

Importancia de los procesos biológicos en la corrosión Karstica de tipo "Tinajitas" en el Pan de Guajaibón, Cordillera de Guaniguanico, Pinar del Río, Cuba*

María E. RODRÍGUEZ**, María Ofelia OROZCO MANSO** y Jesús M. PAJÓN***

ABSTRACT. Present results were obtained during the studies concerning the tropical karst denudation at the Experimental Polygon of Pan de Guajaibón, organized by the International Union of Speleology (IUS). The physicochemical characteristics of pluvial waters that are reaching calcareous rock surface produce an intense corrosion giving rise to linear or oval (tinajitas) karren. It was determined that organic detritus coming from the surrounding forests to rocks produced humic acids during its decomposition. Those acids were characterized as weakly saturated and lightly joint to Calcium. This fact and the high soil CO₂ production as well as an intense microbial activity will help to explain the rapid water mineralization found 2-5 hours after raining in the karstic system studied. The alternance of humid-dry conditions in short periods typical of tropical climate produce an increase in organic matter decomposition. Its role formation is discussed.

KEY WORDS. Biological activity, Karst, "Tinajita".

INTRODUCCIÓN.

Las características físico-químicas de las aguas de precipitación que llegan a la superficie de las rocas calcáreas, la litología, fisuración y la actividad biológica de los suelos y sedimentos que están en contacto con las mismas, dan lugar a procesos intensos de corrosión que producen morfologías lineales (karren) y ovaladas (tinajitas) en la superficie de las rocas. La mayor agresividad y poder de disolución de las aguas kársticas en las zonas cálidas ha sido señalada por Géze (1968), Jakucs (1977), Rauzer (1977). Valores elevados del contenido de CO₂ y carbonatos en aguas, han sido reportadas en Cuba, por Fagundo y Valdés (1975) y por Fagundo *et al.* (1987). Rodríguez *et al.* (1987) reportaron valores relativamente altos de actividad biológica en sedimentos de Cueva Fuentes, en Pinar del Río, a pesar del pobre contenido de materia orgánica en los mismos.

El presente trabajo se realizó en el marco de los proyectos de la Comisión Internacional de Química-Física e Hidrogeología del Karst de la UIS, en el programa de investigaciones sobre la denudación y evolución del karso en condiciones tropicales. El mismo se relaciona con los estudios llevados a cabo sobre la denudación kárstica en el Polígono Experimental del Pan de Guajaibón, Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba.

El objetivo de esta investigación fue:

- ◆ Conocer la importancia de la actividad biológica y de los procesos de humificación en la corrosión de tipo "tinajitas" en las áreas de estudio ubicadas en la sierra del Pan de Guajaibón.
- ◆ Caracterizar la descomposición de la materia orgánica que llega al suelo, la microflora y la mineralización del carbono en las áreas de Canilla y Ancón.
- ◆ Establecer relaciones entre la actividad biológica de estas áreas y los valores encontrados de denudación química, en estudios de campo y estudios de simulación química en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio. Se escogieron tres áreas: Tinajitas, formaciones ovaladas, que en algunos casos llegaban a 10 cm de profundidad, encontradas sobre la superficie de pedregones de roca caliza. En estas hoquedades se acumula materia orgánica procedente de hojas y de detritus de la vegetación circundante, encontrándose la misma en diferentes grados de textura y descomposición, junto con fragmentos, a veces casi polvo, de la propia roca. (ver fig.1)

Canilla, en los alrededores de la surgencia del arroyo Canilla, bajo un bosque de pomarrosas *Zyzygium jambos* (L.) Alston in Trimen, cercano a las dos orillas del río, y bajo árboles del bosque semideciduo existente. Ancón, a 200 m de la entrada de la cueva Ancón, bajo un bosque semideciduo bastante conservado en la ladera NO del macizo. Figura 1, A y C. Los puntos de muestreo se encontraban entre 300 y 400 m snm dentro del Polígono Experimental.

Colectas. Se realizaron colectas de la hojarasca producida por el bosque, mediante 5 colectores de malla de 1x1m y 50x50cm colocados bajo los árboles en cada área estudiada. La hojarasca en el suelo se colectó al inicio y al final de la estancia (febrero de 1984), en marcos de 25x25 cm.

Descomposición de la hojarasca. Se calculó con los datos de colecta el coeficiente de descomposición (KL) extrapolando para el valor anual. Se calculó el tiempo medio de descomposición (D50).

