

**T-RH-001 UNA VISIÓN DEL CICLO DEL AGUA EN “MIL CUMBRES” SIERRA DEL ROSARIO.
CUBA**

Rebeca Hernández Díaz¹, Iñaki Antigüedad Auzmendi², Robert Ramírez Hernández¹, Patricia González Hernández³, Susana Díaz Aguirre¹, Mario López Portilla⁴, Juan R. Fagundo Castillo³

(1) Universidad de Pinar del Río.

(2) Universidad del País Vasco.

(3) Centro Nacional de Medicina Verde y Tradicional

(4) Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Pinar del Río. (INRH)

Resumen

Durante 23 meses se realizó la investigación hidrogeológica sobre las cuencas: Los Puercos, Tortugas, las Vueltas, San Marcos, Alboreto, Ancón y Canillas. Todas ellas están asociadas a los sistemas acuíferos del área protegida “Mil Cumbres”, lo que se pudo constatar a partir de las respuestas energéticas (variación hidrodinámica) y mineralización de las aguas. La comparación de las aguas de la surgencias con las aguas de las precipitaciones, dentro del concepto de sistema, sirve para identificar aspectos hidrogeológicos de los sistemas drenados. En otro orden, las formas de los hidrogramas reflejan el efecto de las precipitaciones sobre las cuencas y pone de manifiesto la importancia de la infiltración rápida y lenta, en función de la intensidad de las precipitaciones, brindando una idea del grado diferente de regulación de las cuencas, a través de la caracterización de las variables entrada – salida. Se encontraron diferencias en los valores y respuestas temporales de las variables y esto puede ser explicado por las peculiaridades hidrodinámicas y los materiales geológicos por donde circulan estas aguas.

Abstrat

This research accounts for a of 23 months period of hydrogeologic investigations, in which Los Puercos, Tortugas, Las Vueltas, San Marcos, Alboreto, Ancón y Canillas basins were monitored. All of them have a close relationship with the “Mil Cumbres” protected area, and it could be proved from the hydrodynamic responses and mineralization changes that took place. Comparisons of spring and rain waters help to identify hydrogeologic characteristics of the drained systems. As such, the hydrogramas reflect the effect that precipitations have over basins and show the importance of quick and slow infiltration rates, as a function of precipitation intensities, offering an idea about the different regulation degrees of basins, through characterization of input-output variables. Several differences among values and temporary responses were found, which may be explained from the hydrodynamic peculiarities and geologic material through which waters are circulating.

Introducción

El hidrograma es una herramienta que nos permite aproximarnos a las características físicas y climáticas que gobiernan una región. También puede ser utilizado para establecer algunas relaciones entre las precipitaciones y la escorrentía en una cuenca. El movimiento del agua en las cuencas va a estar caracterizado por diferentes velocidades y por consiguiente por diferentes tiempos de residencia que al mismo tiempo determinan la composición final del agua. Esta composición se caracteriza por los distintos minerales que componen el medio rocoso por donde transita el fluido y el tiempo de contacto entre ellos. El análisis del agua captada puede brindar un conocimiento del sistema drenado.

En la Figura 1 el concepto de sistema nos ayuda a comprender el funcionamiento del acuífero, es decir, su grado de organización (operador transferencia) y su dinámica a partir de las respuestas naturales y la mineralización que posee (conductividad). Diferentes autores, entre los que se destacan Miserez (1973), Mangin (1975), Antigüedad (1985, 1986), plantean que las respuestas de los sistemas no sólo son energéticas sino también hidroquímica, hidrotérmica e hidrobiológica. Estos efectos son de gran ayuda para la interpretación de las condiciones hidrogeológicas de las cuencas.



Figura 1. El sistema acuífero.

El estudio de la hidroquímica, a partir de la interpretación de la variabilidad de las conductividades, y la hidrodinámica a partir de los hidrogramas observados en veinte puntos de muestreo permitieron comparar el tipo de agua de todas las cuenca y su evolución puntual y espacial.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN “MIL CUMBRES”

La geología del archipiélago cubano es muy compleja, porque están presente elementos de diferentes orígenes y características, como son: El borde pasivo Jurásico-Cretácico del continente norteamericano, el arco volcánico del Cretácico y el arco volcánico del Terciario Temprano, recubiertos por sedimentos más jóvenes (Eoceno Medio-Cuaternario), que conforman una región de geología muy compleja Cofiño, C. (2003).

