



LAS CIENCIAS AUXILIARES EN LA ARQUEOLOGIA: CONTRIBUCIÓN DE LOS ESTUDIOS PALEOGEODINAMICOS

Jesús M. Pajón

Centro de Antropología

RESUMEN

El Estado de las Artes de las ciencias auxiliares de apoyo a las investigaciones arqueológicas (estudios de objetos y yacimientos arqueológicos, estudios de poblamiento, migración y asentamientos de sitios arqueológicos, colapso de culturas, etc.), comprende un amplio y complejo módulo multidisciplinario e interrelacionado de especialidades que abarcan, entre otros temas del campo de las ciencias los siguientes:

- Geociencias (Geoarqueología): Geología (Sedimentología y Estratigrafía) y Tectónica, Geomorfología, Hidrología e Hidrogeología, Edafología, Geoquímica de las aguas naturales-mineralizadas y de materiales sólidos y Karstología (Espeleología).
- Estudios de reconstrucción paleoclimática, paleoambiental y paleogeográfica (utilizan los llamados paleoregistros o archivos naturales que brindan información sobre los paleoprocesos naturales y/o procesos contemporáneos naturales y/o antrópicos): Geoquímica de Isótopos Estables de Oxígeno y Carbono (paleotemperaturas), métodos de Datación Absoluta, estudios paleohidrológicos (paleolluvias), las investigaciones paleomagnéticas y de magnetismo ambiental, estudios de las variaciones del nivel del mar durante el Cuaternario, investigaciones palinológicas y paleolimnológicas, estudios de paleofauna y trabajos en Dendrocronología.
- Modelación y simulación matemática: Métodos geomatemáticos (Cluster Análisis, Análisis Factorial y Análisis Discriminante), métodos geoestadísticos, los Sistemas de Información Geográfica (Modelo Digital de Terrenos) y las técnicas de Realidad Virtual (RV).
- Métodos analíticos e instrumentales químico-físicos de avanzada para la caracterización, datación y estudio de depósitos naturales y elementos arqueológicos: Dataciones Isotópicas (U/Th, $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$, AMS (^{14}C), Geoquímica de Isótopos Estables ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, ^1H , ^2D , ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{14}N , ^{15}N), ADN Mitocondrial, Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja (IR), Espectroscopia de Emisión Inducida por Plasma (ICP), Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (PIXE), Análisis por Fluorescencia de Rayos X, Análisis por Activación Neutrónica, Análisis Químico Vía Húmeda, Análisis Granulométrico y Análisis de la Susceptibilidad Magnética.

Teniendo en cuenta que durante el Cuaternario y más específicamente durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno, es cuando ocurre la presencia y expansión del género humano y se enmarcan los más importantes problemas de la arqueología, resulta imprescindible la aplicación más rigurosa e intensa en estos periodos de tiempo de las investigaciones y estudios referidos anteriormente. En particular, los fenómenos climáticos que condicionaron las sucesivas etapas glaciares e interglaciares y los movimientos de



regresión y transgresión del nivel del mar tuvieron una gran repercusión en los procesos de hominización, el poblamiento y migración temprana y tardía en las áreas continentales e islas, y en definitiva en la adaptación del hombre a los medios naturales. A partir de una estrategia coherente de trabajo multi-interdisciplinario de las ciencias auxiliares, apoyada por un diseño experimental y formalización de los problemas a abordar, con objetivos e hipótesis de partida definidos, se encuentra en proceso de elaboración el Proyecto de Investigación "Reconstrucción paleoclimática, paleoambiental y paleogeográfica de sectores llaves del Mediterráneo Americano: Contribución a los estudios de poblamiento y asentamientos de sitios arqueológicos en Cuba", el cual, coordinado por el Centro de Antropología, integra un conjunto de instituciones científicas del país.

Palabras claves: Paleoclima, Paleoambiental, Cuaternario, Pleistoceno Tardío-Holoceno, Isótopos Estables, Dataciones Isotópicas, Palinología, Karstología, Cluster Analysis, Análisis Factorial, Sistema de Información Geográfica.

ABSTRACT

The State of the Arts in the auxiliary sciences to support the archaeological researches (objects and archaeological deposits, settlement studies, migration and occupation of archaeological sites, collapse of cultures, etc), include a wide and complex interrelationate and multidisciplinary module of specialties, related with, among other fields of the sciences, the following:

- Geosciences (Geoarchaeology): Geology (Sedimentology and Stratigraphy) and Tectonic, Geomorphology, Hydrology and Hydrogeology, Edaphology, Geochemistry of the natural-mineralized waters and solid materials, Karstology, Speleology.
- Paleoclimatical, paleoanvironmental and paleogeographical reconstruction studies (make use of the natural archives or paleorecords, which give information concerning the natural and/or anthropic contemporary processes, as well as, the natural paleoprocesses: Stable isotope geochemistry of oxygen and carbide (paleotemperatures), absolute dating methods, paleohydrological studies (paleorainfal), the paleomagnetic and environmental magnetism researches, sea level changes studies during the Quaternary, palynological and paleolimnological studies, paleofauna studies and dendrochronological works.
- Modelation and mathematical simulation: Geomathematical methods (Cluster Analysis, Factorial Analysis and Discriminant Analysis), geostatistical methods, the Geographical Information System (GIS) (Land Digital Model) and the Virtual Reality Techniques.
- Chemical-physical instrumentals and analytical methods, for the characterization, datation and study of natural deposits and archaeological elements: Isotopic dating (U/Th, $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$, AMS (^{14}C), Stable isotope geochemistry ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, ^1H , ^2D , ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{14}N , ^{15}N), Mitochondrial ADN, X-Ray Diffraction (XRD), Infrared Spectroscopy (IR), Inductively coupled plasma emission spectroscopy (ICP), Particle induced X-ray emission (PIXE), X-ray fluorescent analysis, Neutronic activation analysis, Wet way chemical analysis, Granulométric analysis and Analysis of the Magnetic Susceptibility.

The presence and expansion of the human genus have taking place during the Quaternary period, principally in the Late Pleistocene-Holocene. The most important problems in



archaeology are included in these periods of time, that is why; the studies and researches above mentioned must be strongly applicative, especially for such span of time. In particular, the successive glacial and interglacial stages, as well as, the movements of the sea level regressions and transgressions, were conditioned by the climatic phenomenon's, with a big repercussion on the humanization processes, the settlement and the early and late migration in the isles and continental areas, finally, in the adaptation of the men to the natural environments. According a coherent strategy of multi-interdisciplinary work of the auxiliary sciences, supported by an experimental design and formalization of the problem to follow, with objectives and a defined initial hypothesis, a new research project is in process of elaboration. The research project "Paleoclimatic, paleoenvironmental and paleogeographic reconstruction of key sectors of the American Mediterranean: Contribution to the study of the occupation and settlement of archaeological sites in Cuba during the protoarchaic", is coordinate by the Center of Anthropology and several scientific institutions are included here.

INTRODUCCION

El conocimiento de los Cambios Globales en el pasado, resulta de crucial importancia para la evaluación de las condiciones medioambientales presentes y la predicción del clima en el futuro, mediante efectivos modelos de simulación. En este sentido, resulta imprescindible distinguir entre aquellos Cambios Globales en el Sistema Geosfera-Biosfera producidos por las variaciones naturales y aquellos inducidos por el hombre. El conjunto de los estudios previamente señalados resulta de gran importancia para las investigaciones arqueológicas, ya sean de carácter regional o local, por cuanto contribuyen a caracterizar, de una manera amplia, las condiciones geoambientales de los ecosistemas en los cuales se desarrollaron las culturas aborígenes.

Teniendo en cuenta que durante el Cuaternario y más específicamente durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno, es cuando ocurre la presencia y expansión del género humano y se enmarcan los más importantes problemas de la arqueología, resulta imprescindible la aplicación más rigurosa e intensa en estos periodos de tiempo, de las investigaciones y estudios referidos anteriormente. En particular, los fenómenos climáticos que condicionaron las sucesivas etapas glaciares e interglaciares y a movimientos de regresión y transgresión del nivel del mar, tuvieron una gran repercusión en los procesos de hominización, el poblamiento y migración temprana y tardía en las áreas continentales e islas, y en definitiva en la adaptación del hombre a los medios naturales.

En el caso de Cuba y los territorios caribeños adyacentes, las ciencias auxiliares de apoyo a las investigaciones arqueológicas juegan un papel fundamental para contribuir al estudio de los objetos y yacimientos arqueológicos asociados a las culturas paleolíticas, mesolíticas y neolíticas. De igual forma, contribuyen a estudiar el poblamiento, las migraciones y asentamientos de sitios arqueológicos, los posibles fenómenos de colapso de culturas, etc.

En las últimas décadas, numerosas investigaciones han aportado diferentes hipótesis que tratan de explicar las causas de los Cambios Climáticos en el pasado. Una hipótesis astronómica asocia estos cambios con las variaciones de la órbita de la tierra, mientras que algunas hipótesis astrofísicas plantean la incidencia de los cambios en la actividad del sol y la constante solar. Desde el punto de vista geólogo-geofísico, estos cambios se



asocian fundamentalmente a los procesos de deriva continental y cambios orogénicos, aunque en los últimos tiempos, han aparecido evidencias que relacionan el impacto de meteoritos, el vulcanismo y las variaciones en la composición atmosférica con los Cambios Globales en el pasado (Webb III et a., en Malone and Roederer, 1984).

Las investigaciones paleoclimáticas que estudian los Cambios Globales desde el punto de vista de las tendencias naturales del planeta, han intentado una reconstrucción del clima en el pasado, desde el Cenozoico hasta prácticamente los tiempos recientes. Sin embargo, es en el período Cuaternario y en particular en los últimos 750, 000 años A.P. y específicamente a partir de la glaciación Wisconsin, donde se cuenta con una información más confiable sobre el paleoclima terrestre, aunque los estudios realizados en latitudes medias y frías, es abrumadamente mayor comparado con las regiones tropicales y subtropicales. Una conclusión importante de los estudios paleoclimáticos durante el Cuaternario desarrollados hasta el presente, plantea la necesidad de abordar los mismos teniendo en cuenta el factor de escala espacio-temporal.

Los Cambios a largo plazo se ponen de manifiesto en los últimos 700, 000 años A.P., con variaciones entre climas glaciales e interglaciales y una actividad cuasi-periódica para cada episodio glacial-interglacial de 100 000 años, con períodos de 19 000, 23 000 y 41 000 años. Dentro de los Cambios Climáticos Globales de los últimos 20 000 años, denominados Cambios a Corto Plazo, (eventos neoglaciales y períodos secos), existen episodios neoglaciales de 300-500 años, en los cuales se enmarcan diversas oscilaciones climáticas reconocidas, como por ejemplo las asociadas al "Young Dryas" y otras relacionadas con el fenómeno "El Niño". En resumen, todas las escalas de cambios han afectado e inciden en el conjunto de las actividades humanas.



Figura 1. Muestreo de núcleos de hielo tomados en Groenlandia por la Estación GISP-2 (Greenland Ice Sheet Project 2).

Los modelos conceptuales actuales para los estudios sobre el Paleoclima y su relación con los Procesos Cuaternarios, tienen en cuenta la utilización de forma multi-interrelacionada, de un conjunto de métodos y técnicas de investigación clásica y de avanzada. Entre las fuentes más comunes para la obtención y manejo de la paleodata pueden citarse las siguientes: Espeleotemas y depósitos de cavernas en el karst, rocas carbonatadas cuaternarias, corales fósiles y actuales, depósitos fluviales oceánicos y sedimentos cuaternarios, polen fósil, muestras de perforaciones en hielo (Figura 1), variaciones del nivel en el mar y los lagos, paleosuelos, anillos de los árboles, plantas microfósiles, gases nobles e isótopos en aguas subterráneas, registros instrumentales y documentos históricos (PAGES, 1992).

Emiliani (1958, 1966), estudió mediante análisis de Isótopos Estables de Oxígeno y Carbono, muestras fósiles de foraminíferos bentónicos pelágicos, así como muestras de sedimentos en perforaciones profundas en el Atlántico, Pacífico y el Caribe, encontrando oscilaciones periódicas de la temperatura durante el Pleistoceno de alrededor de 6 °C.



Estos resultados, presentaron una alta correlación con las variaciones de temperatura continentales inferidas del análisis en perfiles de loess y polen, así como los cambios eustáticos del nivel del mar.

Por su parte, Emiliani y Shackleton (1974), también a partir de estudios isotópicos, obtuvieron una curva generalizada de paleotemperaturas para el Caribe durante los últimos 750 000 años, con una cronología basada en parte sobre magneto estratigrafía (Shackleton y Opdyke, 1973).

Importante contribuciones sobre el Paleoclima del Cuaternario han sido realizadas por, Ericson et al., (1964), Dansgaard y Tauber (1969), Ericson y Wollin (1970), Duplessy et al., (1970a, 1970b), Emiliani (1971, 1972), Lynts y Judd (1971), y Bonatti y Gartner (1973).

Schwarcz y Yonge (1983), realizaron una reconstrucción paleoclimática, a partir del análisis de la relación isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en inclusiones acuosas atrapadas en estalagmitas y otras espeleotemas de cavernas en Estados Unidos. Harmon et al., (1975), Gascoyne et al., (1978), Harmon y Curl (1978), Ford et al., (1983), Gascoyne y Ford (1984), Bakalowicz et al., (1987) y Li et al., (1989), obtuvieron importantes implicaciones paleoclimáticas y geomórficas para el Pleistoceno en el área continental de Norteamérica, así como en Gran Bretaña. Ellos realizaron estudios de Geoquímica de Isótopos Estables ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) en espeleotemas y mediante dataciones absolutas $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ y $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ lograron establecer cronologías asociadas a los períodos glaciales e interglaciales del Pleistoceno.

Latham et al., (1986), estudiaron mediante Paleomagnetismo y dataciones U/Th, ^{14}C y ^{226}Ra una estalagmita en la cueva Sótano del Arroyo, México, obteniendo interesantes resultados sobre la variación secular del campo magnético en el área, durante los últimos 2 000 años. Noel et al., (1979), estudiaron el Paleomagnetismo de los sedimentos de la cueva Agen, Gran Bretaña, encontrando polaridades normales a partir de los datos de la magnetización remanente y llegando a la conclusión de que una parte de la sedimentación ocurrió después de la "excursión" geomagnética Gothemberg hace 12 000 años. Morinaga et al., (1982, 1983), realizaron estudios paleomagnéticos y paleoclimáticos en estalagmitas de cavernas en Japón, encontrando buena correlación entre la intensidad del campo geomagnético y la temperatura en los últimos 3 500 años.

Las regresiones y transgresiones marinas durante el Cuaternario han sido un reflejo de los eventos glaciales e interglaciales. Sobre la base de estudios cronológicos, bioestratigráficos, neotectónicos, sedimentológicos, etc., diversos investigadores han propuesto diferentes modelos de curvas generalizadas que muestran las variaciones del nivel del mar durante el Cuaternario. Entre estos trabajos, puede citarse a Fairbridge (1961, 1963), Milliman y Emery (1968), Emiliani (1969), Scholl et al., (1969), Bolt y Qamar (1970), Namías y Huang (1972), Flemming y Roberts (1973), Meade y Emery (1991), Haq et al., (1987).

Los estudios de fósiles marinos, como índices climáticos, han sido ampliamente desarrollados en la bioestratigrafía del Pleistoceno-Holoceno, pudiendo destacarse los trabajos de Duplessy et al., (1970a, 1970b), Berggren (1973), Shackleton et al., (1973), y Shackleton et al., (1973).

Las investigaciones paleohidrológicas aplicadas al conocimiento del clima durante el Pleistoceno, han tomado auge en los últimos años. El estudio de la granulometría en los



sedimentos y de los cantos rodados depositados en los cauces fluviales epigeos e hipogeos, en diferentes niveles de terrazas fluviales en los valles así como los niveles de cavernamiento en los sistemas subterráneos, ha aportado importante información sobre los paleocaudales y las paleoprecipitaciones pretéritas en las áreas de estudio. De igual manera, diversas estimaciones paleohidrológicas cuantitativas se han efectuado a partir del análisis de los sistemas de scallops de los conductos subterráneos (Trailkill, 1968; White y White, 1970; Goodchild y Ford, 1971; Curl, 1974; Valdés, 1974; Lauritzen, 1981, 1982; Lauritzen et al., 1983).

Los estudios palinológicos representan una herramienta fundamental para dilucidar el clima en el pasado. El polen atrapado en sedimentos de los lagos y en el interior de las cavernas, revela los patrones de vegetación en las regiones circundantes, lo cual en la mayoría de los terrenos, resulta un indicador de las paleotemperaturas y las paleoprecipitaciones. Cuando ello es posible, se establecen correlaciones con fechados de ^{14}C y termoluminiscencia, en el caso de la presencia de materiales arcillosos. Numerosa resulta la literatura especializada y entre esta pueden citarse los trabajos de Baker (1970), Cvancara et al., (1971) y Thompson (1973).