Se determinó la velocidad de descomposición de celulosa como sustancia patrón, utilizando algodón en bolsas de malla de 1mm de poro, con un tiempo de exposición de 30 días, según Wiegert y Evans (1964).

*Manuscrito aprobado en Octubre de 1996.

**Instituto de Ecología y Sistemática, A.P. 8029, C.P. 10800, La Habana, Cuba.

***Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA.

Mediciones de CO₂. En el laboratorio, se utilizó el método de valoración con HCl, según Thun *et al.* (1955), usando el material "tinajitas" y de suelo colectado en los alrededores de las mismas. In situ: usando el método del recipiente invertido; de 22,5 cm de diámetro x 20 cm de alto, y como absorbente del CO₂ un granulado de hidróxido de calcio y sodio (Natrocalcid), midiendo por diferencia de pesada.

Conteo de microorganismos. Se realizó por la técnica de suspensión-dilución de suelo (0-10 cm), sembrando en placas petri con medios para: bacterias (agar nutriente), micromicetos (hongos) en medio Czapek agar, actinomicetos, (medio agar almidón-sales), celulolíticos (medio de sales y celulosa) y para solubilizadores de fosfato tricálcico (medio de Ramos-Callao).

Caracterización de los ácidos húmicos. Mediante la técnica de Ambroz y Balátova (1962), que utiliza la extracción con OHNa, oxalato de amonio y precipitación con H₂O₄S y redisolución con OHNa. Se midieron los coeficientes de extinción a 465 y 726 nm en un espectrofotómetro Pye Unicam Sp 30 UV, para hallar los coeficientes de Color, Estabilidad, y Humificación, según el método.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presentan las características del área de estudio. Debe señalarse que los bosques semidecíduos que aparecen sobre el carso, en medio de condiciones de clima húmedo, están limitados en especial por sequía edáfica, que se presenta en suelos poco desarrollados. En zonas donde el suelo tiene mas potencia, o en zonas de acumulación, aparecen las pluvisilvas.

La Tabla 2 muestra que la constante de descomposición calculada (K) es casi igual para las dos áreas, con un tiempo medio de descomposición de poco mas de 7 meses. Es decir, que este es el tiempo necesario para que se descomponga el 50% de la hojarasca que llega al suelo. Comparando con los datos obtenidos en bosques siempreverdes de la Estación Ecológica de Sierra del Rosario situados al NE del Pan de Guajaibón, a una altura de 500m snm, los valores de descomposición encontrados son altos y comparables con los obtenidos allí para el mismo período. Para la de VDC, vemos en la Tabla 2 B, que el valor obtenido para Ancón es 10 veces mayor que en Canilla, lo cual parece relacionarse con la cobertura del suelo con hojarasca, que en esta área era mucho menor y por tanto las bolsas de malla con el material celulósico quedaban mas expuestas a la desecación y los cambios de temperatura. También se observaron diferencias en la composición de la microflora en estas áreas, como se verá mas adelante.

La producción de CO₂ medida en distintos materiales relacionados con tinajitas (T), y a las cuales se les añadió agua, simulando una lluvia ligera, produjeron incrementos en la evolución de CO₂ del orden de 28% a 14 veces en lo que se refiere al suelo; de 3 a 186 veces en las lajas de caliza y fragmentos de esta roca; y de 5 a 19 veces en la fracción orgánica mas o menos humificada. Pajón y Valdés (1987), encontraron valores relativamente altos de disolución de rocas de las formaciones Chiquita y Guajaibón y de tinajitas, en un experimento de simulación de disolución utilizando dosis de CO₂, produciéndose una mineralización rápida del agua en las primeras horas del experimento.

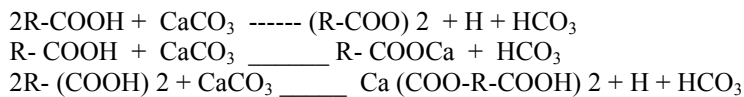
La tabla 3 muestra los conteos de la microflora del suelo en las áreas estudiadas. En el caso de Ancón puede observarse una notable diferencia entre los valores de A₀ y suelo de forma tal que el total de colonias contadas es 2.2 veces mayor en el primero. En ambos casos las bacterias fueron el grupo más numeroso, constituyendo 67 y 76% del total, para A₀ y suelo respectivamente. Al comparar con Canilla, se observa en general, mayor riqueza microbiana, debido a la presencia del horizonte A₀. Los valores de hongos micromicetos son bajos en ambas áreas, mientras los actinomicetos fueron notablemente favorecidos en Canilla. No se observaron diferencias para los solubilizadores de P, y los celulolíticos fueron 3 veces mayores en Ancón que en Canilla lo que concuerda con los valores más elevados alcanzados para la velocidad de descomposición de la celulosa en esta área (ver tabla 2).