La subzona El Rosario está separada de la subzona Los Palacios por la falla Pinar. En la región septentrional, las secuencias del Rosario están sobrecorrida por ofiolitas y cortes del arco volcánico cretácico extinto, sobre los que yacen los depósitos sinorogénicos. Este conjunto petrotectónico fue denominado como Zona estructuro-facial Bahía Honda (Pszczolkowski, 1987) y en la actualidad, por presentar una paleogeografía ajena con respecto a las relaciones estratigráficas y paleogeográficas de las regiones que la rodean, ha sido denominada Terreno Zaza.

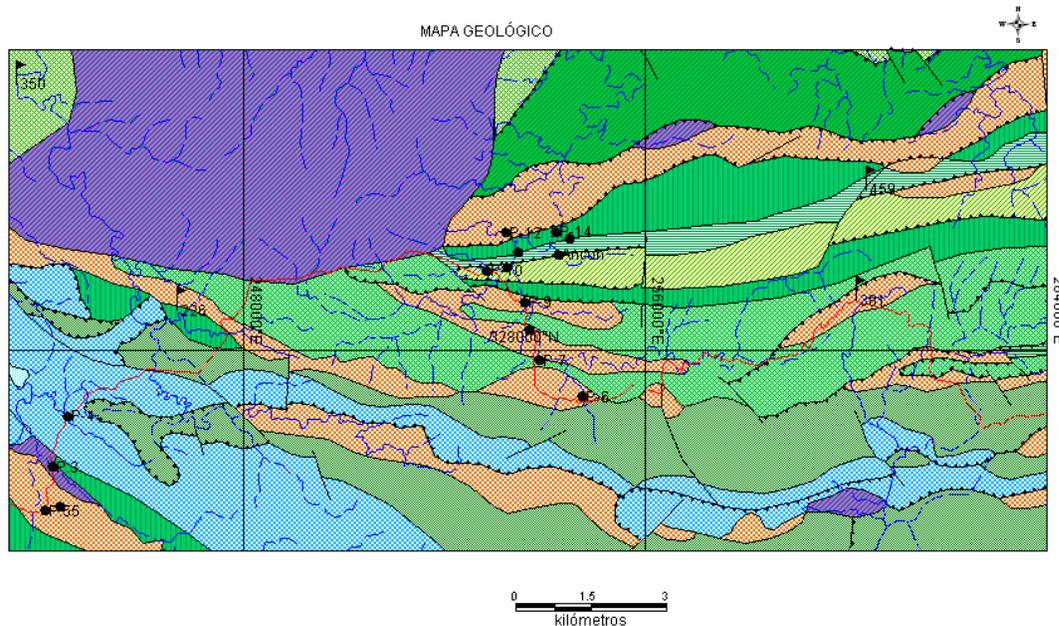
La elaboración de cinco perfiles convenientemente distribuidos en las direcciones AA¹ NW 325⁰, BB¹ NW 345⁰, CC¹ NE 45⁰, DD¹ NE 15⁰, EE¹ NW 310, Figura 6 y su posterior interpretación, determinó una relación tectónica entre estas formaciones y el flujo de las aguas subterráneas. A partir de la respuesta de caudales y la conductividad eléctrica de las aguas en las surgencias durante las crecidas



Figura 2. Localización del área de estudio.

Sus coordenadas son:

