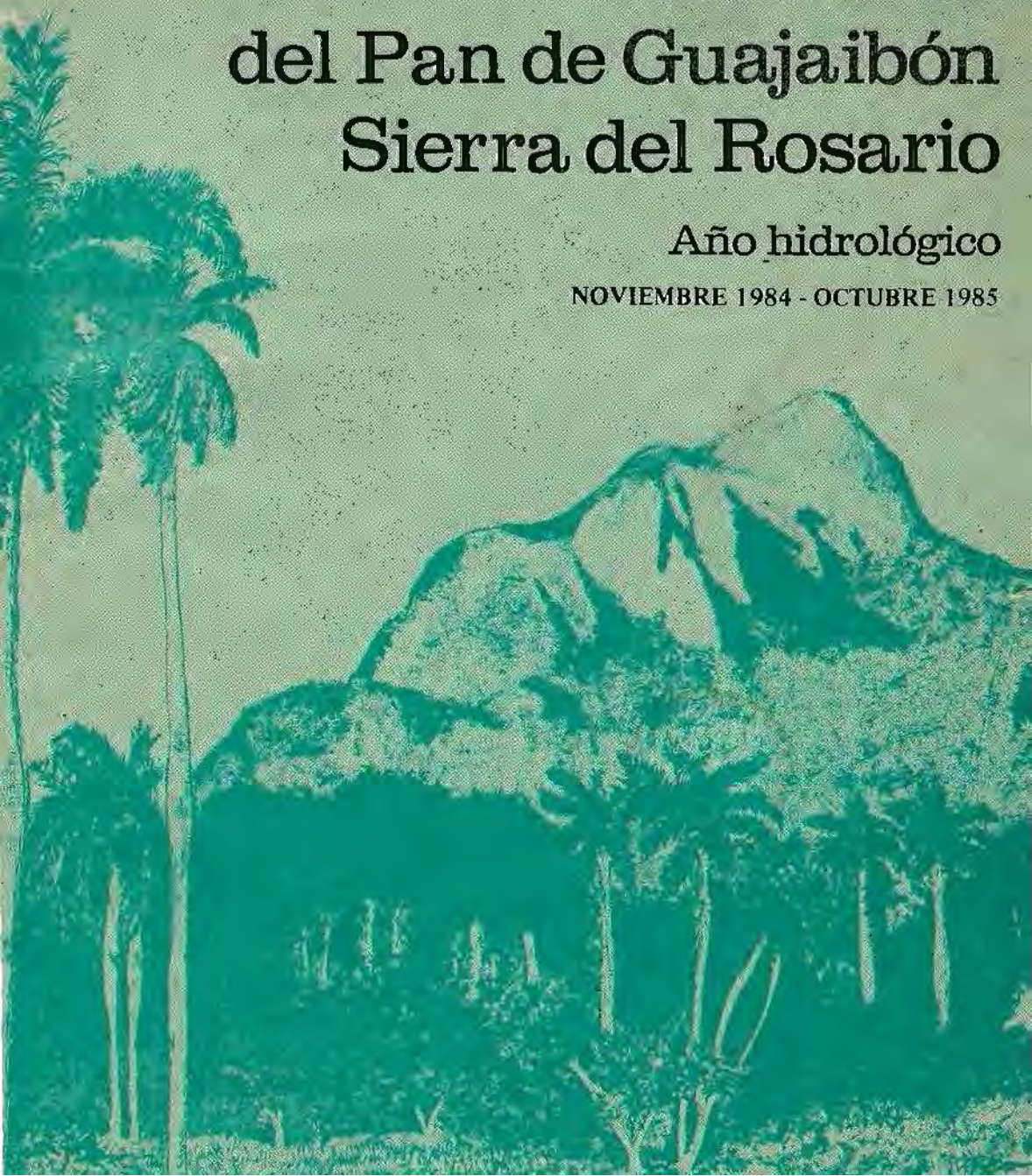


ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA

Hidrología cársica del macizo del Pan de Guajaibón Sierra del Rosario

Año hidrológico

NOVIEMBRE 1984 - OCTUBRE 1985



INSTITUTO DE GEOGRAFIA

Hidrología cársica del macizo del Pan de Guajaibón Sierra del Rosario

Año hidrológico

NOVIEMBRE 1984 - OCTUBRE 1985

Javier E. Rodríguez
Francisco Cutié
Carlos M. Cruz
Esperanza Franco
Juan R. Fagundo



EDITORIAL ACADEMIA
La Habana, 1989

© Javier E. Rodríguez, Carlos M. Cruz,
Francisco Cutié y Esperanza Franco, 1986
Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba

© Juan R. Fagundo, 1986
Centro Nacional de Investigaciones Científicas

© Sobre la presente edición:
Editorial Academia, 1989

Redacción: Ricardo Vergara R.

Diseño, Realización

y Emplante: Lucila Pastrana

Corrección: Hidelisa Villegas

Obra editada e impresa por:

Editora de la Academia de Ciencias de Cuba

Industria No. 452, esquina a San José

La Habana 10200

CONTENIDO

Prefacio.....	5
1. Introducción.....	7
2. Materiales y métodos.....	9
2.1 Base experimental.....	9
2.2 Procesamiento de la información.....	10
3. Resultados y discusión.....	11
3.1 Localización, geología y geomorfología.....	11
3.2 Condiciones climáticas durante el año hidrológico noviembre 1984 - octubre 1985.....	15
3.2.1 Temperatura y humedad relativa.....	16
3.2.2 Precipitaciones.....	17
3.3 Hidrología e hidroquímica durante el año hidrológico noviembre 1984 - octubre 1985.....	19
3.3.1 Hidrología.....	19
3.3.2 Balance hídrico.....	21
3.3.3 Hidroquímica.....	23
3.4 Denudación química durante el año hidrológico noviembre 1984 - octubre 1985.....	26
4. Conclusiones.....	29
Referencias.....	31
Abstract.....	32

PREFACIO

Los resultados que se presentan en este trabajo, son fruto de la colaboración científica bilateral desarrollada en los últimos años entre el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC), del Ministerio de Educación Superior de Cuba; los Institutos de Geografía y de Geofísica y Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba y la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Silesia, Polonia. Los coordinadores científicos de este programa son: el Prof. Dr. Marian Pulina, por la parte polaca y el Dr. Juan R. Fagundo, CSc, por la parte cubana.

El propósito de esta colaboración, es el estudio comparativo de la dinámica de los procesos cársicos contemporáneos, en cuencas cársicas representativas en diferentes zonas climáticas del mundo (carso tropical de Cuba, carso polar de Spitsbergen y carso de zonas templadas); utilizando los mismos métodos de investigación y equipamiento, para garantizar la homogeneidad y representatividad de los resultados. Como polígono representativo del carso tropical de montaña, fue seleccionado el macizo del Pan de Guajaibón, en la Sierra del Rosario, provincia de Pinar del Río; donde funciona, desde enero de 1984, una red especial de observaciones hidroclimáticas e hidroquímicas, que ha permitido obtener un gran volumen de información sistemática.

A lo largo de más de tres años de investigaciones, se han realizado varias expediciones conjuntas y visitas sistemáticas de trabajo al polígono, en las cuales han participado numerosos investigadores y técnicos de las instituciones involucradas y de otros organismos, en calidad de invitados. Del esfuerzo conjunto de todos estos compañeros, es obra la información primaria utilizada en este trabajo. A todos ellos, nuestro reconocimiento.

Queremos de igual forma agradecer a la dirección, organizaciones políticas y trabajadores del Parque Nacional Mil Cumbres, las facilidades puestas a nuestra disposición, y en especial, a su director Co. Marcos Crespo. A los guardabosques Lorenzo Martínez, Gregorio Martínez, Felipe Martínez y Eduardo Martínez; así como a los campesinos Mario Reyes, Luis Reyes y Fernando Martínez, por su valiosa cooperación como observadores y guías. Agradecemos el apoyo brindado por

los Comités Municipales del PCC y la UJC de La Palma; y en general a todos los compañeros que de una u otra forma colaboraron en la consecución de los resultados de este trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las peculiaridades hidrológicas del carso tiene una importancia creciente en el campo de la hidrología mundial; no sólo por el interés acuífero de estas formaciones que cubren extensos territorios del planeta, sino también por su influencia en diferentes problemas hidrológicos, geomorfológicos y geotécnicos que dependen, en primera instancia de la circulación del agua en este medio geológico y en consecuencia, de la carsificación.

A lo largo de casi un siglo de investigaciones hidrológicas sistemáticas en condiciones cársicas; desde las ideas semiempíricas de Martel, Cvijić y otros, hasta la etapa actual, donde se emplean los más sofisticados recursos técnicos para su estudio, el problema de la circulación hídrica en el carso sigue resultando "un problema" y su grado de estudio y conocimiento es a todas luces insuficiente.

En la última década, se incrementó el empleo combinado de métodos hidrológicos y geoquímicos en este campo, como herramienta de gran utilidad para la solución de algunos problemas relacionados con la hidroquímica, la valoración de los parámetros hidrofísicos e hidroquímicos de las distintas rocas carsificables y la caracterización tipológica de las aguas que drenan los macizos en función de su interacción con la roca. También se utilizan estos métodos en la cuantificación del proceso denudativo cársico en diferentes condiciones climáticas.

En las condiciones de Cuba, donde cerca de 70% de la superficie emergida del archipiélago está constituida por rocas carbonatadas afectadas en mayor o menor grado por los procesos cársicos, resulta obvio el interés que revisten los estudios en esta línea en la solución de importantes problemas que afectan la economía.

A tenor con lo planteado, se ha desarrollado aceleradamente esta dirección de trabajo, obteniéndose notables resultados que cambiaron sustancialmente los patrones clásicos en las investigaciones carsológicas cubanas.

Los pioneros en esta tendencia fueron Fagundo y Valdés, que estudiaron durante un año hidrológico la variación estacional de los parámetros químico-físicos de aguas de diferente naturaleza hidrológica, en la región de San Antonio de los Baños (Fagundo y Valdés, 1975; Valdés y Fagundo, 1980).

Fagundo et al. (1981) estudiaron el comportamiento químico-físico de las aguas cársicas de la cuenca del Río Cuyaguaje durante las estaciones lluviosas y secas del período 1978-80 y encontraron patrones de variación secuencial característicos de los distintos tipos de aguas en la región. Los mismos autores (1983), estudiaron los mecanismos de disolución que tienen lugar en los macizos cársicos de la propia cuenca del Cuyaguaje y estimaron a partir de la información hidrológica e hidroquímica obtenida, el volumen de roca anualmente disuelto en los principales aparatos cársicos de la cuenca.

Rodríguez (1983) hizo un estudio de las partes superior, media y una porción de la inferior, de la cuenca del río Cuyaguaje hasta su confluencia con el río Portales, sobre la base de muestreos sistemáticos en las estaciones lluviosas y secas del período 1979-80, y dos muestreos comparativos en 1981 y 1984; empleando métodos hidrólogo-hidrogeológicos y químico-físicos.

Como antecedente a este trabajo, en enero de 1984 se instaló en el área del macizo del Pan de Guabaibón, en la Sierra del Rosario, Pinar del Río, el primer polígono experimental para el estudio de la dinámica de los procesos cársicos contemporáneos en condiciones tropicales, como parte de la colaboración científica entre el CENIC y el Instituto de Geografía de la Academia Ciencias de Cuba con la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Silesia, Polonia; en el marco del Programa Internacional para la Génesis y Evolución del Karst (PIGEK).

Los primeros resultados de estas investigaciones fueron publicados en Polonia (Pulina et al., 1984) y Cuba (Fagundo et al., 1986) y en ellos se expone el volumen de información hidroclimático y químico-físico obtenido en la primera expedición al área, durante el invierno de 1984, así como los primeros resultados y estimaciones acerca de la intensidad de la denudación cársica del territorio. Posteriormente a esta primera expedición, se ha desarrollado a lo largo de los últimos dos años, un trabajo sistemático en el área del polígono, a partir de muestreos mensuales y expediciones en períodos lluviosos y secos, conjuntamente con observaciones periódicas y registros continuos de parámetros hidroclimáticos. Esto ha permitido acumular un gran volumen de información primaria de calidad, avalada por la densidad de la red de observaciones, características

de su diseño y las técnicas e instrumentos utilizados para su estudio.

Este trabajo tiene como propósito fundamental, aplicar un conjunto de técnicas novedosas en el campo de la hidrología cársica, al estudio de la circulación hídrica y la interacción agua-roca en este medio geológico, en un macizo pequeño, pero representativo del carso tropical; seleccionándose la información correspondiente al año hidrológico noviembre 1984 octubre 1985 para el procesamiento e interpretación de los resultados.

Otros objetivos son: la caracterización hidrodinámica y geoquímica de las aguas que drenan el macizo cársico; el establecimiento del balance hídrico anual para el macizo carbonatado y los sistemas de drenaje que lo integran; el estudio de la influencia de los ritmos estacionales de las variables hidrometeorológicas sobre los regímenes de descarga y la composición química de las aguas de las emergencias; y por último, el cálculo de la intensidad del proceso de denudación química para este año hidrológico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Base Experimental

La base experimental cuenta con 5 estaciones pluviométricas, equipadas con pluviómetros estándar; 2 estaciones limnigráficas de registro semanal, equipadas con limnigrafos KB-2 de fabricación polaca; así como una estación climática que cuenta con una caseta termométrica completa, que realiza tres registros diarios (7:00, 13:00 y 19:00 h) de temperatura y humedad relativa; y de temperaturas máximas y mínimas diarias (mapa 1). Además, un higrógrafo TZ-16 de registro semanal y un termógrafo TZ-18 de similar período de registro, ambos de fabricación polaca; para el registro continuo de temperatura y humedad relativa, y un pluviógrafo P-Z de fabricación soviética.

En las estaciones limnigráficas instaladas en las emergencias del macizo (Surgencia Ancón y Resurgencia Canilla), se realizaron aforos periódicos desde el momento de su instalación; utilizando el método de vadeo, con molinetes hidrométricos GR-21 y GR-55 de fabricación soviética.

Los análisis químicos de aguas (macrocomponentes) se realizaron en el campo, utilizando las técnicas de Markowicz y Pulina (1979), así como las determinaciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica. Estos parámetros se miden en los puntos seleccionados (Fig. 1), con una periodicidad diaria, durante las expediciones de períodos secos y lluviosos, y mensual durante el resto del período.

2.2 Procesamiento de la información

A partir de la información pluviométrica, se elaboraron los mapas isoyéticos del área para el año hidrológico noviembre 1984 - octubre 1985; el período seco (noviembre - abril) y el período lluvioso (mayo - octubre). Para la restitución de algunos valores de lluvia diaria y la evaluación de la calidad de la información, se realizaron correlaciones entre algunos pluviómetros, utilizando el programa de computación CORREG en lenguaje BASIC para una microcomputadora NEC.

Los registros de temperatura y humedad relativa fueron procesados por métodos estadísticos usuales, calculándose los valores medios mensuales, valores medios estacionales y para el año hidrológico considerado, tanto diario, como para las tres horas de observación; elaborándose a partir de esta información los histogramas correspondientes. Para la evaluación de la representatividad del período estudiado, los valores medios de precipitaciones, H. R. y temperaturas, fueron comparados con las normas hiperanuales para el área, según la información de 42 años (Trusov et al., 1983; Academia de Ciencias de Cuba, en preparación).

Mediante la interpretación de los registros limnigráficos primarios se obtuvo la información de los niveles horarios para las dos emergencias (Canilla y Ancón). Utilizando los valores de gastos obtenidos a partir de aforos, y el programa de computación CORRELA en lenguaje BASIC para una microcomputadora NEC, se definieron las funciones $Q = f(h)$ (gastos en función de los niveles observados) y se calcularon los gastos medios diarios, mensuales y del año hidrológico para ambas cuencas. Para estos últimos cálculos, se elaboró un fichero de datos y un programa en lenguaje DBASE III para la máquina IPC Thompson.

Para la restitución de algunos valores de niveles y gastos de la Surgencia Ancón y la evaluación comparativa de los

regímenes de descarga de ambos sistemas, se efectuaron correlaciones de gastos y niveles, utilizando el programa LEASTSQ en el lenguaje SUPERCALC, III para la microcomputadora IPC Thompson.

Los cálculos de balance hídrico se realizaron por la ecuación general:

$$P = I + R + Et + \Delta A$$

Donde:

P = precipitación en mm

I = infiltración en mm

R = escurrimiento en mm

Et = evapotranspiración

ΔA = cambios de almacenamiento

Los valores de precipitación media para cada uno de los sistemas, se obtuvieron por el método isoyético; la evapotranspiración real y la variación del almacenamiento, se calcularon, para ambos sistemas, por el método de balance.

Los resultados de los análisis físico-químicos de aguas, fueron procesados mediante el programa AGMAR elaborado por Fagundo y Valdés (en prensa). Este programa determina, a partir de la información analítica de campo (PH, SPC, temperatura, Ca^{2+} , $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} y $Na^+ + K^+$), la dureza como ppm. de $CaCO_3$, las relaciones de saturación de las aguas respecto a la calcita, dolomita y yeso (RSC, RSD y RSY); la presión parcial de CO_2 ; las concentraciones iónicas en % de eqm (equivalentes por millón) y 25 relaciones iónicas diferentes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Localización, geología y geomorfología

El área investigada se encuentra ubicada en el extremo noroccidental de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico, en la provincia de Pinar del Río (Fig. 1); y comprende un área de 9,45 km², constituida por dos elevaciones carbonatadas paralelas (Pan de Guajaibón y Sierra Chiquita), separadas por una depresión sinclinal elevada y orientadas longitudinalmente de WSW a ENE. Se encuentra aislada del resto de la Sierra del Rosario por el valle del río San Marcos al N con la Llanura Ondulada del Norte de Pinar del Río, y al E con Sierra Azul y Rancho Canelo.

