

## Ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela: Inventario, situación y conservación.

Underground rivers and karst aquifers in Venezuela: Stock, status and conservation.



Carlos Galán<sup>1,2,3</sup> & Francisco F. Herrera<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Sociedad Venezolana de Espeleología.

<sup>2</sup> Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.

<sup>3</sup> Sociedad de Ciencias Aranzadi.

**Nota Editorial:** El presente trabajo es una colaboración para un Capítulo del libro: "Ríos en Riesgo de Venezuela". Douglas Rodríguez Olarte (Ed.). El libro será editado por los Museos de Ciencias Naturales de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) y de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ), siendo a la vez un compendio interinstitucional de las ponencias que se presentarán en el Simposio sobre "Ríos en Riesgo de Venezuela, situación actual y conservación", el cual se efectuará en Noviembre del 2015 durante el XI Congreso Venezolano de Ecología, en Porlamar. Isla de Margarita. Se incluye la versión preliminar.

# Ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela: Inventario, situación y conservación.

Underground rivers and karst aquifers in Venezuela: Stock, status and conservation.

Carlos Galán<sup>1,2,3</sup> & Francisco F. Herrera<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Sociedad Venezolana de Espeleología. Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela.

<sup>2</sup> Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.

<sup>3</sup> Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail 1: cegalham@yahoo.es

E-mail 2: fherrera@gmail.com

Agosto 2015.

## RESUMEN

El trabajo presenta una visión actualizada de temas poco conocidos, ya que no se refiere a la red hidrográfica de superficie sino a las aguas subterráneas contenidas en acuíferos (formaciones geológicas permeables) en zonas kársticas de Venezuela. Muchas de ellas ocupan posiciones de cabecera de cuenca y son altamente vulnerables a la contaminación. Poseen ecosistemas con especies cavernícolas singulares y únicas en el mundo, incluyendo formas troglobias pertenecientes a linajes de antiguo origen, de gran interés zoológico, paleogeográfico y evolutivo. Muchas especies son endémicas de los distintos karsts, con ejemplos de taxa que constituyen los únicos representantes vivientes de sus grupos para Sudamérica, siendo por lo tanto notable su contribución a la biodiversidad global del planeta. La salud de estos acuíferos es a su vez importante por su creciente aporte para el suministro de agua para el agro y las poblaciones de su entorno.

Se describen de manera sistemática los distintos tipos de karst y su distribución en el territorio, señalando los sistemas de cavernas que albergan los ríos subterráneos y acuíferos kársticos más caudalosos. A su vez se presenta una breve sinopsis de ecología subterránea, incluyendo datos y referencias sobre las especies cavernícolas más relevantes. El medio físico posee también rasgos geológicos e hidrológicos sobresalientes porque se desarrolla sobre extensos volúmenes de roca en el subsuelo. En las cavernas, por la reactividad de las aguas, se forman galerías y vacíos por disolución, pero también se deposita una gran diversidad de minerales secundarios en forma de espeleotemas, de vistosos diseños y variadas composiciones mineralógicas, algunos de los cuales resultaron nuevos para la Ciencia.

Además del interés científico biológico y geológico que encierran las cavernas y ríos subterráneos de Venezuela, las aguas subterráneas constituyen recursos hídricos de gran importancia para el agro, la industria y el consumo humano, particularmente en zonas áridas, de marcada estacionalidad o donde los ríos de superficie están contaminados. Por ello trataremos aspectos relacionados con el estado actual, calidad de las aguas y conservación de los recursos hídricos subterráneos. El trabajo resume el conocimiento que actualmente poseemos sobre los ríos subterráneos de Venezuela.

**Palabras clave:** Karst, cuevas, ríos subterráneos, hidrogeología, biología subterránea.

## ABSTRACT

The paper presents an updated unfamiliar vision and topics, as it does not refer to the hydrographic network of surface but groundwater contained in aquifers (permeable geological formations) in karst areas of Venezuela. Many of them occupy positions of head of basin and are highly vulnerable to pollution. They have singular ecosystems with cave species unique in the world, including troglobites forms belonging to lineages of ancient origin, of great zoological, paleogeographic and evolving interest. Many species are endemic to the various karsts, with examples of taxa that are the only living representatives of their groups for South America, being therefore significant contribution to global biodiversity. The health of these aquifers is in turn very important for its growing contribution to the water supply for agriculture and surrounding towns.