X	236609.6713	Y	336784.4494
X	244877.1082	Y	320043.1302
X	261974.0116	Y	328410.4003
X	255859.7626	Y	340376.5310



1 Artemisa, 2 San Cayetano, 3 Serpentinita, 4 Guja ibón, 5 Cacarañcara, 6 Manacas, 7 Polier y 8 Buenavista.

● Puntos de observación

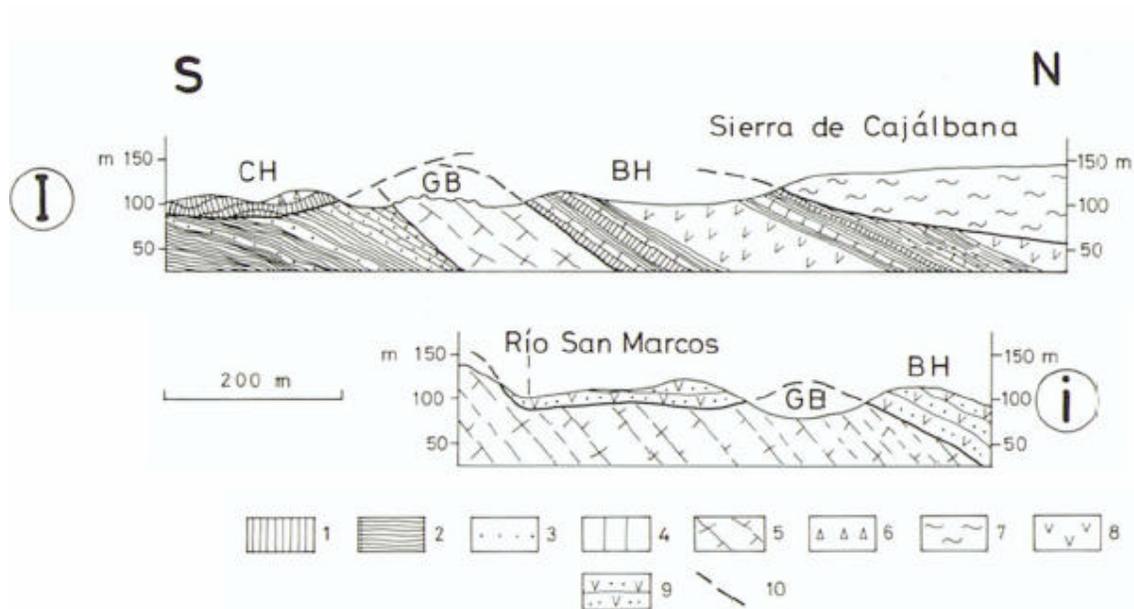
— Red de carreteras

Figura 4. Mapa geológico de la región.

INTERPRETACIÓN HIDROGEOLÓGICA

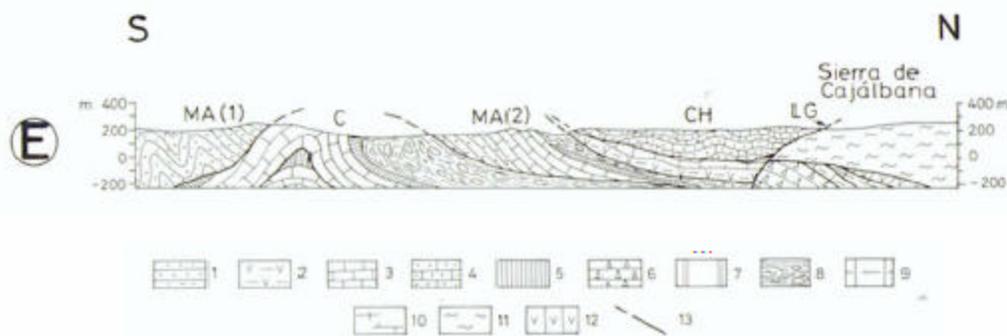
Los gruesos estratos de calizas de la Fm Guajaibón, que además se encuentran muy carsificadas, Figura 4, pueden constituir un acuífero por su litología favorable para la infiltración y transmisión del agua. Esta Fm yace bajo los Terrenos Volcánicos de Bahía Honda, pero existen dos zonas donde aflora, la cuales pueden constituir ventanas de infiltración o zonas de aporte al sistema.

De izquierda a derecha en la Figura 5 encontramos brechas de la Fm Cacarañcara descansando sobre la Fm Santa Teresa, que pueden constituir un pequeño acuífero libre. El estrato de la Fm Santa Teresa está sobrecorrido sobre intercalaciones de las Fms Moreno y Encrucijada. Luego existe un estrato de la Fm Guajaibón, posible acuífero libre, limitada por estratos de pedernales impermeables. Seguidamente encontramos basaltos limitados por pedernales de la Fm Santa Teresa, sobrecorriendo a estos pedernales tenemos serpentinas de la Sierra de Cajálbana.