El macizo del Pan de Guajaibón, constituye la mayor elevación del occidente de Cuba con 692 m sobre el N.M. La región se caracteriza por una geología compleja, tanto desde el punto de vista estructural como litoestratigráfico, como consecuencia de los procesos de transporte tectónico y desplazamiento diferencial de rocas, en forma de mantos de cabalgamiento y otros fenómenos propios de la tectónica de sobrecorrimiento.

Según Maximov *et al.* (1978), la complejidad de la estructura geológica de la región estudiada, se debe a la presencia de complejos de rocas sedimentarias, efusivo-sedimentarias y terrígenas diferentes por su litología; a la amplia manifestación del vulcanismo y magmatismo intrusivo, así como a la intensa tectónica plicativa y disyuntiva de muchos niveles y al desarrollo de estructuras tectónicas de cubierta.

Los propios autores describen, para la región, siguientes formaciones:

1. Sistema Jurásico: San Cayetano y Artemisa.
2. Sistema Cretácico: Lucas, Guajaibón, Bahía Honda y Chiquita.
3. Sistema Paleógeno: Ancón, Harlem y Capdevila.
4. Sistema Neógeno: Cojimar.

De todas ellas, solamente interesa las correspondientes a los sistemas Jurásico y Cretácico, así como depósitos recientes, fundamentalmente aluviales, que se encuentran en el área de estudio (Fig. 2).

Es importante señalar que las formaciones de edad Cretácica (Lucas, Guajaibón y Chiquita), forman parte de la estructura de cubierta San Marcos, de edad Paleoceno-Eoceno, y forman bloques tectónicos separados por el melange tanto sedimentario como serpentínico; por lo que resultan formaciones alóctonas para la región.

Las formaciones San Cayetano y Artemisa de edad Jurásica, así como Bahía Honda (Cretácica) y Harlem (Paleógena) se consideran por los autores del informe citado como parautóctonos. Las formaciones Capdevila del Paleógeno, Cojimar del Neógeno y, lógicamente los depósitos del Cuaternario, son considerados autóctonos.

El macizo del Pan de Guajaibón, lo integran las formaciones Guajaibón y Chiquita (Fig. 2). La primera de ellas está constituida completamente por calizas, entre las cuales, en el

centro del corte, yace un horizonte de bauxita. La parte inferior del corte, (fundamento del horizonte de bauxita), está representada por calizas de color gris claro tendiendo a crema y en ocasiones, de color rosa; su textura es masiva y su constitución varía desde pelitomórficas hasta afaníticas; frecuentemente de fractura concoidal, y con sectores de calizas recristalizadas, hasta de grano grueso.

La estratificación es escasa, en forma de intercalaciones de calizas de variados colores. Su composición mineralógica es prácticamente de calcita sin impurezas visibles.

Las rocas son agrietadas en diferente grado, hasta las zonas de brecha con espejos de falla. En las grietas se desarrolla la calcita secundaria blanca, con asfalto y petróleo líquido y, en algunas ocasiones, piritización.

El levantamiento geológico del macizo del Pan de Guajaibón mostró una estructura interna muy compleja. Las calizas que componen este mogote, están plegadas, junto al horizonte de bauxitas, en pliegues complejos frecuentemente invertidos. El estudio de los materiales aéreos, reveló la presencia de gran cantidad de dislocaciones tectónicas de tipo falla y falla-plegamiento, lo que corrobora las observaciones de campo. Estas dislocaciones, dividen el mogote en muchos bloques de elevación y orientación diferentes, por lo que resulta difícil detectar la potencia de las calizas que integran esta formación.

La lámina de la formación chiquita en el Pan de Guajaibón, limita con la de la Formación Guajaibón por una dislocación tectónica, controlada por una falta de orientación WSE-ENE (Fig. 2).

El corte estratigráfico de esta formación es muy típico y característico en todo su rumbo. Sus depósitos comienzan con los conglomerados polimícticos de 85 m de potencia. En los sectores donde el contacto inferior de la formación es tectónico, el conglomerado basal puede ser de menor potencia o faltar por completo. Los fragmentos, con tamaños de 1 cm a 1 m y más, están representados en 65 - 80% por los pedernales macizos y laminados de color negro y gris oscuro y por las rocas pedernalizadas. Además, dentro de los fragmentos, se observan: aleurolitas y argilitas silicificadas de color verde, efusivos de composición principal, areniscas y calizas de color gris oscuro y, muy raramente, serpentinitas. El cemento del conglomerado está representado por las calizas arenosas, de composición análoga, y por una fauna abundante. En la parte superior del corte, los

conglomerados pasan a las gravelitas y, después, a las calizas arenosas; las que pasan de las variedades de grano grueso a las de grano fino.

Dentro de las calizas arenosas, casi en todas las partes se observa la textura masiva, y muy raramente se revela la estratificación gruesa, lo que complica confeccionar el corte de dicha formación.

En la depresión situada entre los mogotes Guajaibón y la Cadena Chiquita, es donde se observa la mayor potencia visible de la formación, y donde se manifiestan los afloramientos de los conglomerados basales con un buzamiento abrupto hacia el NW. Esto atestigua la presencia de un pliegue sinclinal, formado por los depósitos de la Formación Chiquita.

Las características geomorfológicas fundamentales del área, son un reflejo de su complejidad litológico-tectónica y pueden dividirse en dos grandes grupos genéticos: morfoestructurales y morfoesculturales, de acuerdo con las fuerzas endógenas o exógenas, que le dieron origen. (J. L. Díaz, comunicación personal).

El primero de ellos, está determinado por la posición del territorio en la gran estructura de sobrecoorrimiento de la Cordillera de Guaniguanico, la cual fue transformada en la etapa neotectónica, por movimientos de ascenso y descenso moderados. Estos movimientos determinaron el plano morfoestructural actual, a través del surgimiento de las montañas de Horst, en mantos de sobrecoorrimiento de la Sierra del Rosario. Particularmente, el Pan de Guajaibón y Sierra Chiquita, sufrieron levantamientos diferenciales; en el primero fueron de mayor magnitud, y dieron lugar a bloques de Horst que originaron su configuración actual en la dirección longitudinal, al igual que las principales direcciones de las morfoestructuras cubanas. En el mismo proceso de consolidación, surgieron rupturas diácono-transversales, que diferenciaron, en bloques de orden menor, a estas morfoestructuras.

En el aspecto morfoescultural, el modelado exógeno del relieve está influenciado por la litología, la cual desempeña un papel controlador muy específico, pues el afloramiento preferencial de rocas carbonatadas determina una morfoescultura donde predominan los procesos cársicos, con una marcada influencia de los factores tectónicos, caracterizada por la presencia de formas típicas de esta morfología. Estas se ven

representadas por formas cársticas superficiales: dolinas, simas absorbentes, campos de lapiez, etc; y subterráneas, que se manifiestan por: cavidades y conductos, en ocasiones con dimensiones notables, entre las que se destacan las cuevas de El Mamey, Ancón, Lechuza, etc (Fig. 1). Estas formas son las que precisamente establecen el patrón del escurrimiento en el macizo estudiado.

Entre la morfología no cárstica, se destacan las formas fluviales (barrancos y valles) y gravitacionales (deslizamientos y derrumbes).

De la propia relación, relieve-estructura geológica del área, se evidencian cuatro unidades geomorfológicas paralelas y bien diferenciadas (Fig. 1): 1) la llanura ondulada al pie de la vertiente N del macizo; 2) las montañas bajas del Pan de Guajaibón; 3) la depresión "sinclinal" elevada en la parte central del macizo, y 4) las alturas de la Sierra Chiquita. Las primeras dos unidades, constituyen la cuenca del Sistema Hidrológico Canilla; la tercera, conjuntamente con la vertiente N de la Sierra Chiquita, conforman la cuenca del Sistema Hidrológico Ancón.

3.2 Condiciones climáticas durante el año hidrológico noviembre 1984 - octubre 1985

El conocimiento del clima y sus características es un elemento fundamental de los estudios hidrológicos, pues independientemente de sus características físicas, la alimentación de una cuenca o un acuífero depende no solamente de las precipitaciones, sino también del conjunto de parámetros climáticos responsables de la evapotranspiración. Este fenómeno, sustrae un volumen más o menos grande de las aguas precipitadas, en dependencia de las características de los componentes físico-geográficos de un territorio.

Por otra parte, es conocido que las características térmicas de un cuerpo de agua están ligadas entre otras, a las condiciones climáticas de superficie. En el caso que nos ocupa (el estudio hidrológico de un sistema cárstico), el conocimiento de la función de transferencia entre los componentes de la función de entrada (precipitaciones, teniendo en cuenta la evapotranspiración) y la función de salida (los gastos en las emergencias), requiere disponer de un gran volumen de datos confiables y suficientemente

precisos. Si bien no es fácil obtener una buena precisión en el cálculo de los valores de gastos, resulta aún más difícil obtener una evaluación correcta de la lámina de precipitaciones y sobre todo, de la evapotranspiración.

Partiendo de lo expuesto, para el estudio de las condiciones climáticas del macizo cársico del Pan de Guajaibón, durante el período seleccionado, se dispuso de la información de una red pluviométrica especial, con una densidad de aproximadamente 1 pluviómetro por cada 2 km, y de una estación climática para la observación y registro de temperaturas, humedad relativa y pluviografía. La distribución y ubicación de las estaciones se muestra en la Fig. 1 y sus características técnicas ya fueron expuestas en el epígrafe anterior.

3.2.1 Temperatura y humedad relativa

A partir de la información de temperatura media del aire y humedad relativa registrada y observada en la estación San Juan de Sagua (329,6 - 254,15 - 80), se calcularon los valores medios mensuales y para el año hidrológico seleccionado. Estos valores, tanto totales como para las 3 horas de observación (7:00 h, 13:00 h y 19:00h), se muestran en las tablas 2 y 3, conjuntamente con los valores medios mensuales de temperaturas máximas y mínimas, y sus valores mensuales absolutos.

El comportamiento del régimen térmico en el área, para el año hidrológico estudiado, se corresponde con las condiciones climáticas generales del occidente del País. En la Fig. 3, donde se presentan los histogramas de temperatura, se manifiestan claramente las diferencias entre el período seco (noviembre-abril); durante el cual, las más bajas temperaturas medias mensuales oscilan entre 19,8 y 23,9°C. En el período lluvioso (mayo-octubre), los valores son más altos y estables (25,5 - 27,6°C). La temperatura media para el período observado, es de 24,5°C; el mes más frío del año fue enero, con 19,8°C, lo cual coincide con las normas hiperanuales y el más cálido, junio, con 27,6°C, lo que no se ajusta a las normas, en las que se reporta el mes de julio (Academia de Ciencias de Cuba, en preparación). De igual forma se comportan las temperaturas medias registradas para las tres horas de observación citadas (Fig. 3).

Las temperaturas máximas y mínimas medias para el año, fueron de 30,5 y 18,8°C respectivamente; correspondiendo al mes de enero, la mínima extrema, con 15,1°C y a octubre, la máxima extrema, con 33,8°C. La mínima absoluta registrada en el año fue de 10,5°C en el mes de diciembre y la máxima absoluta de 36,5°C en septiembre (Tabla 2). En general, el comportamiento estacional de las temperaturas máximas y mínimas durante el período analizado (Fig. 4), es similar al de las temperaturas medias del aire.

Un resultado a destacar es el comportamiento estacional, bien definido, de las temperaturas medias mensuales durante el año hidrológico. Como se puede observar en la Tabla 2, los meses correspondientes al período seco (noviembre 1984 - abril 1985), presentan valores inferiores a la media anual; y lo contrario ocurre con las temperaturas medias de los meses correspondientes al período lluvioso (mayo-octubre 1985), que resultaron siempre superiores. Esto se manifiesta tanto en las temperaturas medias mensuales, para las tres horas de observación, así como en las máximas y mínimas medias mensuales.

El comportamiento estacional de la humedad relativa durante el período, también se ilustra en la Fig. 3 y, en general, al igual que la temperatura, presenta valores más altos y estables en el período lluvioso. Esto resulta a todas luces lógico, y coincide con las normas hiperanuales para el País. La humedad relativa media para el año fue de 82% correspondiendo a marzo el valor más bajo con 75,7% y a septiembre el mayor, con 88,8%; de igual manera se comportaron los valores medios para las tres horas de observación (Fig. 3; Tabla 3).

3.2.2. Precipitaciones

La red pluviométrica utilizada cuenta con 2 pluviómetros operados por el Instituto de Hidroeconomía: PRI-222 "San Juan de Sagua" (329,6 - 254,15 - 80) y PRI-400 "Guaajaibón" (329,49 - 252,7 - 80) y tres pluviómetros operados por el Instituto de Geografía de la A.C.C.; PRG-01 "Mamey" (331,9 - 258,6 - 170); PRG-02 "Brigada" (331,5 - 261,25 - 180) y PRG-03 "Mil Cumbres" (327,8 - 256,2 - 190). Además con un pluviógrafo anexo a la estación San Juan de Sagua y al pluviómetro PRI-222 (Fig. 1).

Utilizando las láminas mensuales registradas por las estaciones durante el período estudiado, se calcularon las láminas

para el período seco (noviembre 1984 - abril 1985), lluvioso (mayo - octubre 1985) y para todo el año hidrológico (Tabla 1).

Partiendo de esta información básica y utilizando las curvas de precipitaciones en función de la altura, ($P = fh$), confeccionadas a partir de los datos de 42 años (Trusov et al., 1983), se elaboraron los mapas isoyéticos correspondientes a estos mismos períodos. (Figs. 5, 6 y 7).

Para la estimación de la lámina de precipitaciones caídas sobre los sistemas cársicos Ancón y Canilla, y sobre el área total del macizo, se utilizó el método isoyético (Custodio y Llamas, 1976). Aunque estos autores plantean este método como el más preciso para estos fines, en el caso que nos ocupa, debe destacarse que, por no disponer de información pluviométrica o de totalizadores en las partes más elevadas de los sistemas, estos valores, en los mapas isoyéticos, tuvieron que estimarse por el gradiente ($P = fh$) a que nos referimos anteriormente y por tanto aparecen con líneas discontinuas.

Sobre el sistema cársico Canilla, la precipitación media para el año hidrológico considerado, fue de 1960 mm; correspondiendo 760 mm al período seco y 1200 mm al lluvioso. Para el sistema Ancón resultaron un poco más elevados: 2099 mm (853 mm en el período seco y 1246 mm en el lluvioso). Los valores medios para toda el área del estudio, fueron de 2024 mm en el año hidrológico, correspondiendo 803 y 1221 a los períodos seco y lluvioso, respectivamente.

Por último, se analizó la representatividad de los parámetros climáticos observados en el área durante el año hidrológico analizado, con relación a la norma hiperanual (Trusov et al., 1983; Academia de Ciencias de Cuba, en preparación), dando como resultado, que los valores de precipitación estuvieron por encima de dicha norma en el período seco, y por debajo, en el período lluvioso. En general, resultó ser un año hidrológico bastante seco en relación con la media hiperanual, lo que se evidencia claramente en la Tabla 4, donde se compara la lámina caída en el período para cada pluviómetro con la norma hiperanual.

En la propia Tabla 4 se observa también que la temperatura media del aire para el año resultó consecuentemente superior a la media histórica y los valores de humedad relativa se mantuvieron dentro del rango hiperanual.

3.3 Hidrología e hidroquímica durante el año hidrológico noviembre - 1984 - octubre 1985.

3.3.1 Hidrología

Desde el punto de vista hidrológico, el macizo del Pan de Guajaibón forma parte de la cuenca del río San Marcos, uno de los principales ríos de la vertiente N de la provincia de Pinar del Río, cuya área total de cuenca es de 155 km².

El drenaje de este macizo carbonatado es fundamentalmente subterráneo y lo integran dos sistemas cársicos adyacentes y paralelos, Ancón y Canilla, orientados de NE al SW, y que vierten sus aguas al río San Marcos, a pocos centenares de metros de sus emergencias, ubicadas en el extremo W del macizo (Fig. 1).

El sistema hidrológico Canilla, ocupa la porción N del macizo del Pan de Guajaibón y su cuenca de captación integra toda la vertiente N del mismo, así como una zona de alimentación alóctona compuesta por varias corrientes superficiales estacionales, con muy pequeñas cuencas de captación y recorridos superficiales muy breves; que penetran subterráneamente en el macizo por un sistema de ponores ubicados en su porción nororiental. De ellos el arroyo Mamey, es el más importante y el único que posee una cuenca significativa fuera del macizo carsificado (Fig. 1). Estos arroyos, después de penetrar en el macizo, se mezclan con las aguas de percolación autóctonas, organizan su circulación al mismo nivel de los ríos superficiales y resurgen en el extremo noroccidental del macizo en la llamada Resurgencia Canilla. A este sistema, están asociadas las cuevas Mamey y Canilla (Fig. 1), con más de 8 km de galerías subterráneas recorridas (Cruz, de la y Valdés, 1983).