GEOCIENCIAS (GEOARQUEOLOGÍA)

La investigación de los factores involucrados en los procesos geodinámicos contemporáneos de una región kárstica, al igual que los estudios relacionados con su evolución paleoclimática y paleoambiental, requieren, por lo general, de un importante volumen de información de una diversa naturaleza. Está bien establecido, que el abordamiento de este tipo de estudios requiere de un adecuado conocimiento en el área de estudio, de la geología, geomorfología, hidrogeología, estudio detallado del paisaje, el clima, y la hidroquímica, por citar algunos factores. Resulta imposible en la actualidad abordar las temáticas antes mencionadas, sin una adecuada caracterización y evaluación de los diversos elementos presentes en el paisaje kárstico, entiéndase rocas, formaciones geológicas, aguas naturales, sedimentos y suelos, arrecifes coralinos, formaciones de cavernas, entre otros. El avance experimentado en las últimas décadas en las técnicas analíticas e instrumentales, así como los sistemas de cómputo, han posibilitado una mejor aplicación al estudio cualitativo y cuantitativo de los materiales inorgánicos y orgánicos más diversos.

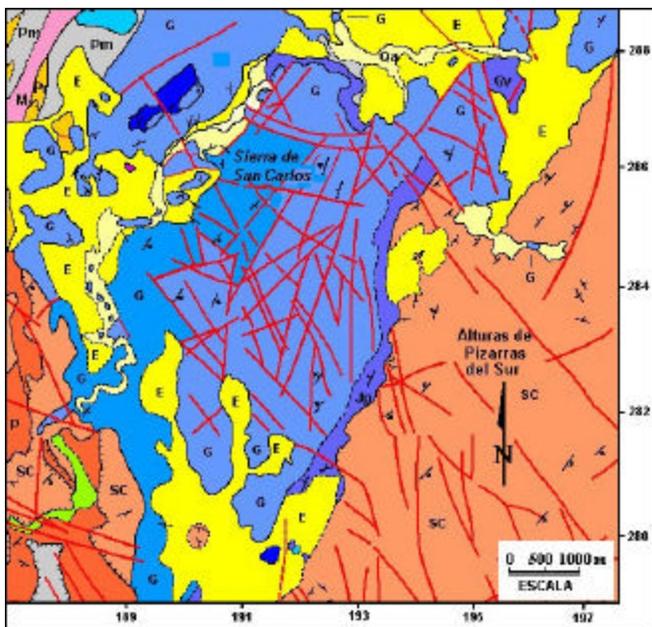


Figura 2. Mapa geológico del karst de la Sierra de San Carlos y sus alrededores, Sierra de los Órganos, Provincia de Pinar del Río (Pajón et al., 2002).

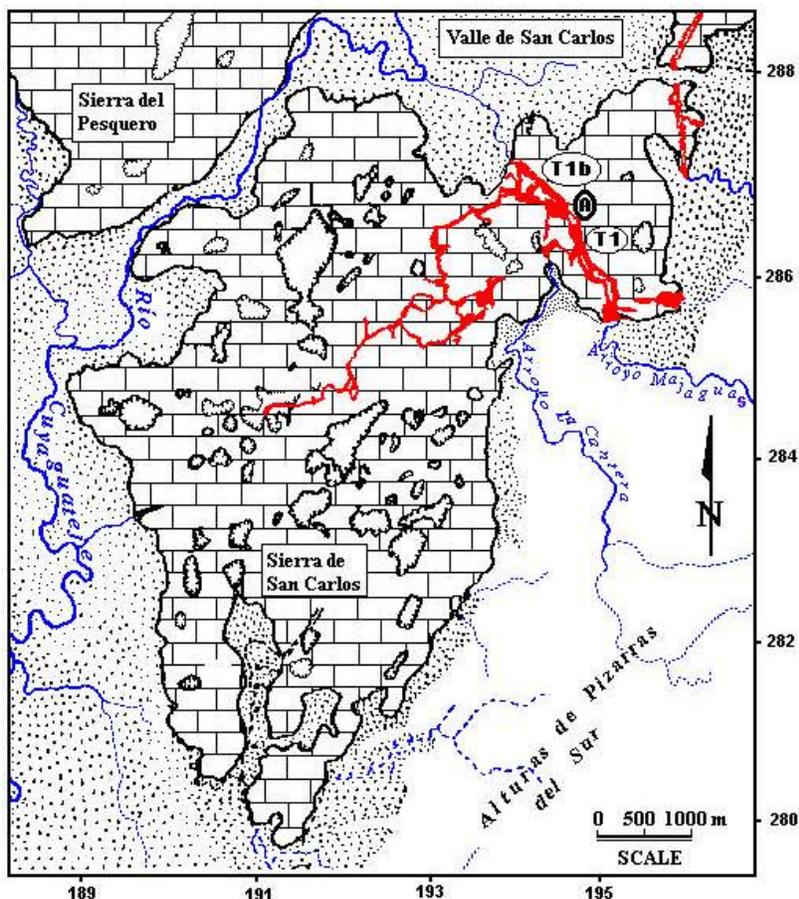
En la Figura 2 se presenta el mapa geológico del karst de la Sierra de San Carlos y sus alrededores. Este macizo forma parte del sistema kárstico de montaña de la Sierra de los Órganos en la provincia de Pinar del Río. En el área aparecen las



calizas masivas de la Formación Guasasa, así como las calizas masivas pero algo estratificadas de la Formación Jagua. Procedentes de las Alturas de Pizarras del Sur, varios arroyos llevan una importante carga fluvial compuesta por cantos rodados de diversos tamaños y pesos. Estos materiales, sin lugar a dudas constituyeron una fuente de materia prima para la industria lítica de los asentamientos aborígenes ubicados en el territorio, al menos para la confección de instrumentos susceptibles de ser creados con estos materiales rocosos de relativa baja dureza.

Figura 2. Mapa geomorfológico del karst de la Sierra de San Carlos y sus alrededores (Pajón et al., 2002).

En el mapa que aparece en la Figura 2 se observa un esquema geomorfológico del karst de la Sierra de San Carlos y sus alrededores. En el mismo se observa el río Cuyaguatete, así como los principales arroyos que penetran en el macizo kárstico. Se destaca el Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, el cual tiene 35 Km. de galerías subterráneas y nueve niveles de cavernamiento (cotas +50 hasta +290 m., s.n.m) (Flores, 1995) y (Molerio y Flores, 1997).



En esta región kárstica, durante el período 1996-2002, fueron desarrollados los proyectos de investigación "Paleoclima del Cuaternario Cubano: Una Caracterización Cuantitativa" (Pajón et al., 1999) y "Reconstrucción paleoclimática y paleoambiental del Pleistoceno Tardío-Holoceno para Cuba Occidental" (Pajón et al., 2002), cuyos resultados permitieron obtener nuevos datos sobre los procesos geodinámicos contemporáneos y el paleoclima de la región durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno.

GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS DE ACUÍFEROS KÁRSTICOS.

Los fundamentos teóricos que explican la interacción entre las aguas naturales y el medio ambiente geológico kárstico, teniendo en cuenta los múltiples aspectos químico-físicos, geodinámicos y de otros tipos que tienen lugar durante estos procesos, han sido elaborado por diversos investigadores desde principios de siglo.



La aplicación de las leyes de la termodinámica y la cinética química ha jugado un papel importante para estudiar la composición de las aguas en el karst, las reacciones químicas que tienen lugar y bajo que condiciones ocurren, el grado de equilibrio en función de las características litológicas y condiciones de contorno imperantes, la velocidad de disolución e intensidad de denudación en las regiones carbonatadas, así como otros aspectos de los procesos de interacción agua-sólidos, relacionados con el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente.

Desde el punto de vista teórico, deben destacarse los trabajos de Trombe (1952), Garrels y Christ (1965), Jacobson y Langmuir (1972), Stchouzkoy-Muxart (1972), Caro (1965), Picknett (1964, 1972, 1973), y en especial, de Roques (1964, 1972, 1973a, 1973b), cuyos tratamientos teóricos han sido ampliamente aplicados en las áreas kársticas de todo el mundo. Los aportes de Plummer (1975), Plummer y Wigley (1976), Stumm y Morgan (1981), Wigley (1973), Wigley y Plummer (1976) y Fagundo (1995), han dado una nueva dimensión a las concepciones teóricas de los mecanismos de disolución en el karst, considerando tanto los procesos naturales como los modelos de simulación de reacciones para sistemas gas-agua-roca en condiciones complejas controladas. En este último caso, deben destacarse los trabajos de Rauch y White (1977), Berner y Morse (1974), Curl (1966, 1974) y Howard (1971).

En cuanto a la aplicación de los conceptos químico-físicos teóricos al estudio de los fenómenos que afectan al karst, fundamentalmente desde el punto de vista geoquímico e hidrodinámico, han tenido gran trascendencia los trabajos de Bakalowicz (1976, 1979, 1980), Mangin (1970, 1971), Miserez (1973) y Fagundo (1996), aunque una mención muy especial debe hacerse con Bakalowicz (1976, 1979, 1980), cuyo enfoque dialéctico y filosófico sobre la geodinámica kárstica ha representado un cambio extraordinario en el campo de las geociencias.

La base de los estudios relacionados con la química de las aguas, consiste en conocer cuáles son aquellas especies presentes en éstas y en qué cantidades se encuentran, lo cual dará una información valiosa sobre los minerales presentes en las rocas o sedimentos con los cuales están o han interactuado. Pero dado el carácter complejo de la interacción en el sistema gas-agua-roca, es necesario tener en cuenta entre otros factores, el análisis del ciclo hidrológico completo del agua, la naturaleza y abundancia relativa de las fases que intervienen, las condiciones climáticas a que están sometidas las mismas, el tiempo y área de contacto entre las fases y más exactamente, según Bakalowicz (1979), el esquema funcional de cada acuífero kárstico. Esto se encuentra muy relacionado con las condiciones geodinámicas de cada área en particular, así como aquellos eventos causales, tanto sistemáticos como aleatorios, que influyen, en mayor o menor grado, en la composición química y propiedades físicas de las aguas y su posterior evolución durante el recorrido subaéreo o subterráneo, en contacto con las fases sólida y gaseosa.

Al estudiar la disolución de los carbonatos y teniendo en cuenta la complejidad estructural y funcional del karst, resulta importante conocer no solamente las reacciones que contribuyen a la adquisición iónica de las aguas, sino también las posibilidades termodinámicas de ocurrencia de tales reacciones y fundamentalmente el estado termodinámico de las soluciones referido al equilibrio químico, y por otra parte, como ocurren estas reacciones desde el punto de vista cinético.



Estudiando las distintas zonas hidrodinámicas del karst, de forma directa en los casos posibles e indirecta en otros (surgencias), Bakalowicz (1979) ha analizado la estructura y funcionamiento interno de los acuíferos kársticos a partir de las mediciones del caudal, contenidos iónicos presentes en las aguas, temperatura, pH, conductividad eléctrica y contenidos isotópicos, mediante la aplicación conjunta de métodos químico-físicos, estadísticos univariados y multivariados, con el correspondiente enfoque geodinámico de cada problema en particular.

En los procesos de disolución que tienen lugar entre las aguas y las rocas carbonatadas, los principales iones aportados al quimismo del agua son: HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , cuyas concentraciones en el seno de la solución, varían en función de los factores ya mencionados y donde el contenido de CO_2 y los ácidos que aportan los suelos juegan un papel fundamental en tales procesos de disolución-precipitación. Los parámetros físicos más importantes son la temperatura, el pH (controlado por la presión de CO_2) y la conductividad eléctrica, que es una función en última instancia de la mineralización de las aguas.

Las rocas carbonatadas presentan por lo general un % determinado de minerales insolubles, los cuales aportarán a las aguas microcomponentes y elementos trazas (Fe, Al, Mn, Sr, Li, Ba, Pb, Co, etc.). La concentración de estos elementos en las aguas puede llegar a cierto nivel en las áreas carbonatadas afectadas por otras litologías, como es el caso del macizo kárstico Pan de Guajaibón en el Occidente de Cuba, donde los estratos calizos se intercalan con lentes bauxíticos con los cuales entran en contacto las aguas de infiltración.

El empleo de los isótopos estables y radioactivos como apoyo a las investigaciones geológicas e hidrogeológicas, ha tomado gran auge en los últimos tiempos. De esa forma se ha llegado al esquema conceptual de combinar los modelos químicos e isotópicos al abordar el estudio de la actividad geológica de las aguas naturales. Los isótopos más frecuentemente utilizados son: ^1H , D , T , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O , de los cuales el T y el ^{14}C son radioactivos y el resto son isótopos estables.

Los estudios de simulación experimental de los procesos de karstificación abarcan un amplio espectro de procesos, y como regla general, intentan profundizar en el origen y mecanismos de formación de las morfologías presentes en el karst. Los estudios de modelación en condiciones de laboratorio tienen como consideración básica la interacción de fluidos con una fase gaseosa y una matriz rocosa. Los estudios sobre la simulación experimental de los procesos de interacción agua-roca carbonatada, que incluyen la adquisición del quimismo por las aguas, se insertan en el contexto general de las modelaciones experimentales, los cuales incluyen, entre otros, estudios de simulación sobre el desarrollo del lapiaz, según sus diferentes tipos morfológicos (rillenkarrren, meanderkarrren, etc.) (Glew y Ford, 1980), investigaciones sobre procesos de erosión con simulador de lluvias (Bryan, 1970), estudios de simulación sobre los cambios progresivos en la forma de galerías subterráneas de conducción forzada (Mowat, 1962), así como estudios específicos de simulación de la formación de scallops bajo condiciones controladas (Goodchild y Ford, 1971; Wigley, 1972; Blumberg y Curl, 1974).

En las últimas décadas la cinética del sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ bajo condiciones controladas de laboratorio ha sido bien estudiada (Picknett, 1964; Stchouzkoy-Muxart, 1972; Roques, 1973b; Plummer y Wigley, 1976; Rauch y White, 1977; Plummer et al.,



1978; Compton y Unwin, 1990; DeFrancesco et. al., 1996). Estos trabajos han estudiado los procesos que condicionan la adquisición de la composición química de las aguas, cuyos sistemas heterogéneos conllevan una transferencia de masas, e implican la variación en el tiempo de la composición iónica presente en las reacciones químicas. Además, ha sido examinados como influyen en la velocidad de disolución factores petrológicos y químicos, para el caso de rocas calizas y dolomitas bien caracterizadas, y en algunos casos han sido rigurosamente simulados los rangos de regímenes de flujo encontrados en los sistemas kársticos del medio ambiente natural.

Algunos estudios de simulación de disolución han sido desarrollados en Cuba en los últimos años, con vistas a completar y contrastar los trabajos hidrogeoquímicos y químico-físicos desarrollados en cuencas y polígonos experimentales, así como en diversas regiones kársticas del país. En estos trabajos experimentales ha sido simulado el proceso de disolución y la adquisición iónica por las aguas naturales, con concentraciones conocidas de CO_2 , y muestras de rocas carbonatadas de diversas formaciones geológicas del Occidente de Cuba (Pajón y Fagundo, 1983; Fagundo y Pajón, 1985; Pajón y Valdés, 1991; Ferrera et al., 1995; Fagundo et al., 1996).

A finales de la década de los años 70 y ante la necesidad de abordar, en forma de equipo multidisciplinario de trabajo, los estudios hidrogeoquímicos, hidrogeológicos, geoquímicos y químico-físicos de las aguas naturales en el karst de Cuba, mediante una rigurosa metodología cuantitativa de trabajos de campo y de laboratorio, así como a través de un modelo conceptual de los estudios karstológicos acorde a los últimos avances de la especialidad a nivel internacional, Pajón (1983) realizó el montaje de las técnicas analíticas de campo para la determinación "in situ" de las principales especies químicas, como macrocomponentes presentes en solución en las aguas kársticas (Pajón y Fagundo, 1983).

En las últimas décadas, uno de los problemas cardinales de las investigaciones en el karst ha sido la determinación de la velocidad de denudación en el karst (Corbel, 1956, 1957, 1959; Bögli, 1960; Gams, 1962; William, 1968; Howard, 1971; Pulina, 1971; Dreke y Ford, 1973) y su conexión con los diversos factores que controlan el desarrollo del karst (Glazek y Markowicz-Lohinowicz, 1973; Pulina, 1974, 1976; Smith y Atkinson, 1976; Maire, 1981).

