

1er Simposio Espeleológico de la FEPUR

V A L O R A N D O E L M U N D O S U B T E R R A N E O

R E S U M E N E S

CHARLA MAGISTRAL

Valores de los recursos Subterráneos

Autor: Félix Aponte.

PRESENTACIONES/PONENCIAS

Antropología Social en la Zona Carsica del Jardín de Aspiro

Autor(a): Yamilé del Carmen Luguera González yluguera@yahoo.es

*Sociedad Espeleológica de Cuba
-Grupo Espeleológico Ernesto Tabío*

En la provincia más occidental y mayor de Cuba, se encuentran los sistemas cavernarios más extensos de la isla.

En esta provincia se mezclan historia y naturaleza con gran armonía, debido a que el agreste y al mismo tiempo, benévolo entorno, que propicio tanto el asentamiento humano desde la etapa aborigen y hasta nuestros días, como el desarrollo de las guerras independentistas en toda la extensión de Pinar del Río.

Toda esta extensión carsica, se ha estudiado arduamente, por diferentes investigadores de variadas ramas, se han realizado estudios históricos, espeleológicos, arqueológicos, botánicos, faunísticos, geográficos y antropológicos entre otros.

El área que comprende el Jardín de Aspiro ha arrojado resultados positivos en casi todas las materias; en sitios aledaños a lo que fuera en el siglo XIX el Jardín Botánico más importante de Cuba, hay una vasta comunidad asentada con algunas personas muy longevas que viven casi desde su nacimiento, exactamente en el lomerío de Aspiro.

Estas personas han presenciado varias etapas y momentos importantes, relacionados con los cambios históricos, sociales y culturales, por los que ha atravesado esta provincia.

Personas como Alberto Calzada, que rebasa los 70 años y vive aquí desde muy niño, nos ha brindado con sus anecdóticas historias y muchos datos importantes, relacionados con la espeleología, como la ubicación de un sin número de cuevas que hoy estudiamos gracias a él, y parte del conocimiento antropológico-social que hoy tenemos del sitio.

En este trabajo se exponen tradiciones, leyendas, creencias, formas de vida y actitudes entre otras con respecto al pensamiento de estas personas con respecto al entorno, las cavernas, la fauna, el trabajo diario y el intercambio socio-cultural en estos aislados lugares de pueblos y ciudades.

Bases para una mayor seguridad en Cuevas con uso de Técnicas Verticales en Puerto Rico

Autor: José Luis Gómez jlgcpr@yahoo.com

Fundación de Investigaciones Espeleológicas del Karso Puertorriqueño (FIEKP)

La espeleología vertical es compleja y muy controversial

Este trabajo se acentúa en una serie de estudio de proyecto que mira el valor de seguridad necesario para la realización de una espeleología vertical más segura. Yendo allá de la instalación de una sencilla cuerda (soga) al vacío.

Investigando en detalles los factores de riesgo que se ponen de manifiesto para el montaje de sistemas de anclajes en entradas de cuevas como en el progreso por su interior. También se realiza una selección razonable de material idóneo y de calidad, el cual puede ser utilizado y estandarizado para facilitar el paralelismo de conocimientos de las personas que utilizan estos materiales para acceder a las cavidades.

Este trabajo ambiciona aportar un margen de seguridad más amplio, fiable y duradero, dado las características físico-químicas de las rocas carbonatadas donde se desarrolla la espeleología kárstica y el análisis de conciencia de pensar en las variables que se puedan suceder no tan solo para el manejo de una persona en una cuerda, sino la posibilidad de utilizar para necesidades más extremas.

Valores y Amenazas al Karso de Puerto Rico

Autor(a): Mildred Guzmán mguzma2@yahoo.com

Fundación de Investigaciones Espeleológicas del Karso Puertorriqueño (FIEKP)

Federación Espeleológica de Puerto Rico (FEPUR)

Puerto Rico es una isla urbana con una densidad poblacional promedio de más de 438 personas/km² [1]. Durante la segunda mitad del Siglo XX la isla tuvo un cambio acelerado en su economía cuando se dio paso a la industrialización. Durante este periodo se abandonó gran parte de la actividad agrícola que causó una deforestación masiva en toda la isla. Las regiones kársticas de Puerto Rico, que cubren aproximadamente un 27.5% de la superficie total de la isla, han podido recuperarse de esta actividad agrícola alcanzando para el 1977-1978 una cubierta forestal de un 49% y haciendo de estos bosques, particularmente en la franja kárstica del norte, la extensión más grande de cubierta forestal continua en la isla [2]. Actualmente las regiones kársticas son importantes para la actividad económica, implicando variados usos del terreno. Además, las áreas kársticas contribuyen al bienestar y la salud de los habitantes de la isla por medio de sus recursos hidrológicos y sus hermosos paisajes que invitan al esparcimiento y serenidad. Sin embargo, el desarrollo desenfrenado y la mala planificación de los usos del terreno amenazan su integridad y hace al karso de Puerto Rico vulnerable a cambios irreversibles.