El valor de 14 U.F.C. X 10⁴, encontrado para los celulolíticos, resulta comparable al dato reportado por Rodríguez, (1983), de 12 X 10⁴ para este grupo fisiológico en el bosque natural de S. del Rosario, ya referido, y mas alto que el encontrado por Orozco *et al.* (1985) en troncos en descomposición de este mismo bosque.

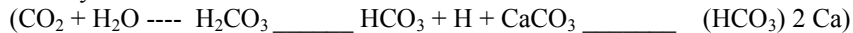
La Tabla 4, muestra la importancia que pueden tener los cambios de sequía-humedad, en períodos cortos, para la producción de CO₂, tanto por mecanismos químicos de la acción del agua sobre las rocas, como debido a la activación de la microflora y en general de la biota del suelo, fenómeno que no presenta igual comportamiento cuando las condiciones de humedad se hacen estables o llegan a la saturación, ya que entonces se crean condiciones anaeróbicas que inhiben el metabolismo oxidativo. Además, es conocido que la alternancia de condiciones de humedad, libera fragmentos del humus que se hacen entonces disponibles para los microorganismos, (Coleman *et al.*, 1989). Como se observa en la tabla, el incremento de la producción de CO₂ en algunos materiales, llegó a más de cien veces. Los datos contribuyen a explicar la elevada agresividad de las aguas kársticas encontradas en las áreas de estudio del Polígono de Guajaibón, algunas horas después de llover, por Pulina *et al.* (1984) y Fagundo *et al.* (1986).

En la Tabla 5, se expresan los valores de mediciones *in situ* de CO₂ del suelo, obtenidos bajo bosque. En general se ha constatado por los autores que la eficiencia del método es mayor para mediciones cortas (Rodríguez, 1983). En Ancón la secuencia de las mediciones incrementó al disminuir el tiempo de exposición, probablemente por la cobertura mas uniforme del suelo, ya comentada. El valor promedio de respiración fue equivalente a la mineralización de 57,8 y 62,4 mg de materia orgánica m⁻²hora⁻¹, para Ancón y Canilla respectivamente. Los valores de CO₂ encontrados son 2 veces

mas altos que los obtenidos en el bosque natural de la EE S. del Rosario y casi iguales a los de una plantación y áreas de vegetación secundaria allí estudiadas. La evolución del CO₂ es un indicador del metabolismo del suelo, determinado principalmente, aunque no únicamente, por su microflora con lo cual se producen las transformaciones de la materia orgánica que conducen a su humificación. Es en estos procesos, que se producen las complejas moléculas que constituirán los ácidos húmicos, que junto al CO₂, son responsables de gran parte de la agresividad de las aguas kársticas, principalmente en las condiciones del trópico, como ha planteado Miserez (1973). Este autor propone el siguiente esquema de reacciones de la acción de los ácidos húmicos sobre la calcita:



junto a la ya conocida reacción:



Como se aprecia, se produce una evolución de CO₂, y una equivalencia de los AH y los HCO₃, demostrándose la acción de éstos últimos sobre los procesos de disolución. Los valores negativos algunas veces encontrados, de la sustracción:

(CaCO₃ - HCO₃), en diferentes tipos de aguas en el Pan de Guajaibón, (Pajón, 1987), y en datos reportados por otros investigadores en regiones tropicales, donde las temperaturas son elevadas, la vegetación exuberante y el suelo rico en humus, pueden atribuirse en ocasiones, a la contribución de iones HCO₃ aportados según las reacciones anteriores.