Los factores fundamentales a tener en cuenta para el estudio de la denudación kárstica en un área determinada son:

- La litología y tipo de estructura geológica.
- La altitud del área de estudio, así como el desnivel existente entre la zona de infiltración y la zona de exurgencia.
- Las características geomorfológicas del área de estudio.
- Las características climáticas del área de estudio (temperaturas, precipitaciones, evaporación). La ocurrencia de eventos meteorológicos importantes, como el desarrollo de eventos de grandes precipitaciones o períodos de grandes sequías, tienen gran influencia sobre la velocidad e intensidad de disolución, tanto por su distribución, como por su frecuencia e intensidad.
- Las características hidrológicas e hidrogeológicas del área de estudio, en especial el caudal efectivo de los cursos hídricos. Los efectos de transferencia de masas y la dilución o concentración iónica, están afectados y relacionados con las variaciones del caudal.



- Condiciones de agresividad de las aguas kársticas. Un caudal sostenido durante un cierto tiempo y con una $p\text{CO}_2$ elevada, actúa activamente sobre una superficie rocosa y en función de otros factores (litológicos, geometría de los conductos subterráneos, etc.) puede incidir sobre la intensidad y velocidad selectiva de denudación, respecto a diferentes minerales presentes en las rocas, tales como la calcita, el yeso y la dolomita.
- La dureza total (CaCO_3 en ppm) y la mineralización total (ΣM en ppm) de las aguas.

La base de referencia para la implementación y optimización de una serie de técnicas analíticas para realizar los análisis químicos en el campo mediante un laboratorio portátil, teniendo en cuenta las características de las aguas naturales en Cuba, así como nuestro relieve geográfico, la constituyeron los trabajos de Eraso (1963), Rodier (1971), Aminot (1974) y especialmente Markowicz y Pulina (1979). Durante dos décadas, Pajón y facundo (1984) realizaron miles de marchas analíticas en diversos polígonos experimentales de Cuba e impartieron entrenamiento a un grupo de personas en los ensayos analíticos de referencia. La información de estos análisis físico-químicos de campo, ha constituido la base primaria de referencia para numerosos estudios y contribuciones sobre la dinámica de los procesos de interacción agua-roca en el karst cubano, cuya salida y formato de presentación aparece en artículos, monografías, eventos y conferencias científicas nacionales e internacionales, tesis de grado, etc.

GLACIACIONES E INTERGLACIACIONES. EL CUATERNARIO

Los paleoregistros geológicos extraídos de los archivos naturales, que han sido estudiados por la comunidad científica internacional, no dan lugar a dudas de la ocurrencia en la tierra, durante los últimos 750 000 años, de periodos en los cuales tuvieron lugar importantes avances y retrocesos de grandes mantos de hielo continental, desde las altas latitudes hacia las latitudes medias y la franja tropical-subtropical.

Se ha denominado "glaciaciones" a los avances de hielo, que asociados a un descenso generalizado de la temperatura media del planeta, constituyeron glaciares continentales en las latitudes altas, así como glaciares en altas montañas de latitudes más bajas. Por su parte, durante periodos sostenidos de aumento de las temperaturas, ocurrió la fusión de los hielos y el retroceso de los glaciares, lo cual es denominado como "interglaciaciones". Estos severos cambios en la temperatura del planeta y el correspondiente avance y retroceso de los hielos, han condicionado en gran medida la disminución (regresión) o aumento (transgresión) del nivel medio del mar durante el Pleistoceno-Holoceno. A su vez, la variación del nivel del mar, condiciona (junto a fenómenos asociados a la neotectónica) el nivel de base en las líneas de costas, lo cual repercute entre otros aspectos, en el nivel de las aguas subterráneas de las áreas periféricas, el perfil de equilibrio de los ríos, los procesos de modelaje del relieve y la formación de niveles de cavernamiento asociados al karst.

El Cuaternario es la era geológica mas próxima a nuestros tiempos y comenzó hace 1 800 000 años. Está compuesta por el Pleistoceno (período de tiempo entre -1 800 000 años y -10 000 años) y el Holoceno (a partir de - 10 000 años). Se distingue: El Pleistoceno Inferior (de -1 800 000 años a -700 000 años), que comprende el interglacial Donau-G?nz (clasificación de los alpes europeos) y el período glacial de Donau; El



Pleistoceno Medio (de -700 000 años a -120 000 años), que comprende el interglacial G?nz-Mindel, el período glacial de Mindel, el interglacial Mindel-Riss y el período glacial de Riss; El Pleistoceno Superior (de -120 000 años a - 10 000 años), que comprende el interglacial Riss-W?rm y el período glacial de W?rm. Un esquema simplificado de correlación de los eventos glaciales e interglaciales ocurridos en el Pleistoceno, según las clasificaciones para Norteamérica y Los Alpes, puede verse en la Tabla 1.

Pleistoceno/ Subdivisión	Glacial/ Interglacial	Fecha	América del Norte	Alpes
	Int. actual	0 – 11 975 ± 370	Holoceno	
Pleistoceno Superior	Glacial (UMG)	11-12 Ka – 67 000 (18 000)	Wisconsin	Wurm
	Interglacial	67 000 – 128 000	Sangamon	W/R (Uznach)
	Glacial	128 000 – 180 000	Illinois	Riss II
	Interglacial	180 000 – 230 000	Yarmouth	R/M (Hotting)
Pleistoceno Medio	Glacial	230 000 – 300 000	Kansas	Mindel I y II
	Interglacial	300 000 – 330 000	Afton	M/G
	Glacial	330 000 – 470 000	Nebraska	Gunz I y II
Pleistoceno Inferior	Interglacial	470 000 – 538 000		G/D
	Glacial	538 000 – 548 000		Donau II
	Interglacial	548 000 – 585 000		
	Glacial	585 000 – 600 000		Donau I
			600 000– 2 000 000	
Plioceno				

Tabla 1. Esquema de correlación de eventos glaciales del Pleistoceno (basado en compilaciones de Neustadt, 1967; Acevedo, 1971; Kelly, 1981; Vivas, 1992; Molerio et al., 1999).

ESTUDIOS DE RECONSTRUCCIÓN PALEOCLIMÁTICA, PALEOAMBIENTAL Y PALEOGEOGRÁFICA

Las espeleotemas (estalactitas, estalagmitas, helictitas, etc.) se forman cuando el carbonato de calcio es precipitado, a partir de soluciones que contienen especies iónicas disueltas (Ca^{2+} , CO_3^{2-} , etc.), las cuales conforman los flujos hídricos que penetran en las cavidades subterráneas desarrolladas en rocas calizas.

La composición isotópica de la calcita depositada en las espeleotemas y su forma, puede variar en función de diferentes factores como: la litología de la roca madre, los mecanismos químico-físicos de formación y transformación de fases, las características geomórficas de la cavidad, el patrón actual y pretérito de circulación climática, las condiciones de sistema abierto o cerrado del sistema hipogeo y su acción sobre la composición isotópica, etc. Cuando la calcita ha sido depositada sobre una espeleotema en equilibrio isotópico con el agua





subterránea, la variación en el $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita ocurrirá sólo si ha existido variación en el clima, de manera que entonces la espeleotema podrá ser utilizada como indicador paleoclimático.

Figura 3. Grupo de estalagmitas ubicadas en el Salón Superior de la Cueva Majaguas. Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba (Foto: Jesús M. Pajón).

En la Figura 3, se observa un grupo de estalagmitas ubicadas en el Salón Superior de la Cueva Majaguas (Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba). El salón donde están ubicadas estas espeleotemas, corresponde a una galería o nivel de cavernamiento antiguo del sistema cavernario, de manera que se encuentra en la zona de aeración del karst, activada hídricamente (por lo general) por el drenaje autóctono propio del macizo, con aportes excepcionales del drenaje alóctono proveniente del arroyo Majaguas durante crecidas asociadas a eventos extraordinarios de grandes precipitaciones (huracanes, temporales, etc). En el Salón Superior, hay sectores del mismo donde aparecen espeleotemas activas hídricamente en la actualidad, mientras que hay otras áreas dentro del salón donde las espeleotemas están desactivadas hídricamente en la actualidad, en muchos casos con evidentes signos de fosilización, como es el caso de las estalagmitas de la Figura 3. La estalagmita comparada con una cinta métrica de la Figura 3 es objeto de estudio en la actualidad, con vistas de obtener nuevos datos sobre el paleoclima de la región durante el Cuaternario. Dada las dimensiones de esta espeleotema, se espera abarcar no menos de 30 000 años A.P. para el proceso de formación y evolución de la misma.



Figura 4. Hongos de zinolita. Cueva de Santa Catalina, Matanzas, Cuba (Foto: J.J. Pierre. Con autorización de Arencibia et al., (1995), en Boletín Casimba, Año 6, Serie 1, No. 7, 1995).

Diversas hipótesis han sido planteadas para el explicar el origen, evolución y morfologías, de los hongos de zinolita que aparecen en la cueva de Santa Catalina, Matanzas, Cuba (Figura 4) (Nuñez jiménez, 1973; Viña et al., 1980; Arencibia et al., 1995; Salcedo, 2001). Sin embargo, a pesar del válido esfuerzo de diferentes investigadores por explicar la ocurrencia de estas formaciones secundarias, no hay hasta el momento sólidos argumentos químico-físicos, geoquímicos o espeleogenéticos, que fundamenten adecuadamente o formalizen las hipótesis planteadas. En este sentido, la explicación sobre el origen y el por qué de las formas de los hongos de zinolita o formaciones fungiformes, es hoy en día un problema abierto a los estudios espeleogenéticos en particular y a la karstología en general.

Los depósitos de calcita formados en las cavidades subterráneas desarrolladas en el karst constituyen un reservorio muy útil de datos paleoclimáticos. Desde que las bandas de crecimiento anual fueron reconocidas y bien estudiadas (Allison, 1926; Broecker et al., 1960), las estalagmitas han sido utilizadas como indicadores paleoclimáticos de alta resolución. En las últimas décadas, los estudios isotópicos han brindado una importante



contribución al conocimiento de las edades absolutas de las espeleotemas y las paleotemperaturas de formación de los anillos de crecimiento, lo cual ha posibilitado establecer las cronologías de importantes procesos paleoclimáticos y paleoambientales durante el Cuaternario, en áreas del planeta con diferentes regímenes climáticos. La posibilidad de estudiar los cambios paleoclimáticos a partir de las espeleotemas, ha estimulado recientemente el estudio de la distribución de los isótopos de Carbono y Oxígeno, especialmente en las estalagmitas. O sea, que bajo determinadas condiciones límites (asunción del equilibrio isotópico, poca alteración por transformación de fases, etc.) es posible interpretar las variaciones isotópicas observadas en términos de los cambios paleoclimáticos.

Las dataciones de las concreciones o depósitos secundarios conllevan igualmente importantes implicaciones geomorfológicas. De hecho, ellas permiten deducir la edad mínima de la caverna donde la concreción datada se ha desarrollado, como conocer la edad mínima del establecimiento, activación o reactivación de los paleoflujos subterráneos, así como aporta información al conocimiento de la velocidad de erosión superficial (Gewelt y Ek, 1988).

Harmon et al., (1975), Gascoyne et al., (1978), Harmon y Curl (1978) Atkinson et al., (1979), Ford et al., (1983), Gascoyne y Ford (1984), Bakalowicz et al., (1987) y Li et al., (1989), obtuvieron importantes implicaciones paleoclimáticas y geomórficas para el Pleistoceno en el área continental de Norteamérica, así como en Gran Bretaña. Estos autores realizaron estudios de Geoquímica de Isótopos Estables ($^{18}/^{16}\text{O}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) en espeleotemas y mediante dataciones absolutas $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ y $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ lograron establecer cronologías asociadas a los períodos glaciales e interglaciales del Pleistoceno. Por su parte, Schwarcz y Yonge (1983) realizaron una reconstrucción paleoclimática, a partir del análisis de la relación isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en inclusiones acuosas atrapadas en estalagmitas y otras espeleotemas de cavernas en Estados Unidos de América.

Basados en 53 dataciones absolutas $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de 40 espeleotemas asociadas a 18 sistemas cavernarios en el Este de China, y a partir de estudios de isótopos estables de Carbono y Oxígeno, Shoyue et al., (1985) realizaron una evaluación paleoambiental de los últimos 350, 000 años A.P., atribuyendo a los períodos interglaciales los episodios de deposición y la no deposición a los períodos glaciales. Los períodos glaciales reconocidos en el área de estudio fueron: 1) Presente-20 ka; 2) 75-125 ka; 3) 170-230 ka; 4) 250-310 ka. Estos interglaciales correlacionaron muy bien con períodos de elevación del nivel del mar y un clima cálido-húmedo, lo cual fue estimado a través de los registros isotópicos de foraminíferos marinos.

Las dataciones $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de espeleotemas de cavernas en Somalia (Brook, 1985), revelan unas condiciones climáticas más húmedas hace 260-250, 176-172, 116-113, 87-75, 12-9 y 6-8 ka A.P. Dataciones ^{14}C y $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de espeleotemas procedentes de cuevas del Transvaal en África del Sur, sugieren condiciones más húmedas que las actuales. Sobre la base de un conjunto de evidencias y resultados analíticos, Brook (1985) llegó a la conclusión de que en la zona tropical del Este de África las condiciones climáticas más húmedas se presentaron durante los períodos interglaciales e interestadios, mientras que en África del Sur lo hicieron durante los períodos glaciales e interestadios.



Antonioli et al., (1998) hacen una síntesis histórica de lo publicado en las últimas tres décadas, referente a la utilización de las espeleotemas asociadas a la zona costera (espeleotemas emergidas y sumergidas) como indicadores paleoclimáticos, especialmente para su uso en el estudio de las variaciones del nivel del mar. Estos autores plantean que la correlación entre la curva del aumento del nivel del mar, construida con espeleotemas al nivel marino, y la curva isotópica de espeleotemas continentales, tiene una enorme potencialidad para la reconstrucción paleoclimática de los últimos 650 000 años.

En Cuba, las investigaciones paleoclimáticas se vienen desarrollando desde hace algunos años. A partir del empleo de isótopos estables de oxígeno y carbono, así como dataciones isotópicas de uranio/torio y carbono 14, en espeleotemas de cavernas de la Sierra de los Órganos en el karst de Cuba Occidental, han sido obtenidas importantes estimaciones cuantitativas sobre el comportamiento paleoclimático y paleoambiental de las áreas estudiadas, desde el Último Máximo Glacial (hace 20 000 años) hasta el presente (Pajón et al., 1999, 2001).

ESTUDIOS PALEOHIDROLÓGICOS (PALEOLLUVIAS)

Los estudios sobre la geometría de los scallops en los conductos subterráneos, así como las investigaciones sobre los procesos paleohidrológicos durante el Pleistoceno, ha sido el foco de diversos trabajos desarrollados en las últimas décadas (White y White, 1970; Goodchild y Ford, 1971; Curl, 1974; Valdés, 1974; Lauritzen, 1981, 1982; Lauritzen, Ive y Wilkinson, 1983). Los scallops son morfologías de erosión que aparecen en sectores de las cavidades subterráneas en el Karst, y son originados por la interacción de flujos turbulentos no lineal, en un medio anisotrópico, heterogéneo y tridimensional, en contacto con una superficie sólida soluble.

Los problemas relacionados con los estudios paleohidrológicos en las áreas kársticas tropicales son realmente escasos, destacándose, para el caso de Cuba, los trabajos realizados por Valdés (1974), Molerio et al., (1984), Molerio y Sariñas (1995), (Pajón et al., 1999) y (Pajón et al., 2001). El caso del área kárstica tropical de la Sierra de San Carlos, constituye una fuente única para el estudio de la caracterización y dinámica de los paleoprocesos hidrológicos, como una referencia y aporte de datos para el cálculo de las paleovelocidades, paleocaudales y en última instancia, para el cálculo de las paleolluvias caídas en aquellas etapas del Pleistoceno Tardío, donde las características geomórficas de los sectores estudiados así como la mayor o menor conservación de los elementos estudiados así lo permitan.

El Pleistoceno Tardío en el área del karst de montaña de Cuba Occidental, se caracterizó por la ocurrencia de eventos de grandes precipitaciones, así como por elevados valores promedios de las paleoprecipitaciones.