El presente trabajo busca dar a conocer los valores y usos que se da a las regiones kársticas de Puerto Rico, así como evidenciar datos dispersos de fuentes de contaminación en esta región y la falta de planificación adecuada para un uso sustentable. De esta manera se amplían los conocimientos de la región y se abre la posibilidad para más proyectos de investigación y conservación en el karso.

Morphological and genetic differentiation between populations of freshwater crab *Epilobocera sinuatifrons*, in rivers and caves in Puerto Rico.

Autores: Y. Govender¹² yoganig@yahoo.com , **Nicole Rivera**³ and **Christoph Shubart**³

¹Center for Applied Tropical Ecology and Conservation, University of Puerto Rico, Rio Piedras Campus.

²Sociedad Espeleológica de Puerto Rico, Inc. San Juan

³Department of Biology, Universität Regensburg, Germany

Puerto Rico an island in the north eastern Caribbean has a topography that is 75 % mountainous, a central mountain range of volcanic origin dividing the island along an east west axis. The coast is characterized by uninterrupted band of alluvial plains with limestone hill clusters on the north coast known as “magotes”. The high rainfall in the north causes dissolution of the limestone creating an abundance of caves and karst topography. The south coastal plain is narrower than the northern plain with shorter smaller rivers. As Puerto Rico has a distinct topography we predict genetic differences the north and the south. In this study we examine the phylo-geography of the fresh water crab *Epilobocera sinuatifrons* in rivers and caves in the north and south coast. The endemic Puerto Rican crab, *Epilobocera sinuatifrons* has a freshwater-dependent life-history pattern. In contrast to all other freshwater decapods on the island, *E. sinuatifrons* does not undertake amphidromous migration, and is restricted to purely freshwater habitats and adjacent riparian zones. We captured and measured (demographics) 47 crabs in rivers and 75 crabs in caves in the north and south coast. This study quantifies the morphological and genetic differentiation between populations in rivers and caves of the north and south coast. We found no geographic structure in the population suggesting the species has some capabilities for terrestrial movement as adults. However, we found significant difference in the size of crabs between rivers and caves, with crabs in caves being larger. We also observed many of the females in caves with juveniles in the abdominal pouch suggesting that caves provide a nursery for crabs. The larger size of crabs in caves implies a larger source of good quality food and warrants further investigation to understand the importance of caves for this freshwater crab species.

The Air Temperature and Relative Humidity in Puerto Rican Caves Theme: Subterranean Climate

Autor: Ronald T. Richards ronaldtrichards@gmail.com

Sociedad Espeleológica de Puerto Rico Inc (SEPRI)

School of Science and Technology, Turabo University, Gurabo, Puerto Rico

The air temperature was measured in 31 caves and the relative humidity was measured in 24 caves. Some caves were measured once and others on multiple occasions. All the data was collected on the main island of Puerto Rico and not on offshore islands. Elevation predicts the average air temperature on the surface but it does not predict the air temperature in the caves. Rain is colder than ambient conditions and the coldest caves have the most water in them. On 24 December 2010, Cueva Tunel #1 on the Río Tanamá in Utuado was 19.5 °C and 100 percent humidity making it both the coldest and the most humid cave in Puerto Rico. The warmest caves have hundreds of thousands of bats and their body heat is raising the temperature of the cave. The warmest cave in this data set is Cueva Cucaracha in Aguadilla at 30.1 °C. This is an average of measurements collected in the first 200 m of the cave on various dates. On 3 May 2010 the maximum temperature was 33.6 °C which is near the 35 °C that Armando Rodríguez measured in April 1983. The driest caves have the most ventilation and the driest cave is Cueva Ventana in Arecibo at 81.4 percent. The average air temperature in the 31 caves is 24.3 °C. The average relative humidity is 93.1 percent. The air temperature of Cueva Cucaracha is good news because if the bat population had crashed since 1983 then the temperature would be lower.

Transecto Socio-Ecológico del Karso Norteño

Autores: Waldemar Alcobas walcobas@gmail.com , **Joel Mercado** joel_pr19@hotmail.com

El Transecto Socio-Ecológico del Karso Norteño fue una iniciativa de un grupo de jóvenes puertorriqueños los cuales realizaron una caminata a lo largo de la ruta por donde se propone construir la extensión de la autopista PR-22 entre los municipios de Hatillo y Aguadilla. La actividad, llevada a cabo entre el 2-15 de febrero de 2011, tenía como propósito documentar el acervo ecológico de la región además de recopilar información concerniente a los recursos económicos y sociales (agrícolas, ganaderos, etc.) a verse afectados por dicha construcción. Como producto de este esfuerzo, el grupo trabaja en la preparación de un documental el cual recogerá sus vivencias a lo largo del recorrido y las impresiones capturadas por medio de entrevistas de las personas a verse afectadas por dicha propuesta. Como parte de la presentación, varios miembros del grupo estarán relatando sus experiencias mientras muestran parte del material audiovisual inédito recopilado (fotos, videos de entrevistas, etc.) durante los 14 días de expedición.