1 – sílice radiolarios de Fms. Santa Teresa y Encrucijada; 2 – Shales , Fms Moreno y Encrucijada; 3 – areniscas de la Fm Moreno; 4 – calizas micríticas de la Fm Encrucijada; 5-calizas Masivas, Fm Guajaibón (Albiano - Cenomaniano); 6 – brechas y calcarenitas de la Fm Cacarajícara (Maastrichiano alto); 7 – rocas ultramáficas serpentinizadas; 8 –basaltos de la Fm Encrucijada ; 9 – depósitos de rocas terrígenas y volcánicas del Cretáceo en los Terrenos de Bahía Honda ; 10 – sobrecorrimientos ; CH – unidad tectónica de Sierra Chiquita (cinturón Sierra del Rosario) compuesto por las Fms Santa Teresa, Moreno y Cacarajícara; GB – Guajaibón – unidad tectónica de Sierra Azul ; BH – Terrenos de Bahía Honda (compuesta solamente en la parte sureste por la Fm Encrucijada y las ultramafitas de la Sierra de Cajalbana).

Figura 5. Perfiles de Pszczolkwski (1987).



Cinturón de la Sierra del Rosario: 1-Fm San Cayetano; 2-fm. El Sábalo; 3-fm Artemisa;4-fm Polier;5-fm Santa Teresa , Carmita y Moreno;6-fm Cacarajícara;7-fm Ancón;8-fm Manacas; 9- Depósitos del Cretácico, unidad tectónica de Quiñones (bajo las rocas ultramáficas de la Sierra de Cajalbana en el perfil E) ;10-fm Guajaibón (Albiano Cenomaniano), terreno de Bahía Honda;11-rocas ultramáficas;12-fm Encrucijada; 13.Sobrecorrimientos.(LG- sobrecorrimiento de Loma del Gato).Las unidades tectónicas de La Sierra del Rosario mas al Sur son :C- Caimito ;MA(1),MA(2)= Mameyal ;Z- Zarza ;T- Taco Taco ;CP- Cinco Pesos ;LT- Las Tumbas. Las unidades tectónicas más al noreste son: BV- Belén Vigos; NO- Naranjo ;CE- Cangre; CH- Sierra Chiquita.

Figura 6. Perfiles de Pszczolkwski (1987).

En la Figura 6 encontramos las rocas de la Fm San Cayetano muy plegadas, sobrecorridas sobre la Fm Artemisa que se encuentra plegada y fragmentada constituyendo una posible zona de infiltración. Las rocas de Artemisa están limitadas a la izquierda por la Fm San Cayetano y a la derecha por los pedernales de la Fm Santa Teresa, a continuación aparecen bloques de la Fm Manacas entre estas y aflorando en superficie existe un estrato de la Fm Artemisa el cual puede constituir un acuífero libre. Siguiendo el perfil encontramos estratos de la Fm Santa Teresa que constituyen horizonte impermeables; luego sobrecorrido sobre la Fm El Sábalo tenemos la Fm Polier cuyas calizas también pueden constituir un acuífero y finalizando el perfil tenemos grandes espesores de rocas ultramáficas de los terrenos de Bahía Honda que cubren a la Fm Cacarajícara.

Las cuencas objetos de estudio se muestran en la Tabla 1. En esta tabla están reflejados sus áreas y caudales específicos en l/seg. Desde el punto de vista hidrogeológico, la principal fuente de recarga de estos acuíferos son las lluvias.

Tabla 1. Cuencas objeto de estudio

Ríos	A (km²)	Q₀(l/seg)	Cv (cond)
Tortuga	15.3	3.6	5.83
Las Vueltas	13.5	1.4	9.23
Ancon	4.4	6.8	7.58
Canilla	5.2	13.4	3.48
Alboreto	3.2	7.8	3.83
San Marcos	20.1	9.95	5.50
Puercos	11.5	0.086	38.14

A partir de los resultados mostrados en la tabla 1, se pone de manifiesto que la variabilidad temporal de la mineralización a nivel de las surgencias aparece como característica del tipo de flujo realizado entre las zonas de recarga y descarga. Esto pone en evidencia la relación directa entre el grado de karstificación funcional del acuífero, queremos destacar, la organización del drenaje, y la forma de la curva de distribución.

El 65% del territorio cubano está constituido por rocas carbonatadas del Jurásico al Cuaternario, estas rocas están afectadas en mayor o menor grado por la carsificación. De acuerdo con Rodríguez y Facundo (1991) las reservas de las aguas subterráneas en estos terrenos ocupan más del 85% en todo el país.