El sistema hidrológico Ancón ocupa la porción central del macizo y su cuenca de captación integra toda la parte centro-occidental de la vertiente S de la Sierra del Pan de Guajaibón, la depresión central elevada y la parte centro-occidental de la vertiente N de la Sierra Chiquita (Fig. 1). Su principal zona de alimentación la constituye la depresión central elevada; donde existe un intenso desarrollo de los procesos cársicos que ha dado lugar a una densa red de grandes depresiones, con una marcada influencia tectónica en su desarrollo. La alimentación

se produce por la colección y rápida infiltración de las precipitaciones a través de múltiples ponores en simas absorbentes.

Producto de las fuertes pendientes de las vertientes que bordean la depresión elevada y del desarrollo en ésta de una densa red de colectores cárnicos, no existe red de drenaje superficial. Las aguas autóctonas colectadas, pasan rápidamente al interior del macizo, organizan su circulación y emergen en la surgencia Ancón, en el extremo noroccidental de la depresión elevada, 60 m por encima del nivel de base de los ríos del área.

El último sector de conducción subterránea de este sistema, antes del manantial de Ancón, lo constituye la cueva del mismo nombre, de la cual se han explorado hasta el sifón terminal 800 m de conductos subterráneos (Pulina et al., 1984).

El carácter "colgado" de este sistema, se debe obviamente a la presencia, en profundidad, de un horizonte poco permeable (no carsificado). Este, aunque no ha sido comprobado por los datos de las perforaciones, se supone que se trata del contacto tectónico de los conglomerados basales de la Formación Chiquita con la matriz de la estructura de cubierta San Marcos, o con los depósitos de la Formación Lucas.

Para la definición de las cuencas de captación de ambos sistemas, se tuvieron en cuenta los parteaguas superficiales y además, se trazaron los parteaguas subterráneos, a partir de métodos litólogo-estructurales e hidrológicos, en aquellas zonas donde no existe coincidencia entre unos y otros (Fig. 1).

El área que aparece al NW del macizo, limitada entre los parteaguas superficial y subterráneo (Fig. 1), no se considera parte de la cuenca de captación del Canilla para el cierre asumido (resurgencia), pues drena al arroyo Canilla aguas abajo del cierre. La otra faja que aparece entre los parteaguas superficial y subterráneo que dividen ambos sistemas, en la parte alta de la Sierra del Pan de Guajaibón, se consideró como parte de la cuenca de captación del Sistema Ancón. Esta consideración se debe a que, independientemente de la existencia de la falla que constituye el parteaguas subterráneo de ambos sistemas, las fuertes pendientes de la vertiente S de la Sierra del Pan de Guajaibón (donde obviamente no existe una gran densidad de formas cárnicas superficiales), así como el plano de escurrimiento muy reducido; determinan que la mayor parte

de las aguas pluviales escurran superficialmente hacia la depresión central y sean captadas por las formas de absorción del Sistema Ancón.

A partir de los valores de gastos y niveles, obtenidos mediante aforos en las emergencias de los dos sistemas (Tabla 5), se elaboraron, utilizando un programa de computación, las curvas de calibración $Q = f(h)$ para los registros limnigráficos de ambos sistemas. La función de mejor ajuste resultó una parábola de la forma $y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$, con coeficientes de correlación de 0,99 y 0,95 para el Canilla y el Ancón respectivamente (Figs. 8 y 9).

Para la evaluación comparativa de la calidad de los registros limnigráficos, y la restitución de algunos valores de niveles horarios faltantes en el limnógrafo Ancón, se realizó una correlación entre los niveles registrados por ambos equipos que se muestra en la Figura 10.

Utilizando también un programa de computación y las funciones de ajuste halladas, se procesaron los registros limnigráficos correspondientes al período estudiado, previamente organizados en ficheros de datos, obteniéndose los registros completos de gastos horarios de los dos sistemas para el año hidrológico y sus medias diarias, mensuales y estacionales, así como para todo el período (Tabla 6). A partir de los datos de gastos medios diarios, se confeccionaron los hidrogramas anuales de los dos sistemas (Figs. 11 y 12), en los cuales se pone de manifiesto el mayor volumen de gastos y estabilidad del régimen de escurrimiento del Sistema Ancón con relación al Sistema Canilla, lo que se corresponde con la distribución de las precipitaciones y las condiciones naturales presentes en ambas cuencas de captación, las que ya fueron analizadas anteriormente. Consecuentemente, los gastos máximos y mínimos diarios, registrados en la surgencia Ancón 6414 y 53 l/s respectivamente, resultan muy superiores a los registrados en la resurgencia Canilla: 4904 y 15 l/s.

De igual forma se comportan los gastos medios mensuales, estacionales y anuales (Tabla 6). Los mayores valores de gastos medios mensuales, para ambos sistemas, se registraron en los meses de noviembre y septiembre (471 y 528 l/s respectivamente, para el sistema Ancón y 254 y 211 l/s para el Canilla) y los más bajos, en el mes de marzo (72 l/s para Ancón y 22 para el Canilla).

3.3.2 Balance hídrico

Para el cálculo del balance hídrico de los sistemas que integran el macizo durante el año hidrológico considerado, se utilizó la ecuación general:

$$P = I + R + E_{tp} \pm \Delta A \quad (1)$$

Donde:

- P precipitación anual en mm
- I infiltración anual en mm
- R escurrimiento anual en mm
- E_{tp} : evapotranspiración anual en mm
- ΔA : cambios de almacenamiento

Partiendo de esta fórmula general, se considera que: $R = 0$, debido a la casi total ausencia de escurrimiento superficial en el área, pues las pequeñas corrientes alóctonas que alimentan al sistema Canilla, pueden despreciarse debido a lo exiguo de sus cuencas y gastos y al carácter estacional de la mayoría de ellas. En el resto del macizo carbonatado, las precipitaciones percolan al interior del mismo casi tan rápidamente como ocurren.

Los cambios de almacenamiento (ΔA) en ambos sistemas, sólo se producen al nivel de la propia red de circulación, por no existir circulación profunda, y por lo tanto, deben compensarse al estudiar un año hidrológico completo (Sokolov y Chapman, 1981). No obstante debido a que no se han realizado mediciones directas de evapotranspiración ni de infiltración; y al hecho de contar solamente con la información de lluvias y gastos para un año hidrológico, se asume que:

la infiltración es igual al gasto de las emergencias expresado en lámina, y ΔEA es el producto de sumar la evapotranspiración con los cambios en el almacenamiento; o sea: $I = Q$ y $\Delta EA = E_{tp} \pm A$.

Por lo tanto la ecuación queda:

$$P = I + \Delta EA$$

Esta generalización de la ecuación de balance, mediante el establecimiento de una sencilla relación entre las precipitaciones y la infiltración (Zebidi y Shoeller, 1984), resulta confiable para sistemas de drenaje cársico simples,

como el caso que nos ocupa: un macizo carbonatado aislado, intensamente carsificado y con una zonación hidrodinámica incompleta (merokarst) siempre que la evaluación se realice para un ciclo anual (año hidrológico).

En la Tabla 7 se muestran los resultados del cálculo del balance hídrico de los sistemas Canilla y Ancón, así como de todo el macizo del Pan de Guajaibón para el año, hidrológico estudiado.

Como era de esperar, en función del intenso desarrollo de las formas de absorción en su cuenca de captación, y de la magnitud y estabilidad de los gastos en su surgencia, los valores del coeficiente de infiltración para el Sistema Autóctono Ancón resultaron significativamente altos (72%), así como también resultan muy bajos los valores de ΔEA (598 mm); aunque son lógicos, pues responden igualmente a las características hidrodinámicas del sistema. Los resultados obtenidos en el Sistema Alóctono-autóctono Canilla, también reflejan fielmente las características físico-geográficas e hidrodinámicas del sistema, con valores de infiltración comparativamente más bajos (32%), y altos valores de ΔEA (1341 mm).

En general, los valores para el macizo en su conjunto, responden a los de un macizo carsificado de alimentación fundamentalmente autóctona (coeficientes de infiltración del 51% y $\Delta EA = 999$ mm).

3.3.3 Hidroquímica

En las tablas 8 y 9 se presentan los resultados de los análisis químico-físicos de las aguas del Pan de Guajaibón durante el año hidrológico 1984-1985. En este período fueron estudiados, en forma sistemática, tres sitios: Sumidero del Arroyo Mauey, Resurgencia Canilla y Surgencia Aucón, representativos respectivamente de la zona de alimentación alóctona, de la zona de emisión de los macizos cársicos, con aportes mixtos alóctonos y autóctonos y de la zona de emisión con aportes autóctonos solamente. Además fueron muestreadas, de manera no sistemática, otras aguas de la región.

En general, todas estas aguas son del tipo bicarbonatadas cálcicas, excepto las de la zona de alimentación alóctona, que son del tipo bicarbonatadas cálcico-sódicas (Figs. 13 y 14).

La fluctuación estacional de los parámetros químico-físicos en los puntos de control sistemático; fue mayor como era de esperar en las aguas superficiales, que en las subterráneas (Tabla 8). El pH varió entre 6,30 en períodos de avenida, hasta 8,25, en época de seca. El contenido de CO_2 osciló entre 0 y 6,6 mg/l, siendo superior en la emergencia alimentada por aguas autóctonas (Ancón).

La mineralización, la conductividad eléctrica y la dureza, proporcionales entre sí, fueron superiores en las aguas alóctonas que penetran en el macizo, a las que salen del mismo. Este comportamiento había sido observado en períodos anteriores (Fagundo et al., 1986) y se explica por su interacción previa con el melange sedimentario, tectónicamente elaborado, que constituye la matriz de la estructura de cubierta San Marcos, en parte constituida por láminas e intercalaciones de rocas carbonatadas intensamente trituradas. Un efecto similar fue reportado por el autor principal (Rodríguez, 1984) para las aguas alóctonas de la cuenca del río Cuyaguaje.

Por otro lado, la masa de roca transportada por disolución en el tiempo, determinada como caudal químico (producto del caudal por la concentración), es mayor a la salida del sistema cársico; lo cual implica un considerable aporte de la componente autóctona del sistema.

Los índices de saturación de la calcita (RSC), la dolomita (RSD) y el yeso (RSY), reflejan algunas variaciones dentro de los distintos tipos de aguas y períodos climáticos. Por lo general, durante todo el año, las aguas permanecieron sobresaturadas respecto a la calcita. Se observaron solamente algunos valores de insaturación (signo negativo) en momentos en que ocurren algunas precipitaciones ocasionales durante, o en días previos a la toma de muestra. Con respecto a la dolomita se observaron con más frecuencia valores de insaturación fundamentalmente en el período lluvioso. Con respecto al yeso todas las aguas resultaron insaturadas.

La variación estacional de la conductividad en los tres sitios de referencia se presenta en la Figura 15. Como se puede observar, las aguas del Sumidero Mamey experimentan la mayor fluctuación. La composición química de dichas aguas, representada en forma de diagramas de Stiff, se ilustra en la Figura 13. Puede apreciarse, que las variaciones relativas que experimentan las distintas concentraciones iónicas son

proporcionales a la conductividad eléctrica, manteniéndose en todo momento la misma composición química relativa. Sólo experimenta un cambio apreciable del agua del arroyo Mamey, muestreada un día en que tuvo lugar una fuerte precipitación.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de los análisis químico-físicos de muestras de aguas tomadas durante este período, en forma no sistemática, en las zonas de alimentación alóctona y autóctona de los macizos carbonatados y la zona de conducción de los mismos, dentro de las cavidades cársticas. En general, el pH de estas aguas es superior en las cavernas (7,70 - 8,40) que en los restantes sitios (7,25 - 7,85). El contenido de CO_2 por el contrario es más pequeño en las aguas de cuevas (0,6 - 7,4 mg/l), y superior en las de la zona de alimentación autóctona (5,3 - 19,7 mg/l). Con relación a los índices de saturación, se observó en los tres casos, durante todo el período, una tendencia a la insaturación respecto a la dolomita y al yeso. Con relación a la calcita, la mayoría de las aguas se encuentran sobresaturadas.

Un esquema de evolución de las aguas de esta región se ilustra en la Figura 16, mediante un diagrama de dureza (CaCO_3) vs $\log p\text{CO}_2$. Un camino evolutivo conduce las aguas de las precipitaciones, desde valores de muy bajos contenidos de carbonato de calcio y de anhídrido carbónico, hasta valores relativamente altos de ambos parámetros, como resultado de un proceso de disolución en condiciones de sistema abierto respecto al CO_2 (camino I). Este tránsito ocurre a través del acuífero desarrollado en sedimentos no consolidados de la vertiente N del macizo y los cursos superficiales alóctonos.

En el interior de los macizos carbonatados estas aguas se mezclan con las del tipo autóctono (camino II) y en virtud de la mezcla de agua, se hacen de nuevo agresivas, disolviendo más CaCO_3 . Como resultado de esta actividad, decrecen los valores de CO_2 , y sin embargo, el incremento de la dureza no es apreciable. Este proceso ocurre principalmente en condiciones de sistema cerrado respecto al CO_2 . Un tercer camino de evolución (III), tiene lugar en las aguas captadas en los macizos cársticos que son interceptadas por una cavidad. Estas aguas de percolación, muestreadas en las cavidades, presentan valores bajos, tanto de dureza como de CO_2 ; esto se explica por el cambio de presión que experimentan estas aguas

que se mueven lentamente a través de las grietas y fisuras de las calizas, y cuando encuentran una cavidad aireada, el CO_2 disuelto se escapa, precipitando el exceso de calcita.

3.4 Denudación química durante al año hidrológico noviembre - 1984 - octubre 1985

La denudación química fue calculada para los dos sistemas cársicos del macizo, Ancón y Canilla, de acuerdo con la metodología propuesta por Pulina (1974), la cual se determina a partir de los valores de gastos de las emergencias (Q), composición química, y la mineralización (ΣM), empleando las fórmulas:

$$(1) \text{ y } (2) \quad D_M = 0,0126 \cdot \Delta T \cdot q \quad \text{ y } \quad D_t = 0,0315 \cdot \Delta T \cdot q$$

donde: $\Sigma M = (720:1161) \cdot \text{SPC}$; $T = T - T_a$ y $q = 1000 \cdot \frac{Q}{S}$

D_m = denudación química en $\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$ o $\text{mm}/1000$ años

D_t = denudación química en $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{año}$

SPC = conductividad eléctrica en $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

ΔT = mineralización de las aguas provocada por la interacción agua-roca en mg/l

T = mineralización de las aguas en las emergencias expresada en mg/l

T_a = mineralización de las aguas de precipitación expresada en mg/l

q = módulo del escurrimiento en $\text{l}/\text{seg} \cdot \text{km}$

Q = gasto en m^3/seg

S = área de la cuenca de captación en km^2

12,6 = valor del coeficiente α en rocas carbonatadas

$$(3) \text{ y } (4) \quad A_m = 12,6 \cdot \Delta T \cdot Q \quad \text{ y } \quad A_t = 31,5 \cdot \Delta T \cdot Q$$

donde:

A_m y A_t = valor total de la masa de roca extraída del macizo, como resultado del proceso denudacional en el año, expresada en m^3 y toneladas, respectivamente.

Los valores de denudación y volumen de roca disuelta para períodos de observación menores de un año (período seco y período lluvioso), se calcularon por las fórmulas siguientes:

$$(5) \text{ y } (6) \quad D_m^h = 34,56 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T \cdot Q \cdot h \quad \text{y} \quad D_t^h = 80,4 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T \cdot Q \cdot h$$

donde:

D_m^h y D_t^h = denudación para períodos menores de un año
expresada en m^3/km^2 en el tiempo h.

h = tiempo en días

$$\text{y } (8) \quad A_m^h = 0,03456 \cdot \Delta T \cdot Q \cdot h \quad \text{y} \quad A_t^h = 0,0864 \cdot \Delta T \cdot Q \cdot h$$

donde:

A_m^h y A_t^h = valor total de la masa de roca extraída del macizo,
como resultado del proceso denudacional en el
período de tiempo h, expresado en m^3 y t
respectivamente

En la Tabla 10 se muestran los valores de denudación para el año hidrológico y períodos seco y lluvioso, en los dos sistemas cársicos. Los cálculos se realizaron a partir de los mismos valores de gastos medios utilizados para el cálculo del balance hídrico; el cálculo de la sumatoria de mineralización, se realizó a partir de los valores medios de conductividad eléctrica (SPC), a 25°C para el período estudiado (Tabla 8).

Del análisis de los resultados expuestos, en la Tabla 10, se observa que los valores de denudación para el año hidrológico en el Sistema Ancón, cuyas aguas son autóctonas, son muy superiores a los del Sistema Canilla, donde las aguas son alóctonas-autóctonas (112 y 40 $m^3/km^2 \cdot año$, respectivamente); comportándose de igual manera, los valores obtenidos para el período seco (49 y 16 $m^3/km^2 \cdot 181$ días) y el período lluvioso (63 y 23 m^3 (63 y 23 $m^3/km^2 \cdot 184$ días). Esto se debe, en primer lugar a que, los volúmenes de agua que circulan por el Sistema Ancón son muy superiores a los del Sistema Canilla, como consecuencia del intenso desarrollo de los procesos cársicos en la cuenca de captación del Sistema Ancón. Esto provoca la rápida y efectiva infiltración de 72% de la lámina de precipitaciones; mientras que en el Sistema Canilla, con otras características hidrológicas y físico-geográficas, la infiltración representa solamente 32% de las precipitaciones.