Caracterización de Artrópodos habitantes de cuevas de Puerto Rico. Herramientas potenciales para la conservación

Autora: Miriam Toro Rosario mitierrapr@gmail.com

Fundación de Investigaciones Espeleológicas del Karso Puertorriqueño

El propósito principal de esta investigación es reunir datos en una línea de referencia sobre la diversidad de artrópodos y la abundancia en cuatro cuevas que varían en tipo de uso humano (moderado a intenso, criterio basado en la distancia de las poblaciones aledañas y su densidad) y condiciones ambientales inherentes en variación dentro de cada una de ellas. Artrópodos residentes fueron muestreados en cuatro cuevas en la Zona Kársica del Norte durante octubre 2009 (temporada de lluvia) y abril 2010 (temporada seca) utilizando trampas „pitfall“. Dentro de cada cueva los muestreos se realizaron en tres zonas distribuidas a lo largo del gradiente de luz desde la entrada de la cueva (entrada, penumbra y oscuridad), estas se caracterizaron por visibilidad, temperatura y humedad relativa. Las zonas dentro de la cueva difieren en la visibilidad percibida pero las mismas no se correlacionaron con diferencias en temperatura o humedad relativa. En general la temperatura estuvo negativamente correlacionada con la humedad relativa pero esta asociación fue débil. Dos cuevas presentaron valores inusuales significativamente altos de temperatura y conteos artrópodos. La temperatura solo estuvo correlacionada positivamente con la diversidad de artrópodos, sin embargo el rol de la temperatura sobre la abundancia no puede ser descartado debido a que la abundancia y diversidad estuvieron altamente correlacionadas. Más especies fueron capturadas en el censo de abril 2010 que en octubre 2009, estas las tendencias no fueron consistentes con diferencias en temperatura o humedad relativa entre censos. Nuestra matriz de datos contabilizó 5,922 especímenes de suelo en cuevas que incluyen 14 morfoespecies distribuidas entre 17 órdenes. Los órdenes dominantes en todas las cuevas fueron Hemipteros (67%), Acari (48%) e Isopoda. El dominio de los hemipteros en estos sistemas cavernarios partiendo de lo que ya ha sido reportado en cuevas estudiadas alrededor del mundo y en futuros estudios merece especial atención por su rol potencial como indicador de cambios en los sistemas cavernarios de Puerto Rico. La información científica y la conciencia local sobre las especies habitantes de cuevas en Puerto Rico es extremadamente limitada. Las fotografías digitales producto de este trabajo puede ser una importante contribución a los esfuerzos de conservación de la diversidad local en los sistemas subterráneos de Puerto Rico y los trópicos.

Espeleosocorro: Cuando la ayuda no puede esperar

Autor: Efraín Mercado Vázquez emercado@caribe.net

Presidente FEALC

El tiempo de respuesta durante las tareas de espeleosocorro es determinante y puede complicar o facilitar el progreso en la escena del accidente

En la escena de un accidente en una caverna las opciones se reducen mientras pasa el tiempo, complicando o facilitando la posibilidad de supervivencia. Un proceso adecuado de educación sumado a una estrategia coherente y lógica de respuesta garantizará una intervención rápida y eficiente. Para que el éxito del rescate durante un evento de accidente sea una realidad se tendrá en consideración las prácticas sencillas y elementales de comunicación clara y un abasto de recursos, tanto humanos como materiales. Esto creará las bases sólidas y las condiciones idóneas y facilitará la extracción del paciente. El éxito o fracaso de la operación podrá ser medible en términos del tiempo y en función de la complejidad de la caverna donde se encuentra el accidentado. La educación de los espeleólogos y la estandarización de la forma o métodos de respuesta a nivel local y nacional aumentará considerablemente la eficiencia y la seguridad durante las operaciones de rescate.

Nitrogen retention in a tropical cave stream

Autor: Carlos Conde Costas condecostas@yahoo.com

Ph.D. Candidate Biology Department, University of Puerto Rico, Rio Piedras Campus

An assessment of the nitrogen uptake efficiency in a tropical cave stream that receives large inputs of nitrogen-rich bat guano was conducted at the *El Convento* cave stream. Short-term nitrogen additions were selected for conducting uptake length measurements and to determine the magnitude of associated uptake parameters. The premise that nitrogen export is favored over retention was evaluated by a mass balance calculation. The findings indicate that nitrogen uptake in a nutrient-saturated speleotitic system is by far much higher than for headwater surface streams of similar *Order*. The uptake length of the cave reach averaged 165 m, while uptake velocity averaged 4.9 mm/min and the areal uptake rate 15.3 mg -N m²/min. The higher nutrient load that receives the cave stream promotes a greater nitrate uptake compared to similar first and second-order surface streams. The relatively high benthic heterotrophic population in combination with elevated nitrogen concentration is enhancing factors for uptake rates. As expected for a system under near equilibrium or steady state conditions, nitrogen export (82 percent of the total inputs) is favored over retention (18 percent of the total inputs).