Los altos valores de paleoprecipitaciones, para el intervalo de tiempo correspondiente al Interglacial de Sangamón (67-128 ka A.P), obtenidos para los sectores de montaña estudiados en Cuba Occidental, triplican los estimados de lluvias actuales, y ponen de manifiesto la existencia de fuertes períodos pluviales, más marcadamente durante el último Interglacial (Sangamón), lo cual concuerda con lo reportado en el ámbito internacional (Pajón et al., 2001). Los estudios isotópicos realizados demuestran la



ocurrencia de un Interglacial Sangamon típicamente cálido y húmedo para las áreas estudiadas en Cuba Occidental. Esto se justifica por la ocurrencia de paleoeventos de grandes precipitaciones, asociados a la dinámica atmósfera-océano y probablemente a fenómenos del tipo paleo El Niño. Si tenemos en cuenta que el Interglacial actual en que vivimos tiene semejanzas con el Interglacial anterior, pudiera esperarse un aumento en las precipitaciones en el futuro, en menor medida debido a eventos asociados a pequeñas escalas de tiempo (años y décadas), y en mayor cuantía a eventos asociados a mayores escalas de tiempo (centurias y milenios). En sentido general y desde el punto de vista del pronóstico, el análisis conjunto de los resultados isotópicos y paleohidrológicos, si se considera la ocurrencia de ciclos largos de tiempo, permite sugerir el establecimiento de una relativa asociación entre el último Interglacial (Interglacial de Sangamón) y el Interglacial actual, no descartándose la ocurrencia de un sostenido aumento de las temperaturas y las precipitaciones para áreas de Cuba Occidental, aunque el pronóstico de los momentos puntuales de tiempo y los intervalos de duración deben ser objeto de estudios más detallados.

Figura 5. Resolladero del Arroyo Majaguas. Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba (Foto: Jesús M. Pajón).

En la Figura 5, se observa el resolladero del Arroyo Majaguas, en el Sistema Cavernario Majaguas-Cantera. Este arroyo atraviesa la sierra de San de San Carlos aproximadamente de sur a norte, formando un conjunto de galerías subterráneas que van desde galerías jóvenes activas hídricamente hasta galerías fosiles elevadas hipsométricamente en el interior del macizo. El sector de galerías subterráneas asociadas a la forma de emisión denominada Resolladero del Arroyo Majaguas o "La Llave", como también se le conoce, consiste en conductos o galarias de conducción forzada, las cuales tienen un funcionamiento hidrogeológico activo y estacional y presentan una notable población de scallops distribuidos en toda la sección transversal de las galerías. La zona de descarga en La Llave presenta cotas promedios entre +70 m a +78 m s.n.m. y en sus primeros 10 m. (desde la entrada y hacia el interior del macizo) fueron procesadas mediante Análisis de Simetría de Scallops (Lauritzen, 1981, 1982) las poblaciones de scallops presentes en los tres conductos que conforman la galería del Resolladero del Arroyo Majaguas. De esta forma, pudo determinarse la dirección de los flujos y paleoflujos subterráneos en la cavidad, así como los paleogastos, paleovelocidades y en última instancia se estimaron las paleolluvias caídas en determinados periodos del Cuaternario (Pajón et al., 1999) y (Pajón et al., 2001).



Baker et al., (1999, 2000) hicieron la reconstrucción de la temperatura media anual en el Norte de Noruega, obtenida a partir de la Función Delta de Espeleotema (SDF) de la estalagmita SG-93, así como la reconstrucción de la precipitación media anual en el Noroeste de Escocia, obtenida a partir de la variabilidad de la velocidad de crecimiento



anual de la estalagmita SU-96-7. Ambos registros cubren la variación de estos parámetros climáticos durante el último milenio, para el clima atlántico nororiental (Baker et al., 1999, 2000). La Función Delta de Espeleotema (SDF), utilizada para la obtención de los registros de paleotemperaturas, es una función de transferencia entre la señal de ^{18}O de la espeleotema de calcita y la temperatura superficial del suelo (Proctor et al., 2000). En el caso de los registros de paleoprecipitaciones, éstos pueden obtenerse a partir de las bandas anuales de crecimiento, dada la relación existente entre la velocidad de crecimiento y las precipitaciones.

MAGNETISMO AMBIENTAL

Los especialistas en paleomagnetismo y magnetismo de las rocas han desarrollado varias técnicas para determinar la naturaleza de los portadores del magnetismo en rocas y sedimentos (Dunlop y Özdemir, 1997). El magnetismo ambiental incluye el uso de estas técnicas en situaciones en las que el transporte, deposición o transformación de los granos magnéticos son influenciadas por procesos ambientales en la atmósfera, la litósfera y la hidrósfera. El rango de materiales estudiados por esta vía, incluye entre otros, las rocas, sedimentos y suelos, mientras que los métodos del magnetismo ambiental han sido utilizados en diversos campos geocientíficos como son por ejemplo: la climatología, la geomorfología, la sedimentología y la edafología (Verosub y Roberts, 1995).

El estudio de la tendencia en el comportamiento espacio - temporal de las propiedades magnéticas de la materia y la comprensión de como los procesos ambientales han influido en el transporte, deposición o transformación de los granos magnéticos, forma parte de la técnica definida como Magnetismo Ambiental (Thompson y Oldfiel, 1986; Verosub y Roberts, 1995), novedosa técnica que auxiliándose de la misma instrumentación utilizada tradicionalmente en estudios paleomagnéticos y de propiedades magnéticas de las rocas., permite obtener importantes datos sobre estudios climáticos y de cambios globales en general, así como el impacto del hombre en la contaminación del Medio Ambiente.

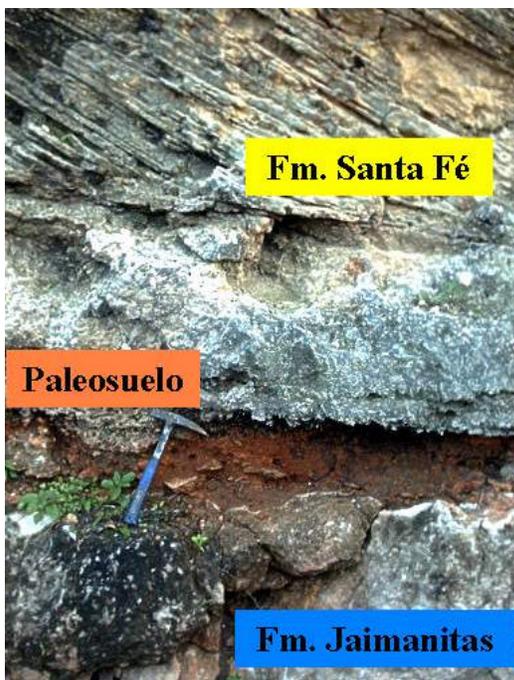


Figura 6. Paleosuelo (paleorendzina roja) intercalado entre las eolianitas de la Formación Santa Fé y las calizas arrecifales de la Formación Jaimanitas. Corte en la carretera Santa Fé-Mariel (Foto: Jesús M. Pajón).

Pedroso et al., (2001) demostraron la presencia de oscilaciones climáticas en Cuba, a partir del desciframiento de la mineralogía magnética (presencia o ausencia de magnetita, maghemita y hematita) en las formaciones carbonatadas y eólicas del Pleistoceno Superior en el Occidente de Cuba (afloramiento de las formaciones Santa Fe y Jaimanitas, y del paleosuelo que las separa, al norte de la



Habana) (Figura 6). También realizaron la caracterización de las propiedades magnéticas (susceptibilidad magnética, intensidad de la magnetización remanente natural, etc.) en muestras de sedimentos terrígenos de las formaciones Guevara y Villarroja arribando a las conclusiones anteriormente expuestas.

Un estudio de los parámetros magnéticos se llevó a cabo en los sedimentos cuaternarios, depositados en galerías subterráneas y en las inmediaciones del Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, en el karst de la Sierra de San Carlos, provincia de Pinar del Río. Se determinó la concentración, mineralogía y tamaño de los granos de las partículas magnéticas, considerándose las variaciones de estos parámetros en el espacio y el tiempo como "proxies" datos de cambios paleoambientales que han tenido lugar en la región (Pedroso et al., 2001). Se han tomado en cuenta para la realización del presente trabajo los datos sobre la composición granulométrica de los sedimentos cuaternarios obtenidos a partir de investigaciones desarrolladas anteriormente (de Huelbes et al., 1999) así como los resultados de las determinaciones cualitativas de los elementos presentes en los sedimentos estudiados por análisis de Emisión de Rayos X inducida por partículas (Montero et al., 2000). Las propiedades magnéticas muestran variaciones de las concentraciones del mineral magnético y del tamaño del grano, así como variaciones en el contenido de material paramagnético, lo cual puede ser el índice de una evolución en los mecanismos de humedad-desecamiento. Estas variaciones reflejan oscilaciones climáticas en el área de estudio.

VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR Y ESPELEOTEMAS

La variación experimentada por el nivel global del mar durante el intervalo Pleistoceno-Holoceno ha sido relativamente bien estudiada, apareciendo en las últimas décadas los estudios de carácter local desarrollados en las pequeñas islas y estados insulares, destacándose los trabajos realizados por Mylroie y colaboradores (Mylroie, 1988a, 1988b; Mylroie y Carew, 1988; 1990; 1995). Los estudios más integrales en este sentido han planteado que, solo es posible referirse a las variaciones del nivel del mar como efecto combinado de la variación del nivel eustático del mar y los movimientos neotectónicos (Burton et al., 1987). Generalmente se acepta que, las oscilaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno fueron del orden de unos 200 m en relación con el nivel actual (Fairbridge, 1961, 1963; Molerio y Flores, 1997; Molerio et al., 1999).

Alessio et al., (1994), propone una curva de la variación del nivel del mar durante el Holoceno, que representa un segmento de la curva original que abarca los últimos 43 000 años AP. La curva que incluye los últimos 10 000 años está construida con 24 puntos de control y se basa en dataciones de muestras de espeleotemas tomadas a diferentes profundidades en cavidades actualmente bajo el nivel del mar, así como en el estudio de datos referentes a sitios arqueológicos sumergidos (Antonioli et al., 1998).

Los conductos de disolución desarrollados en el lente de agua dulce registrarán la posición del lente y por tanto del nivel del mar. Como el nivel del mar varía, la lente de agua y los perfiles de los conductos desarrollados también variarán, preservando registros de la posición del nivel del mar en el pasado. En el caso de los depósitos secundarios de calcita y mayormente en las estalagmitas, están experimentando periodos de crecimiento durante los estadios de bajo nivel del mar (máximos de hielo), registrando interrupción del



crecimiento (hiatuses) durante las inundaciones debido al aumento del nivel del mar (mínimo de hielos) (Myrloie y Carew, 1988).

Basados en la posición y tiempo de desarrollo de los conductos así como el estudio radiométrico de estalagmitas de la Cueva Lighthouse en la Isla de San Salvador, Bahamas y considerando la zona de estudio tectónicamente estable, dada una velocidad de subsidencia isostática de 1-2 m/100 ka, Myrloie y Carew (1988) registran una elevación del nivel del mar entre +1 y +7 m para un periodo de tiempo comprendido entre 85, 000 y a70, 000 años A.P., mientras que encontraron posiciones actuales del nivel del mar para el periodo entre 49, 000 y 37, 000 años A.P. Resulta interesante destacar la magnífica relación existente entre estos resultados y lo reportado por Milliman y Emery (1968), específicamente para el último periodo de tiempo analizado.

Basados en el estudio de mas de 80 dataciones por radiocarbono, así como en la investigación de materiales tales como, moluscos de aguas someras, oolitos, algas coralinas terrazas marinas y flora de marismas, (Milliman y Emery, 1968) obtuvieron una curva sobre los cambios en el nivel del mar durante los últimos 35 000 años en la plataforma continental Atlántica de los Estados Unidos. Encontraron además que durante el periodo comprendido entre los 30 000-35 000 años A.P., el nivel del mar fue muy parecido al nivel actual y alrededor de los 16 000 años AP, el crecimiento glacial condicionó el nivel del mar en -130 m respecto al nivel actual. Estos resultados evidenciaron que la transgresión Holocénica comenzó hace 14 000 años y continuó hasta los 7 000 años después de lo cual el incremento del nivel del mar se hizo mas gradual. Los datos obtenidos en diversas áreas costeras y plataformas continentales en el mundo, están en concordancia en gran medida con la curva de Milliman y Emery, por lo cual la misma puede ser tomada como una de las curvas eustáticas de referencia para el periodo de tiempo analizado.

Figura 7. Terrazas marinas en Cabo Corrientes, Península de Guanahacabibes, Cuba. (Niveles de terrazas: +1m, +3m, +7, +11m). (Foto: G. Baena, 2000).



A partir de la utilización de la geocronometría isotópica $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ se realizó la datación de la terraza marina coralina acumulativa de +7 metros correspondiente a la Formación Jaimanitas, ubicada en el litoral meridional de la Península de Guanahacabibes (Figura 7). La datación arrojó una edad de 67.7 ± 4.8 ka A.P. para la terraza coralina, lo cual la sitúa muy cerca de la fase final del Interglacial de Sangamon (67-128 ka A.P.) (Díaz del Olmo, Cámara y Pajón, 2004). Los análisis radiométricos fueron realizados por el Prof. Ives Quinif en el CERAK (Centro de Estudios Aplicados del Karst), en la Facultad Politécnica de Mons, Bélgica. Los resultados obtenidos están asociados al estadio isotópico 5e y se correlacionan en cierta medida con otros niveles datados de terrazas marinas en áreas del Caribe como es el caso de República Dominicana, donde el estadio isotópico 5e (65-145 ka A.P.) recoge el mayor



número de referencias isotópicas, en relación directa con las terrazas coralinas a +3-7 metros (95-130 ka A.P.), incluyendo la presencia de nichos de disolución (Díaz del Olmo y Cámara, 1993).

A partir del estudio mediante isótopos estables y dataciones isotópicas corales fósiles de *ACROPORA palmata*, contenidas en núcleos arrecifales de la costa sur de Barbados, Fairbanks (1989) obtuvo un magnífico registro sobre las variaciones glacioeustáticas del nivel del mar para los últimos 17 000 años. La reconstrucción obtenida, provee los primeros registros continuos detallados sobre los cambios en el nivel del mar durante la última deglaciación y fija en 121 ± 5 m la posición del nivel del mar por debajo del nivel actual, durante el Último Máximo Glacial (18 000 años AP). A pesar de que durante el Cuaternario Tardío, la Isla de Barbados no ha experimentado episodios significativos de ascenso o subsidencia (eventos neotectónicos), o sea que ha tenido una relativa estabilidad neotectónica, estos resultados tienen en cuenta la corrección correspondiente debido a estos pequeños episodios, lo cual demuestra la excelencia de las investigaciones realizadas por el autor.

Antonioli y Silenzi (1998), realizaron una detallada reseña sobre el estado del arte de las investigaciones sobre las oscilaciones del nivel del mar durante el último hemicycle climático y sobre la incidencia de la estabilidad tectónica en los sectores costeros. Los autores hacen una valoración crítica sobre las metodologías y resultados obtenidos en más de 60 investigaciones, lo cual les permitió proponer un nuevo esquema de correlación sobre los datos de las variaciones del nivel del mar en diferentes partes del mundo. El análisis comparativo de los datos, sugiere la necesidad de evaluar la tectónica y el funcionamiento isostático de los sectores costeros, como aspectos esenciales para el estudio de las variaciones del nivel del mar. Se propone como nuevo marcador de referencia, el nivel eustático del mar relacionado con el subestadio isotópico 5e, el cual permite correlacionar los datos de diferentes sectores costeros, sobre la base de su estabilidad tectónica e isostática. Para un detallado estudio de lo anteriormente expuesto pueden consultarse los resultados expuestos en; Antonioli y Oliverio (1996), Antonioli et al., (1998), Antonioli y Leoni, (1998) y Antonioli y Silenzi (1998).

PALINOLOGÍA

La Palinología estudia el polen y las especies fósiles que se encuentran en sedimentos lacustres, depósitos de turbas y otros tipos de depósitos. La caracterización del polen (determinación de la familia, género y especie), representa un indicio de la vegetación existente en el momento de la formación de los depósitos, de manera que es posible, en principio, hacer una reconstrucción de la vegetación local o de una región específica, e inferir las características del clima que incidió en la formación y evolución de la vegetación. El análisis polínico, es empleado frecuentemente como método de datación indirecta en los estudios de reconstrucción paleoambiental del Cuaternario.

Los granos de polen y esporas se conservan mejor en sedimentos lacustres, turberas y los horizontes húmicos de los suelos, mientras que son fácilmente alterados en medios oxidantes, como puede ser el caso de los medios hipogeos. Las investigaciones palinológicas desarrolladas en las últimas décadas, han permitido estudiar en detalle la conexión existente entre las épocas glaciales e interglaciales, con la formación y extinción de las entidades taxonómicas de la flora.