Por otra parte, los valores de mineralización de las aguas en la Surgencia Ancón, son superiores y estacionalmente más estables durante todo el año, que en las aguas de la Resurgencia Canilla. Esto puede deberse a diferentes factores o a su efecto combinado:

- a) Efecto litológico, o sea, diferencias mineralógicas y texturales que influyen en el índice de solubilidad de las dos litologías carbonatadas presentes.
- b) Actividad microbiológica, la cual evidentemente resulta mucho mayor en la zona de alimentación del Sistema Ancón, debido al mayor aporte y acumulación de materia orgánica, provocando una mayor concentración de CO_2 a las aguas de este sistema. El contenido de CO_2 de las aguas asociadas al Sistema Ancón (5,1 mg/l) fue, en general, muy superior al de las aguas asociadas al Sistema Canilla (0,8 mg/l). Esto demuestra, en el primer caso, la presencia de una fuente de gran actividad microbiológica.
- c) Superficie y tiempo de contacto agua-roca, en el cual influyen las pendientes, la mayor o menor ocurrencia y densidad de formas cárnicas, la velocidad de infiltración, etc; factores éstos que como se ha explicado a lo largo del trabajo, indican una mayor superficie y tiempo de contacto agua-roca en el Sistema Ancón.

El valor de denudación química anual calculado para el Sistema Canilla — $40 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$ — resulta comparable con los valores reportados por Pulina (1977) para algunos cursos de Europa: $40 - 49 \text{ m}^3/\text{km}^2$ en los Altos Tatras, Polonia; $38 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$ en Vracanska Planina, Checoslovaquia; $47 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$ en los Pirineos y $50 - 60 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$ en los Alpes y en algunas áreas del Cáucaso. Sin embargo en el caso del Sistema Ancón, el valor calculado para el año hidrológico, ($112 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$), solo resulta comparable con los más altos valores reportados en climas templados: $80-136 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$ en el curso de Wyayna, Polonia y $114-139 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$ en el Cáucaso, URSS. No obstante, es destacable que la mineralización de las aguas de los dos sistemas que integran el macizo del Pan de Guajaibón, resulta comparativamente baja debido a la rápida infiltración de las aguas de precipitación.

Los valores de denudación obtenidos, para el año hidrológico estudiado, y fundamentalmente los del Sistema Ancón (aguas

autóctonas), proporcionan una medida de la intensidad actual de los procesos de denudación en estos tipos de carso tropical, y resultan los primeros registrados para un ciclo hidrológico completo, tanto para el macizo del Pan de Guajaibón, como para todo el País. Los primeros cálculos de denudación fueron realizados en el polígono del Pan de Guajaibón, durante el invierno de 1984 (Pulina et al., 1984) y se refieren a una sola campaña de observaciones (24 de Enero a 7 de Febrero de 1984), por lo que los cálculos anuales realizados, resultan solamente una primera aproximación.

Es necesario plantear que no se profundizó en la comparación de los resultados de denudación, de los dos sistemas estudiados, con los reportados para las áreas templadas, por no encontrarse los datos sobre la mineralización de las aguas y el módulo del escurrimiento en la bibliografía consultada (Pulina, 1977; Markowicz y Pulina, 1979).

4. CONCLUSIONES

El año hidrológico estudiado resultó relativamente seco con relación a la norma hiperanual. Estacionalmente, las precipitaciones para el período seco estuvieron por encima de dicha norma y por debajo para el período lluvioso.

El drenaje del macizo carbonatado, producto del intenso desarrollo de los procesos cársicos, es fundamentalmente subterráneo y lo integran dos sistemas cársicos adyacentes y paralelos (Ancón y Canilla).

La alimentación del Sistema Canilla es de carácter mixto (alóctona-autóctona), con circulación al nivel de los ríos de la región; mientras que la del Sistema Ancón es puramente autóctona y circula 60 m por encima del nivel de base de los ríos del área.

Del análisis de los gastos medios diarios, estacionales y anuales obtenidos, se evidencia el mayor volumen de gastos y estabilidad del régimen de escurrimiento del Sistema Autóctono Ancón, con relación al Sistema Alóctono-Autóctono Canilla, lo que se corresponde con la distribución de las precipitaciones y las condiciones físico-geográficas, presentes en ambas cuencas de captación.

La generalización, presumida para el cálculo del balance hídrico a partir del establecimiento de una relación sencilla entre las

precipitaciones y la infiltración, resulta confiable y de gran utilidad, y se recomienda su uso en sistemas de drenaje cársico de estructura simple donde no exista drenaje profundo, siempre que se realice la estimación para un ciclo anual (año hidrológico).

Los valores del coeficiente de infiltración, para el Sistema Autóctono Ancón, resultaron significativamente altos (72%) y consecuentemente bajos los valores de ΔEA (598 mm) lo que responde al intenso desarrollo de las formas cársicas de absorción, en su cuenca de captación, que da lugar a la rápida infiltración de la mayor parte de las precipitaciones.

Para el Sistema Alóctono-Autóctono Canilla, los valores del coeficiente de infiltración resultan comparativamente más bajos (32%) y altos los valores de ΔEA (1341 mm), lo que también es un reflejo fiel de las características físico-geográficas e hidrodinámicas del sistema.

En general, los valores para el macizo, en su conjunto, responden a los de un macizo carsificado de alimentación fundamentalmente autóctona (coeficientes de infiltración y evapotranspiración de 51% y $\Delta EA = 999$ mm).

Los valores de conductividad eléctrica y demás parámetros asociados a ésta (dureza, mineralización y concentración de iones mayoritarios), resultan más altos y estables para el Sistema Autóctono Ancón que para el Canilla, lo que se relaciona con diversos factores litológicos, hidrodinámicos y microbiológicos, o a su efecto combinado.

Los altos valores de denudación química obtenidos para el Sistema Autóctono Ancón ($112 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$), resultan solamente comparables con los valores extremos reportados para climas templados, en dos sistemas cársicos de Europa. Los correspondientes al Sistema Canilla, resultan mucho más bajos ($40 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$) y se corresponden con los valores medios para climas templados.

Los valores de denudación química obtenidos para el Sistema Autóctono Ancón ($112 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$), resultan solamente comparables con los valores extremos reportados para climas templados, en dos sistemas cársicos de Europa. Los correspondientes al Sistema Canilla, resultan mucho más bajos ($40 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año}$) y se corresponden con los valores medios para climas templados.

Los valores de denudación química obtenidos en el macizo carbonatado del Pan de Guajabón, ofrecen una medida de la

intensidad actual de este proceso en estos tipos de carso tropical, y resultan los primeros reportados en el País para un ciclo hidrológico completo.

REFERENCIAS

- Academias de Ciencias de Cuba [en preparación] Nuevo Atlas Nacional de Cuba.
- Cruz, A. V. y J. J. Valdés (1983): Caracterización geoquímica y geomatemática de las aguas de la Sierra del Pan de Guajaibón y sus inmediaciones. Sierra del Rosario, Pinar del Río. Actas del Primer Coloquio Internacional sobre Hidrología Cársica de la Región del Caribe. Palacio de las Convenciones. La Habana, pp. 289-301.
- Custodio, E., y M. R. Llamas (1976): Hidrología Subterránea. Tomos I y II. Editorial Omega, Barcelona, 2359 pp.
- Fagundo, J. R., y J. J. Valdés (1975): Estudio químico-físico del comportamiento de las aguas kársticas de la región de San Antonio de los Baños, La Habana, Cuba, mediante el uso de modelos matemáticos. Ann. Spéol. 30(4):613-653.
- [en prensa]: Nuevo algoritmo para el cálculo de parámetros e índices químico-físicos y geoquímicos en aguas naturales altamente mineralizadas. Rev. CENIC. (Ciencias Físico-Químicas).
- Fagundo, J. R., J. J. Valdés, J. M. Pajón, y J. E. Rodríguez (1981): Comportamiento químico-físico de las aguas kársticas en la cuenca del río Guayaguateje. Ing. Hidrául., 2(3):251-274.
- (1983): Estudio hidrogeoquímico de las aguas cársicas de la cuenca del río Guayaguateje, Pinar del Río. Actas del Primer Coloquio Internacional sobre Hidrología Cársica de la Región del Caribe. Palacio de las Convenciones, La Habana, pp. 373-390.
- Fagundo, J. R., J. J. Valdés, J. E. Rodríguez, J. M. Pajón, A. V. García, y M. Pulina (1985): Estudio preliminar sobre el proceso de denudación cársica en el polígono experimental cubano-polaco del Pan de Guajaibón. Rev. Vol. Hidrául. 2071(23):11-15.
- Markowicz, M., y M. Pulina (1979): flościowa Polmil analizza Chemizna Wód w Obszarach Krasu Weglanowego. Uniwersitet Slasky, Katowice, 167 pp.
- Maximov, A., I. Mediakov, S. Riabenko, V. Krasnov, A. Kotsev, L. Nevia, V. Bello, R. Gómez, y G. Park (1978): Informe de los resultados de los trabajos complejos geólogos-geofísicos a escala 1:50 000 en la zona de Bahía Honda. Archivo Empresa Geológica de Pinar del Río.
- Pulina, M. (1974): Denudacja chemizna na obszarach krasu weglanowego. Prace Geograficzne, PAN (Polska Akademi Nauk), 105:159.
- (1977): Uwagi o zjawiskach krasowych w poludniej części Spits bergenu. Kras speleol., 1:27 [citado por Markowicz y Pulina. 1979].
- Pulina, M., J. R. Fagundo, J. J. Valdés, J. E. Rodríguez, A. Kozin, J. Leszkewicz, P. Glowacki, J. M. Pajón, A. V. Cruz, y A. García (1984): The dynamic of the contemporary karstic processes in a tropical area of Cuba. Preliminary report of the field investigations performed by the expedition Guajaibón '84 in the winter season 1984. Univ.

- Slaski, Sosnowice, 40 pp.
- Rodríguez, J. E. (1983): Caracterización Hidrólogo-Hidrógeológica del curso de la Cuenca del Río Cuyaguajateja, Pinar del Río, Cuba. Actas del Primer Coloquio Internacional sobre Hidrología Carsica de la Región del Caribe. Palacio de las Convenciones, La Habana, pp. 149-178.
- Sokolov, A., y T. Chapman (1981): Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía Internacional de Investigación y Métodos. Stud. Rep. Hydrol., 17:147.
- Trusov, I. I., A. Izquierdo, y L. R. Díaz (1983): Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba. Edlit. Academia. La Habana, 150 pp.
- Valdés, J. J., y J. R. Fagundo (1980): Determinación de la capacidad de disolución de las aguas kársticas durante un año hidrológico mediante formulaciones matemáticas basadas en las leyes del equilibrio químico. Rev. Ing. Hidrául., 1(2):61-77.
- Zebidi, H., y H. Shoeller (1984): Guide to the hydrology of carbotae rocks. Stud. Rep. Hydrol., 44:345.

ABSTRACT. It is presented a hydrological study of the limestone massif of Pan de Guajaibón, in order to assess the dynamics of karstic processes in tropical conditions, chiefly the annual hydric balance, and to calculate the chemical denudation of this karstic network for the hydrological year November 1984 October 1985.

The results define the occurrence of two contiguous karstic drainage systems. The first one suspended with autochthonous feeding and high infiltration (CI-72%) and denudation ($112 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{y}$) levels, only comparable with the extreme values reported in temperate climates. The second one is a mixture of autochthonous and allochthonous feeding, has low infiltration and denudation levels (32% and $40 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{y}$, respectively), corresponding to similar mean values registered in Europe.

These values are referred to the hydrological year considered and give a measure of the present denudation processes intensity in these tropical karst types, fundamentally that of the autochthonous Ancon System. It were also the first karst denudation values reported in Cuba for a complete hydrological cycle.

The waters of this region, mainly of the calcic-bicarbonate type, evolve by different ways as a result of its interaction with the karstic massif, which is also affected by the combined action of different factors, such as hydrological, climatological and microbiological.

Tabla 1. Precipitaciones mensuales medidas en el área del Pan de Guajaibón en el año hidrológico Nov. 1984 - Oct. 1985.

Meses	PRI-400 GUAJAIBÓN		PRI-222 S. JUAN DE SAGUA		PRG-01 MAMEY		PRG-02 BRIGADA		PRG-03 MIL CUMBRES	
	No. de días c. lluvias	P (mm)	No. de días c. lluvias	P (mm)	No. de días c. lluvias	P (mm)	No. de días c. lluvias	P (mm)	No. de días c. lluvias	P (mm)
					9 8 4					
Noviembre	5	171,1	10	153,1	7	214,7	6	173,5	9	259,9
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					1 9 8 5					
Enero	4	111,5	8	124,4	7	149,8	6	145,5	7	151,4
Febrero	3	49,1	3	43,1	3	"93,4"	2	35,5	1	27,0
Marzo	1	23,5	2	35,2	1	45,5	2	"69,8"	2	87,5
Abril	6	108,2	6	173,5	6	144,3	5	136,2	5	85,1
Mayo	7	130,0	9	144,2	9	239,9	9	301,5	6	153,0
Junio	8	90,8	8	62,0	10	143,8	7	70,4	6	59,1
Julio	11	246,9	16	236,6	9	172,2	6	196,9	10	256,8
Agosto	10	200,5	14	214,2	10	258,8	10	189,3	10	213,0
Septiembre	13	198,8	16	235,4	7	266,8	6	176,7	11	434,7
Octubre	10	97,7	10	78,8	9	120,8	10	137,1	7	93,9
Período Seco	19	463	29	529	24	"648"	21	"560"	24	611
Período Lluvioso	59	965	73	971	54	1 202	48	1 072	50	1 210
Totales Anuales	77	1 428	102	1 500	75	"1.850"	68	"1 632"	74	1 821

Tabla 2. Temperaturas medias mensuales en °C registradas en la Estación San Juan de Sagua (nov. 1984 - oct. 1985).

Año	Meses	Horas			Medio mensual	Media		Absoluta.	
		7:00	13:00	19:00		Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
1984	noviembre	19,4	26,0	23,3	22,6	18,5	28,3	14,0	31,5
	diciembre	20,2	25,9	21,1	22,4	16,5	28,8	10,5	32,0
1985	enero	16,6	22,9	19,8	19,8	15,1	29,3	12,0	30,5
	febrero	18,7	25,2	22,1	22,2	15,9	26,8	11,0	32,0
	marzo	19,2	27,0	23,9	23,3	17,3	29,3	14,0	32,5
	abril	20,3	26,6	24,6	23,9	16,5	28,0	11,0	33,0
	mayo	22,2	28,7	26,4	25,7	"18,6"	30,4	"15,5"	36,0
	junio	23,7	31,1	28,2	27,6	"22,3"	33,6	"19,5"	36,0
	julio	22,5	31,0	28,0	27,2	"20,8"	33,1	"18,0"	35,5
	agosto	22,8	30,5	28,1	27,1	"21,2"	32,4	"15,0"	34,0
	septiembre	22,2	29,7	27,1	26,4	21,5	32,5	19,4	36,5
	octubre	21,9	29,5	28,6	26,6	20,8	33,8	18,6	35,5
\bar{T}	Período seco	19,1	25,6	22,5	22,4	16,6	28,4	12,1	31,9
\bar{T}	Período lluvioso	22,5	30,0	27,7	26,6	"21,0"	32,6	"17,7"	35,6
\bar{T}	Anual	20,8	27,8	25,1	24,5	"18,8"	30,5	"14,8"	33,8

Tabla J. Humedades relativas medias mensuales en % registradas en la Estación San Juan de Sagua (nov. 1984 - oct. 1985).

Año	Meses	H o r a s			Media Mensual
		7:00	13:00	19:00	
1984	noviembre	91,0	75,0	84,7	83,6
	diciembre	85,0	69,5	84,5	79,7
1985	enero	90,9	77,7	85,6	84,7
	febrero	85,2	68,8	79,8	77,9
	marzo	84,7	65,9	76,4	75,7
	abril	88,9	70,7	75,3	78,3
	mayo	91,3	76,0	82,8	83,4
	junio	92,7	70,3	81,5	81,5
	julio	90,6	76,9	82,2	83,2
	agosto	93,7	77,6	87,8	86,4
	septiembre	95,0	82,5	88,9	88,8
	octubre	94,5	80,6	85,2	86,8
\overline{HR}	Período seco	87,6	71,3	81,0	80,0
\overline{HR}	Período lluvioso	93,0	77,3	84,7	85,0
\overline{HR}	Anual	90,3	74,3	82,8	82,5

Tabla 4. Representatividad de los parámetros climáticos registrados en el período nov. 1984 - oct. 1985 con relación a las normas hiperanuales.

PARAMETROS	Observación en el año (nov.1984-oct.1985)	Norma Hiperanual	Representatividad (%)
I Precipitación			
PRI - 400	1 428 mm	1 900 mm	75
PRI - 222	1 500 mm	1 900 mm	79
PRG-01	1 850 mm	2 000 mm	93
PRG-02	1 632 mm	1 900 mm	86
PRG-03	1 824 mm	2 000 mm	91
II Temperatura			
	24,5°C	23°C	106,5
III Humedad Relativa			
7 h	90,3%	95%	95
13 h	74,3%	70-75%	100

Tabla 5. Aforos y niveles medidos en las emergencias del Canilla y Ancón.