En la zona estudiada los ríos están interactuando con materiales de las ofiolitas de Cajalbana, la Faja Felicidad, la Faja Guajaibón - Sierra Chiquita y por último la Faja de Rosario Norte, Figura 4. El río San Marco fue estudiado en una longitud de aproximadamente 20 km, este río es uno de los principales de la vertiente Norte de la Provincia de Pinar del Río, en él drenan un grupo de manantiales y de corrientes superficiales que se estudian en este trabajo. Comenzamos con los sistemas Ancón, Canillas, El Curro y el Punto 14.

La alimentación del sistema Canilla, Figura 7, es fundamentalmente por corrientes superficiales de recorrido breve y que van a estar en función de las estaciones del año. Pulina et al. (1984) describe que el arroyo Mamey es el más importante y el único que posee una cuenca significativa fuera del macizo cársico. El caudal medio de este sistema es 70-80l/seg y se encuentra situado entre el contacto de las Fms Guajaibón y Sierra Azul. Este manantial drena los materiales carbonatados del Pan de Guajaibón. Esta surgencia fue objeto de control mensual de los caudales y la conductividad eléctrica. El drenaje

principal de Canilla es en la porción noroccidental del Pan de Guajabón. Este manantial está asociado al sistema cavernario Mamey-Canilla (Molerio et al. 1984).

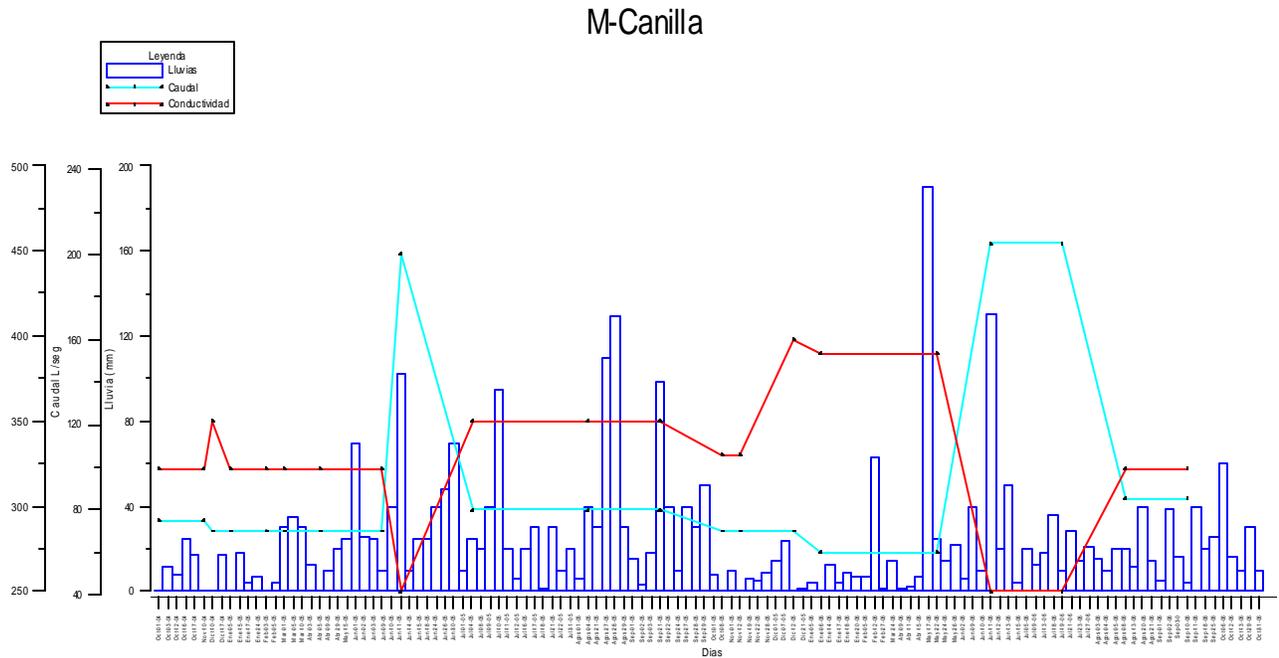


Figura 7. Hidrograma del Manantial Canilla. Las precipitaciones corresponden al pluviómetro 459.