The different types of karst and its distribution in the territory are systematically described, underpinning the cavern systems which possess the underground rivers and karst aquifers of higher flow rates. In turn a brief synopsis of groundwater ecology is presented,

including data and references on the most important cave species. The physical environment also has outstanding geological and hydrological features because it has been developed over a large volume of rock underground. In the caves, by the reactivity of the waters, galleries and large aerial-volumes are formed, and a wide variety of secondary minerals are also deposited as speleothems, of colourful designs and varied mineralogical compositions, some of which were new records to Science.

In addition to the biological and geological scientific interest that enclose the caves and underground rivers of Venezuela, groundwater constitutes very important water resources for agriculture, industry and human consumption, particularly in arid or marked seasonality regions or where surface rivers are polluted. Therefore, we discuss issues related to the current status, water quality and conservation of groundwater resources. The paper summarizes the current knowledge that we have about the underground rivers of Venezuela.

**Key words:** Karst, caves, underground rivers, hydrogeology, subterranean biology.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas representan una significativa fracción de las aguas dulces continentales. Haciendo excepción de los importantes volúmenes retenidos como hielo en las zonas polares y glaciares de montaña, podríamos decir que en el promedio global el volumen almacenado y circulante de aguas subterráneas es 30 veces mayor que el correspondiente a los ríos superficiales. El agua subterránea es un recurso importante y de este se abastece actualmente una tercera parte de la población mundial. Las masas más extensas de los acuíferos subterráneos pueden alcanzar millones de km<sup>2</sup> (como p.ej. el Acuífero Guaraní -1,7 millones de km<sup>2</sup>- o el recientemente descubierto Río Hamza o Acuífero Amazonas -4 millones de km<sup>2</sup>-, cuyas reservas respectivas oscilan entre 45 mil y más de 86 mil km<sup>3</sup>, con espesores que pueden extenderse a 2.000 m de profundidad en el subsuelo).

Un acuífero es una formación geológica permeable que permite la circulación y almacenamiento del agua subterránea por sus poros y grietas. Su estructura, características y funcionamiento hidrogeológico dependen de la litología de los sedimentos y sustratos de roca involucrados. Habitualmente se distingue en hidrogeología entre TPP (Terrenos permeables en pequeño, a través de intersticios y poros del sustrato rocoso o sedimentos sin consolidar, que contienen el agua como una esponja) y TPG (Terrenos permeables en grande, que se presentan en rocas solubles, donde las aguas han disuelto la roca y son almacenadas y circulan a través de fisuras y conductos mayores, formando redes de galerías, cavernas y ríos subterráneos). En Venezuela las rocas solubles susceptibles de haber experimentado procesos de karstificación (con formación de cavernas, acuíferos y ríos subterráneos) comprenden básicamente los afloramientos de caliza en la región Norte del país y los de cuarcita (y rocas silíceas relacionadas) que forman los tepuys de la Guayana Venezolana (Urbani, 1986; Galán, 1991c).

La parte central de Venezuela (región de Los Llanos) y otras llanuras y valles aluviales poseen acuíferos por porosidad (TPP) donde la circulación de las aguas es lenta. En la mayor parte de los Andes y Cordillera de la Costa predominan rocas metamórficas y los acuíferos de tipo TPP se desarrollan localmente a través de intersticios, fisuras y poros en su parte más superficial, generando pequeños manantiales locales.

