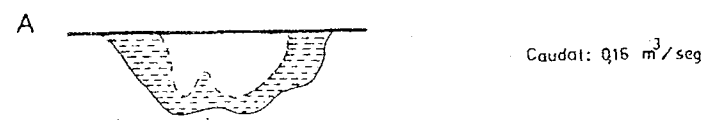


b - VARIACION PORCENTUAL





 Caudal básico

Ao. AZUL

Relación velocidad de corriente-movilización del material



REFERENCIAS

-  flujo laminar
-  sin capacidad para movilizar el material del cauce < 0,20 m/seg
-  con capacidad para movilizar el material del cauce > 0,20 m/seg
-  con capacidad para movilizar granulometrías mayores > 0,70 m/seg