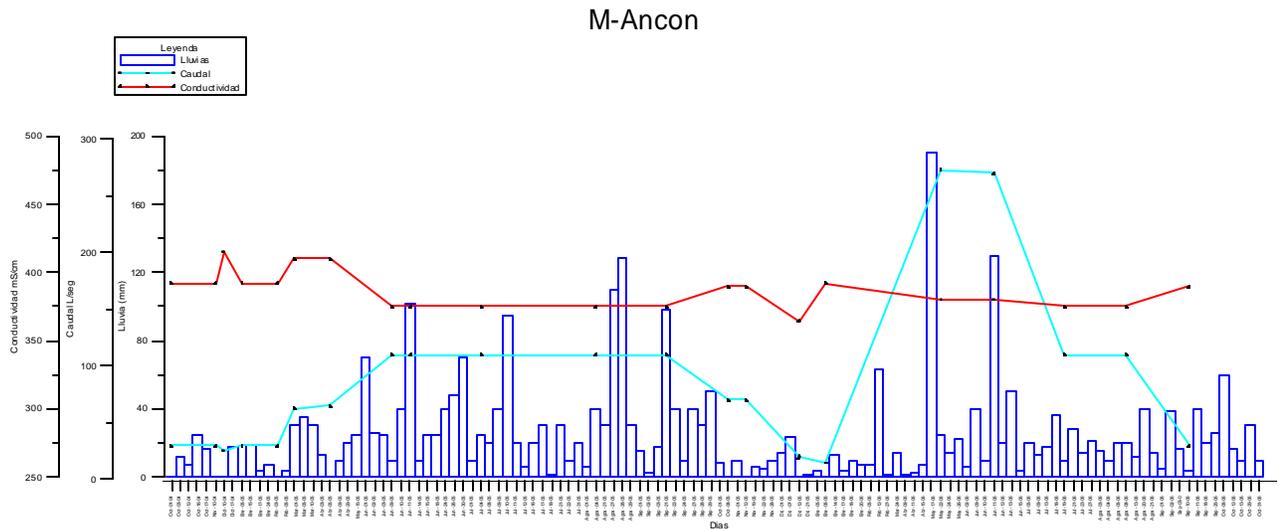


Figura 8. Hidrograma del Manantial Ancón. Las precipitaciones corresponden al pluviómetro 459.

Pulina et al. (1984) destaca que el sistema Ancón ocupa la parte central del macizo, y que su cuenca de captación abarca la parte centro-occidental de la vertiente Sur del Pan de Guajabón, y la parte centro-occidental de la vertiente Norte de Sierra Chiquita Figura 4. La zona de alimentación es

fundamentalmente en la depresión central elevada. La infiltración de las lluvias es rápida y la respuesta también, como se observa en la Figura 8.

En la zona de alimentación del manantial, existe una densa red de colectores cársicos, esto unido a la fuertes pendientes provocan la ausencia de una red de drenaje superficial por consiguientes las aguas autóctonas se infiltran rápidamente y organizan su cause subterráneamente y emergen el manantial Ancón ubicado a unos 60 m por encima del nivel de base de los ríos de la región.

Pulina et al. (1984) destaca que el carácter colgado de este manantial es debido a la presencia en profundidad de un horizonte poco permeable, o que la surgencia se produce en los niveles más altos de la secuencias carbonatada. En los 23 meses estudiados el caudal medio de Ancón se comporto en el rango entre 85-90l/seg, este manantial al igual que Canilla tiene una variabilidad muy acusada con la particularidad de que Ancón presenta crecidas y decrecidas muy rápidas.