Los registros asociados al último período tardiglacial/postglacial son relativamente comunes y las correlaciones que se establecen entre los mismos son bastante confiables al estar soportadas por diversas técnicas de datación, las cuales permiten establecer un marco de referencia cronológico (Markgraf, 1996). Especial señalamiento debe hacerse con los registros continentales provenientes de Norte y Sudamérica, los cuales reflejan marcadas oscilaciones climáticas a corto, mediano y largo plazo, muchas de ellas de gran amplitud (Grimm et al., 1993); esto refuerza una vez más el criterio de la alta variabilidad climática ocurrida en las Américas, en la franja tropical y en Cuba en particular, durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno (Pajón et al., 2002), en oposición a hipótesis que subvaloran estos procesos, tomando como ejemplo el caso de Cuba (Kartachov et al., 1981). Estos últimos autores señalan que en Cuba, solo hubo un cambio en las precipitaciones hace 700, 000 años A.P., a partir de lo cual dividieron el Pleistoceno en húmedo y seco, esquematizando así el paleoclima de Cuba.

Los registros palinológicos de las regiones tropicales, dan por lo general, una magnífica indicación de los cambios en el grado de humedad de la atmósfera en el pasado. Esto se obtiene a partir de un estudio detallado sobre la presencia o ausencia de polen y esporas de plantas acuáticas y de algas microscópicas y la desecación o formación de lagos, marismas o pantanos (Salgado-Labouriau, 1997; Markgraf, 1989, 1993). Sin embargo, los cambios de temperaturas en estas regiones durante el Cuaternario Tardío, no son fácilmente detectables; los estudios palinológicos coinciden en reportar una disminución de las temperaturas durante los Máximos Glaciales, las cuales son generalmente referidas a las temperaturas promedios actuales de los períodos de invierno en las llanuras o sabanas.

Salgado-Labouriau (1998), comparó la data palinológica de seis secciones estratigráficas de el páramo y superpáramo de los Andes de Mérida en Venezuela, organizados en una secuencia cronológica de eventos a partir de los últimos 13 000 años A.P. Los datos geológicos y palinológicos de las elevaciones sobre los 3250 m indican que, el páramo y superpáramo estuvieron bajo el hielo glacial antes de los 13 000 años A.P. y la deglaciación comenzó alrededor de los $12\ 650 \pm 130$ años A.P. a nivel del valle glacial Macubaji, donde las plantas comenzaron a colonizar los suelos recientemente colonizados. Los datos palinológicos obtenidos desde los 12.7 ky hasta los 0.18 ky reflejan el cambio climático e indican un relativo aumento sostenido de las temperaturas, pero un una variabilidad de episodios climáticos intermedios entre estos fechados.

Basada en los estudios del polen y los registros de las variaciones del nivel del agua en los lagos, Markgraf (1989) ha realizado una importante contribución al estudio del Paleoclima de América Central y Sur América durante los últimos 18 000 años AP, lo cual contraste mediante modelos de simulación (Markgraf, 1993), los cuales fueron generados a partir de un detallado estudio de la evolución del clima durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno en las áreas alrededor del Pacífico Sur.

PALEOLINNOLOGÍA

Si bien la Linnología estudia las aguas dulces como un todo, e incluye todo lo que las afecta y según Wetzell (1983): "...Es el estudio de las relaciones funcionales y la productividad de las comunidades de agua dulce y, cómo ellas son reguladas por los



ambientes físicos, químicos y bióticos..."; el desarrollo de la Linnología se ha nutrido fundamentalmente del estudio de los lagos, ya que la complejidad de los ecosistemas asociados a las aguas corrientes (ríos y arroyos) han limitado en cierta medida los estudios linnológicos en estos últimos ecosistemas hídricos (Laíz, 1996). Importantes reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales han sido desarrolladas a partir de los estudios paleolinnológicos. El principal objetivo de la Paleolinnología, es brindar información sobre los estados evolutivos por los cuales ha pasado un lago o un sistema de lagos. Las secuencias evolutivas se establecen a partir del estudio de los registros estratigráficos, la composición química y mineralógica de los sedimentos y organismos remanentes y el quimismo de las aguas.

Los registros paleolinnológicos en América del Norte ha permitido reconstruir los antiguos niveles de los lagos y las condiciones paleohidrológicas, así como esclarecer los principales periodos secos y húmedos ocurridos durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno. Bradbury y Dean (1993), estudiaron diversas variables biológicas, químicas y mineralógicas en una secuencia lacustre bien datada de Elk Lake, Minesota, lo cual indicó una extrema sensibilidad del ecosistema lacustre a los cambios climáticos ocurridos durante el Holoceno. Posteriores investigaciones demostraron que durante el período 8 500 al 3 600 años A.P., las precipitaciones fueron 100 mm menores que en la actualidad, al igual que la temperatura fue 2 °C mayor que en el presente. A partir del estudio de diatomeas presentes en los núcleos de sedimentos tomados en lagos de México, una importante contribución al estudio de los paleoambientes holocénicos puede verse en Metcalfe (1995), Metcalfe et al., (1997) y Metcalfe y Davies (1998).

La correlación de registros paleolinnológicos y su manejo a nivel de transectos de relativa extensión, así como la posible ocurrencia sincrónica de episodios paleoclimáticos importantes a escala regional, requieren de un moderno enfoque analítico del estudio de los núcleos de sedimentos, lo cual incluye: sedimentología, geoquímica, composición de isótopos estables de celulosa, propiedades magnéticas, contenido de diatomeas en fósiles y análisis de aguas contemporáneas, entre otros.

DENDROCRONOLOGÍA

La Dendrocronología se encarga del estudio de los anillos de crecimiento anual de los árboles, los cuales brindan una valiosa información sobre las condiciones ambientales del hábitat donde crecieron y evolucionaron estos. Los anillos de crecimiento constituyen un registro natural, que almacena la respuesta de los árboles a las condiciones medioambientales de cada año. Teniendo en cuenta el carácter anual del crecimiento de los anillos, cualquier cambio en el ancho de los mismos, o en las características del tejido de la madera, puede ser causado por variaciones del clima (mayormente cambios en las precipitaciones y la temperatura) y de hecho, estos cambios pueden ser perfectamente datados mediante ^{14}C . Así, las cronologías basadas en anillos de crecimiento, contribuyen a generar registros climáticos de alta resolución, los cuales se complementan con los registros polínicos, microfósiles, la información paleolimnológica, isotópica, etc.

En las regiones de clima templado, donde las diferencias estacionales son muy marcadas, el fenómeno de formación de anillos se produce generalmente todos los años, por lo cual, los árboles constituyen un calendario fiable para la sucesión de sus anillos típicamente anuales (Ayala, 1998). Esta afirmación es uno de los fundamentos de la

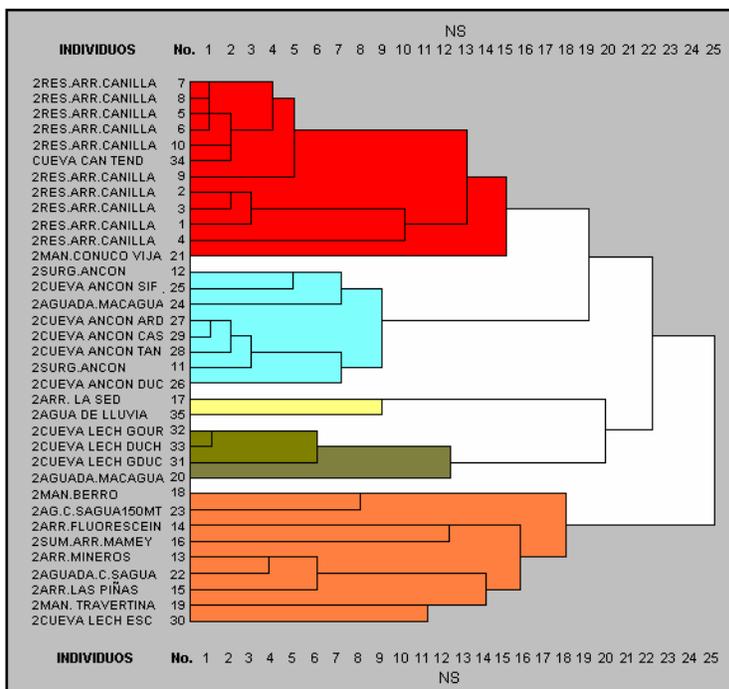


Dendrocronología (Trenard, 1992). Según Ayala (1998), bajo estos climas templados y frío, el otoño y el invierno interrumpen la vegetación, o dicho de otro modo, la mayor parte del metabolismo a todos los niveles, ocasionando una larga interrupción de las divisiones celulares o dormancia. Cada anillo concéntrico corresponde al material leñoso producido durante la primavera y el verano, y sus límites son claramente visibles por un contraste evidente y brutal entre la madera "final", elaborada por el árbol cuando su metabolismo va frenando ante la parada total en invierno, y la madera "inicial" de la primavera siguiente que refleja la intensidad de la vida vegetal en esta época del año.

En el caso de las regiones tropicales, el problema fundamental en el estudio de los anillos de los árboles, es la ausencia con cierta frecuencia de anillos de crecimiento cíclico claramente definidos, dado que no existen estaciones bien definidas durante el año. Un conjunto de factores inciden en la ocurrencia o no de los anillos de los árboles, así como en sus características, pudiendo citarse la temperatura, las precipitaciones, la humedad, los efectos del suelo y los climas locales. En los árboles tropicales es posible también, encontrar inconsistencia en el análisis de los anillos de una misma especie. Lamprecht (1984), estudiando la especie *ARAUCARIA angustifolia* (Bert.) Oltze, en Brasil, cerca de los 22° 30' latitud sur, concluyó que era imposible determinar la densidad máxima y el ancho de los anillos. Sin embargo, cerca de los 25° 30' latitud sur, alrededor de 600 Km más al sur del área de estudio de Lamprecht et al., (1989) analizando a esta misma especie, encontraron una fuerte correlación entre el ancho de los anillos y su formación anual. Esta diferencia en los resultados puede haberse debido a un pequeño aumento de la variabilidad climática, diferentes características del suelo, elevación u otros factores (Ayala, 1998).

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN MATEMÁTICA

Con el objetivo de caracterizar el comportamiento geoquímico y químico-físico de las aguas kársticas del Pan de Guajabón y sus inmediaciones, así como estudiar la relación



entre la tipología de las aguas definidas por los métodos geomatemáticos y la definida según criterios geológicos e hidrogeológicos, se aplicaron los métodos de clasificación numérica y análisis factorial a los datos químico-físicos correspondientes a las campañas geoquímicas 1-2/1984 y 9/1984, las cuales caracterizan los períodos de invierno y verano del referido año.

Figura 8. Dendrograma con la clasificación jerárquica por el método de Ward, para 35 individuos con 10 variables.



Pan de Guajaibón (campaña 2 (9/1984)).

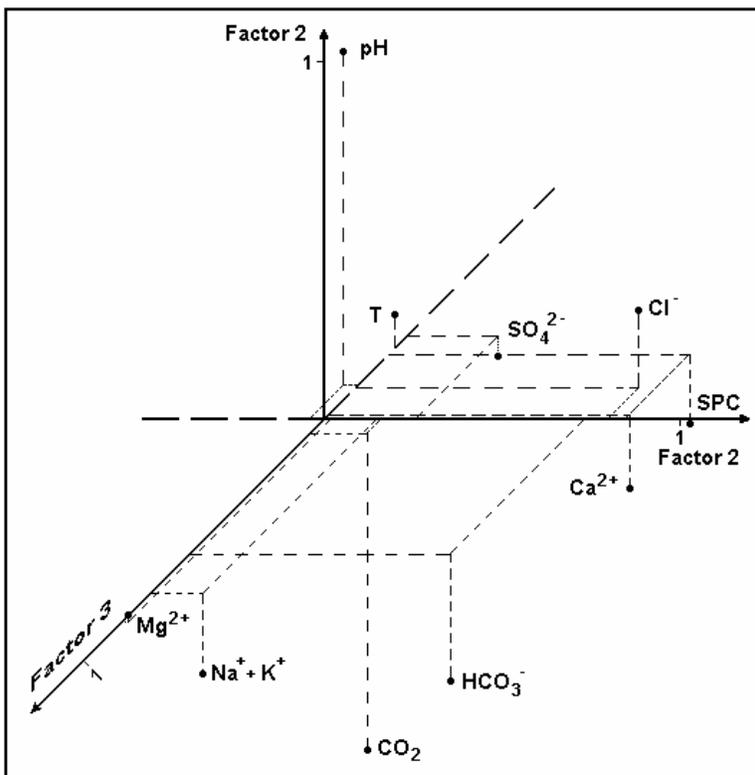
Los métodos de Clasificación Numérica o CLUSTER ANALYSIS son utilizados para obtener una clasificación, relativa a los grupos o tipos presentes, a partir de una matriz representada por los individuos y sus variables, estas últimas pueden ser originales o elaboradas.

En la Figura 8, se muestra el dendrograma resultante de la aplicación del método de Ward, empleando la distancia Euclidiana como medida de disimilaridad, para los individuos de la campaña geoquímica 2 (9/1984) (Pajón et al., 1997). A partir del análisis e interpretación del dendrograma, se llegó a la conclusión de la existencia de 5 grupos de aguas.

Figura 9. Análisis Factorial. Distribución de las variables originales, según los factores rotados (3). Pan de Guajaibón (campaña 1 (1-2/1984)).

De manera general, el Análisis Factorial permite estudiar la estructura interna de los datos, así como conocer los factores naturales que controlan las propiedades de las variables estudiadas. Pueden estudiarse tanto las variables, como también los individuos caracterizados por estas.

Para estudiar la influencia de los diferentes factores geodinámicos sobre las propiedades químico-físicas de las aguas, se procedió a procesar las campañas de invierno y verano de 1984 mediante análisis factorial de modo R, con rotación varimax, planteándose la extracción de tres factores, los cuales aportan el 85 y 76 % respectivamente de la varianza total de las variables químico-físicas originales (Pajón et al., 1997). El examen de la Figura 9, correspondiente a la campaña de invierno de 1984, donde se plotearon los tres primeros factores, evidencia que: existe un primer factor asociado a las variables químico-físicas propias de las rocas calizas (Ca^{2+} y HCO_3^-). Tienen una contribución fuertemente positiva a este factor la SPC y el Cl^- ; a un segundo factor se asocian el pH con contribución positiva y el CO_2 con contribución negativa; un tercer factor está asociado con contribuciones positiva del Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y parcialmente del HCO_3^- ; a un cuarto factor al cual se asocia el ion SO_4^{2-} . Para profundizar en los resultados de este estudio puede consultarse los trabajos de Pajón et al., (1987) y de la Cruz et al., (1986).





Los Sistemas de Información Geográfica son sistemas complejos que comprenden un conjunto de técnicas y procedimientos, elaborados para la obtención, manipulación, modelado y salida de un conjunto de datos especialmente georeferenciados. Una facilidad importante de los SIG lo constituye la posibilidad de superposición de dos o más capas de mapas, con lo cual se obtiene un nuevo mapa resultante de los anteriores. Los SIG son aplicables en múltiples campos de las ciencias, por ejemplo, en las ciencias de la tierra (geología, geomorfología, edafología, geofísica, geoquímica), en las ciencias del clima (climatología, meteorología, paleoclima), en los estudios ecológicos y medioambientales (reconstrucciones paleoambientales y paleogeográficas) e incluso en la antropología (arqueología prehistórica y arqueología colonial).

MÉTODOS ANALÍTICOS E INSTRUMENTALES

Un importante número de métodos de laboratorio, con técnicas basadas en principios químico-físicos, ópticos, isotópicos y de otros tipos, pueden ser aplicados para la identificación, caracterización, datación y estudio de depósitos naturales (espeleotemas, travertinos, suelos, sedimentos, corales, carbonatos, terrazas marinas, etc.) y elementos arqueológicos (industria lítica, dieta, fauna fósil, restos óseos humanos, flora fósil, etc.).

Entre los métodos científicos más importantes utilizados en los estudios paleoambientales y paleoclimáticos están: Dataciones Isotópicas (U/Th, $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$, AMS- ^{14}C), Geoquímica de Isótopos Estables ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, ^1H , ^2D , ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{14}N , ^{15}N), ADN Mitocondrial, Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja (IR), Espectroscopia de emisión Inducida por Plasma (ICP), Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (PIXE), Microscopia Electrónica y Microscopía de Transmisión Electrónica (TEM), Espectroscopia Mossbauer, Análisis por Fluorescencia de Rayos X, Análisis por Activación Neutrónica, Análisis Térmico Diferencial, Análisis Químico Vía Húmeda, Análisis Granulométrico y Análisis de la Susceptibilidad Magnética. Algunos de estos métodos se detallan brevemente a continuación:

Difracción de Rayos X (DRX): El método de Difracción de Rayos X se basa en la difracción de los rayos x por la red cristalina de un material dado (minerales). Esto ocurre porque la longitud de onda de los rayos x y la distancia interplanar en el cristal son de la misma magnitud, desorden de $1-10 \text{ \AA}$. Este método permite la identificación de fases mineralógicas presentes en materiales sólidos que presenten un cierto ordenamiento cristalino. Además, bajo ciertas condiciones experimentales y características de las muestras analizadas es posible el análisis cuantitativo de fases. También se utiliza en el análisis estructural y en la determinación de las constantes de la red en cristales.