Sistema Bocaza, Puerto Rico

Autor: Thomas E. Miller thomase.miller@upr.edu

Ph.D. Dept. of Geology, University of Puerto Rico, Mayagüez

A 6 km network (5 km surveyed) of caves drains to the Río Camuy canyon. This hydrologic system is just one example of the importance of the Cibao Formation as a cave-former on the island: runoff from less-permeable Cibao strata organizes itself into an ephemeral stream that sinks at the ponor of the Cueva Camuy (~255 m asl), just below the contact with the Aguada Formation. Exiting the 150 m cave, the surface channel largely follows the geologic strike 500 m east to sink again at Ponor 2, then flows dominantly north on the geologic dip to emerge in the valley of Barrio Santiago Péndula. A surface channel again leads east on-strike, then north on dip to sink at Ponor 3, from where it initially follows a single large tube on-strike, then downdip for ~1500 m to a sump. It is believed to emerge in the sump at the western end of Boca del Infierno, an 1100-m cave that trends east-west on-strike, with a lower sump at about 90 m asl.

Bocacaz' course within the Cibao is dominated by very low-gradient, easterly strike offsets, and steeper dip passages with occasional waterfalls, and several possible faults. Old fragments such as Cueva Camuy and Cueva Péndula have been incorporated into the modern flow network, which at low flow consists of numerous very small routes that are largely independent of the main conduits. This important cave system is also unfortunately distinguished by the volume of trash swept in from its surface catchment.

Río Encantado y Vientos. Estatus Actual

Autor: José Morales nitrometanol@gmail.com

Organizaciones Envueltas:

Sociedad Espeleológica de Puerto Rico

Sociedad de Estudios Espeleológicos del Norte

Fundación de Investigaciones Espeleológicas del Karso Puertorriqueño

El propósito de esta presentación es informar al público en general y a la comunidad espeleológica y científica de la Isla sobre el estatus actual de los trabajos de exploración y documentación de los sistemas de cuevas de Río Encantado y Vientos. En especial las expediciones de Febrero de 2010 y la de Marzo de 2011. Esta última se encuentra actualmente en su etapa final de ejecución y concluirá exitosamente la primera semana de Abril de 2011. Un equipo selecto de científicos y exploradores locales e internacionales se han dado a la tarea ardua de responder al llamado altruístico de explorar y documentar estos sistemas cavernarios para el bien del pueblo de Puerto Rico. El propósito y objetivo detrás de estos complicados esfuerzos es el de generar y revelar las características y datos desconocidos sin los cuales la conservación y protección de esta región cársica sería incompleta. Estos hallazgos constituyen los descubrimientos de más importancia y relevancia concernientes a estos sistemas cavernarios en los últimos 30 años. Estos hallazgos son instrumentales y esenciales para la ejecución efectiva de un plan de manejo de conservación para esta área única de la fisiografía cársica puertorriqueña. Estos descubrimientos redefinen elegantemente la magnitud e importancia geohidrológica del sistema cavernario más extenso y único en Puerto Rico

VIDEOS

[Las Cuevas de Puerto Rico](http://www.dailymotion.com/FEPUR1996#videoid=xj6kip) <http://www.dailymotion.com/FEPUR1996#videoid=xj6kip>

[Las Cuevas de Puerto Rico a través de los ojos de FIEKP](http://www.dailymotion.com/FEPUR1996#videoid=xj6fdy) <http://www.dailymotion.com/FEPUR1996#videoid=xj6fdy>

AFICHES/POSTER

Estudios Geo- Espeleológicos, Climáticos y de Calidad de Agua de Cueva Perdida. Utuado,

José L. Gómez Cabrera ^{*1,*2,*3}, Vladimir Otero ^{*1,*2}, Mildred Guzmán ^{*1}

^{*1} FEPUR-FIEKP. Fundación de Investigaciones Espeleológicas del Karso Puertorriqueño, SEC-GEET. Grupo Espeleológico Ernesto Tablo. ljocpr@yahoo.com

^{*2} FEPUR-FIEKP. Fundación de Investigaciones Espeleológicas del Karso Puertorriqueño. muzma2@yahoo.com

^{*3} SEC- Grupo Espeleológico Ciro Berríos lisetteponce@infomed.sld.cu

1-Introducción

Cavidad ubicada en la caliza del Norte de Puerto Rico, en una de las áreas de alimentación de la cuenca hidrográfica del río grande de Arecibo, es un área típica de mogotes con algunos pequeños valles y sumideros.