Por último, los valores de los coeficientes empleados para caracterizar el material en diferente grado de descomposición colectado dentro de las tinajitas, que se presenta en la Tabla 6, muestra que: El Coeficiente de Color (CC), en T2 y T5 indica por sus valores mas altos, el predominio de AH menos polimerizados, en relación con T1 y suelo. El Coef. de Estabilidad (CE) de T2 y T5, sugiere la presencia de humus poco saturado en relación con T1 y suelo. En este último material, así como en el suelo circundante, los AH están poco saturados y débilmente unidos al Ca⁺⁺. En T1 y Suelo, los valores mas elevados del CE indican que el complejo está algo mas saturado con Ca⁺⁺. El Coeficiente de Humificación (CH) presenta valores bajos de 0,11 - 0,18 en T5, T2 y T1 y sólo un poco mas alto en suelo. Estos valores indican que hay poco contenido de ácidos húmicos verdaderos.

En general, se observa en todas las muestras de tinajitas y también en el suelo, que existe un mayor contenido de Ácidos Fúlvicos, característico de las etapas tempranas de la humificación y pobre saturación del complejo de adsorción, con moléculas menos complejas y menos polimerizadas. Estas características encontradas en el material de tinajitas, explicaría la mayor concentración de HCO₃⁻, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, dureza total, etc. encontradas en los análisis de las aguas lisimétricas de los puntos de medición Ancón y Canilla, procedentes de la capa superficial del suelo (0-5 cm) así como de las propias tinajitas, Pulina *et al.* (1984), Fagundo *et al.* (1986). En la formación y evolución de las formas kársticas en esta región, la mayor agresividad de los AF formados en condiciones de una elevada tasa de descomposición (K1) y de actividad biológica (mineralización de la materia orgánica-CO₂) justificarían procesos "locales" (según M. Pulina, com. pers.) de disolución y de agresividad de las aguas, que producirían un balance entre disolución y formación de complejos órgano-minerales, que van a parar al suelo y los sedimentos.

En las tinajitas, el aporte de restos orgánicos de la vegetación circundante, descompuestos por la microflora, dan lugar a la formación *in situ* de AH y AF que reaccionan con la roca caliza. En cada lluvia, sobre todo en la alternancia sequedad-humedad, estas oquedades se llenan, y ponen en marcha todo el proceso biogeoquímico, que determinará mas disolución y la evolución progresiva de estas formas exokársticas. En base a los datos obtenidos se propone un esquema del proceso de formación de las tinajitas, que se muestra en la Fig. 2.

En la Tabla 7, los valores encontrados en algunos índices geoquímicos de las aguas kársticas del Pan de Guajaibón, que resultan muy altos, junto con elevados valores de denudación anual para los sistemas estudiados en este macizo, se podrían ahora explicar con los datos anteriormente discutidos.

CONCLUSIONES

- ◆ En las áreas estudiadas en Guajaibón, se observaron valores altos de actividad biológica, reflejados tanto en la velocidad de descomposición de la materia orgánica que llega al suelo como en la producción de CO₂. En las áreas de Ancón y Canilla, bajo la vegetación, la mineralización del C fue equivalente a 58 y 62 mg de Materia orgánica m⁻²hora⁻¹, respectivamente, con aportes de CO₂ de 123 y 132 mg CO₂ m⁻²hora⁻¹
- ◆ Se observó que en las "tinajitas" y el suelo circundante tienen lugar procesos de humificación caracterizados por un predominio de los AF, como característica de una humificación temprana.
- ◆ Existe pobre saturación del complejo de adsorción con Ca₂⁺, con mayor saturación en suelo.
- ◆ Los resultados explicarían una agresividad alta de las aguas en esta zona y la mayor concentración de HCO₃, Ca₂⁺, Mg₂⁺, dureza total, etc., encontrados en los análisis de las aguas lisimétricas de los puntos de medición Ancón y Canilla, así como de las procedentes de la capa de suelo superficial y de las propias tinajitas.
- ◆ En la formación y evolución de las formas kársticas en esta región, la mayor agresividad de los AF formados en condiciones de una elevada tasa de descomposición y de actividad biológica, justificarían procesos "locales" de disolución y de los valores anuales de denudación reportados para los sistemas estudiados.

RECOMENDACIONES

Llamamos la atención sobre la importancia que tiene el componente biológico en los sistemas karsticos, tanto por su diversidad taxonómica como funcional y tanto desde el punto de vista ecológico como específicamente hidrológico. La destrucción o alteración de los bosques, la mala agricultura, el sobre uso de los recursos hídricos podrían causar graves desequilibrios en el balance de los procesos de karstificación y en todo el complejo funcionamiento de estos sistemas. Por esto, se hace imprescindible la protección adecuada de los sistemas kársticos mas valiosos del país y promover la conciencia de que es posible un uso racional de este recurso.