Con el objetivo de contribuir al estudio de la dinámica de los procesos de sedimentación ocurridos durante el Cuaternario en la cuenca del río Cuyaguatzeje, se caracterizaron por difracción de rayos X y espectroscopia IR las fases mineralógicas presentes en los sedimentos de las Pizarras del Sur, valles de contacto e intramontanos, poljes y depresiones kársticas, así como las cavernas situadas a distintos niveles de altitud en los macizos carbonatados. En general, los sedimentos estudiados están formados por una mezcla binaria de cuarzo y caolinita, aunque en ocasiones incluyen fases mineralógicas de hematita, calcita, bohemitita, natrolita y moscovita.



La génesis de los minerales arcillosos y el cuarzo presentes en los sedimentos, así como los procesos y mecanismos de transporte selectivo asociados a la dinámica de sedimentación han sido abordados por Fagundo et al., (1984b), y Pajón y Fagundo (1983). En el caso de los sedimentos de la Sierra de San Carlos, ricos por lo general en caolinita y cuarzo, se infiere una génesis a partir de una hidrólisis intensa de los esquistos y pizarras cuarcíferas de la Formación San Cayetano. El transporte y deposición en esas condiciones contribuyó a la descomposición química de estos materiales, lo que apunta hacia un clima muy lluvioso en la zona (Pajón et al., 2000), por lo menos a partir de los últimos 110 000 años (Interglacial de Sangamón).

Los depósitos parietales-pavimentarios (formación Ghassoulita) (Figura 10), que en forma de laminas de variables dimensiones y espesores y de color carmelita, aparecen asociados a la pared y el piso de la galería Jacoud, en la caverna Dos Anas (Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba) fueron estudiados mediante Difracción de Rayos X, encontrándose una mezcla ternaria constituida por las fases mineralógicas calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y cuarzo (SiO_2) (Pajón y Valdés, 1985).

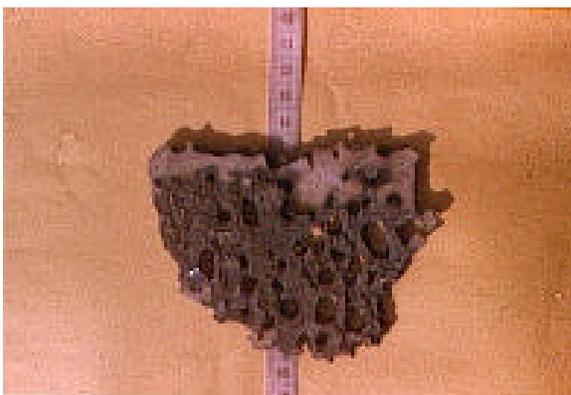


Figura 10. Formación Ghassoulita, localizada en la galería Jacoud, cueva Dos Anas (Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba) (Foto: Jesús M. Pajón).

Estos materiales, asociados a eventos paleohidrológicos y con una génesis, evolución morfológica y transformación cristalocímica afectada por la paleoactividad hídrica alóctona y autóctona del macizo, constituyen potenciales indicadores de los cambios climáticos experimentados en el área, al menos, desde el período glacial Wisconsin hasta el presente. Dada la complejidad del origen, procesos de ocurrencia y transformación mineralógica de estas formaciones, su estudio constituye un problema abierto, abordado en la actualidad desde una perspectiva paleoclimática y paleoambiental (Pajón et al., 2004).

Figura 11. Costras parietales de la Cueva Superior del Arroyo Majaguas (Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba) (Foto: Gabriel García).

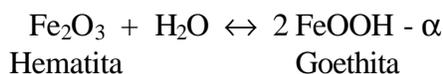
En Agosto de 1979, en el curso de las exploraciones llevadas a efecto en los niveles superiores de la Cueva Majaguas (Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Pinar del Río, Cuba), fue encontrada en el Salón del Gallego, una formación parietal de color oscuro en forma de delgadas láminas, costras y delgados lingotes (Figura 11). Estas morfologías se desarrollan actualmente en la parte estructural y a expensas de las microfisuras. En Mayo de 1980, se encontraron en el mismo lugar, otras formaciones,





menos consolidadas y de color rojizo-negruzco, asociadas en este caso a los clastos caídos en el piso de la cueva. Estas espeleotemas fueron estudiadas mediante Difracción de Rayos X y Espectroscopia Infrarroja, a partir de lo cual se identificaron las fases mineralógicas goethita (Fe_2O_3) y hematita ($\text{FeOOH} - \alpha$), determinándose la composición elemental en las muestras mediante Espectrografía de Emisión y Análisis Químico Vía Húmeda (Pajón et al., 1985).

Tomando en consideración la presencia simultánea de goethita y hematita en las muestras estudiadas, se estima que el siguiente mecanismo tuvo y tiene lugar a tenor de una estabilidad relativa (Pajón et al., 1985):



Pudiendo desplazarse en la actualidad hacia la formación de Goethita, dada las condiciones climáticas presentes en la caverna (100% de humedad relativa, temperatura estable, etc). Las espeleotemas estudiadas, así como los procesos y mecanismos químico-físicos y geoquímicos inherentes, constituyen indicadores paleoclimáticos, asociados probablemente al Holoceno Tardío y quizás a los tiempos históricos, a juzgar por las características morfológicas de los materiales, sus dimensiones y geometrías.

Espectroscopia Infrarroja (IR): El método de espectroscopia infrarroja revela los modos vibracionales de la estructura de los cristales, de manera que es posible la identificación de estructuras o fases en aquellos minerales transparentes a la luz IR (la gran mayoría). En los casos de mezclas binarias en sedimentos cuaternarios, por ejemplo, cuarzo y la caolinita en los sedimentos cuaternarios de la Sierra de Los Organos, o donde la contribución de otras fases sea pequeña, es posible interpretar el proceso de sedimentación sobre la base del contenido relativo de cuarzo y caolinita, mediante un método de espectroscopia IR (Fagundo et al., 1984a). El método está basado en el empleo de ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, que relacionan el % de caolinita respecto al cuarzo con relaciones de absorbancias.

Geoquímica de Isótopos Estables ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) y Dataciones Isotópicas

El oxígeno ($Z = 6$) es el elemento químico más abundante en la corteza de la tierra y se combina con el hidrógeno para formar el agua (H_2O). El oxígeno tiene tres isótopos estables, cuyas abundancias aproximadas son: $^{16}\text{O} = 99.7630\%$, $^{17}\text{O} = 0.0375\%$ y $^{18}\text{O} = 0.1995\%$. El hidrógeno ($Z = 1$) tiene dos isótopos estables cuyas abundancias aproximadas son: $^1\text{H} = 99.9844\%$ y $^2\text{H} = 0.0156\%$, conocido como deuterio. El tercer isótopo del hidrógeno es el ^3H (Tritio), el cual es radiactivo y tiene un tiempo de vida medio de 12.26 años. El carbono tiene dos isótopos estables con abundancias: $^{12}\text{C} = 98.89\%$ y el $^{13}\text{C} = 1.11\%$. El tercer isótopo de carbono es el ^{14}C , el cual es radiactivo y tiene un tiempo de vida medio de 5730 ± 40 años.

Las composiciones isotópicas de oxígeno y deuterio son reportadas en términos de las diferencias de las relaciones $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y D/H respecto a un Standard Primario Internacional, el SMOW (Standard Medio del Agua Oceánica) para el caso de estudio de aguas y el



Carbonato Standard PDB (Belemnita Cretácica de CaCO_3 hallada en la formación Pee Dee en Carolina del Sur) para el caso de estudio de carbonatos.

Cuando el CaCO_3 es precipitado en equilibrio con el agua, según la clásica reacción del sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$, entonces es posible determinar la temperatura de formación de la espeleotema (paleotemperatura) según la expresión (Craig, 1965):

$$T\text{ }^\circ\text{C} = 16.9 - 4.2 (\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{agua}}) + 0.13 (\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{agua}})^2 \quad (1)$$

donde :

$\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$: Composición isotópica de Oxígeno en la muestra de calcita.

$\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}}$: Composición isotópica de Oxígeno en la muestra de agua.

$T\text{ }^\circ\text{C}$: Temperatura en grados Celcius.

$$d_c = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_c - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{STD}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{STD}} \cdot 1000 \quad (2)$$

y

δ se expresa como partes por mil (‰) y los dos Standard primarios empleados para el sistema carbonato-agua son:

El SMOW (Standard Medio del Agua Oceánica), que es el agua Standard para el cual $\delta^{18}\text{O} = \delta^2\text{H}$

El PDB (Belemnite Pee Dee), que es el carbonato Standard donde $\delta^{13}\text{C} = \delta^{18}\text{O} = 0$. Este último se emplea en el trabajo.



Figura 12. Ubicación de la estalagmita CDANAS-01 en la galería Roloff de la cueva Dos Anas (Pajón et al., 1999).

Pajón et al., (1999, 2001, 2004), estudiaron mediante isótopos estables de oxígeno y carbono, así como dataciones isotópicas por ^{14}C , una estalagmita (Figura 12) de 42 cm de altura (CDANAS-01) extraída de la cueva Dos Anas en la sierra de San Carlos (Sierra de los Organos, Pinar del Río, Cuba), a partir de cuyos resultados se obtuvieron inferencias sobre el comportamiento paleoclimático del sector de montaña estudiado, desde el Ultimo Máximo Glacial hasta el Presente. A partir de los estudios isotópicos se reafirma la ocurrencia de una diferencia de temperaturas de 8-10 $^\circ\text{C}$ entre el Ultimo Máximo Glacial (UMG-hace 18 000 años) y el Presente Interglacial (Actual), para el área kárstica de montaña de la sierra de los Órganos en Cuba Occidental, confirmandose la influencia de la extensión y magnitud de los enfriamientos continentales ocurridos en el período



glacial, sobre los ecosistemas de la franja tropical-subtropical y en especial sobre la mitad Occidental de Cuba.

En las últimas décadas, se ha producido un rápido avance en el desarrollo de nuevas técnicas analíticas de datación isotópica en materiales cuaternarios. Entre otros factores, ello ha sido impulsado por la necesidad de fechar materiales cuyas edades exceden los 40, 000 años A.P., rango límite del método convencional de datación por ^{14}C . Los rápidos avances experimentados en el campo de la Geocronología, constituyen opciones potenciales para profundizar en los estudios cuaternarios y en particular, contribuyen al conocimiento de los episodios interglaciales, como modelos del pasado aplicables para el diagnóstico de eventos climáticos globales en nuestro actual período interglacial.

La literatura sobre la geocronología del Cuaternario es extensa y muy diversa. Los estudios actuales de contrastación analítica ínter laboratorios, van a la aplicación simultánea de diferentes técnicas (cuando ello sea aplicable) con idénticos "sets" de muestras. Constantemente son reevaluadas y redefinidas las bases teóricas y analíticas de los métodos y al mismo a tiempo, se trabaja en la correcta aplicación de los métodos, según el contexto estratigráfico o paleontológico del material estudiado.

Las dataciones son necesarias para datar los cambios paleoambientales y registros de paleotemperaturas que se encuentran preservados en las muestras de espeleotemas. Los métodos de datación se dividen en tres categorías (Ford, 1997):

- Métodos Absolutos: Dan una edad precisa del material estudiado. Pueden citarse los métodos de ^{14}C (método de Carbono-14), ^{230}Th - ^{234}U y ^{238}U (métodos de la serie de uranio), la Resonancia Electrónica Spin (ESR), la Termoluminiscencia (TL) y la Luminiscencia Óptica (OL).
- Métodos Relativos: Establecen cuando un depósito o material es mas joven o viejo que otro, sin precisar o asignar edades.
- Métodos Marcadores: Aunque no establecen cuan joven o viejo puede ser un depósito o material, permiten hacer estimaciones de lo anterior respecto a un evento independiente de edad conocida, como por ejemplo, el cambio de polaridad del campo magnético de la tierra ocurrido 790, 000 años A.P. conocido como Brunhes-Matuyama (Paleomagnetismo y Análisis de la Susceptibilidad Magnética).

BIBLIOGRAFÍA

- **Acevedo, G.M., 1971:** Geomorfología de Sumidero y sus inmediaciones, Sierra de los Órganos, Pinar del Río, Cuba, Revista Tecnológica. Vol. IX, No.3-4, pp. 33-54.
- **Alessio, M., Allegri, L., Antonioli, F., Belluomini, G., Improta, S., Manfra, L. E Preite, M., 1994:** La curva di risalita del Mare Tirreno negli ultimi 43 ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici. Volume degli Abstract di Geosub'94, Palinuro 8-10 Giugno 1994. In stampa (1997) sulle Memorie Descriptive del Servizio Geologico Nazionale, 52 pp.
- **Allison, V.C., 1926:** The antiquity of the deposit in Jacob cavern. American Museum of Natural History 19, pp. 294-325.
- **Aminot, A., 1974:** Geochimie des Eaux d'Aquiferes Karstiques II. Les Analyses Chimiques en Hydrogeologie Karstique. Ann. Speleol., 29, 4, pp 461-463.



Noviembre 24 al 26 del 2004

- **Antonioli, F., and Oliverio, M., 1996:** Holocene Sea-Level Rise Record by a Radiocarbon-Dated Mussel in a Submerged Speleothem beneath the Mediterranean Sea. *Quaternary Research*, 45, pp. 241-244.
- **Antonioli, F., Borsato, A., Frisia, S., e Silenzi, S., 1998:** L'uso degli speleotemi per ricostruzioni paleoclimatiche e variazioni del livello del mare. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 11 (1), pp. 67-78.
- **Antonioli, F., e Leoni, G., 1998:** Siti Archeologici Sommersi e Loro Utilizzazione Quali Indicatori Per lo Studio Delle Variazioni Recenti Del Livello Del Mare.. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 11 (1), pp. 53-66.
- **Antonioli, F., Silenzi, S., Vittori, E., e Villani, C., 1998:** Sea level changes and tectonic mobility: precise measurements in three coastlines of Italy considered stable during the last 125 ky. *Manuscrito Inédito*, 6 pp.
- **Arencibia, F., Seoane, M., y Pérez, L., 1995:** Nueva teoría sobre la formación de los hongos de zinolita de la cueva de Santa Catalina, Matanzas, Cuba. *Boletín Casimba*, Año 6, Serie 1, No. 7, 1995, pp. 13-18.
- **Atkinson, C.T., Harmon, R.S., Smart, P.L., and Waltham, A.C., 1978:** Paleoclimatic and Geomorphic Implications of $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dates on Speleothems from Britain. *Nature* Vol. 272, No. 5648, pp. 24-28, March 2 1978.
- **Bakalowicz, M. et al., 1987:** Thermal Genesis of Dissolution Caves in the Black Hills, South Dakota. *Geol. Soc. of Am. Bulletin*, V. 99, pp. 729-738, December 1987.
- **Bakalowicz, M., 1976:** Geochimie des eaux karstiques. Une méthode d'étude de l'organisation des écoulements souterrains. *Actes 2e Coll. Hydrol. en Pays calcaire*, Besancon, pp 49-58.
- **Bakalowicz, M., 1979:** Contribution de la Geochimie des eaux a la connaissance de L'aquifere karstique et de la karstification". *These Doct. es Sciences*, Paris, (1979), 269 pp.
- **Bakalowicz, M., 1980:** Un précieux informateur Hydrogeologique: Le systeme chimique $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-Carbonate}$. Extrait de: *Cristallisation, deformation, dissolution des carbonates. Colloque Soc. Geol. Fr., Assoc. Geol. Sud-Ovest, Soc.Fr. Mineral. Cristall.* Bordeaux, 23 pp.
- **Baker, A., Caseldine, C.J., Gilmour, M.A., Charman, D., Proctor, C., Hawkesworth, C.J., et al., 1999:** Stalagmite Luminescence and Peat Humification Records of Palaeomoisture for the last 2500 years. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 165, 157 pp.
- **Baker, A., Proctor, C., Lauritzen, S.E., and Lundberg, J., 2000:** SPEP: High-Resolution Stalagmite Records of NE Atlantic Climate in the Last Millennium. *PAGES. News of the International Paleoscience Community*. Vol. 8, N° 2, June 2000, pag. 14.
- **Baker, G.R., 1970:** Pollen Sequence from Late Quaternary Sediments in Yellowstone Park. *Science*, Vol. 168, 19 June 1970. pp. 1449-1450.
- **Berggren, A.W., 1973:** The Pliocene Time Scale: Calibration Planktonic Foraminiferal and Calcareous Nannoplankton Zones. *Nature* Vol. 243, June 15 1973, pp. 391-397.
- **Berner, R.A., and Morse, J.M., 1974:** Dissolution Kinetics of Calcium Carbonate in Sea Water: IV. Theory of Calcite Dissolution: *Amer. Jour. Sci.*, v. 274, pp 108-134.
- **Blumberg, N.P., and Curl, R.L., 1974:** Experimental and Theoretical Studies of Dissolutions Roughness. *J. Fluid Mech.*, Vol. 65, part 4, pp. 735-751.
- **Boegli, A., 1960:** Kalklösung und Karrenbildung. *Z. Geomorph., Suppl.* 2, pp. 4-21.
- **Bolt, A.B., and Qamar, A., 1967:** Orogeny, a Cause of World-Wide Regression of the Seas. *Nature* Vol. 216, November 25 1962, pp. 779-781.