R E S U R G E N C I A C A N I L L A

Fecha	Nivel (cm)	Gasto (l/s)
25.01.84	37,2	122,8
28.01.84	33,5	79,5
5.02.84	54,5	333,3
30.07.84	55,0	353,5
20.09.84	60,5	484,4
20.09.84	60,5	481,9
21.09.84	49,5	250,9
21.09.84	49,5	255,5
24.09.84	38,8	126,4
24.09.84	38,8	128,0
24.09.84	38,8	124,1
28.09.84	35,5	92,9
30.10.84	27,9	48,3
30.11.84	32,9	68,4
5.02.85	21,0	22,9
5.02.85	21,0	23,0
12.02.85	31,5	67,2
12.02.85	31,8	67,3
19.06.85	24,3	31,4
30.01.86	18,0	18,3
30.01.86	18,0	17,4

Tabla 5 (Continuación)

SURGENCIA ANCÓN

Fecha	Nivel (cm)	Gasto (l/s)
25.01.84	19,9	105,0
28.01.84	19,2	94,0
31.01.84	19,4	97,0
5.02.84	29,7	449,7
30.07.84	25,0	216,6
24.09.84	19,5	104,1
24.09.84	19,5	101,2
24.09.84	19,0	118,6
25.09.84	19,0	145,0
25.09.84	19,0	137,1
28.09.84	18,3	136,5
30.10.84	20,0	104,8
30.11.84	21,0	119,7
5.02.85	17,5	74,8
12.02.85	20,7	81,2
19.09.85	28,5	327,1
30.01.86	15,0	51,3

Tabla 6. Valores de niveles y gastos medios mensuales, estacionales y anuales en las exurgencias de los Sistemas Canilla y Ancón.

Año	Mes	Resurgencia Canilla		Surgencia Ancón	
		\bar{H} (cm)	\bar{Q} (l/s)	\bar{H} (cm)	\bar{Q} (l/s)
1984	noviembre	30,2	254	23,0	471
	diciembre	20,6	24	18,7	101
1985	enero	27,0	90	20,5	260
	febrero	21,4	25	17,4	80
	marzo	20,6	22	16,5	72
	abril	32,4	60	18,2	105
	mayo	29,7	125	18,8	164
	junio	27,6	48	19,5	117
	julio	33,6	121	18,4	145
	agosto	36,0	169	23,2	284
	septiembre	41,8	211	25,6	528
	octubre	26,7	51	20,4	154
Período seco		25	79	19	181
Período lluvioso		33	121	21	232
Anual		29	100	20	207

Tabla 7. Balance hídrico para el año hidrológico XI 1984 - X 1985

Sistema	Área (km ²)	Período	Q (m ³ /s)	I (mm)	P (mm)	CI (%)	(Et _p ± A) (mm)
Canilla	5,1	Seco	0,079	242	760	32	518
		Lluvioso	0,121	377	1 200	31	823
		Año	0,1	619	1 960	32	1 341
Ancón	4,35	Seco	0,181	652	853	76	201
		Lluvioso	0,232	849	1 246	68	397
		Año	0,207	1 501	2 099	72	- 598
Macizo Pan de Guajaibón		Seco	0,260	430	803	54	373
		Lluvioso	0,353	595	1 221	49	626
		Año	0,307	1 025	2 024	41	999

Tabla 8a. Comportamiento físico-químico de las aguas del Pan de Guajaibón (puntos sistemáticos) durante el año hidrológico nov. 1984 - oct. 1985.

No.	Fecha	T(C)	pH	CO ₂ (mg/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)
	30/11/84	21,5	8,25	0	5,12	0,67	0,02	2,6	1,54
2	4/ 1/85	20,8	6,3	0,9	1,15	0,39	0,22	0,82	0,2
3	8/ 2/85	19,8	8	4,8	5,25	0,64	0,08	3,2	0,88
4	2/ 3/85	20	8,05	4	5	0,67	0,08	2,8	1,2
5	11/ 4/85	22,5	7,9	2,6	3,25	0,41	0,12	2,62	0,5
6	19/ 6/85	22	7,8	3,3	2,7	0,41	0,38	2,4	0,4
7	15/ 8/85	22,6	7,8	4,4	2,75	0,39	0,25	2,4	0,4
8	19/ 9/85	23	7,7	3,3	4,75	0,62	0,2	3,16	0,72
25	30/11/84	22,2	7,8	3,5	2,75	0,33	0	2,36	0,36
26	4/ 1/85	22	7,6	2,6	2,95	0,42	0,12	2,56	0,36
27	8/ 2/85	22,2	7,8	2,2	3	0,42	0,12	2,68	0,4
28	2/ 3/85	22,2	8,05	2,5	3,05	0,44	0,2	2,64	0,4
29	11/ 4/85	22,5	7,9	2,6	3,25	0,41	0,12	2,62	0,5
30	19/ 6/85	22,6	7,8	3,3	2,7	0,41	0,38	2,4	0,4
31	15/ 8/85	22,6	7,8	4,4	2,75	0,39	0,25	2,4	0,4
32	19/ 9/85	22,6	7,4	3,3	2,7	0,34	0,25	2,28	0,36
33	30/11/84	22,3	7,65	4	3,3	0,33	0,14	2,88	0,4
34	4/ 1/85	21,5	8	3,3	3,47	0,37	0,46	3,02	0,44
35	8/ 2/85	22,7	7,8	3,1	3,4	0,47	0,08	3,28	0,24
36	2/ 3/85	22,8	8,1	2,4	3,4	0,41	0,22	3,2	0,26
37	11/ 4/85	22,7	7,45	3,1	3,4	0,37	0,08	3,04	0,56
38	19/ 6/85	22,7	7,65	5,7	3,55	0,47	0,4	3,32	0,28
39	15/ 8/85	22,7	7,5	6,6	3,45	0,43	0,3	3	0,4
40	19/ 9/85	22,6	7,55	6,6	3,5	0,37	0,3	3,04	0,36

Tabla 8b. Comportamiento físico-químico de las aguas del Pan de Guajalabón (puntos sistemáticos) durante el año hidrológico nov. 1984 - oct. 1985.

No	Fecha	Na+K (meq/l)	CaCO ₃ (mg/l)	SPC25-C (S/cm ⁻¹)	M (mg/l)	RSC	RSO	RSY log p	CO ₂
	30/11/84	1,67	207	500	310	0,82	1,63	-3,73	2,88
2	4/ 1/85	0,74	51	125	78	-2,16	-4,72	-2,97	1,48
3	8/ 2/85	1,89	204	520	322	0,65	0,97	-3,02	2,56
4	2/ 3/85	1,75	200	495	307	0,63	1,11	-3,08	2,63
5	11/ 4/85	0,66	156	446	188	0,35	0,2	-2,86	2,63
6	19/ 6/85	0,69	140	515	177	0,19	-0,19	-2,29	2,5
7	15/ 8/85	0,59	140	500	171	0,15	-0,26	-2,57	2,61
8	19/ 9/85	1,69	194	475	295	0,33	0,33	-2,61	2,27
25	30/11/84	0,36	136	265	164	0,1	-0,43	-1,71	2,61
26	4/ 1/85	0,57	146	278	172	0,002	-0,64	-2,87	2,38
27	8/ 2/85	0,46	154	318	197	0,22	-0,17	-2,85	2,58
28	2/ 3/85	0,65	152	302	187	0,47	0,34	-2,63	2,82
29	11/ 4/85	0,66	156	304	188	0,35	0,2	-2,86	2,64
30	19/ 6/85	0,69	140	285	177	0,2	-0,17	-2,47	2,61
31	15/ 8/85	0,59	140	275	171	0,15	-0,26	-2,57	2,61
32	19/ 9/85	0,65	132	255	158	-0,27	-1,12	-2,58	2,21
33	30/11/84	0,49	164	322	200	0,14	-0,36	-2,77	2,39
34	4/ 1/85	0,84	173	305	189	0,51	0,4	-2,23	2,72
35	8/ 2/85	0,43	176	358	222	0,36	-0,2	-2,96	2,54
36	2/ 3/85	0,57	173	345	214	0,64	0,41	-2,52	2,83
37	11/ 4/85	0,25	160	340	131	-0,009	-0,53	-2,99	2,17
38	19/ 6/85	0,82	180	355	136	0,24	-0,38	-2,26	2,35
39	15/ 8/85	0,78	170	330	208	0,03	-0,59	-2,43	2,21
40	19/ 9/85	0,77	170	335	208	0,09	-0,53	-2,42	2,26

Tabla 9a. Comportamiento físico-químico de las aguas del Pan de Guajaibón (puntos no sistemáticos durante el año hidrológico nov. 1984 - oct. 1985.

No.	Fecha	T(C)	pH	CO ₂ (mg/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)
9	8/ 2/85	21,7	7,7	2,8	1,45	0,22	0,1	0,96	0,08
10	24/ 9/85	24	7,55	3,3	1,75	0,32	0,06	1,08	0,32
11	24/ 9/85	23,6	7,85	1,1	5,35	0,47	0,9	3,62	0,98
12	13/ 2/85	18	7,4	19,7	5,3	0,58	0,12	5,08	0,24
14	13/ 2/85	24,4	7,45	16,2	5,25	0,18	0,26	4,2	1,06
15	24/ 9/85	20,8	7,85	5,3	4,1	0,47	0,2	3,8	0,4
16	24/ 9/85	24,2	7,3	11	3,1	0,17	0,05	2,6	0,44
17	24/ 9/85	22,8	7,25	13,9	3,9	0,34	0,02	3,04	0,56
18	12/ 2/85	22,6	7,7	5,5	3,05	0,42	0,16	2,68	0,4
19	9/ 2/85	21,6	8,2	1,2	2,1	0,37	0,12	1,8	0,24
20	9/ 2/85	21,6	8,4	0,6	1,8	0,47	0,24	2	0,08
21	24/ 9/85	22	8,15	7,4	2,85	0,96	0,18	3,24	0,24
22	19/ 2/85	21,8	8,35	0,8	2,1	0,41	0,18	2,12	0,16
23	27/ 2/85	22,2	8,1	2,4	3,4	0,37	0,12	3,24	0,28
24	13/ 2/85	16,8	8,35	1,1	2,5	0,54	0	2,52	0,34

Tabla 9b. Comportamiento físico-químico de las aguas del Pan de Guajaibón (puntos no sistemáticos durante el año hidrológico nov. 1984 - oct. 1985).

No.	Fecha	Na+K (meq/l)	CaCO ₃ (mg/l)	SPC25 C s/cm ⁻¹	M (mg/l)	RSC	RSD	RSY log p	CO ₂
9	8/ 2/85	0,73	52	123	76	0,58	-2,03	-3,24	2,78
10	24/ 9/85	0,73	70	170	105	-0,56	-1,44	-3,44	2,53
11	24/ 9/85	2,12	230	490	304	0,62	0,88	-1,94	2,37
12	13/ 2/85	0,68	266	510	316	0,23	-0,64	-2,66	1,97
14	13/ 2/85	0,43	263	520	322	0,29	0,22	-2,42	1,98
15	24/ 9/85	0,57	210	400	248	0,52	0,27	-2,52	2,51
16	24/ 9/85	0,16	152	300	186	-0,23	-1,01	-3,23	2,04
17	24/ 9/85	0,66	180	375	233	-0,15	-0,82	-3,6	1,91
18	12/ 2/85	0,55	154	300	186	0,14	-0,34	-2,73	2,47
19	9/ 2/85	0,55	102	258	160	0,31	-0,05	-2,96	3,14
20	9/ 2/85	0,43	108	290	180	0,48	-0,24	-2,62	3,41
21	24/ 9/85	0,51	174	390	242	0,62	0,32	-2,61	2,96
22	19/ 2/85	0,41	114	330	205	0,5	0,09	-2,72	3,31
23	27/ 2/85	0,37	176	340	211	0,64	0,45	-2,79	2,83
24	13/ 2/85	0,18	143	293	182	0,53	0,38	-1,68	3,26

Zona de alimentación alóctona: 9 Pozo de los Mineros, 10 Arroyo de la Sed, 11 Arroyo de Fluoresceína

Zona de alimentación autóctona: 12 Manantial de la Vieja, 14-15 Aguada Mameyes, 16 Aguada Macagua, 17 Aguada Ouchillas de Sagua

Zona de conducción (cuevas): 18 cueva Canilla III (infiltración), 19-21 cueva Lechuza (gour),
23 cueva Ancón (cascada)
24 cueva Felipe (gour)

Tabla 10 . Denudación química en el macizo del Pan de Guajaibón durante el año hidrológico Nov . 1984 - oct. 1985 .

SISTEMA	(km ²)	PERÍODO	\bar{Q}	\bar{W}	q	SPC	T	T	A		D	
			m ³ /s	m ³ /10 ⁶	l/s km ²	S. cm ⁻¹	mg/l	mg/l	m ³	t	m ³ /km ² años	t/km ²
Canilla	5,1	Seco	0,079	1,23	15,5	300	186	166	83	208	16	41
		Lluvioso	0,121	1,92	23,7	281	174	154	220	99	24	59
		Año	0,100	3,15	19,6	292	181	161	203	507	40	100
Ancón	4,35	Seco	0,181	2,83	41,6	334	206	186	211	527	49	121
		Lluvioso	0,232	3,69	53,3	334	206	186	275	686	63	158
		Año	0,207	6,52	47,6	334	206	186	486	1 213	112	279
Macizo Pan de Guajaibón	9,45	Seco	0,260	4,07	27,5	317	197	177	289	722	31	76
		Lluvioso	0,353	5,61	37,4	308	191	171	384	961	41	102
		Año	0,307	9,68	32,5	313	194	174	673	1 683	72	178

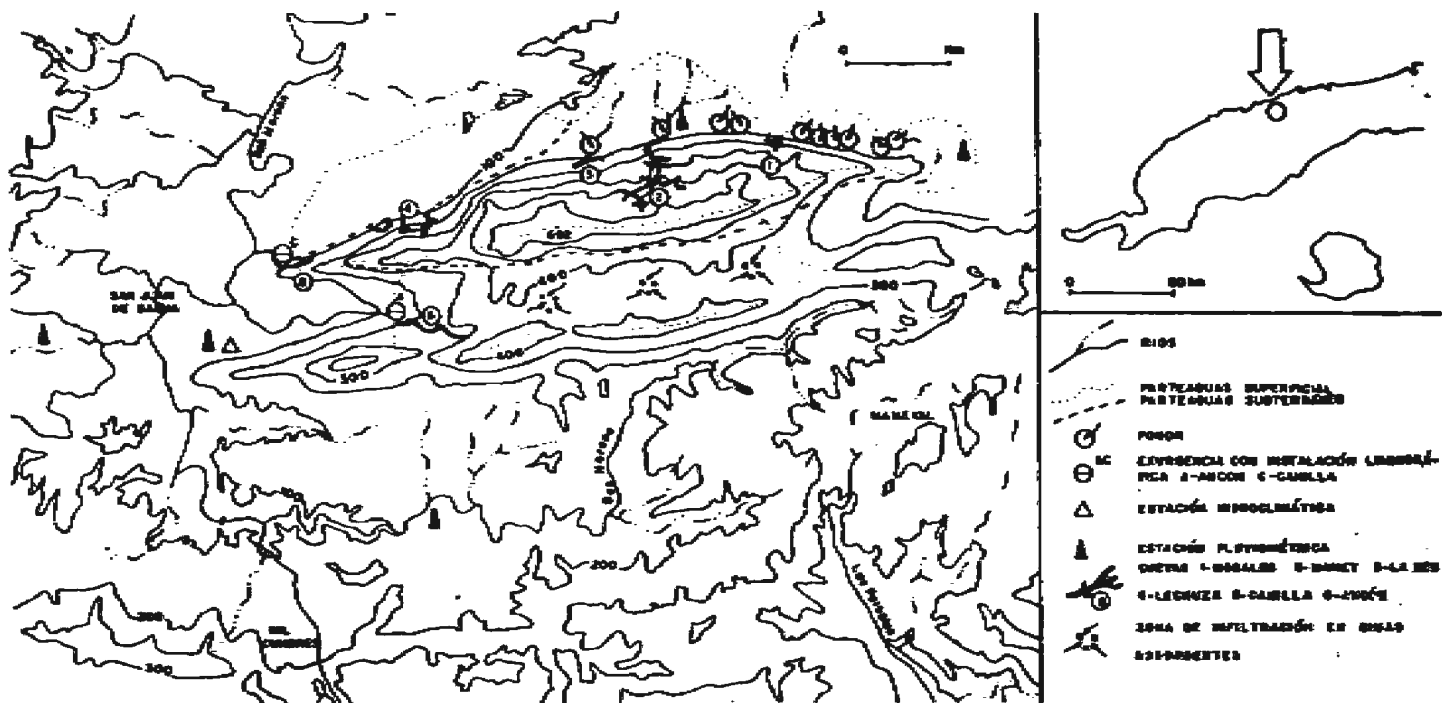


Fig. 1. Mapa hidrológico generalizado del macizo del Pan de Guajaibón y su localización en el occidente de Cuba.