2-Desarrollo del Trabajo

2.1 Descripción físico- geográfica

Cueva Perdida se ubica en el municipio de Utuado, en el barrio de Caguana, entre los afluentes Tanamá y Caguana; en calizas de la formación Lares, Oligoceno Medio a Tardío, que sobreyace a la Formación San Sebastián, conformada esta última por arcillas y arenas, con alguna estratificación débil de caliza arenosa (Lugo et. al., 2004)

3-Comportamiento Termodinámico de la Masa Gaseosa

El promedio del total de lluvia anual en la zona de estudio, en un periodo de 30 años, es de 1784 mm (70.26 pulg.), con una temperatura promedio de 23.8º C (74.8º F). La temperatura máxima promedio en el periodo es de 33.4º C (92.1º F) con una mínima de 13.5º C (56.4º F). Atendiendo al comportamiento de la temperatura en los diferentes puntos de la cueva, se pueden definir 2 Zonas, que coinciden con los grupos de mediciones realizados, la Zona A: con una mayor variabilidad por la influencia del exterior y la Zona B o Zona de mayor estabilidad.

Al calcular los procesos de termo transferencia por convección entre los sistemas gas-gas, gas-líquido y gas-sólido, teniendo en cuenta en este último tanto la roca como el sedimento, se aprecia que, a medida que se avanza en la cueva hacia los sectores más profundos, la masa gaseosa va alcanzando el equilibrio térmico con la roca, mientras que se aleja del equilibrio térmico con el agua (tablas I y II). Este fenómeno se explica por el sentido de circulación de las aguas, que es contrario al del aire en el periodo analizado, llegando a variar hasta en un orden entre dos zonas relativamente cercanas entre sí dentro de la cueva.

4-Calidad del Agua.

Se realizó la toma de muestras en tres lugares diferentes de la cueva, dos en aportes diferentes de agua y la tercera en un punto de mezcla de agua

Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3
Ph = 6.79	Ph = 7.00	Ph = 7.04
TDS = Sólidos Disueltos = 213 mg/l	TDS = Sólidos Disueltos = 235 mg/l	TDS = Sólidos Disueltos = 230 mg/l
Clorox = 0	Clorox = 0	Clorox = 0
Conductividad = 349 µS	Conductividad = 352 µS	Conductividad = 342 µS
Oxígeno = 8.1 mg/l	Oxígeno = 7.6 mg/l	Oxígeno = 7.8 mg/l
Turbidez = 1.16 NTU	Turbidez = 1.43 NTU	Turbidez = 1.46 NTU

Para el Análisis bacteriológico se realizó una disolución seriada en tres pasos: (10⁻¹, 10⁻², 10⁻³), donde a partir del tercer resultado se realizó un análisis por Medio de Cultivo (R²A=Medio de Cultivo para Micro-Organismos del H₂O x 100 ml). Incubación por 5 días a 25°C y filtrado por un filtro de 0.2 µm

Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3
40000 CFU/100ml	32000 CFU/100ml	33000CFU/100ml

5-Conclusiones

Cueva Perdida es una cavidad directa, transcurriente, de caudal mixto, con patrón de caudamiento mixto, y de funcionamiento hidrológico permanente en la mayor parte de su desarrollo espeleométrico. En la actualidad la cueva presenta dos aportes hídricos permanentes en los extremos sur este y suroeste, que favorecen el proceso de mezcla de aguas. Se reconocen al menos 3 periodos húmedos y tres secos, dejando cada uno huellas características en la morfología de la cavidad. En la actualidad se transita por un periodo seco.

En la cueva se manifiesta una circulación en tubo de viento, con una dirección, en las fechas de las mediciones climáticas, desde la entrada hacia las zonas más profundas, es decir, de norte a sur, de forma predominante. Los resultados de la calidad de agua se dan como apropiados para el uso del baño y actividades recreativas, no para consumo humano ya que existe la presencia de cocos positivos (estreptococos)

6-Bibliografía.

Eraso, Adolfo. (1965). Tentative nomogram for cave climate calculations. Separatum Problems of the speleological research. Praga.

Lugo, Ariel E., et. al. (2004). El Karso de Puerto Rico - Un Recurso Vital. Dpto de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Traducción - Informe Técnico General W-65.

Otero, Vladimir. (1993). Apuntes sobre las características termodinámicas de la masa gaseosa de la cueva La Charca. Región Pictográfica de Guara. XVI Jornada Científica del CE Villa Clara. Cuba.

Figura de la cueva, donde se señala, con círculos, los salones de mezcla de agua. Las flechas muestran la ubicación de los aportes actuales de agua a la cueva. Mapa confeccionado por Héctor Correa et. al.

Tabla II. Transferencia de calor por convección entre el aire de las estaciones continuas, y entre los sistemas gas-gas, gas-líquido, gas-sólido, en el caso del tubo exterior - que se relaciona con la Tabla I y II.