P-14

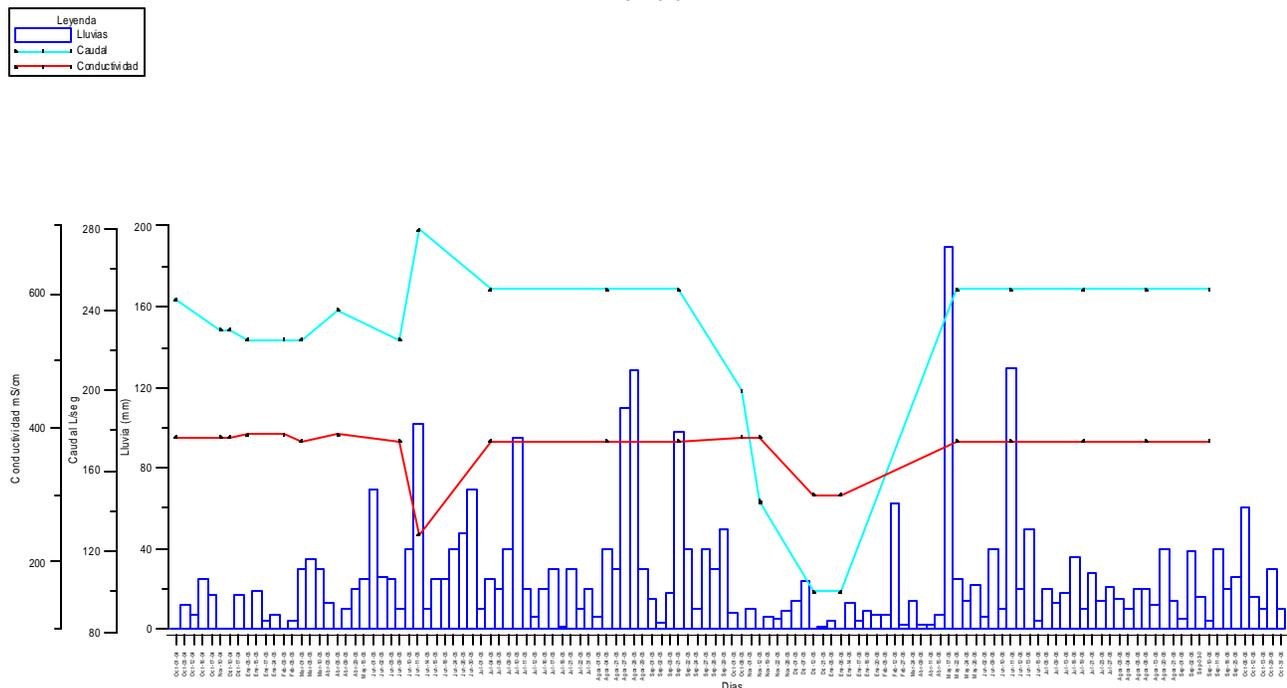


Figura 9. Hidrograma del Río San Marcos (P-14). Las precipitaciones corresponden al pluviómetro 459.

De las respuestas naturales de este hidrograma se pueden hacer varias observaciones. Una serie sucesiva de lluvias originan serie sucesiva de crecidas en el río, a) Las primeras precipitaciones fuertes de la serie provocan instantáneamente un rápido aumento de caudal, que se va a mantener en un margen de 180-200l/seg b) En época de estiaje lluvias superiores a los 40 mm son la que ejercen cierta influencia sobre el caudal del río, c) En época de seca las oscilaciones bruscas de los caudales son características: crecida instantánea y decrecida rápida, d) Cuando las lluvias se hacen frecuentes los caudales se mantienen y las decrecidas son un poco más lentas.