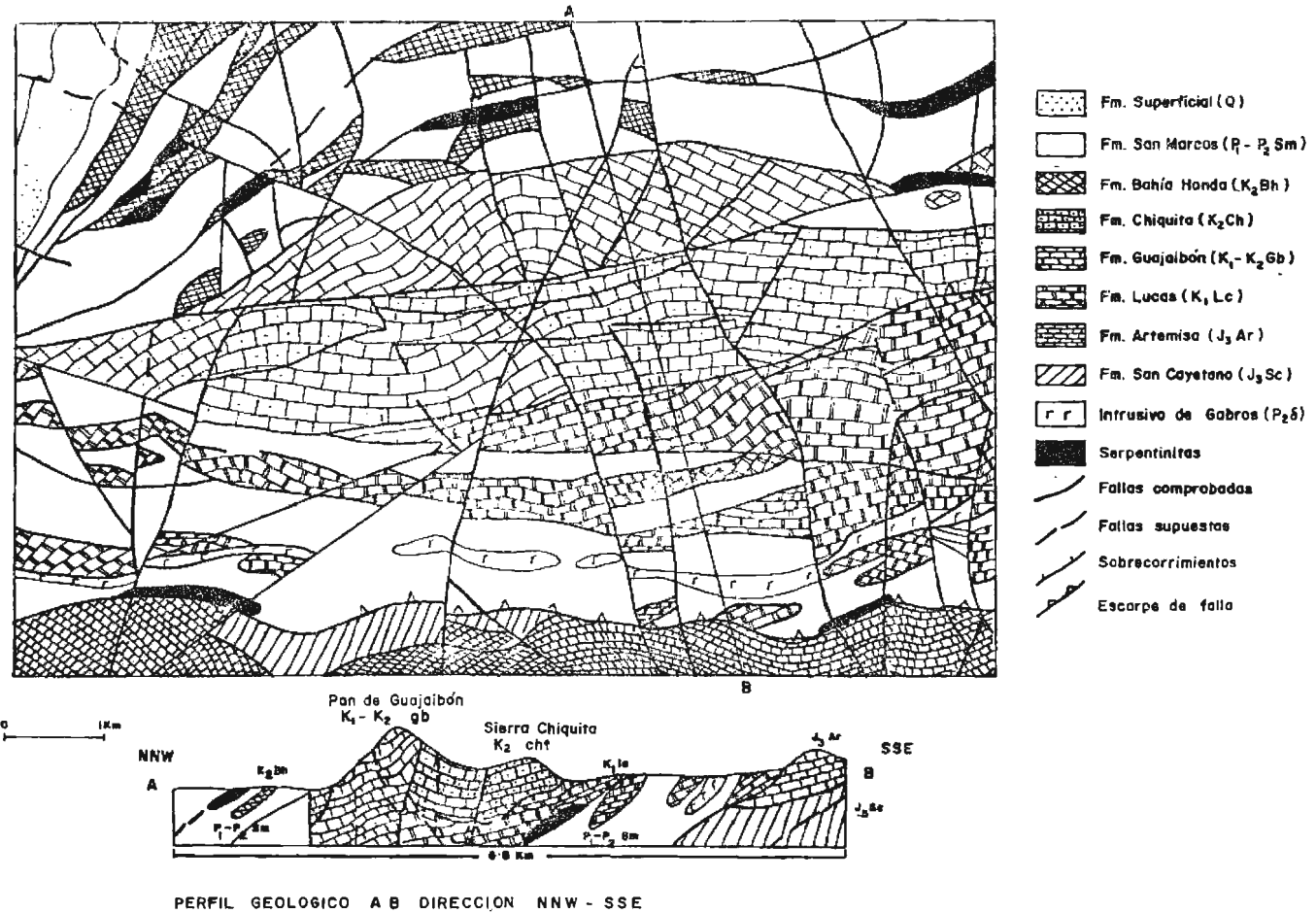


Fig. 2. Mapa geológico generalizado, según Maximov y Cols.

ESTACIÓN SAN JUAN DE SÁGUA

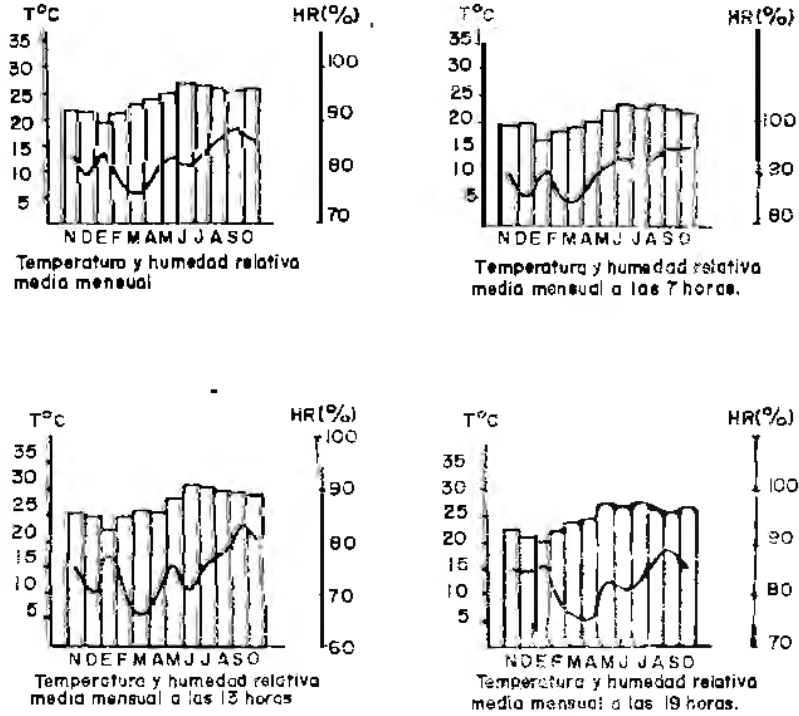


Fig. 3 Histograma de temperaturas y humedades relativas mensuales para el año hidrológico noviembre de 1984 - octubre de 1985.

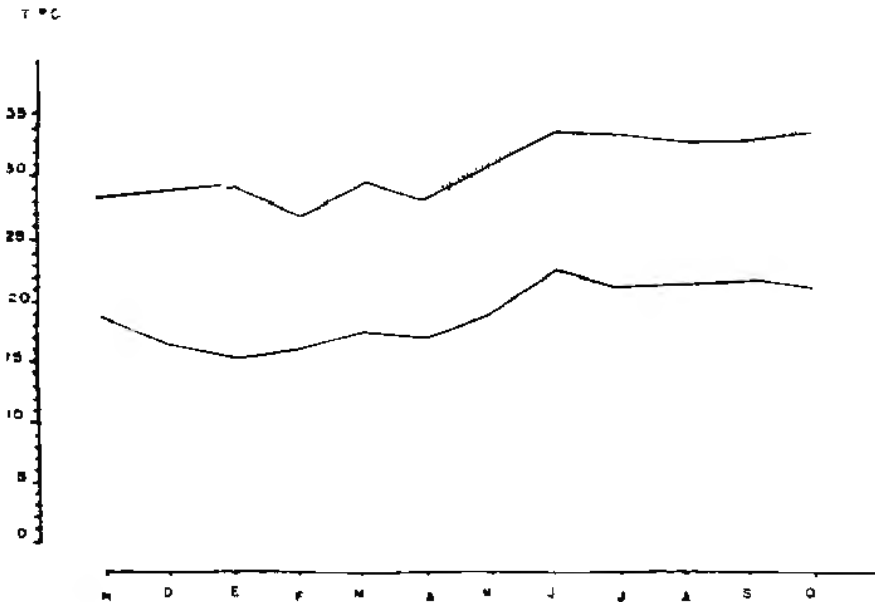


Fig. 4 Gráfica de temperaturas máximas y mínimas mensuales para el año hidrológico noviembre 1984 - octubre 1985.

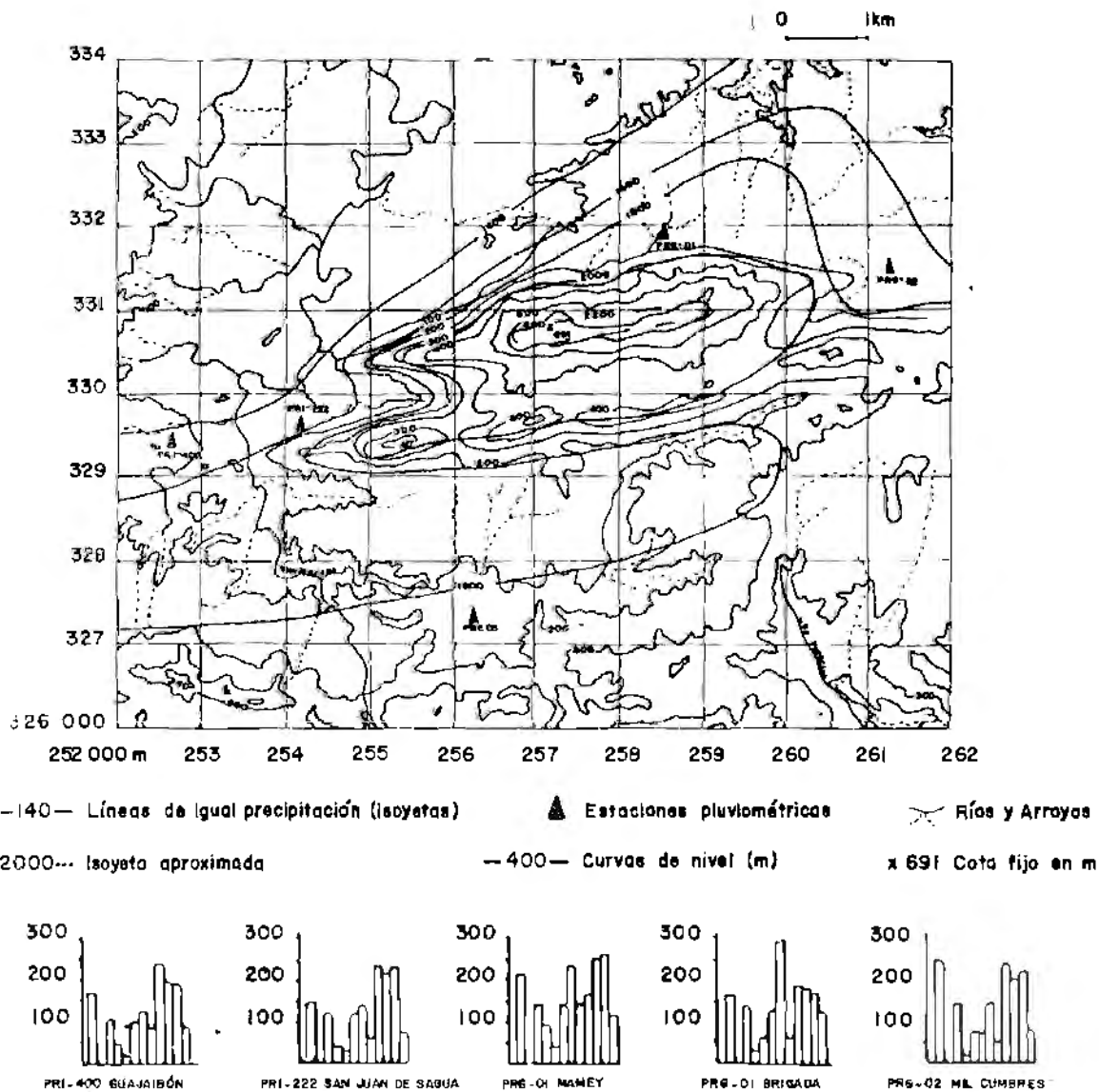


Fig. 5. Mapa isoyético para el año hidrológico noviembre de 1984 - octubre de 1985.

0 1km

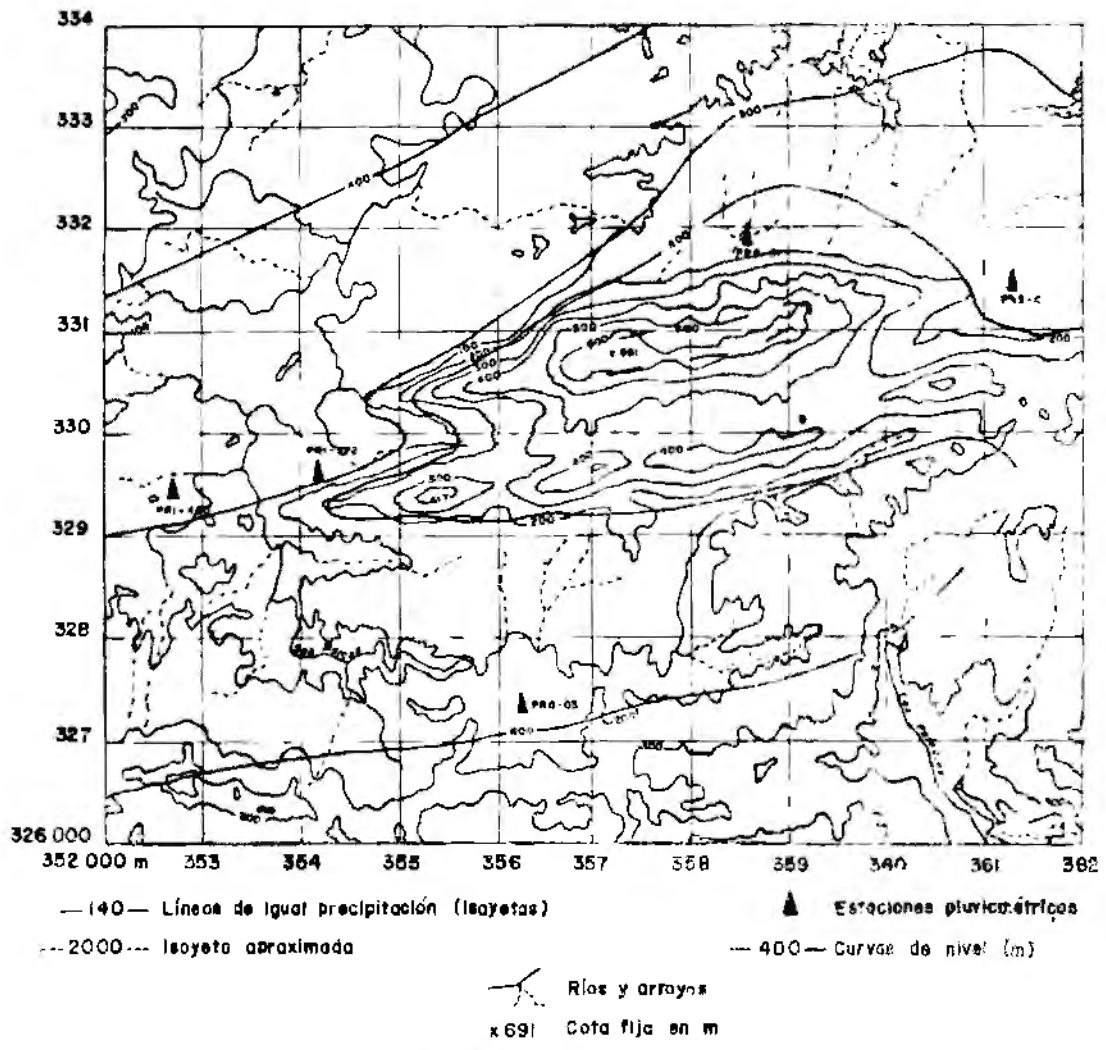


Fig. 6. Mapa isoyético para el período seco noviembre de 1984 - abril de 1985.

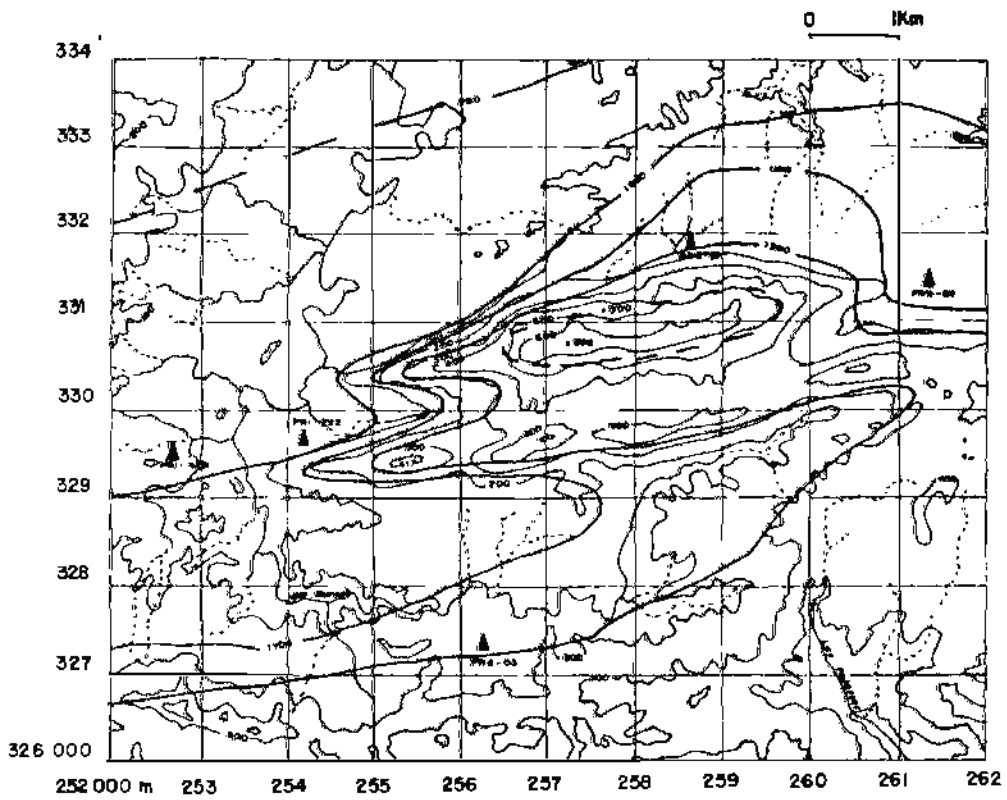


Fig. 7. Mapa isoyético para el período lluvioso mayo - octubre de 1985.