Sistemas	Coefficiente	Convección
Aire-Aire	0.00014095	5.64E-05
Aire-Agua	0.00016632	3.33E-05
Aire-Roca	0.00016632	3.33E-05
Aire-suelo	0.00016632	3.33E-05
Total		1.56E-04



BELLHOLES AND BELLBASINS: BIOGENIC (BAT) CAVE FEATURES OF PUERTO RICO AND THE NEOTROPICS

THOMAS E. MILLER AND Maria Figueroa-Mulet

University of Puerto Rico, Department of Geology, Mayagüez, Puerto Rico 00681

[as presented at International Congress of Speleology, Texas, USA, 2009]



ABSTRACT

Data from the survey of 63 individual caves were used to analyze the associations of bellholes and bellbasins in Puerto Rico. These are typical cave features, and in those that have been studied, the bellholes are found in the same cave as the bellbasins. Bellholes are usually symmetrical and circular (generally 60 cm high and 30 cm wide), slightly beaming openings (generally extending 1 to 100 m along the interior walls, bellholes are shallow depressions in floors, frequently located vertically beneath a bellhole where there is a solid substrate such as rock or limestone. They are very rare in caves of Puerto Rico. Bellholes are common in the species *A. jamaicensis* (Jamaican Fruit Bat).

Bellhole caves are common in Puerto Rico. Four of 63 large bellhole caves were selected to illustrate the morphology of bats, bellholes, and various types of cave barriers. Each cave has entrance galleries with hundreds of bellholes and bats, but of caves were almost in adjacent passages with an interior flooded phase, or open galleries between simple, apertures to small for bat entry. In light of distance separating a barrier from the nearest entrance. Caves containing interior ceiling cavities demonstrate a sequence of bellhole development. The number of bellholes and bellbasins suggest they may be an evolutionary series. The number of bellholes and bellbasins suggest they may be an evolutionary series. The number of bellholes and bellbasins suggest they may be an evolutionary series.



INTRODUCTION

Bellholes were first reported from Jamaica in 1953 by V.A. Zans (White, 1962) who referred to them as "ceiling pockets" dissolved by bat urine. "Bell-shaped cavities" in Trinidad in soft coral-reef limestone, were postulated as "...excavated by the claws of generations of roosting bats," whose guano was found beneath each cavity (King-Webster and Kenny, 1958). Wilford (1966) used "bell hole" for features in Sarawak caves. He noted the absence of typical geologic controls (dip, bedding, joints, or lithology) and suggested their formation by turbulent "...eddies in fast flowing water." His photographs show birds in the bellholes, and he made no reference to bats (the contraction bellhole is used in this paper, as per the geomorphic protocol, to reduce confusion with the existing engineering term "bell hole.")

The first cave map (Fig. 1) published with labeled "bellholes" was by Miller (1979) who described them as "...cylindrical ceiling holes half a metre in diameter, punched one or two metres upward into the rock, ubiquitous in most large Belizean caves..."

Following the survey of 61 km of cave in Belize, Guatemala and Mexico (including cave-dives), Miller (1961, 1990, 1996) noted that bellholes were not scalloped, were found in post-formational collapse, sometimes found in speleothem (Fig. 2), and had not been observed in submerged conduits, establishing that they were vadose features.

The map data and observations were summarized as:

"Where there are bellholes, there are almost always bats, and where there are no bats, there are very rarely bellholes."

Fig. 2 Bellholes in flowstone, Belize

The term *bellbasins* Miller (1990, 1996) was introduced to note the common presence (hundreds) of shallow, roughly circular depressions in rock floors, always located vertically beneath a bellhole (Fig. 3). They usually contained bat guano, but no scalloped or non-stones and did not occur in unconsolidated or alluvial strata beneath bellholes.

In 2006, Miller and Figueroa-Mulet reported analysis of the dark streaks and stains in Puerto Rican bellholes/bellbasins that showed the presence of apatite and hydroxyapatite minerals (reaction products of guano with limestone). A mechanism of "social habits" of bats (e.g. *Artibeus jamaicensis* (Jamaican Fruit Bat)) was postulated, that would focus erosion at discrete points on cave ceilings.

OBJECTIVES

Given the numbers, widespread distribution, and the volumes of removed rock bellholes represent in caves, additional tests were undertaken to:

1. distinguish whether bats are opportunistic simply colonizing pre-existing ceiling cavities, and
2. suggest an erosion mechanism for the removal of hard rock in cave ceilings.