Agradecimientos. Al Dr. Mariam Pulina por las valiosas observaciones hechas al desarrollo del trabajo de campo y la revisión inicial de los datos. A los compañeros del Grupo Espeleológico Martel de Cuba, Juan Carlos Peña y Javier Rodríguez por su colaboración en el trabajo de campo.

REFERENCIAS

- Ambroz, Z. y E. Balatova -Tulackova. 1962. Biological and humus components of soil meadow phytocenoses of the valley of Opava River in relation to the site and plant cover. *Prir. Cas. Slezs.* 23: 161-174.
- Coleman, D. C., M. Oades y G. Uehara. 1989. *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*. Niftal Proj. Univ. of Hawaii.
- Fagundo, R. y 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. *An. Espeleol.* 30(4):643-653.
- Fagundo, J. R., J. J. Valdés, J. E. Rodríguez, J. M. Pajón, A. de la Cruz, A. García y M. Pulina. 1986. *Estudio preliminar sobre el proceso de denudación cársica en el polígono experimental cubano-polaco del Pan de Guajaibón*. Instituto de Geofísica y Astronomía. ACC.
- Géze, B. 1968. *La espeleología científica*, Editorial Martínez Rosa, España. 191 pp.
- Jakucs, L. 1977. *Morphogenesis of karst regions*. Akademiai Kiadó, Budapest, pp. 30-165.
- Miseresz, J. J. 1973. *Géochimie des aux du karst Jurassien. Contribution physico-chimique a l'etude des alterations*. These Doct. és Sciences, Nuechatel, pp. 313.
- Orozco, M. O., M. E. Rodríguez, R. A. Herrera y R. L. Ferrer. 1986. Micorrizas VA, micelio extramático y otras poblaciones microbianas asociadas a troncos en descomposición en un bosque tropical. *Ciclo lectivo sobre el Tema: Técnicas de Investigación en Micorrizas*, CATIE, Turrialba, Costarrica. Informe Provisional no. 18.; 251-271.
- Pajón, J. M. 1987. *Geoquímica de las aguas karsticas de la Sierra de los Órganos y el Pan de Guajaibón, Pinar del Río*. Trabajo de Diploma, Facultad de Química, Universidad de La Habana. 78 pp.
- , y J. J. Valdés. 1991. Simulación química de la disolución de rocas carbonatadas del macizo karstico del Pan de Guajaibón, Sierra del Rosario, Cuba. *Lapiaz*, Monografía III. Valencia, España. pp. 35-37.
- Pulina, M., J. R. Fagundo, J. J. Valdés, J. Rodríguez, A. Kozik, J. Leszkiewicz, P. Glowaski, J. Pajón, A. de la Cruz y A. García. 1984. *The dynamic of the contemporary karstic processes in the tropical area of Cuba*. Preliminary report of the field investigation performed by the expedition Guajaibón'84 in the winter season 1984. Uniwersytet Slaski, Sosnowiec, Polonia. 42 pp.
- Rauzer, J. 1977. The karst ecosystems of Europe. En: *Karst Regions and Environment. Stud. Geogr.* 62: 21-42.
- Rodríguez, M. E. 1983. *Organic matter decomposition in the evergreen submontane tropical forest of the Ecological Station Sierra del Rosario, Cuba*. Tesis para la opción al grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Academia de Ciencias de Checoslovaquia, Brno. 209 pp.
- Rodríguez, M. E., M. O. Orozco y M. A. Zorrilla. 1987. Actividad biológica en sedimentos del Sumidero del arroyo La Viuda, Cueva Fuentes, Pinar del Río, Cuba. *Acta Botánica Cubana* 47: 1 - 15.
- Thun, R., R. Herrmann y E. Knickmann. 1955. *Die untersuchung von Boden (Methodenbuch)* Bd. I. Neumann Verlag, Radebeul.
- Wiegert, R. G. y F. C. Evans. 1964. Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in southeastern, Michigan. *Ecology*, 45: 49-63.

Tabla 1. Características climáticas y geomorfológicas del área de estudio en el Pan de Guajaibón.