En este trabajo nos referimos a TPG o acuíferos kársticos, formados sobre amplios volúmenes de rocas compactas y solubles (fundamentalmente calizas y cuarcitas), en la que la propia acción de las aguas ha disuelto la roca formando redes tridimensionales de vacíos y conductos a todas las escalas imaginables. Se trata de cuencas hidrogeológicas, donde la red de drenaje subterráneo se organiza de un modo heterogéneo pero jerarquizado. Las aguas de infiltración, procedentes básicamente de las precipitaciones sobre la superficie de cuenca, organizan en sentido horizontal y vertical un auténtico sistema de drenaje subterráneo, que concentra progresivamente la circulación para salir a través de una (o unas pocas) surgencias en la periferia del macizo, generalmente en el punto más bajo del terreno permeable en contacto con los terrenos impermeables basales que limitan el acuífero en profundidad. En el karst, a tenor de su estructura y litología de los materiales, normalmente hay una zona vadosa (o zona de aireación), por encima del nivel piezométrico, y una zona freática (zona saturada o inundada) por debajo del mismo. Según su funcionalidad y dinámica de las aguas se distingue en el sistema una serie de drenes (jerarquizados u organizados como en el drenaje de superficie) y sistemas anexos, que pueden comprender amplias salas inundadas o vacíos subterráneos, así como la fisuración ampliada de la roca. Los sistemas anexos otorgan al karst una gran capacidad de almacenamiento aunque la circulación de las aguas en ellos sea lenta. Inversamente, en los drenes la circulación es rápida mientras que la capacidad de almacenamiento es pequeña. Según el estado de carga del acuífero kárstico, el nivel piezométrico fluctúa. En aguas altas (cuando el ingreso de las precipitaciones como agua de infiltración supera a las salidas en las surgencias) el nivel asciende e inunda redes de galerías en zona vadosa; el estado de carga moviliza entonces con facilidad las reservas almacenadas en los sistemas anexos. En aguas bajas (sequía hidrológica) los caudales disminuyen en la zona vadosa y las surgencias alcanzan sus niveles más bajos, aún cuando sigan existiendo grandes recursos almacenados en la zona

saturada. Se podría decir que la zona saturada en su conjunto se comporta como una zona de represa o embalse de importantes volúmenes de agua, susceptible de ser movilizada según las condiciones de carga hidráulica a lo largo del ciclo anual (o de bombeo, en caso de explotación). De igual modo, los sistemas anexos recargados en zona vadosa drenarán lentamente hacia los conductos principales de circulación (drenes) cuando las aguas bajen. Existe por tanto una gran diversidad de tipos de karst (según su estructura y funcionamiento) y una gran diversidad de situaciones en el comportamiento del drenaje subterráneo.

Cada karst en concreto tiene así características que le son propias. Aquí sólo queremos destacar que el propio concepto de “río subterráneo” es sólo un símil, con respecto a los “ríos” de superficie. Lo que habitualmente llamamos ríos subterráneos son sólo una parte del sistema de drenaje, correspondiente a los ríos que vemos en grandes cavernas o galerías, que en realidad son drenes en zona vadosa, generalmente en su parte basal, próxima al contacto con la zona saturada. Pero puede haber importantes ríos subterráneos totalmente incluidos en la zona inundada, como lo demuestran las exploraciones por buceo, y que pueden extenderse a gran desnivel por debajo de la zona de surgencia. Igualmente pueden existir grandes volúmenes inundados en sistemas anexos, que desaguan hacia los drenes en condiciones de carga adecuadas, constituyendo ríos o afluentes menos visibles. Obviamente, del conjunto del sistema de drenaje subterráneo, sólo es accesible a la exploración directa por el ser humano, una parte pequeña, correspondiente a cavernas en zona vadosa, o mediante buceo en zona inundada. El uso de técnicas de estudio indirectas permite completar el conocimiento hidrogeológico del conjunto del karst.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Los datos presentados reúnen información obtenida a lo largo de 62 años de trabajos y exploraciones subterráneas en el territorio nacional por parte de integrantes de la SVE (Sociedad Venezolana de Espeleología). Aunque se han realizado algunos estudios hidrogeológicos puntuales (karst de Mata de Mango, sistema del Samán, sierra de San Luis, sistema Aonda, sistema Roraima Sur, sistema Mara, karst de Mesa Turik, etc.) puede decirse que no existen estudios hidrológicos detallados de los distintos karsts, aunque sí se aportan interesantes caracterizaciones sobre la organización del drenaje subterráneo en cavernas individuales o en sistemas de cavernas interrelacionadas. Igualmente contamos con la localización, descripción y topografía completas de más de 700 cavernas.