METHODS

1. Survey of caves with bats and interior bat barriers: sumps, ducks (low w/airflow), solid small apertures and distance. Bellhole caves are common in Puerto Rico: four of 63 large bellhole caves were selected that each had entrance galleries with hundreds of bellholes and bats (Fig. 4).
2. Counting and measuring of bellholes, sampling of dark streaks. Samples of the dark interior staining and/or rinds of bellholes and bellbasins were collected and prepared for analysis with a Siemens XRD Diffractometer D5000. In Cueva Represa stains of three individual bellholes, and a group were sampled with a wire brush, and the altered rinds of four bellbasins were collected by removing guano and loose material inside, then chipping or brushing the walls for a sample. Two other caves in Puerto Rico (Cueva Pterro, and Cueva Efraim Lopez), and one in Barbados (Cole's Cave) were also sampled. Dimensions of interior depth and width were measured by stretching a nylon measuring tape across the diameter, or for bellholes, raising a measuring tape on a pole inside the dome and/or measuring with a Leica Diato-D3 laser meter ($\pm 1.5\text{mm}$ precision at 30 m).
3. Photographs or direct identification of bat occupants of bellholes. Kunz et al. (1983) had censused the bat *A. jamaicensis* in a portion of Aguas Buenas Cave, Puerto Rico with 287 ceiling "solution cavities", and recorded its harem roosting behavior in 1987.



Fig. 4 Location of five bellhole sites in Puerto Rico

RESULTS

Bellhole/Bat Relations in Varying Cave Barrier Situations
Interior flooded phases. 150 m inside Cueva Murciélago the cave enters water-filled, pre-tide-loop passages. Cave-dived, and mapped for 200 m to 14 m depth, no bellholes or bellbasins were observed.
Open infer-sump galleries. Cueva Escalera has 1500 m of large air-filled conduit (10-15 m high/wide) between sumps. There are no bats, bellholes or bellbasins in the section between sumps.

Small apertures. Cueva Pterro has a long vadose section barred to bats at one end by a small column in a crawlway, and secondly by a small (2-5 cm) airspace above water. The restricted area has no bats or bellholes.
Distance from entrance. 2136 bellholes were counted in the first 260 meters of Cueva Represa. Bellhole density and size decrease with distance, although the passage maintains regular dimensions of 5 m high and 5-6 m wide. By 550 m, 86 were counted in the 30 m prior to a sharp, short reduction in passage height (to one-meter of airspace, 5 m wide); only 11 bellholes were located in the following 45 m, and only 5 more from there to a total distance of 1020 m from the entrance. Sampled densities suggest 3000-4000 total in the cave, of which 82 are in the dim entrance area, and fewer than 300 in view of twilight.



Fig. 3 Common bellhole, bellbasin occurrence

Bellhole and Bellbasin Interiors
Dark brown streaks on rock in all bellhole samples were greatly enriched in phosphorus, and XRD analysis revealed hydroxyapatite and apatite $Ca_5(PO_4)_3OH$ in six (Table 1). These minerals were found on the brown material from the altered limestone rinds of all four of the bellbasins (Table 1; Fig. 6). Hill and Fort (1997, p.169) comment that "hydroxyapatite is probably the most common phosphate mineral in caves because it is the direct reaction product of bat guano and limestone." This reaction is $3H_2PO_4 + 5CaCO_3 \rightarrow Ca_5(PO_4)_3OH + 5CO_2 + 4H_2O$. Only calcite was found in samples from unaltered ceiling surfaces (Figueroa-Mulet, 2006).

Sample	Element	Concentration
Bellhole 1	Ca	1.23
	P	0.15
	O	0.45
	Si	0.02
	Al	0.01
	Fe	0.01
Bellhole 2	Ca	1.18
	P	0.14
	O	0.44
	Si	0.02
	Al	0.01
	Fe	0.01
Bellhole 3	Ca	1.15
	P	0.13
	O	0.43
	Si	0.02
	Al	0.01
	Fe	0.01
Bellhole 4	Ca	1.12
	P	0.12
	O	0.42
	Si	0.02
	Al	0.01
	Fe	0.01

Table 1 XRD results, bellholes

Artibeus jamaicensis in Bellholes (photo at upper right)
The only species yet identified by the authors in bellholes in Puerto Rico is *A. jamaicensis*. It is one of only 13 bat species reported from Puerto Rico and its large "nose-leaf" size, roosting habits, color, and pointed ears make it relatively easy for non-biologists to identify. Finally, *A. jamaicensis* is the only bat that overlaps all locations where Neotropical bellholes are found, and is the only bat yet identified in published photographs of bellholes.

DISCUSSION AND SUMMARY

Bellholes must start on pre-existing cave surfaces, guided initially by those relief shapes, and then follow a standard sequence of development. Given the demonstrated association with bats, the widespread examples of considerable corrosion of cave floors and walls by bat feces, and the evidence of alteration of soluble bedrock in bellholes by reaction with them, an obvious starting point is to link bat excreta with behavior that would focus and maintain corrosion of bats for a long period in one location.