Clima			
Lluvia (mm)	Pp anual 1800	Período lluvioso (mayo-octubre) 1400	Período seco (noviembre-abril) 400
Temperatura	23,0° C		
Geología	Compleja, tanto por su litoestratigrafía como por su estructura. Depósitos carbonatados del Cretácico de las formaciones Guajaibón y Chiquita.		
Suelos	Pardos con carbonatos, sobre calizas masivas del Cretácico.		
Vegetación	Bosques semidecíduos sobre el carso, mas o menos afectados por la actividad antrópica; áreas con bosques húmedos (pluvivilvas) y pomarrosales en las orillas de los ríos y cañadas.		

Tabla 2. Descomposición de la hojarasca que llega al suelo en los lugares de muestreo (bosque semidecidual). A - Constante de descomposición (K_L). B- Velocidad de descomposición de la celulosa (VDC) $\text{mg g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, en bolsas de malla (1mm de poro).

A-	ANCON	CANILLA	E.E Sierra del Rosario*
Caída anual ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	4540,4	4600,0	
Hojarasca en el suelo	4038,0	4086,0	
K_L	1,124	1,125	1,44**
Tiempo medio de descomposición (meses)	7,4	7,39	5,8
*Estación Ecológica en la Reserva de la Biosfera			
**Para el mismo período (Rdguez <i>et.al.</i> 1987)			
B-	ANCON	CANILLA	
VDC	5,5 (1,1)	0,5 (0,02)	
Rango (% descom.) N=10	(2,48—7,0)	(1,28—2,4)	

Tabla 3. Conteo microbiano (UFC) $\times 10^4$ en muestras de suelo (0-10 cm) de las áreas de estudio en Guajaibón. Actinom.= actinomicetos, celul.=org. celulolíticos, sol. P.= solubilizadores de fosfato inorgánico. n = 3 puntos de muestreo en cada área.

Lugar/grupos	Bacterias	Hongos	Actinom.	Total	celul.	sol. P
ANCON						
Suelo	77,3	5,0	19,3	101,6	12,0	6,3
Ao	155,2	7,2	66,8	229,2	15,9	6,9
CANILLA						
Suelo	91,7	2,5	104,44	198,6	5,8	6,2

Tabla 4. Producción de CO_2 ($\text{mg } 100\text{g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de muestras de suelo (0-5cm), roca caliza, y detritus orgánicos mas o menos humificados, en relación con las “tinajitas” (T). Mediciones de laboratorio durante 2 horas, con 3 repeticiones. Se usó material fresco y después de añadir 10% de agua (w/w) y mantener 1 hora en reposo.

MUESTRA	fresco	+ H_2O
Suelo	0,90	4,69
Suelo con Ca*	9,17	11,72
Suelo + hojarasca	3,23	44,86
Caliza (fragmentos sobre el suelo)	0,92	171,43
Lajas de rocas (en T)	0,25	25,68
Caliza + hojarasca (en T)	2,77	7,69
Detritus y hojas en T: fresca > 2mm	3,78	17,45
semidescomp.	6,93	133,73
humificada	1,84	30,60
Humus con cristallitos de caliza en T	2,79	35,68
* fragmentos de lajas de caliza		

Tabla 5. Mediciones in situ ($\text{mg CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{hora}$) sobre el suelo en las áreas de estudio, utilizando el método del Netrocalcid. n = 3, (desviación estándar).

tiempo (horas)/áreas	ANCON	CANILLA
24	84,0 (20,0)	101,0 (50,0)
19	81,3 (17,0)	129,5 (21,4)
15	156,0 (11,1)	90,5 (12,0)
3	171,0 (7,0)	207,0 (5,0)
x GRAL.	123,08 (47,09)	132,0 (64,44)

Tabla 6. Valores de los coeficientes hallados para la caracterización cualitativa del humus, en muestras de “tinajitas”. (Método de Ambroz-Balatova, 1962). T₁, T₂, T= muestras de detritus contenidos en las “tinajitas”. S = suelo que rodeaba el lugar.