- **Bonatti, E. and Gartner, S., 1973:** Caribbean Climate during Pleistocene Ice Ages. *Nature* Vol. 244, August 31 1973. pp. 563-565.
- **Bradbury, P.L., and Dean, W.E., eds., 1993:** Elk Lake Minnesota. Evidence for Rapid Climate Change in the North-Central United States: *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 276, 336 pp.
- **Broecker, W.S., Olson, E.A., and Orr, P.C., 1960:** Radiocarbon Measurements and Annual Rings in Cave Formations. *Nature* 185, pp. 93-94.
- **Brook, G.A., 1995:** Late Quaternary Environments in Northern Somalia. pp. 288-290.
- **Bryan, R.B., 1970:** An Improved Rainfall Simulator for Use in Erosion Research. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 7, 1525-1531.
- **Burton, R., Kendall, C., and Lerche, I., 1987:** Out of Our Depth: on the Impossibility of Fathoming Eustasy from the Stratigraphic Record. *Earth Sci. Rev.*, 24, pp. 237-277.
- **Caro, P., 1965:** La chimie du gas carbonique des eaux en terrain calcaire. *Spelunca Mem.*, 3, pp 39-47.
- **Compton, R.G., and Unwin, P.R., 1990:** The Dissolution of Calcite in Aqueous Solution at pH < 4: Kinetics and Mechanism. *Phil. Trans. R. Soc. London A*, 330, pp. 1-45.
- **Corbel, J., 1956:** A New Method for the Study of Limestone Regions. *Rev. Canad. Geogr.* 10. pp. 240-242.
- **Corbel, J., 1957:** Les karst du Nord-Ouest de l' Europe et de quelques region de comparaison. *Rev. Geogra. de Lyon*, 12, pp 541.
- **Corbel, J., 1959:** Erosion en terrain calcaire. *Ann. Geogr.*, 368, 68 pp.
- **Craig, H., 1965:** The Measurement of Oxygen Isotope Paleotemperatures. *Proc. Spoleto Conf. On Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. Ed. Tongiorgi, CNR Lab. Geol. Pisa, Vol. 3, pp. 3-24.
- **Curl, R.L., 1966:** Scallops and fluttes. *Cave Res. Group. Br. Trans.* 7, pp. 121-160.
- **Curl, R.L., 1974:** Deducing Flow Velocity in Cave Conduits from Scallops. *Natl. Speleol. Soc. Bull.* 36, (2), pp. 1-5.
- **Cvancara, M. A. et al., 1971:** Paleolimnology of Late Quaternary Deposits: Seibold Site, North Dakota. *Science*, Vol. 171, 15 January 1971, pp. 172-174.
- **Dansgaard, W., and Tauber, H., 1969:** Glacier Oxygen-18 Content and Pleistocene Ocean Temperatures. *Science* Vol. 166, 24 October 1969, pp. 499-502
- **Defrancesco, F., Ziglio, G., Zottele, L., e Bernardi, F., 1996:** Cinetica di formazione delle acque minerali naturali: Un modelo di laboratorio per il suo studio. *Universita' di Trento - Facolta' di Ingegneria*, 38 pp.
- **Díaz del Olmo, F., y Cámara, R., 1993:** Niveaux marins, chronologie isotopique U/Th et karstification en Republique Dominicaine. *Revista Karstología* No. 22, 2, 1993, pp. 52-54.
- **Díaz del Olmo, F., Cámara, R., Quinif I., y Pajón, J.M., 2004:** Dataciones U/Th de una estalagmita en Cuba (Trabajo en preparación)
- **Díaz, L. R., y Liliemberg, D. A., 1984:** Nuevos datos sobre los movimientos tectónicos reciente en Cuba Occidental. *Reporte de Investigación del Instituto de Geografía* No. 4, Mayo de 1989, ISSN 0138-8697, 11 pp.
- **Drake, J.J., y Ford, C.D., 1973:** The Dissolved Solids Regime and Hydrology of two Mountain Rivers. *Proc. 6th Int. Congr. Seleol. (Olomouc)* 4, pp. 53-56.
- **Dunlop, D. and Özdemir Ö., 1997:** Rock magnetism. *Fundamental and frontiers*, Cambridge University Press 528 pp.
- **Duplessy, C.J. et al., 1970a:** Continental Climatic Variations between 130 000 and 90 000 years BP. *Nature* Vol. 226, May 16 1970, pp. 631-633.



- **Duplessy, C.J. et al., 1970b:** Paleotemperature Variations across the Plio-Pleistocene Boundary. *Science* Vol. 171, 8 January 1971, pp. 60-62.
- **Emiliani, C. 1971:** Paleotemperature Variations across the Plio-Pleistocene Boundary. *Science* Vol. 171, 8 January 1971, pp. 60-62.
- **Emiliani, C. and Shackleton, N. J., 1974:** The Brunhes Epoch: Isotopic Paleotemperatures and Geochronology. *Science* 183, pp. 511-514.
- **Emiliani, C., 1958:** Paleotemperature analysis of core 280 and Pleistocene Correlations. *J. Geol.*, 66, pp. 264-275.
- **Emiliani, C., 1966:** Paleotemperature Analysis of Caribbean Cores P6304-8 and P6304-9 and a Generalized Temperature Curve for the Past 425 000 years. *J. Geol.*, 74, pp. 104-126.
- **Emiliani, C., 1969:** Interglacial High Sea Levels and Control of Greenland Ice by the Precession of the Equinoxes. *Science* Vol. 166, 19 December 1969, pp. 1503-1504.
- **Emiliani, C., 1972:** Quaternary Paleotemperatures and the Duration of High-Temperature Intervals. *Science*, Vol. 178, 27 October 1972, pp. 398-401.
- **Eraso, A., 1984:** Nuevo Método de Investigación del Karst. Sección Regional Castellano. Centro de Espeleología, pp 1-13.
- **Ericson, B.D. and Wollin, G., 1970:** Pleistocene Climate in the Atlantic and Pacific Oceans: A Comparison Based on Deep-Sea Sediments. *Science* Vol. 167, 13 March 1970, pp. 1483-1485.
- **Ericson, B.D. et al., 1964:** The Pleistocene Epoch in Deep-Sea Sediments. *Science* Vol. 146, No. 3645, pp. 723-732.
- **Fagundo, J.R., Valdés, J.J., y Pajón, J.M., 1984a:** Determinación del contenido de los minerales cuarzo y caolinita en sedimentos mediante espectroscopia infrarroja. *Revista de Ciencias Químicas. CENIC*, pp. 327-333.
- **Fagundo, J.R., Valdés, J.J., y Pajón, J.M., 1984b:** Estudio de los sedimentos cuaternarios de la cuenca del Río Cuyaguaje mediante espectroscopía IR y Difracción de Rayos X. *Revista Voluntad Hidráulica* /63. Año XXI, pp. 53-61.
- **Fagundo, J.R., 1985:** Caracterización de acuíferos mediante relaciones entre contenidos iónicos y parámetros químico-físicos. *Revista CENIC Ciencias Químicas*. Vol. 16, No. 2. pp. 321-325.
- **Fagundo, J.R., y Pajón, J.M., 1985:** Contribución al estudio de las relaciones lineales entre contenidos iónicos y parámetros químico-físicos. Efecto de la litología. *Rev. Ingeniería Hidráulica*, Vol.VI, No.1, ISPJAE, Ciudad de La Habana, pp. 12-29.
- **Fairbridge, R.W., 1961:** Convergence of Evidence on Climatic Change and Ice Ages. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 95: pp. 542-579.
- **Fairbridge, R.W., 1963:** Mean Sea Level related to Solar Radiation during the Last 20 000 years. *En changes of climate. UNESCO. Lieja*. pp. 229-242.
- **Ferrera, L.V., Fagundo, J.R., Alvarez, V.E., Benitez, P.G., González, M.P., y Furet, B.R., 1995:** Simulación química y matemática de los procesos de carsificación. *Actas del Programa y Resúmenes del Cong. Int. LV Aniv. de la SEC, La Habana*, pp. 94-95.
- **Flemming, C.N. and Roberts, G.D., 1973:** Tectono-Eustatic Changes in the Sea Level and Sea Floor Spreading. *Nature* Vol. 243, May 4 1973, pp. 19-22.
- **Ford, T. D. et al., 1983:** Speleothem Dates and Pleistocene Chronology in the peak district of Derbyshire. *Trans. Brit. Cave Res. Assoc.*, Vol. 10, No. 2, pp. 103-115. June 1983.
- **Gams, I., 1962:** Measurements of Corrosion Intensity in Slovenia and their Geomorphological Significance. *Geogr. Vestnik, Ljubljana* 34, pp. 3-20.



- **Garrels, R.M., y Christ, C.L., 1965:** Solutions, Minerals and Equilibria. Harper and Row, New York, pp 50.
- **Gascoyne, M. and Ford, C.D., 1984:** Uranium Series Dating of Speleothems: Part II. Results from the Yorkshire Dales and Implications for Cave Development and Quaternary Climates. Trans. Brit. Cave Res. Assoc., Vol. 11, No. 2, July 1984, pp. 65-84.
- **Gascoyne, M., Schwarcz, H.P., and Ford, D.C., 1978:** Uranium Series Dating and Stable Isotope Studies of Speleothems: Part I. Theory and Techniques. Trans. Brit. Cave Res. Assoc., Vol. 5, pp. 91-111.
- **Gewelt, M., et Ek, C., 1988:** Les concrétions carbonatées des grottes: Aperçu synthétique. Annales de la Société géologique de Belgique, T. 111, pp. 9-19.
- **Glazek, J., and Markowicz-Lohinowicz, 1973:** Remarks of the Use of Quantitative Methods to Karst Denudation Velocity. Proceedings of the 6th International Congress of Speleology. Olomouc, pp. 225-230.
- **Glew, R.J., and Ford, D.C., 1980:** A Simulation Study of the Development of Rillenkarren. Earth Surface Processes. Vol. 5, pp. 25-36.
- **Goodchild, M.F., and Ford, D.C., 1971:** Analysis of Scallop Patterns by Simulation under Controlled Condition. J.Geol. 79. pp. 52-62.
- **Grimm, C.E., Jacobson, G.L., Watts, W.A., and Hansen, B.C.S., 1993:** A 50, 000-year Record of Climate Oscillation with the Heinrich Events. Science, 261, pp. 198-200.
- **Haq, V.B. et al., 1987:** Chronology of Fluctuating Sea Levels since the Triassic. Science, Vol. 235, 6 March 1987, pp. 1156-1162.
- **Harmon, S.R. and Curl, L.R., 1978:** Preliminary Results on Growth Rate and Paleoclimate Studies of a Stalagmite from Ogle Cave, New Mexico: Reply. The NSS Bulletin, Vol. 40, No. 4, October 1978, pp. 123-124.
- **Harmon, S.R. et al., 1975:** Uranium-Series Dating of Speleothems. The NSS Bulletin, 1975, 37(2): 21-33.
- **Howard, A.D., 1971:** Caves and Karst, 13, 1, pp. 1-7.
- **Jacobson, R. L., y Langmuir, D., 1972:** An Accurate Method of Calculating Saturation Levels of Ground Water with Respect to Calcite and Dolomite. Trans. Cave Res. Group. G.B., Vol. 14, No.2, pp. 104-108.
- **Jiménez, A.N., 1973:** Las formaciones fungiformes y su importancia para conocer las fluctuaciones del mar. VI Congreso Internacional de Espeleología, Olomouc, pp. 519-527, Checoslovaquia, 1973.
- **Kelly, P.M., 1981:** Climate and Climatic Change. En: The Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences. Editor D.S. Smith. Crown. Pub. Cambridge University Press, pp. 297-310.
- **Laíz, A. O.R., 1996:** LIMNOLOGIA: Ciencia de las Aguas Dulces. Revista Voluntad Hidráulica No. 86. ISSN 0505-9461, Año XXXIII, pp. 110-113.
- **Latham, G.A. et al., 1986:** The Paleomagnetism and U-Th Dating of Mexican Stalagmite, DAS2. Earth and Plan. Science Letters, 79 (1986), pp. 195-207.
- **Lauritzen, S.E., 1981:** Statistical Symmetry Analysis of Scallops. Natl. Speleol. Soc. Bull. 43, pp. 52-55.
- **Lauritzen, S.E., 1982:** The Paleocurrents and Morphology of Píkhaaggrottene, Svartisen, North Norway, Norsk geogr. Tidsskr. 36, pp. 183-209.
- **Lauritzen, S.E., Ive, A., and Wilkinson, B., 1984:** Mean Annual Runoff and the Scallop Flow Regime in a Subarctic Environment. Preliminary Results from Svartisen,



-
- Norway. Cave Science. Trans. British Cave Research Association. Vol. 10, No. 2, June 1983, pp. 97-102.
- **Ledru, M.P., 1993:** Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. *Quaternary Research*, 39, pp. 90-98.
 - **Li, X.W. et al., 1989:** High-Precision Mass-Spectrometric Uranium-Series Dating of Cave Deposits and Implications for Palaeoclimate Studies. *Nature* Vol. 339, No. 6225, pp. 534-536, 15 June 1989.
 - **Lynts, W.G. and Judd, B.J., 1971:** Late Pleistocene Paleotemperatures at Tongue of the Ocean, Bahamas. *Science* Vol. 171, 19 March 1971, pp. 1143-1144.
 - **Maire, R., 1981:** Karst and Hydrogeology Synthesis of Papúa, Nueva Guinea. *Spelunca*, Supp. No. 3, 7-8 pp.
 - **Mangin, A., 1970:** Contribution a l'étude des aquifères karstiques á partir de l'analyse des courbes de décrue et de tarissement. *Annales de Spéléologie*, 25, 3, pp. 581-610.
 - **Mangin, A., 1971:** Sur la notion d'exsurgence et de resurgence a partir de travaux recents d'hydrodynamique dans les karst. *Laboratoire Souterrain du C.N.R.S. Moulis (ariège)*.
 - **Markgraf, V., 1989:** Paleoclimates in Central and South America since 18 000 BP Based on Pollen and Lake-Level Records. *Quaternary Science Reviews*, 8: pp. 1-24..
 - **Markgraf, V., 1993:** Climate History of Central and South America since 18000 yr. B.P.: Comparison of Pollen Records and Model Simulations. In *Global Climate since the Last Global Maximun* (H.E.Wright et.al. Eds.), University of Arizona Press, pp. 357-385.
 - **Markgraf, V., 1996:** PANASH: Paleoclimas de los Hemisferios Norte y Sur. El Programa PANASH. Transecta de las Américas/PEP I. *PAGES Series* 96-6, 97 pp.
 - **Meade, H. R. and Emery, O.K., 1971:** Sea Level as Affected by River Runoff, Eastern United States. *Science*, Vol. 173, 30 July 1971, pp. 425-428.
 - **Metcalfe, S. and Davies, S., 1998:** Lacustrine Records of Mid-Holocene Climates from Mexico, Central America and the Caribbean. *Libro PEP-1 Pole-Equator-Pole, Paleoclimate of the Americas*, Mérida, Venezuela, 16-20. March 1998.
 - **Metcalfe, S., 1995:** Holocene Environmental Change in the Zacapu Basin, México: a Diatom-Based Record. *The Holocene*, 5: pp. 196-208.
 - **Metcalfe, S., Bimpson, A., Courtice, A.J., O'Hara, S.L., and Taylor, D.M., 1997:** Climate Change at the Monsoon/Westerly Boundary in Northern México. *Journal of Paleolimnology*, 17: pp. 155-171.
 - **Milliman, D.J. and Emery, O.K., 1968:** Sea Levels during the Past 35 000 years. *Science* Vol. 162, 6 December 1968, pp. 1121-1123.
 - **Miserez, J.J., 1973:** Géochimie des eaux du karst Jurassien. Contribution physico-chimique a l'étude des alterations. *These Doct. és Sciences*. Neuchatel, pp. 313.
 - **Molerio, L.L. y Flores, E., 1997:** Paleoclima y paleocarsos: Los niveles de cavernamiento y la variabilidad del clima tropical en el Golfo de México y el Caribe. *Conferencia Internacional TAHICU 96*. Editorial Lankoopi. S.A., Bilbao, España, pp. 225-232.
 - **Molerio, L.L. y Sariñas, G.A.M., 1995:** Indicadores hidráulicos del paleoflujo subterráneo en la Sierra de Quemado, Pinar del Río, Cuba. *Libro Resumen Cong. Int. LV Aniv. de la SEC*. Sept. 1995, pp. 93.
 - **Molerio, L.L., 1975b:** Fundamentos del Mapa Hidrogeológico del Karst Cubano. *Resumen Simp. XXXV Aniv. de la SEC*. 65 pp.
 - **Molerio, L.L., Guerra, G.M., Rocamora, E., y Pajón, J.M., 1999:** Capítulo 4 "Caracterización de los Niveles de Cavernamiento del Karst de Cuba Occidental y su