Harem-olds? It is hypothesized that the social habits of *A. jamaicensis* both transfer feces, and focus corrosion. The clustering of bats into harems of small size provides a limiting focus for bellhole development, while excretion transfers feces and urine to sides of the bellholes. *A. jamaicensis* climbs upward into its roost, facing the rock. This (and grooming behavior?) could transport feces via air and claws to higher walls and ceiling, and producing altered limestone later removed by claws and physical contact of these same activities. Gravidly would control both the removal of excreta and limit the manner in which the bat exits and enters the dome, to create discrete upward-growing cavities.

Growth And Age. In Puerto Rico, bellholes occur in a large Atlantic littoral cave (Cueva del Indio) formed in calcarenite/aeolites that is an undetermined age younger than an underlying radiometrically-dated marine terrace of 120-130 ka (Taggart, 1992). Genoways et al. (2005:85) state that *A. jamaicensis* only arrived in Jamaica from Central America 12,000 years ago, approximate to arrival in Puerto Rico. If the hypothesized association of bellholes with *A. jamaicensis* is correct, it implies that bellholes could be very recent. Holocene features of the cave environment of the Caribbean

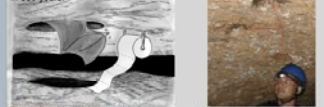


Fig. 7 Bat / bellhole hypothesis; by S. Sweeney (from Miller, 1990)

Bellholes are vadose features, clearly associated with bats. They are common, frequent features of Neotropical caves, dominantly in dark zones. Bellhole development is hypothesized as chemical alteration of carbonate bedrock by bat feces and urine, and then physical removal by claws and bodily contact. The uniformity of size as they develop from initial ceiling saucers to mature bellholes is probably constrained by social habits limiting roosting *A. jamaicensis* to harems of generally fewer than 20 individuals. Bellholes possibly develop in fewer than 900 years, which could make them significant erosional factors of ceilings in some caves, where they represent nearly 5 linear cm of roof removal for large areas. Bellholes may also be geologically recent features, due to the migration of *A. jamaicensis* throughout the Caribbean within the past 12,000 years.

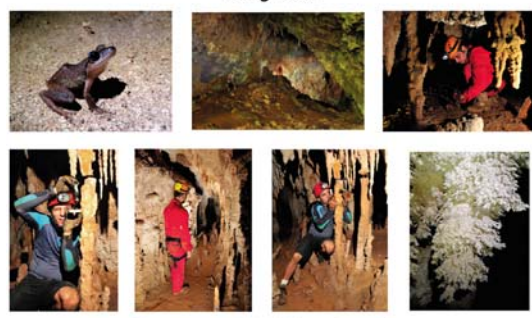
LITERATURE CITED
Miller, T.E. 1961. The caves of Belize, Guatemala and Mexico. *Geological Survey of Puerto Rico Bulletin* 100, 1-100.
Miller, T.E. 1979. The caves of Belize, Guatemala and Mexico. *Geological Survey of Puerto Rico Bulletin* 100, 1-100.
Miller, T.E. 1990. The caves of Belize, Guatemala and Mexico. *Geological Survey of Puerto Rico Bulletin* 100, 1-100.
Miller, T.E. 1996. The caves of Belize, Guatemala and Mexico. *Geological Survey of Puerto Rico Bulletin* 100, 1-100.

ACKNOWLEDGEMENTS
Our thanks go to Diana Hernandez, Melissa Picon, Nilsa Lühring, Carlos Arizaga and Jan Paul Ziegler for recording and counting bellholes, and Miguel Santiago of University of Puerto Rico for XRD analysis.

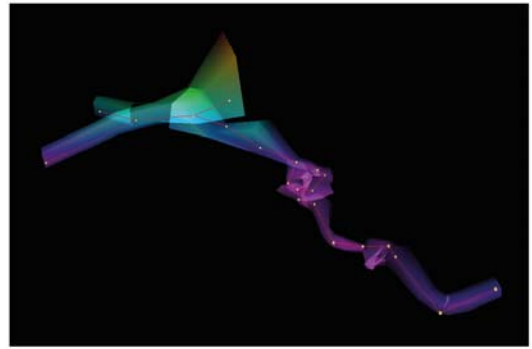
MAPAS

Cueva Núm. 58 - 59 Localización: Sumidero la Luna, Sector Pastales, Utuado, Puerto Rico

Fotografías



Representación Tridimensional



Corte de Planta, Seccional y Longitudinal

Coordenadas: 18° 19' 9.60" N 66° 45' 24.70" O
Altitud: 320 m
Declinación: -0.49
Total de Desnivel: -11.18 m
Desarrollo de la Cueva: 133.29 m
Menos Topografiados: 166 m

Brújula y Clinómetro: Carlos Colón y Carmelo Agosto
Corte Longitudinal y Seccional: Angeli Mejías
Corte de Planta: José Luis Gómez y José Días
Libreta: Beverly Robledo
Digitalización: Manuel J. Jiménez
Fotografías: Wanda Vega y José Luis Gómez