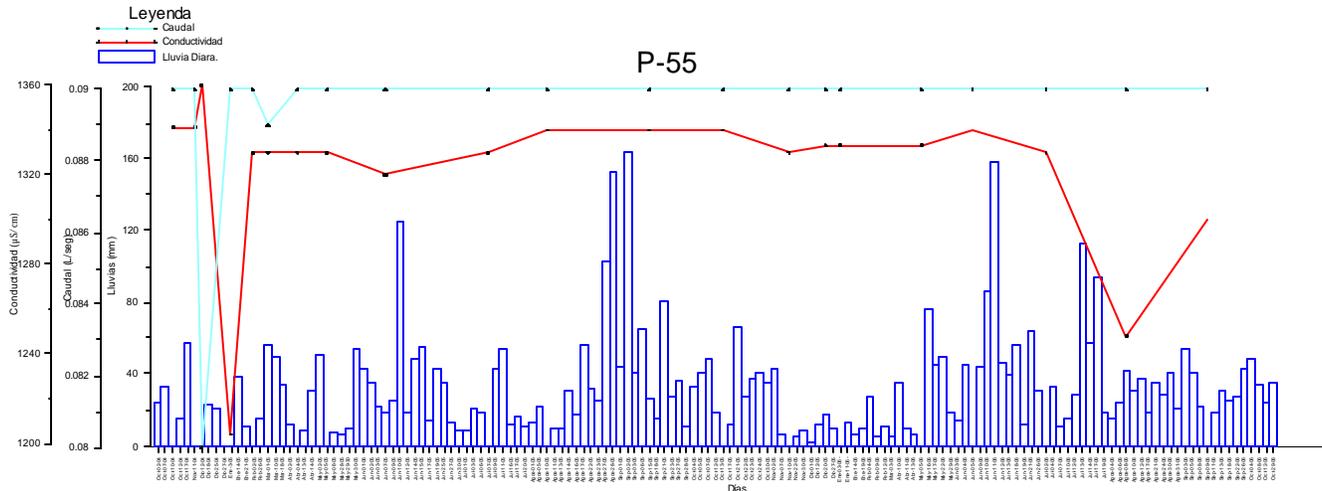


Figura 10. Hidrograma del pozo 55. Las precipitaciones corresponden al pluviómetro 226.

Este pozo está ubicado en la localidad conocida como El Sitio, en rocas de la Fm Manacas, aunque corta al paquete de serpentinitas pertenecientes a las ofiolitas de Cajálbana. La evolución de los caudales y la mineralización del mismo, Figura 10, no están asociadas a ningún evento externo. En los años de observación las lluvias máximas registradas corresponden a los meses junio-octubre y sin embargo los caudales se mantienen con un valor 0.09 l/seg y la mineralización tiene valores entre 1250µs/cm -1350µs/cm, estos valores pudieran estar asociados al paso del agua por las serpentinitas y al material orgánico depositado en Manacas.

CONCLUSIONES

La mineralización de los manantiales Ancón y Canillas evidencia que generalmente las aguas drenadas durante las crecidas corresponden a aguas con cierto tiempo de residencia en el acuífero, esta agua son expulsadas hacia el exterior por onda producidas por la llegada al manto de agua de infiltración rápida en el caso de Canilla.

El grado de organización del drenaje en el Macizo Pan de Guajaibón explica que los valores bajos de precipitación, por debajo de 40 mm, no tengan influencia en ninguna época del año. La evolución de los caudales en las surgencias es muestra del efecto filtro que el sistema ejerce sobre ellas.

La respuesta de Ancón, Canilla y Punto 14 antes las precipitaciones es muy rápida. Esto puede indicar la presencia de una amplia red de fracturas que permiten el paso rápido de un gran volumen de agua, principalmente Ancón.

BIBLIOGRAFÍA

- Antigüedad, I. (1985): Contribución de la hidroquímica al conocimiento de las características hidrogeológica y del karstificación del macizo de Aramotz (Bizkaia). *Kobie*, 15, 165-174. Bilbao
- Antigüedad, I. (1986): Estudio hidrogeológico de la cuenca del Nervión-Ibaizabal: contribución a la investigación de los sistemas acuíferos kársticos. *Tesis Doctoral*, Univ. País Vasco. 338 págs.
- Mangin, A (1975): Contribution à l'étude hydrodynamique des acuífères karstiques. Troisième partie. Constitution et fonctionnement des acuífères karstiques. *Annales de spéléologie*. Tome 30. Fascicule 21-124 pp.
- Miserez, J.J. (1973): Géoquimie des eaux du karst jurassien. Contribution physico-chimique à l'étude des altérations. *Thèse Doct.*, Univ. Neuchatel, 313 págs.
- Molerio, L.F (1982): Algunos resultados de la aplicación del método de recesión al estudio hidrodinámico de los acuíferos cársicos cubanos. Coloquio Internacional sobre Hidrología Cársica en la Región del Caribe. UNESCO. 201-212 págs.
- Pulina, M., Fagundo, JR (1984): The Dynamics of Contemporary karst Processes in the Tropical Area of Cuba. Preliminary report of the field investigations performed by the Expedition GUAJAIBON 84 in the winter season 1984. Ed. Univ. Slaski. Sosnowice, págs 42.
- Pszczólkowski, A. (1987): Contribución a la Geología de Pinar del Río. Editorial Científico-Técnica. La Habana. 225 págs.