- Relación con las Oscilaciones del Nivel del Mar durante el Cuaternario". En: Monografía "Proyecto Paleoclima del Cuaternario Cubano: Una Caracterización Cuantitativa. Banco de Proyectos del Programa Nacional de Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano, pp. 113-170.
- **Montero, M.E., Aspiazu, J., Pajón, J.M., Miranda, S., y Moreno, E., 2000:** PIXE Study of Cuban Quaternary Paleoclimate Geological Samples and Speleothems. PERGAMON. Applied Radiation and Isotopes 52, pp. 289-297.
 - **Morinaga, H. et al., 1985:** Paleomagnetic and Paleoclimatic Study with a Stalagmite.
 - **Morinaga, H. et al., 1985:** Secular Variation of the Geomagnetic Field Deduced from Paleomagnetism of Stalagmites in Japan.
 - **Mowat, D. G., 1962:** Progressive Changes of Shapes by Solution in the Laboratory. Caves Notes, Vol. 4, No. 6, November/December 1962, pp. 45-49.
 - **Myroie, J.E., 1984:** Pleistocene Climatic Variation and Cave Development. 11-Norssk Geogr. Tidsskr. 33-4/1984, pp. 151-156.
 - **Myroie, J.E., 1988a:** Field Guide to the Karst Geology of San Salvador Island, Bahamas. Bahamian Field Station, Fort Lauderdale: 108 pp.
 - **Myroie, J.E., 1988b:** Karst of San Salvador. In Myroie, J.E. (ed.). Field Guide to the Karst Geology of San Salvador Island, Bahamas. Bahamian Field Station, Fort Lauderdale: pp. 17-44.
 - **Myroie, J.E., and Carew, J.L., 1988:** Solution Conduits as Indicators of Late Quaternary Sea Level Position. Quaternary Science Reviews, 7, pp. 55-64.
 - **Myroie, J.E., and Carew, J.L., 1990:** The Flank Margin Model for Dissolution Cave Development in Carbonate Platform. Earth Surface Processes and Landforms 15: pp. 413-424.
 - **Myroie, J.E., and Carew, J.L., 1995:** Karst Development on Carbonate Islands. In Budd, D.A., Saller, A.H. & Harris, P.M. (eds.). Unconformities in Carbonate Strata their Recognition and the Significance of Associated Porosity. American Association of Petroleum Geologists Memoir 63: pp. 55-76.
 - **Namias, J. and Huang, C.K.J., 1972:** Sea Level at Southern California: A Decadal Fluctuation. Science Vol. 177, 28 July 1972, pp. 351-353.
 - **Neustadt, M.I., 1967:** The Lower Holocene Boundary. En: Quaternary Paleoecology. Ed. Cushing, E.J. y Wright, H.E. Yale University, New Haven.
 - **Noel, M. et al., 1979:** The Paleomagnetism of Sediments from Agen Allwedd, Powys. Trans. Brit. Cave Res. Assoc., Vol. 6, No. 2, pp. 85-92, August 1979.
 - **PAGES, 1992:** Global Change (IGBP). Report No. 19. Stockholm 1992, 112 pp.
 - **Pajón, J.M., y Valdés, J.J., 1985:** Mineralogical characterization of speleothems and quaternary sediments in Cuban Caves. Manuscrito Inédito. Biblioteca del Grupo Espeleológico Martel de la SEC, 23 pp.
 - **Pajón, J.M., y Valdés, J.J., 1991:** Simulación química de la disolución de rocas carbonatadas del macizo Pan de Guajaibón, Sierra del Rosario, Cuba. Revista LAPIAZ Monografía III - Diciembre de 1991, pp. 25-37.
 - **Pajón, J.M., Fagundo, J.R., y Valdés, J.J., 1985b:** Ocurrencia de goethita y hematita en la Cueva Superior del Arroyo Majaguas. Sistema Cavernario Majaguas-Cantera. Pinar del Río, Cuba. Rev. Vol. Hid. 68. Año XXII, pp. 41-45.
 - **Pajón, J.M., Fagundo, J.R., y Valdés, J.J., 1986:** Estudio preliminar geoquímico y químico-físico de las aguas kársticas del arroyo Mil Cumbres. (Parque Nacional "Mil Cumbres"). Sierra del Rosario, Pinar del Río (1). Manuscrito Inédito.
 - **Pajón, J.M., Hernández, I., Macle, J., Molerio, L.L., Flores, E., García, G., Otero, V., González, Z., Guerra, M.O., Leal, R., y Geler, T., 1999:** Capítulo 3.1 "Caracterización



- Paleohidrológica del Karst de la Sierra de San Carlos a partir del Análisis de Simetría de Scallops". En: Monografía "Proyecto Paleoclima del Cuaternario Cubano: Una Caracterización Cuantitativa". Banco de Proyectos del Programa Nacional de Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano, pp. 47-77.
- **Pajón, J.M., Hernández, I., Macle, J., y Ortega, F., 2001:** Periods of Wet Climate in Cuba: Evaluation of Expression in Karst of Sierra de San Carlos. Book "Interhemispheric Climate Linkages (Present and Past Interhemispheric Climate Linkages in the Americas and their Societal Effects)". Chapter Long-Term Climate Variability. Academic Press, pp. 217-226.
 - **Pajón, J.M., y Colectivo de Autores, 1999:** Monografía "Proyecto Paleoclima del Cuaternario Cubano: Una Caracterización Cuantitativa". Banco de Proyectos del Programa Nacional de Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano, Ciudad de La Habana, 362 pp.
 - **Pajón, J.M., y Colectivo de Autores, 2001:** Reconstrucción paleoclimática y paleoambiental del Pleistoceno Tardío-Holoceno para Cuba Occidental. Monografía, Ciudad de La Habana, 273 pags.
 - **Pajón, J.M., Curtis, J., Tudhope, S., Metcalfe, S., Brenner, M., Grimm, E., Guilderson, T., and Chilcott, C., 2004:** Isotope Records from a Stalagmite from Dos Anas Cave in Pinar del Rio Province, Cuba. Palaeoclimatic Implications. En preparación.
 - **Pajón, J.M., y Fagundo, J.R., 1983:** Optimización de métodos analíticos de campo para el estudio de la interacción de las aguas naturales con el medio geológico. Biblioteca BTJ Nacional, 73 pp.
 - **Pajón, J.M., 2004:** Cuban Caves Minerals: Collecting Data. Trabajo en preparación.
 - **Pedroso, I., Sagnotti, L., Fundora, M., Peñalver, L., 2001a:** Caracterización de las propiedades magnéticas de algunas formaciones carbonáticas y eólicas del Pleistoceno Superior en la Habana. Implicaciones paleoclimáticas. Cap. 3.2. En: Monografía "Proyecto Preconstrucción Paleoclimática y Paleoambiental del Pleistoceno Tardío-Holoceno para Cuba Occidental". Banco de Proyectos del Programa Nacional de Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano, pp. 68-78.
 - **Pedroso, I., Pajón, J., Fundora, M., Sagnotti, L., 2001b:** Magnetismo ambiental en sedimentos cuaternarios del Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Pinar del Río. Cap. 3.5. En: Monografía "Proyecto Preconstrucción Paleoclimática y Paleoambiental del Pleistoceno Tardío-Holoceno para Cuba Occidental". Banco de Proyectos del Programa Nacional de Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano, pp. 89-98.
 - **Picknett, R.G., 1964:** A Study of Calcite Solution at 10° C. Trans. Cave.Res. Group Great Britain, Vol.7, No.1, pp. 40-50.
 - **Picknett, R.G., 1972:** The pH of Calcite Solution with and without Magnesium Carbonate Present, and the Implications Concerning Rejuvenated Aggressiveness. Trans. Caves. Res. Gr. G.B. 14 (2), pp. 141-150.
 - **Picknett, R.G., 1973:** Saturate Calcite Solutions from 10 to 40° C. A Theoretical Study Evaluating the Solubility Product and other Constants. Trans. Cave Research Group of Great Britain. Vol. 15. No. 2, June, pp. 67-80.
 - **Plummer, L.N., 1975:** Mixing of Sea Water with CaCO₃ Groundwater. Geol. Mem. 142, pp. 219-236.



- **Plummer, L.N., and Wigley, T.M.L., 1976:** The Dissolution of Calcite in CO₂ Saturate Solution at 25 °C and Atmosphere Total Pressure. *Geoch et Cosmoch. Acta* 40, pp. 191-202.
- **Plummer, L.N., Wigley, T.M.L., and Parkhurst, D.L. 1978:** The Kinetics of Calcite Solution in CO₂- Water Systems at 5 °C to 60 °C and 0.0 to 1.0 atm CO₂. *Am. J. Sci.* 278, pp. 179-216.
- **Ponce, A.N., Daniluk, L. y otros, 1985:** El yacimiento de bauxitas Pan de Guajaibón en la isla de Cuba. *Rev. Tecnológica*. Vol. XV. Serie Geológica No.1, pp. 51-60.
- **Proctor, C.J., et al., 2000:** *Climate Dynamic*, in press.
- **Pulina, M., 1971:** Observations on the Chemical Denudation of Some Karst Areas of Europe and Asia. *Studia Geomorph. Carpato-Balcanica* 5, pp. 79-92.
- **Pulina, M., 1974:** Denudacja Chemiczna Na Obszarach Krasu Weglanowego. *Polska Akademia Nauk. Instytut Geografii. Prace Geograficzne NR 105*, 159 pp.
- **Pulina, M., 1976:** Chemical Denudation on the Carbonate Karst Areas. *Studia Geograficzne No. 105*. Wroclaw, 159 pp.
- **Pulina, M., 1977:** Uwagi o zjawiskach krasowych w poludniowej czesci Spitsbergenu. *Kras i Speleologia*, 1, 27 pp.
- **Rauch, H. And White, W. B., 1977:** Dissolution Kinetics and Carbonate Rocks. 1- Effects of Lithology on Dissolution Rate. *Water Research*, Vol. 3, No.2, EE.UU, pp. 381-394.
- **Rodier, J., 1971:** L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Dunod, Paris, 4^e édition, 700 pp.
- **Roques, H., 1964:** Contribution a l' etude statique et cinetique des systemes gas carbonique-eau-carbonate. - Thèse. *Ann. de Spéléol.*, 19 (2), pp. 255-484.
- **Roques, H., 1973a:** Etude expérimentales de la disolución des calcaires por une eau chargés de CO₂. *Ann spéléol.*, 23, 1, pp. 155-167.
- **Roques, H., 1973b:** Sur la repartition du CO₂ dans les Karsts (2e Memorie)". *Ann. de Speleol.* 18 (2), pp. 141-184.
- **Roques, H., 1972:** Sur une nouvelle methode graphique d' etude des eaux naturelles. *Ann. Speleol.*, 27, 1, pp. 79-92.
- **Roques, H., et Girou, A., 1974:** Etude cinétique de la précipitation des carbonates de calcium. *Memories et documents, nouvelle série*. Vol. 15, Phénomènes karstiques, tomo II, pp. 27-38.
- **Salcedo, M., J., 2001:** Espeleothemas y niveles marinos pleistocénicos en la unidad litoestratigráfica Canimar, Norte de Matanzas, Cuba. *MEMORIAS GEOMIN 2001*, La Habana, 19-23 de Marzo, ISBN 959-7117-10-X, pp. 408-410.
- **Salgado L. M.L., 1997:** Late Quaternary Palaeoclimate in the Savannas of South America. *Journal of Quaternary Science* 12 (5), pp. 371-379.
- **Salgado L. M.L., 1998:** Late Quaternary Vegetation and Climatic Changes in the Mérida Andes, Venezuela. *Libro PEP-1 Pole-Equator-Pole, Paleoclimate of the Americas*, Mérida, Venezuela, 16-20. March 1998.
- **Scholl, W.P. et al., 1969:** Florida Submergence Curve Rrevised: Its Relation to Coastal Sedimentation Rates. *Science* Vol. 163, 7 February 1969, pp. 562-564.
- **Schwarcz, H. and Yonge, C.J., 1983:** Isotopic Composition of Paleowaters as Inferred from Speleothem and its Fluid Inclusions. *I.A.E.A. STI/PUB/621*. pp. 115-133.
- **Shackleton, N.J. and Opdyke, N., 1973:** Oxygen Isotope and Paleomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238: Oxygen Isotope Paleotemperatures and Ice Volumes on a 10 Years and 10 Years Scale. *Quat. Res.* 3, pp. 39-55.



- **Shackleton, N.J., Hall, M.A., Line, J., and Cang, S., 1983:** Carbon Isotope Data in Core V19-30 Confirms Reduced Carbon Dioxide of the Ice-Age Atmosphere. *Nature* 306, pp. 319-322.
- **Shouyue, Z., Shusen, Z., Yubin, H., 1985:** $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ Ages of Speleothems in Eastern Mainland of China and Paleoenvironment Studies. *Earth Science*, 10, 1, pp. 65-72.
- **Smith, D.I. and Atkinson, T.C., 1976:** Process, Landforms and Climate in Limestone Regions. In *Geomorphology and Climate*. E. Derbyshire (ed.), London: Wiley, pp. 369-409.
- **Stchouzkoy-Muxart, T., 1972:** Contribution a l' etude de courbes de solubilité de la calcite dans l' eau en presence d' anhydride carbonique. *Ann. de Speleol.* Vol 27, No. 3, pp. 465-478.
- **Stumm, W., and Morgan, J.J., 1981:** Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. Wiley Interscience, New York, 583 pp.
- **Thompson, R., 1973:** Palaeolinnology and Paleomagnetism. *Nature*. Vol. 242, March 16 1973, pp.182-184.
- **Thompson, R. and Oldfield, F., 1986:** Environmental Magnetism, Allen & Unwin, Ltd., Herts, UK.354pp
- **Thrailkill, J., 1968:** Chemical and Hydrological Factors in the Excavation of Limestone Cave. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 79, pp. 19-46.
- **Trombe, F., 1952:** Traite de Speleologie. Payot. Paris, 376 pp.
- **Valdés, J.J., 1974:** Nuevo elemento para el estudio cuantitativo de los carcos obtenidos mediante el análisis dimensional y su utilidad en el cálculo de paleoprocesos geohidrológicos. *Rev. Tec.* Vol. XI, No. 3, pp. 23-32.
- **Verosub, K. and Roberts, A., 1995:** Environmental magnetism. Past, present and future, *Journal of Geophys. Res.*, Vol. 100, No.132,,: 2175-2192.
- **Viñas, N., Graña, A., y Vento, E., 1980:** Hongos de Zinolita. En *Cuevas de Cuba*, Ed. Oriente, Santiago de Cuba, pp. 81-91.
- **Vivas, L., 1992:** El Cuaternario. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Mérida-Venezuela, 266 pp.
- **Wetzel, R.G.W., 1983:** Limnology. 2nd edition, Saunders, Philadelphia, 767 pp.
- **White, B.W., and White L.E., 1970:** Channel Hydraulics of Free-Surface Streams in Caves. *Caves and Karst. Research in Speleology*, Vol. 12, No. 6, Nov/Dec 1970, pp. 41-48.
- **Wigley, T.M.L., 1972:** Analysis of Scallop Patterns by Simulation Under Controlled Condition. *A Discussion: Jour. Geol.* 80, pp. 121-122.
- **Wigley, T.M.L., 1973:** Chemical Evolution of the Systems Calcite-Gypsum-Water. *Can. J. Earth Sci.*, 10, 306.
- **Wigley, T.M.L., and Plummer, L.N., 1976:** Mixing of Carbonate Waters. *Geoch. Cosmochim. Acta*, 40, pp 989-995.
- **William, P.W., 1968:** An Evaluation of the Rate and Distribution of Limestone Solution and Deposition in the River Fergus Basin, Western Ireland. In *Contributions to the Study of Karst*. P.W. William and J.N. Jennings, pp. 1-40. Australian National University, Res. School of Pacific Studies Pub. G5.