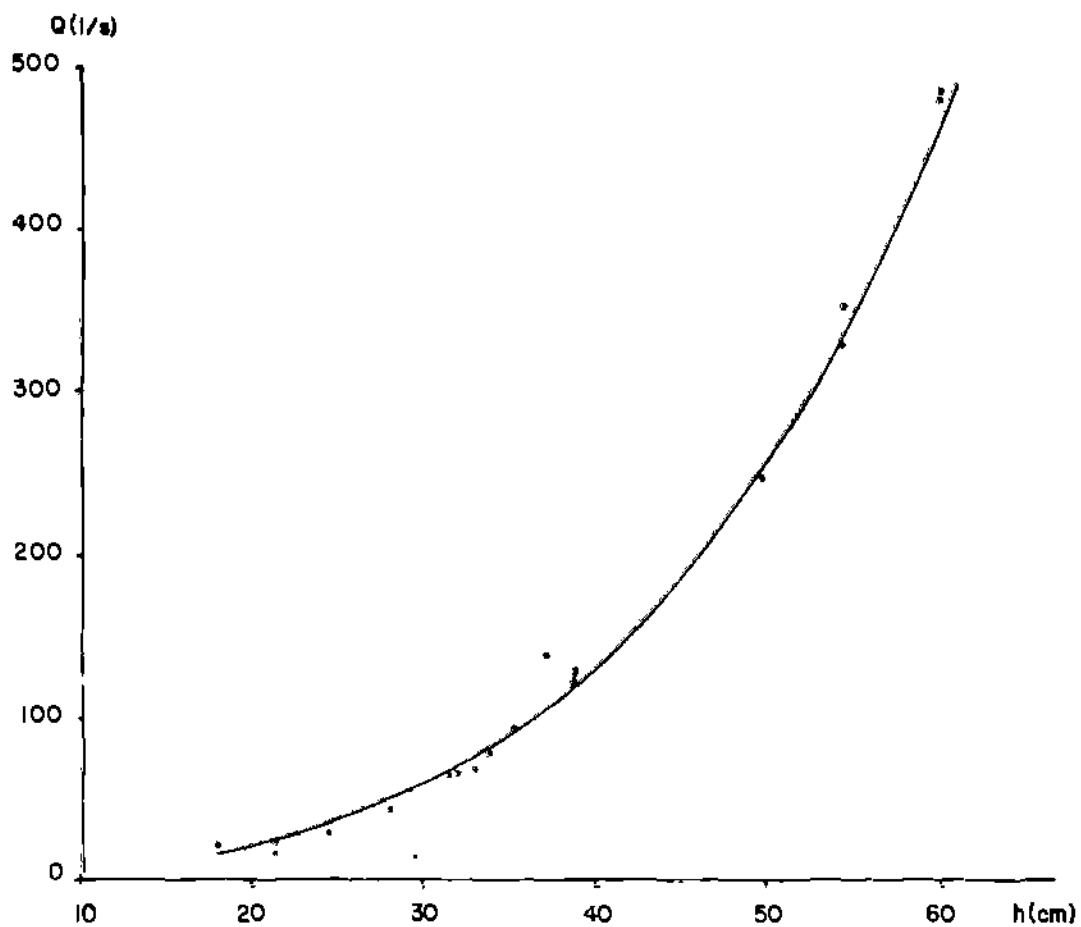


Fig. 8. Curva de correlación gastos - niveles $Q = f(h)$ obtenida a partir de la información de aforos para el limnógrafo Canilla. ($R = 0,99$).

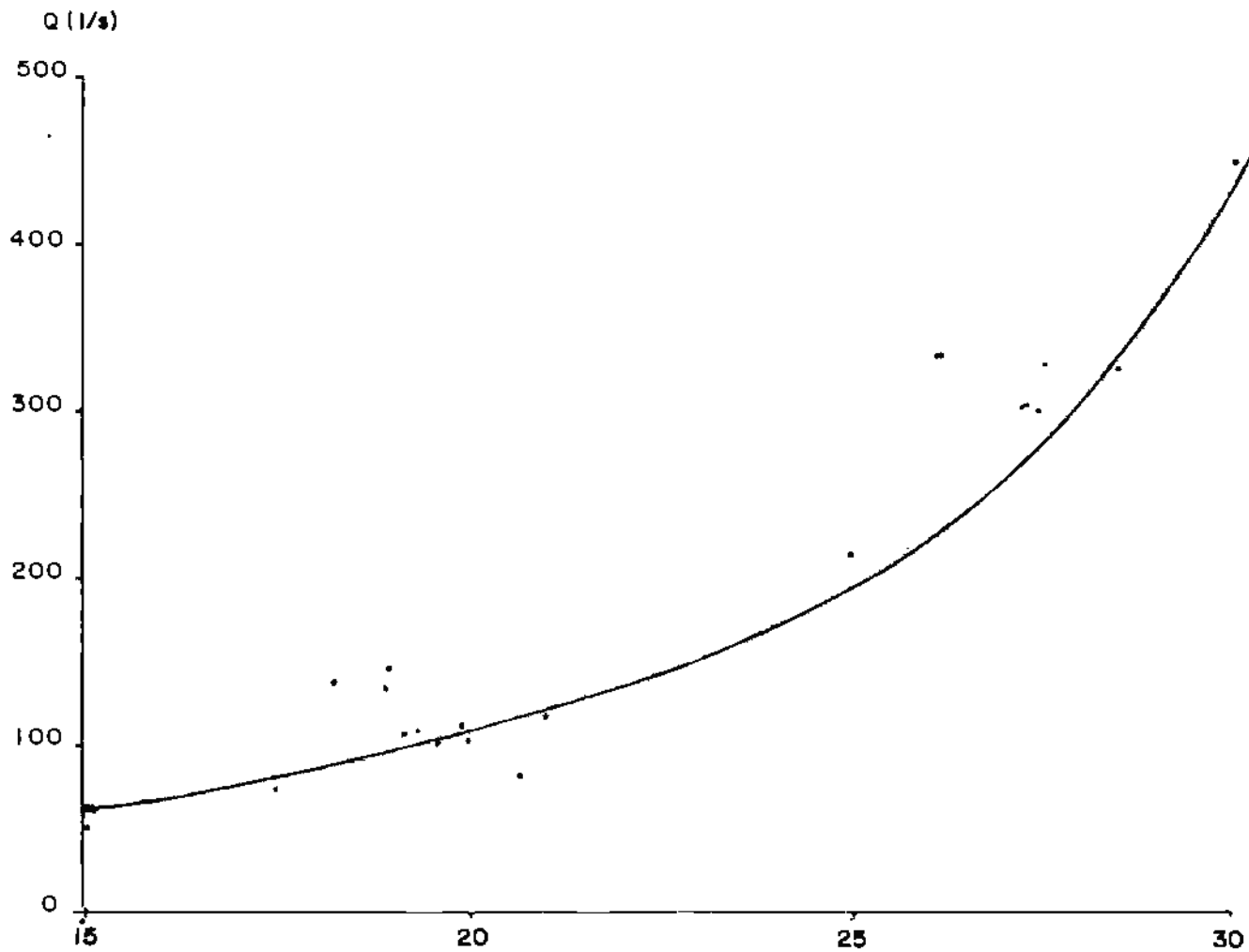


Fig. 9. Curva de correlación gastos - niveles $Q = f(h)$ obtenida a partir de la información de aforos para el limnógrafo Ancón ($R = 0,93$).

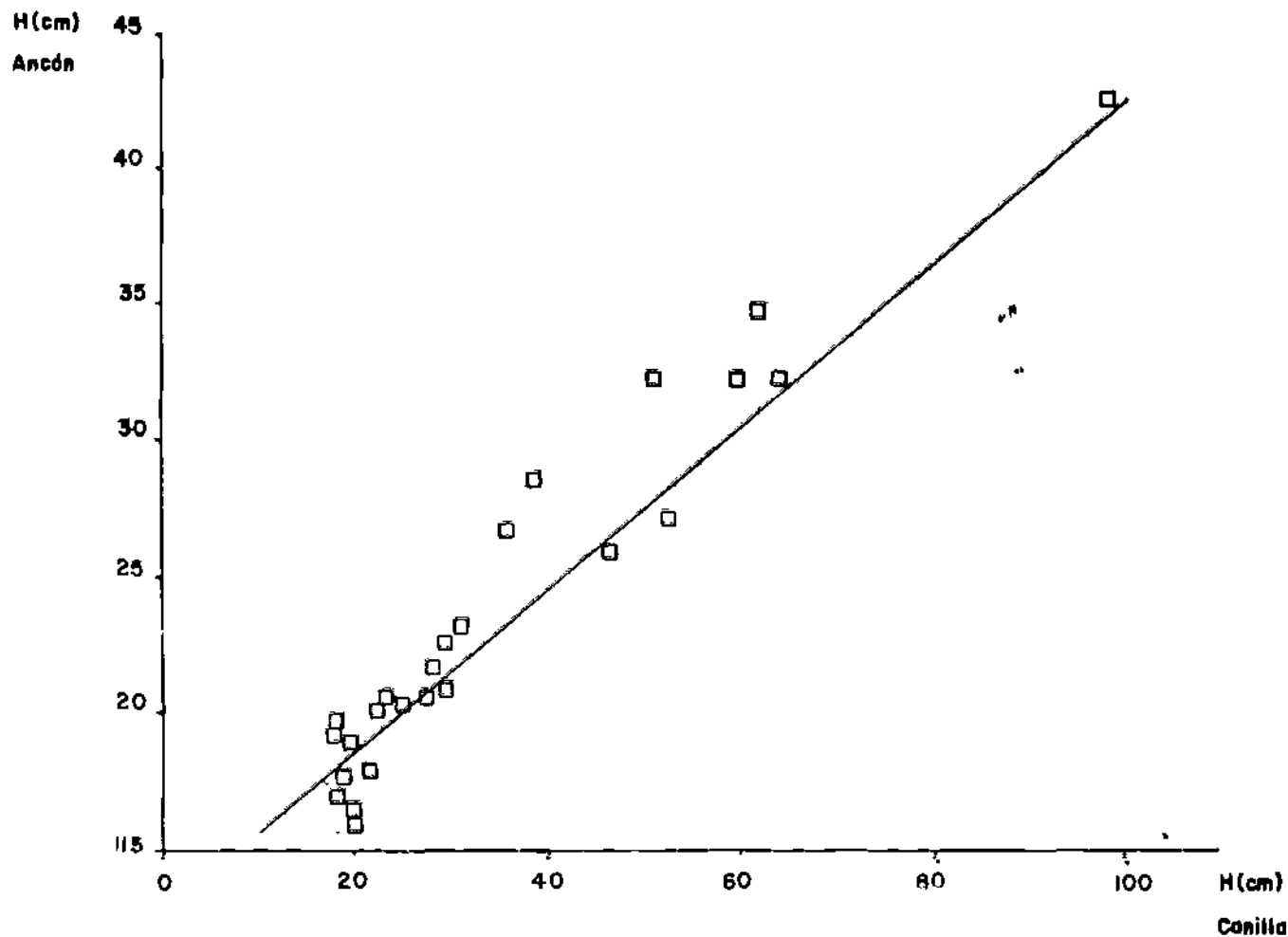


Fig. 10. Correlación de niveles medios diarios (h) de los limnigrafos Canilla y Ancón.

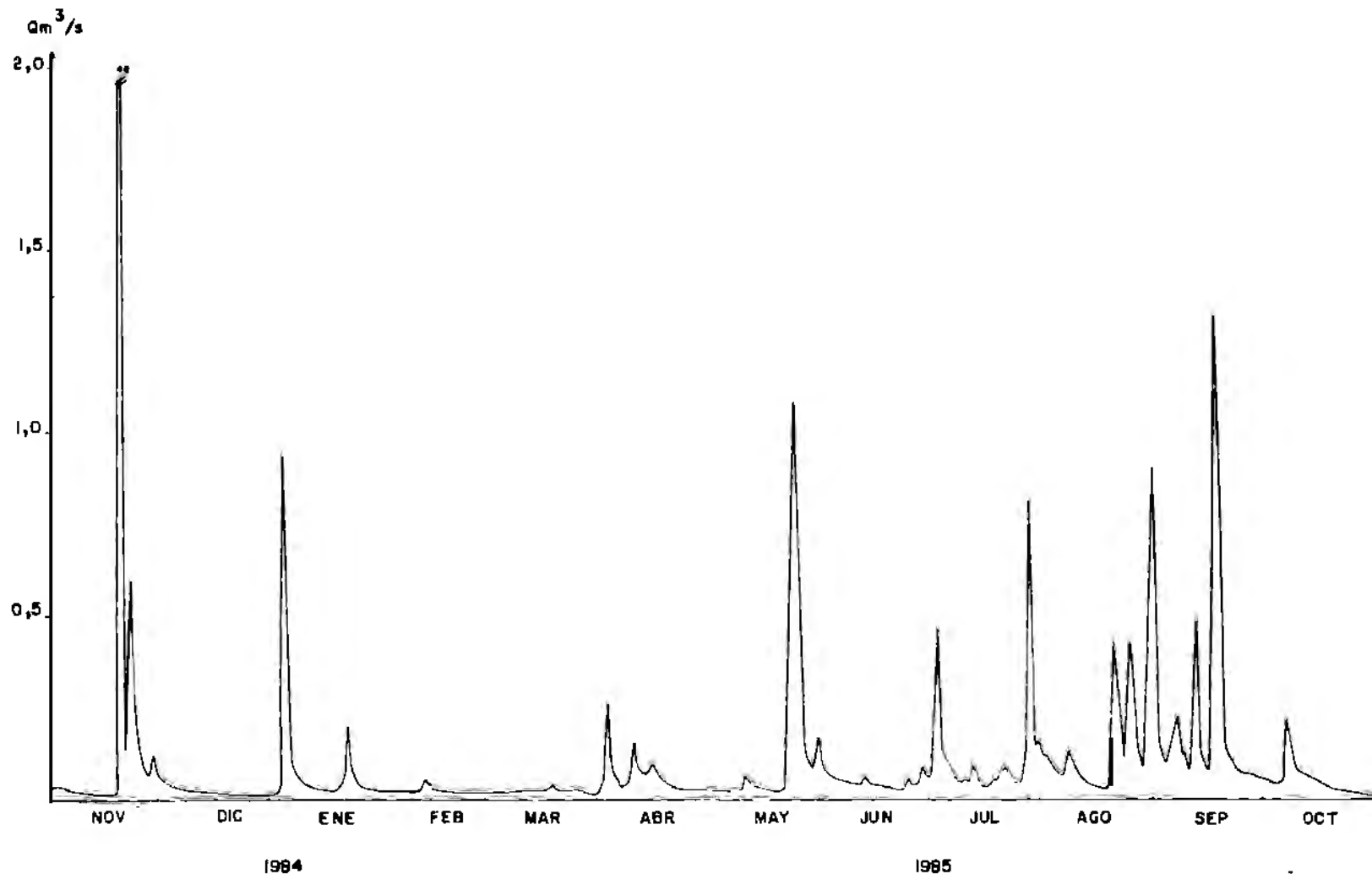


Fig. 11. Hidrograma de gastos diarios (noviembre de 1984 - octubre de 1985) en la Resurgencia Canilla.

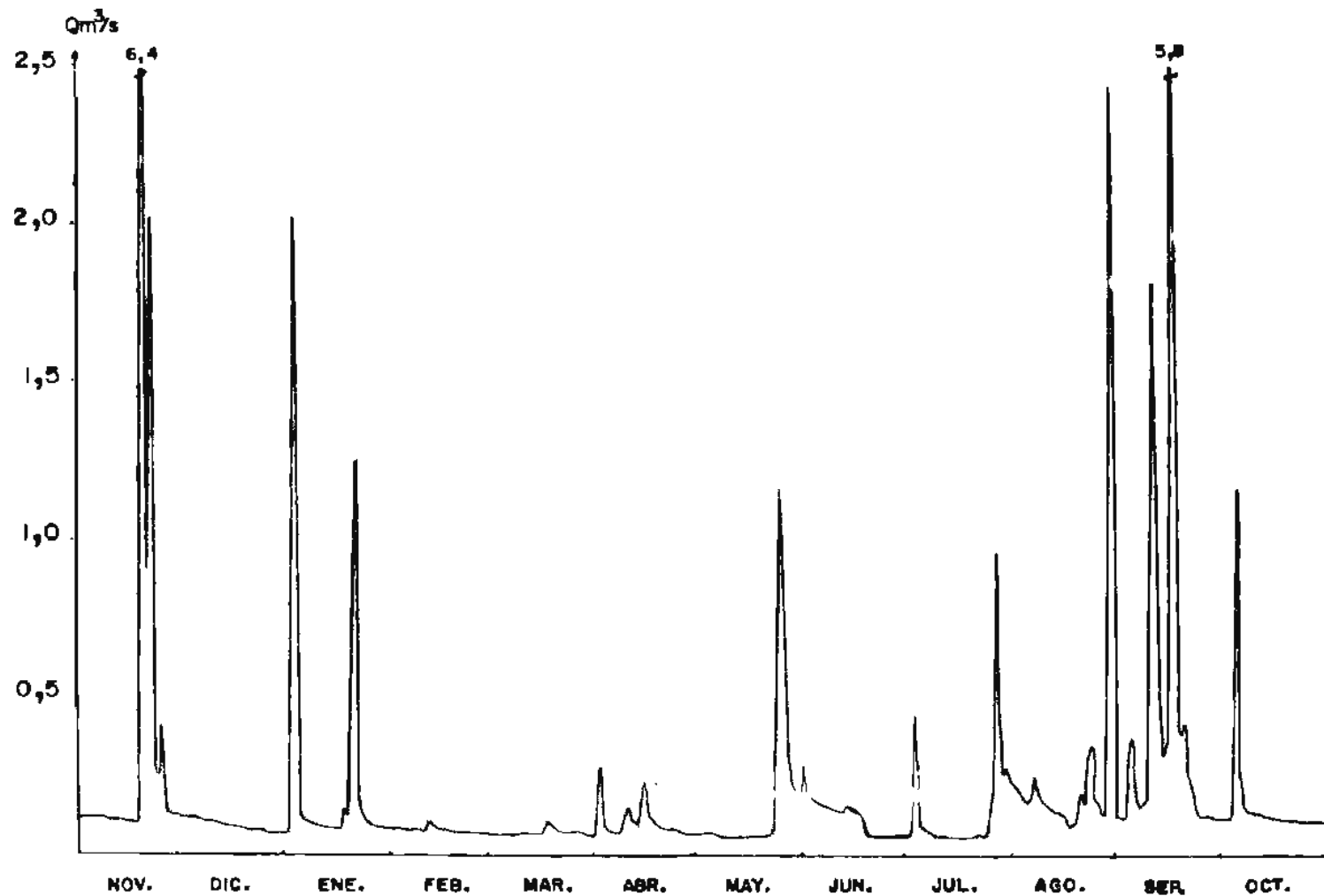


Fig. 12. Hidrograma de gastos diarios (noviembre de 1984 - octubre de 1985) en la Surgencia Ancón.