Coeficientes de:	Muestras			
	T ₁	T ₂	T	S
Color (1)	7,13	11,96	11,94	6,06
Estabilidad (2)	2,18	0,80	0,47	1,14
Humificación (3)	0,183	0,124	0,110	0,287

(1) Extracto en OHNa leído en 465nm (A1) y en 726nm (A2): A1/A2
 (2) Extracto en oxalato de amonio leído a 465nm (B): B/A1
 (3) Precipitado obtenido con H₂O₄S, del extracto de OHNa, redissuelto en OHNa, leído a 465nm (C): C/A1-C

Tabla 7. Valores de algunos índices geoquímicos encontrados en distintos tipos de aguas cársicas del Pan de Guajaibón. (Datos tomados de Pulina *et al.*, 1986 y Pajón *et al.*, 1987)

Índices	Áreas	
	Surgencia Ancon	Surgencia Canilla
CO ₂ (mg l ⁻¹) aire cueva	3,6	3,2
agua surgenc.	5,1	0,8
agua manantiales, etc.	10-50 (1)	1-5 (2)
M (mg l ⁻¹)	212	178
Denudación (m ³ km ⁻² año ⁻¹)	112	40

(1) Manantiales y arroyos kársticos de la zona de alimentación de Sierra Chiquita.
 (2) Manantiales y arroyos kársticos superficiales de la zona de alimentación del macizo Guajaibón y sus inmediaciones.

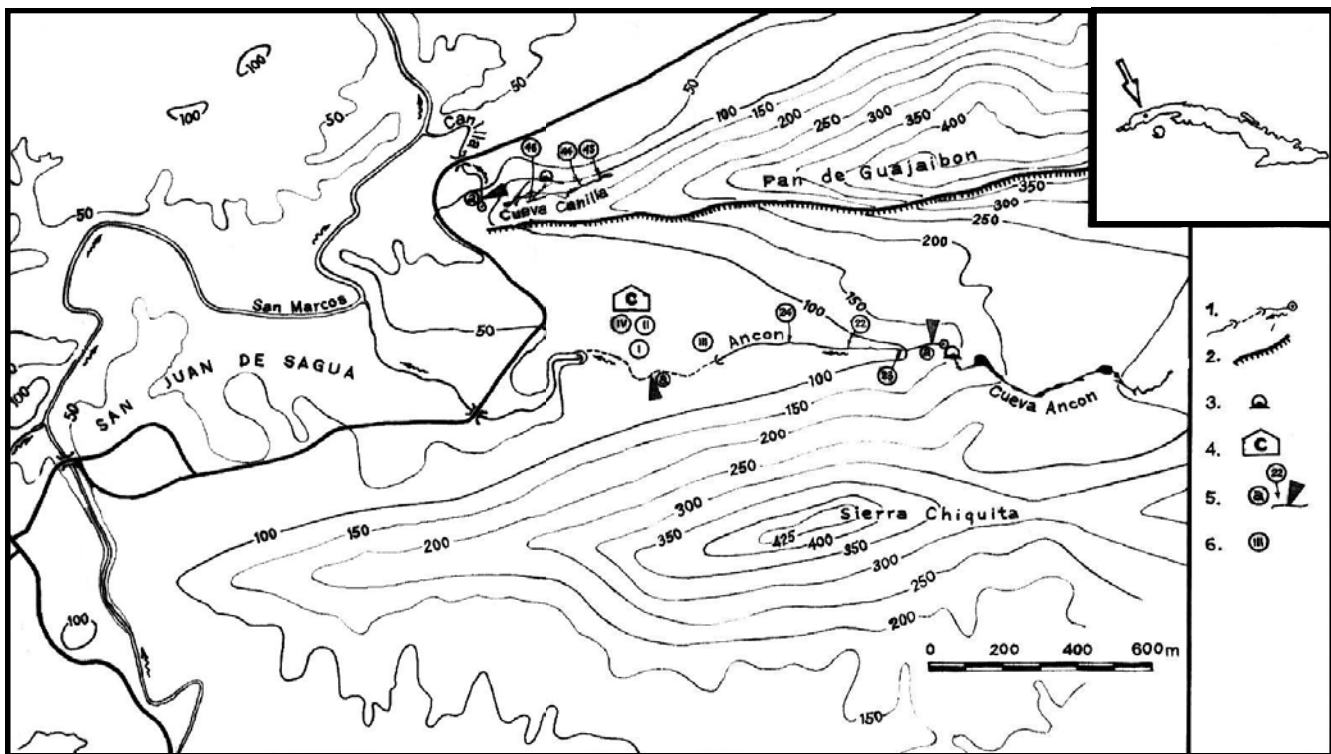


Fig. 1. Localización del área de estudio y los puntos de muestreo. (Tomado de Pulina *et al.* 1984)