A diferencia de los ríos de superficie, lo conocido sobre el karst y las cavernas de Venezuela es sólo una parte de lo que aún queda por conocer, ya que cada año se producen nuevas exploraciones y descubrimientos. Es precisamente el carácter subterráneo, oculto, de las cavernas, y la necesidad de su exploración, lo que determina este conocimiento progresivo.

Las cavernas (y los ríos subterráneos) no pueden conocerse mediante el empleo de sensores remotos. El tipo de terreno geológico y la localización de surgencias pueden poner sobre la pista de la importancia de un karst, pero sólo la ubicación de bocas de cuevas y la exploración y topografía de sus galerías subterráneas nos revelará sus principales características. Las pruebas de trazado, medidas de caudal, hidroquímica de las aguas y comportamiento de las surgencias agregan en adición interesante información sobre las direcciones de drenaje, reservas y funcionalidad del conjunto. En el transcurso de salidas y trabajos espeleológicos se ha obtenido a su vez una importante información sobre los ecosistemas subterráneos y las especies cavernícolas que en ellos habitan, así como sobre otros rasgos geológicos, climáticos y de mineralogía de las espeleotemas que se encuentran en ellos. En muchos de estos estudios han participado especialistas (nacionales e internacionales) que estudiaron las muestras y materiales colectados, aún cuando no hayan participado en los trabajos de campo. Todo ello ha permitido reunir una copiosa información, cuyo procesamiento es desigual.

Los textos presentados suponen así un trabajo de recopilación, revisión y síntesis de datos publicados e inéditos, que incorporan nuestro conocimiento directo de simas y cuevas, así como datos relacionados de biología y karstología.

## **RESULTADOS**

En conjunto, las regiones de Venezuela que presentan acuíferos kársticos comprenden cerca del 20% del territorio, pero están subdivididos en numerosas unidades hidrogeológicas independientes.

Se puede decir que prácticamente todos los afloramientos de calizas compactas están karstificados y poseen sistemas de cuevas, pero existen grandes extensiones que aún no han sido exploradas. En muchos casos se trata de formaciones compuestas, donde las calizas alternan con calizas margosas, lutitas u otros materiales de baja permeabilidad, dando lugar a karsts complejos. Generalmente en los karsts en caliza las entradas de agua corresponden a la captura casi total de las precipitaciones, que se infiltran en el subsuelo, faltando una red hidrográfica de superficie, pero existiendo una red de drenaje subterráneo que desagua de modo concentrado a través de unas pocas surgencias.

Pero en adición tenemos casos en que el karst captura, no sólo las precipitaciones locales, sino el drenaje de superficie de terrenos impermeables situados en posiciones topográficas más altas. Son frecuentes los casos de perforaciones hidrogeológicas, donde un río de superficie se infiltra bajo tierra al alcanzar la caliza, y atraviesa el afloramiento, incrementándose el caudal y mezclándose con las aguas subterráneas autóctonas procedentes de la infiltración dispersa sobre la caliza. El karst se comporta en este caso como una cuenca hidrogeológica, conteniendo aguas de distinta procedencia.

En las cuarcitas del Grupo Roraima del sur del país, si bien existen casos notables de karstificación y formación de cavernas, generalmente estos se localizan en zonas de borde o donde concurren una serie de condiciones litológicas y estructurales favorables para la formación del karst. Pero en los tepuys existen grandes extensiones sin karstificar, que poseen una hidrografía de superficie, a veces encajada entre sistemas de torres, grietas y cañones, pero sin formar cavidades subterráneas. Aunque sobre este tipo de rocas puede actuar la disolución, ésta puede limitarse a la superficie, faltando en profundidad y sin constituir por tanto un karst. Debido a las dificultades de acceso, las partes exploradas en las cuarcitas de las cumbres de los tepuys, probablemente representan una fracción ínfima de la superficie total de los afloramientos, quedando un considerable potencial para progresivos descubrimientos de sistemas de cavernas y ríos subterráneos.