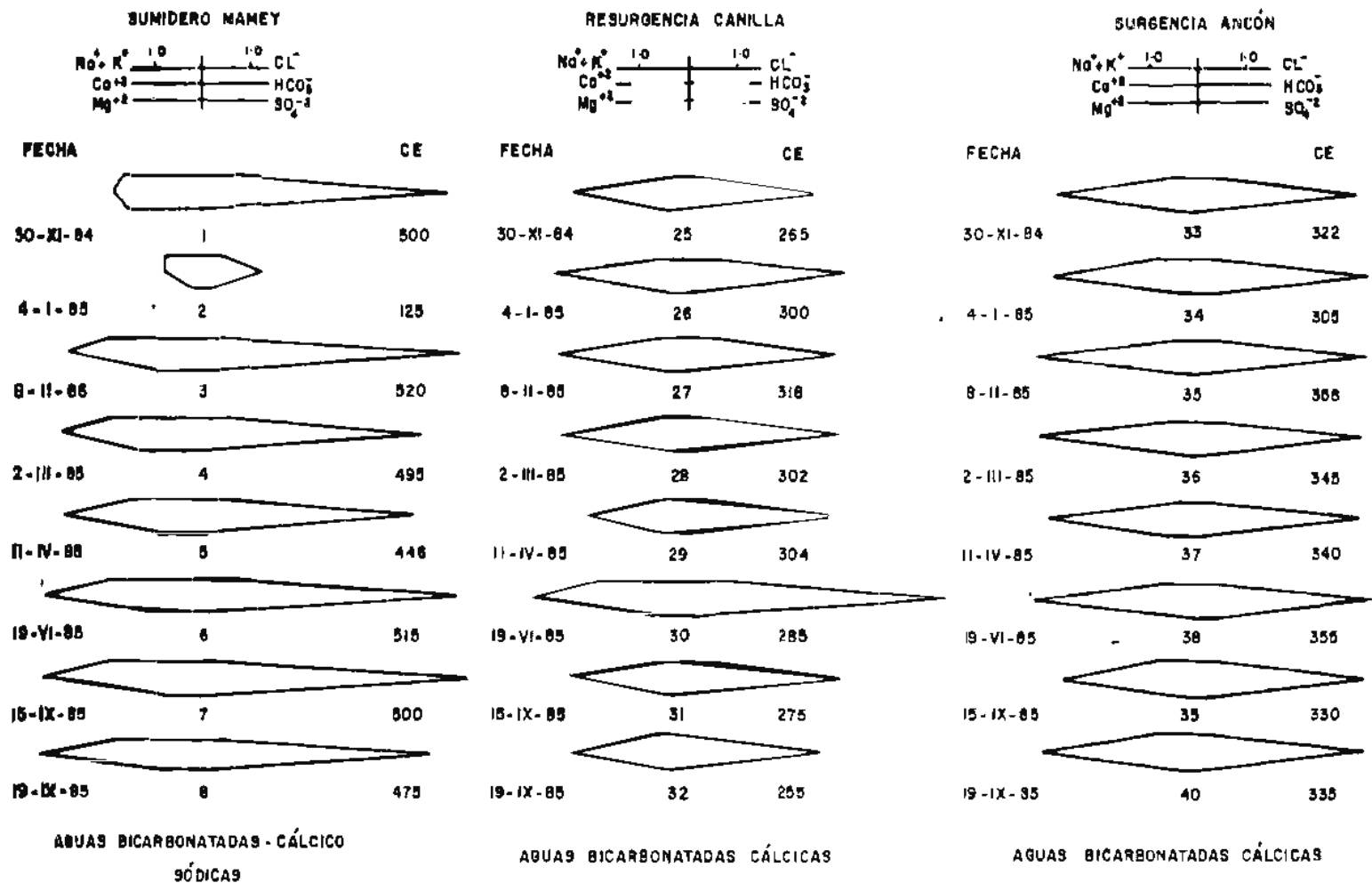
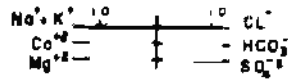
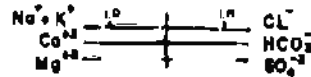


Fig. 13. Caracterización geoquímica de las aguas del Pan de Guajaibón (puntos sistemáticos) durante el año hidrológico noviembre de 1984 - octubre de 1985.

ZONA DE ALIMENTACIÓN ALÓCTONA



ZONA DE ALIMENTACIÓN AUTÓCTONA



ZONA DE CONDUCCIÓN (CUEVAS)

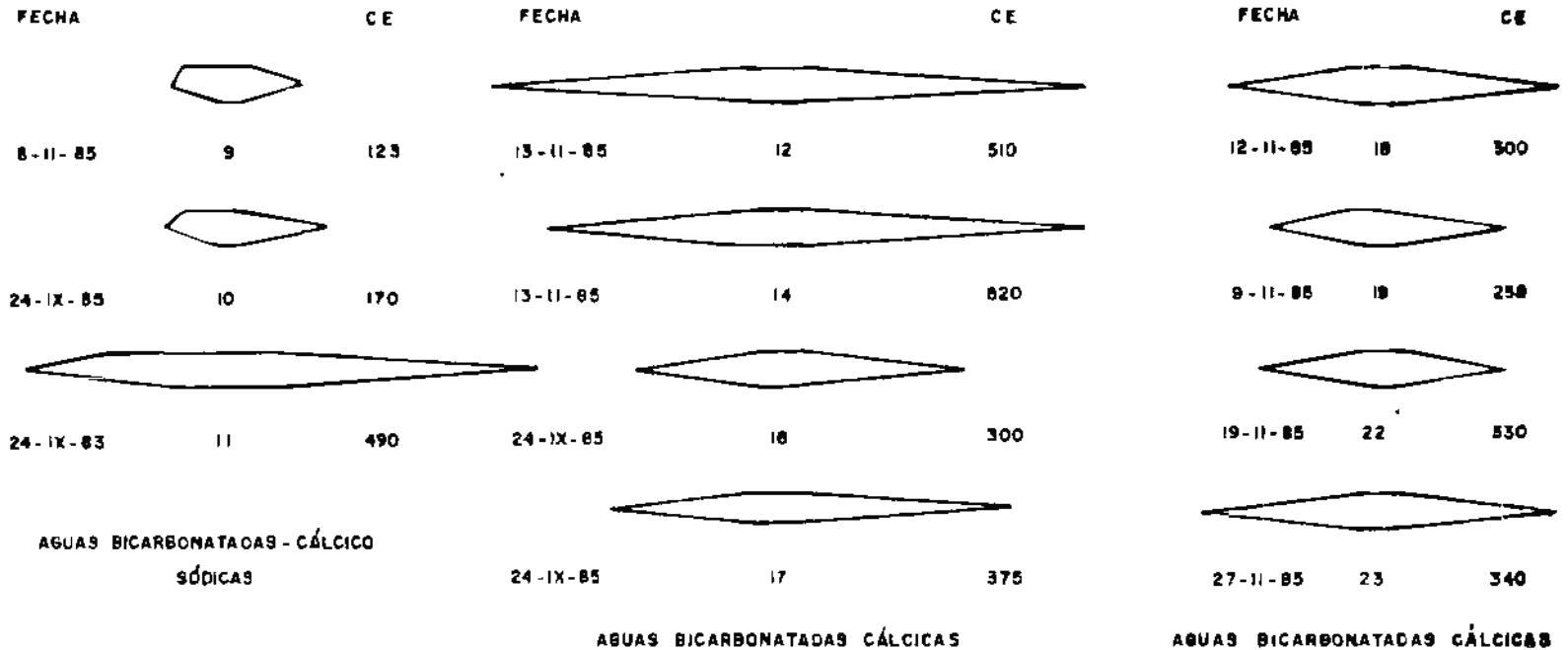


Fig. 14. Caracterización geoquímica de las aguas del Pan de Guajabón (puntos no sistemáticos) durante el año hidrológico noviembre de 1984 - octubre 1985.

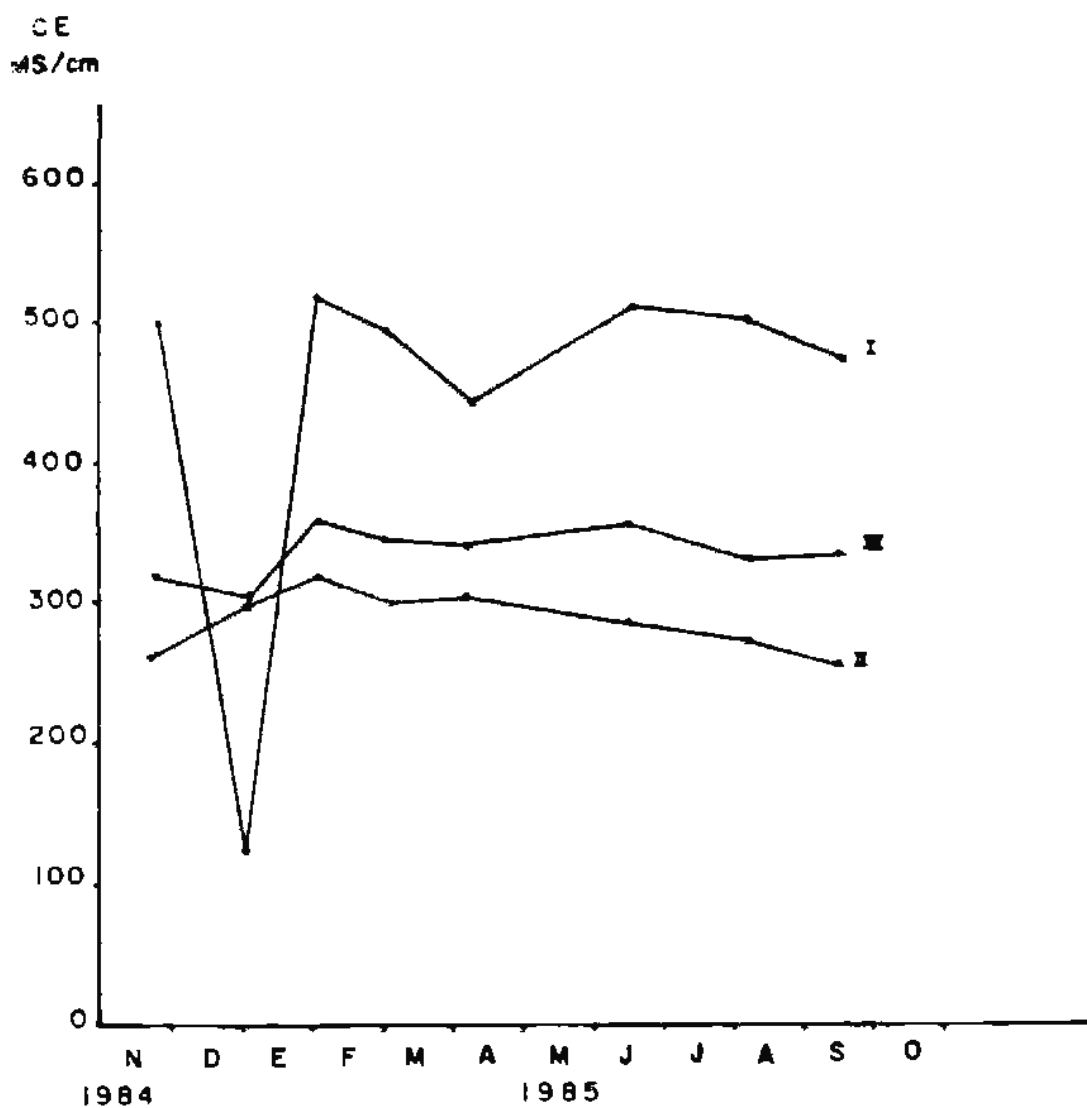


Fig. 15. Variación estacional de la conductividad eléctrica.

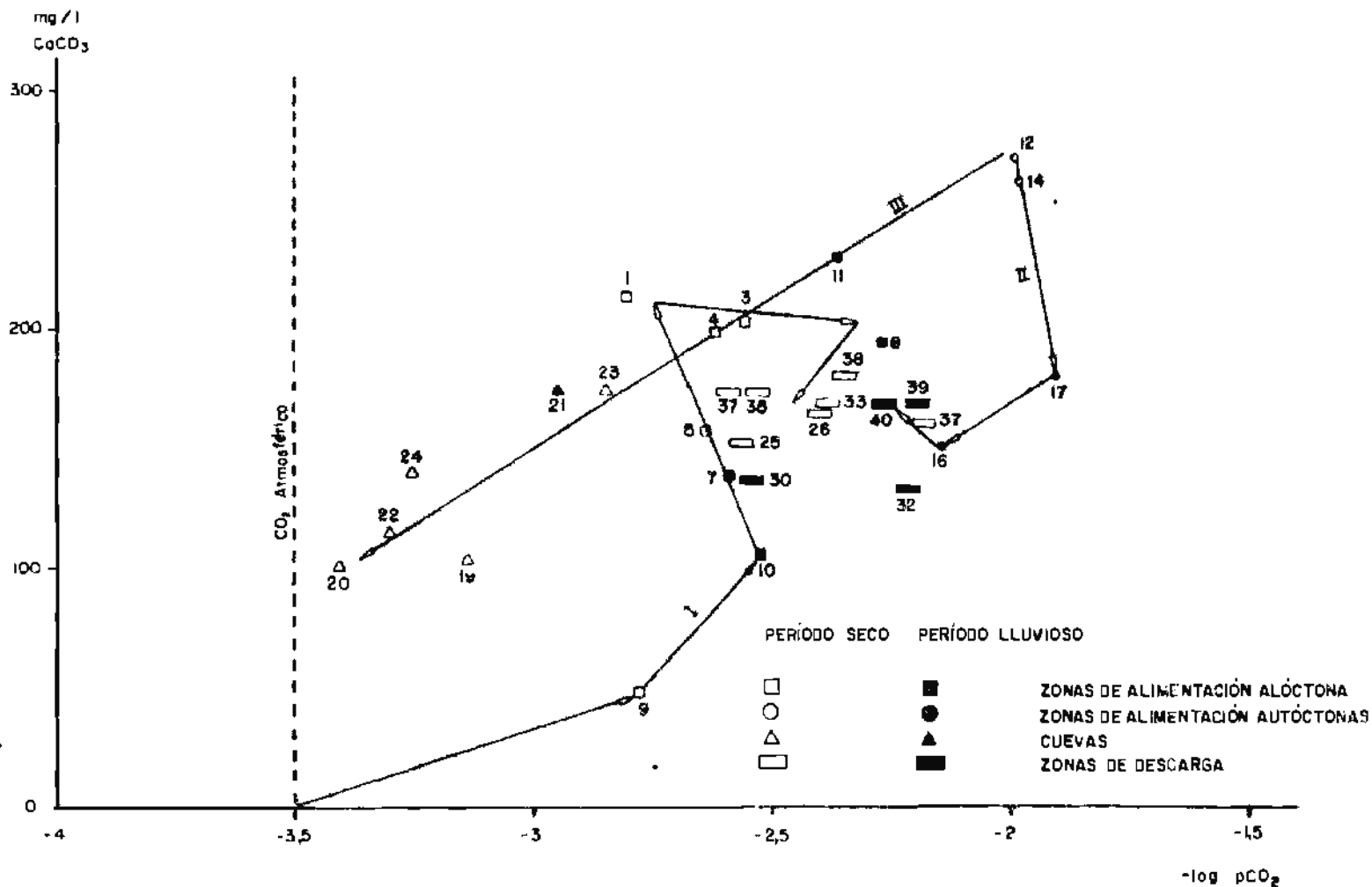


Fig. 16. Diagrama evolutivo de las aguas del Pan de Guajaibón (CaCO_3 vs $\log p\text{CO}_2$) durante el año hidrológico noviembre de 1984 - octubre de 1985.

La acción de la denudación del carso plantea una serie de problemas hidrológicos, cuya solución es de creciente demanda en las áreas donde este complejo ocupa porciones de gran extensión territorial. En esta obra se describe la acción del agua sobre un macizo donde se encuentra la montaña más elevada del occidente de Cuba. Para su estudio, se han empleado procedimientos novedosos, tanto desde el punto de vista hidrológico como geoquímico, que se aplican por primera vez en un área tropical, al mismo tiempo que se explica la esencia de los fenómenos referidos. En ello radica la importancia de esta obra que se ofrece a los estudiosos de la carsología y, en especial, a los interesados en los procesos que tienen lugar en los trópicos. También puede ser de utilidad para los hidrólogos, químicos, geoquímicos y geólogos.



EDITORIAL ACADEMIA

La Habana, 1989