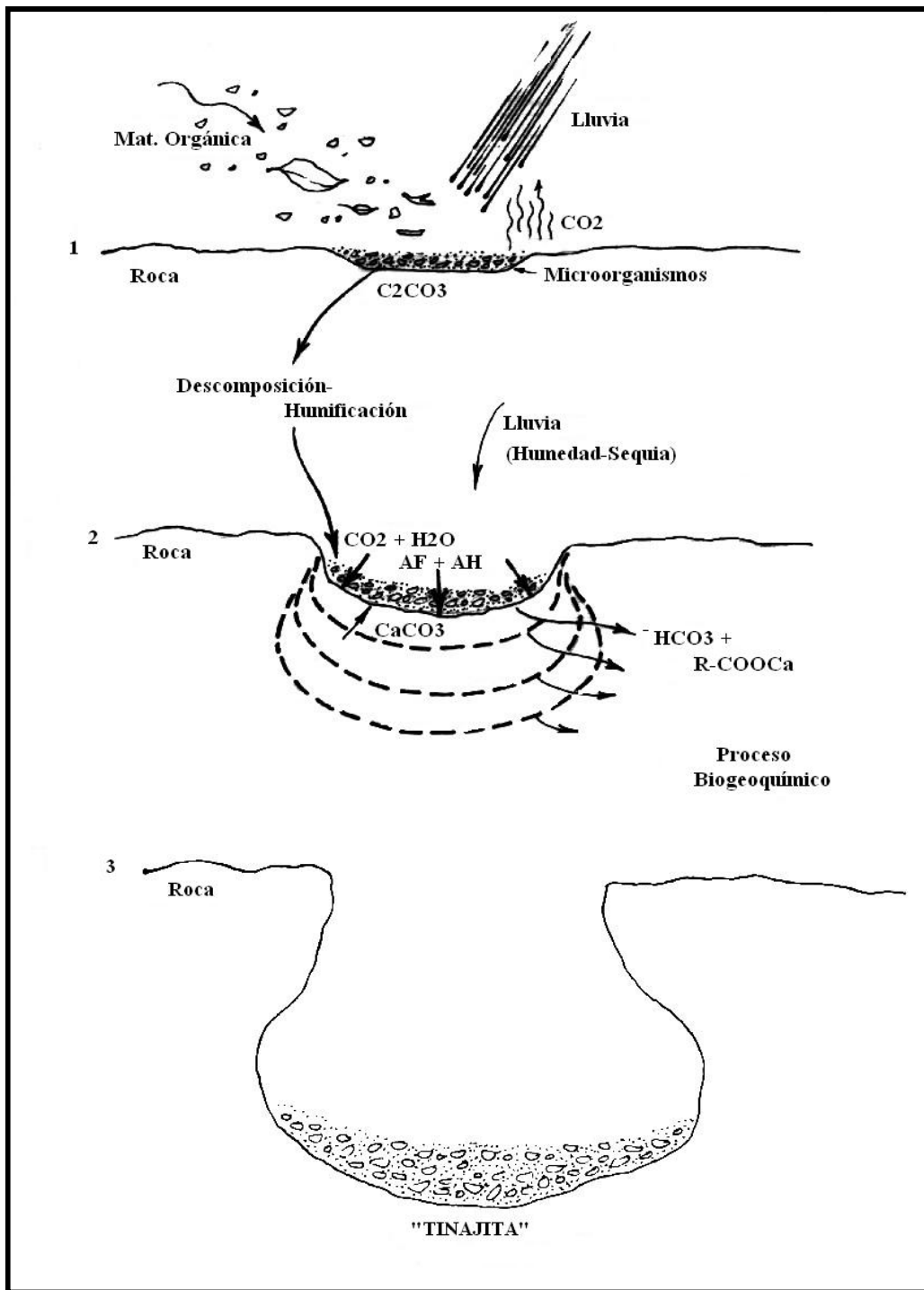


Fig. 2. Esquema del proceso de formación de una tinajita. 1) Sobre la roca llegan hojas y restos orgánicos donde proliferan microorganismos. La lluvia y la alternancia de condiciones seco-húmedas, activan la microflora y aceleran los procesos de descomposición-humificación. Se producen moléculas de ácidos fúlvicos y húmicos, CO_2 , y otras, que atacan la roca caliza causando su disolución localizada. Con cada nueva lluvia se ponen en marcha todos estos procesos biogeoquímicos, que determinarán mas disolución y la evolución progresiva de estas formas exokarsticas. 3) Se ha formado una "tinajita".