Los karsts más significativos en el Norte del País se distribuyen por los estados: (1) Zulia: cuencas de los ríos Guasare y Socuy, Cerro Pintado, Mesa Turik, regiones de río de Oro - río Aricuaizá y Machiques, todas ellas incluidas en la Sierra de Perijá. (2) Falcón: Sierra de San Luis, Sierra de Churuguara, Cerro Misión, karst costero de Mayorquines. (3) Miranda: pequeños afloramientos de calizas y mármoles en la región de Birongo, Capaya, Salmerón y alrededores de Caracas. (4) Monagas: importantes karsts en la región de Caripe - Caripito (El Guácharo, Mata de Mango, El Culta, El Guamo) y Mundo Nuevo. (5) Afloramientos menores dispersos en Los Andes (estados Táchira, Mérida, Trujillo y Lara), Anzoátegui (Guanta, Turimiquire, Bergantín) y Sucre (cabeceras del Neverí, Cumanacoa), más algunos karsts costeros e insulares. (6) En el Sur del País los karsts en cuarcita se presentan en numerosos tepuys, principalmente en la cuenca del Caroní (macizos de Auyantepuy, Chimantá, Guaiquinima, cadena Roraima - Kukenán - Yuruaní - Tramen, y Aguapira -en el alto Paragua-), meseta de Sarisariñama (en el alto Caura) y tepuy Autana. Muchas de estas regiones albergan acuíferos y grandes cavernas con ríos subterráneos caudalosos. Pasaremos a continuación revista a los casos más sobresalientes, cuyo conocimiento ha sido obtenido a través de prospecciones, exploraciones subterráneas y trabajos en diversos campos de la Espeleología científica.

### **Estado Zulia**

Los principales karsts se localizan en la Sierra de Perijá, en su mayor parte en afloramientos de caliza del Grupo Cogollo (de edad Cretácico temprano, Aptiense-Albiense: Formaciones Apón, Lisure y Maraca) y minoritariamente en caliza de la Formación La Luna (de edad Cretácico tardío, Turoniense) (Rodríguez & Galán, 2008). La mitad Norte de la Sierra posee grandes extensiones de caliza, que han sido prospectadas de modo puntual y por lo tanto poseen un gran potencial para futuros hallazgos de ríos subterráneos caudalosos.

En la parte N, región de Caño Grande, se desarrolla un importante acuífero en calizas de la Formación La Luna. El colector principal ha sido hallado en el sistema de las cuevas Mara. El agua de los cursos superiores de los caños Pan Grande y Río Frío se infiltra al alcanzar las calizas, a lo que se suma la infiltración de las precipitaciones sobre la superficie del afloramiento. El río subterráneo colector recorre 4,4 km de galerías en las cuevas Mara 1 y Mara 2, para luego emerger por una surgencia en la parte más baja del afloramiento. El río en Mara 2 resulta espectacular porque hay que avanzar a nado varios kilómetros por una galería amplia y sin orillas. El caudal mínimo en sequía es de 800 l/s, estimándose un caudal medio anual del orden de 5 m<sup>3</sup>/s, con puntas de crecida que bien podrían superar los 40 m<sup>3</sup>/s. Estas cavidades poseen además poblaciones de guácharos y especies cavernícolas troglobias únicas en el mundo, siendo un sector amenazado por la deforestación y los proyectos de explotación carbonífera.

En esta parte N de la cuenca del Guasare hay otras importantes cavidades kilométricas en calizas del Grupo Cogollo, como la Cueva de Las Brisas y la Cueva de Los Perdidos, con ríos subterráneos y acuíferos kársticos de interés. Todo el flanco N de la cuenca, frente a la Yolanda (entre el río y la fila maestra limítrofe con Colombia), está acribillado de depresiones kársticas y posee muchas otras cavidades, de las cuales han sido descritas especies troglobias nuevas para la Ciencia.

Pero tal vez el accidente geográfico más interesante se presenta en el curso medio del Guasare. El río de superficie desaparece en "El Consumidero", dejando el cauce seco, y reaparece a 7 km de distancia en "La Resurgencia", descendiendo un desnivel de 40 m. En época de lluvias circula agua en este tramo también en superficie, pero en sequía sólo subterráneamente. El caudal medio del Guasare subterráneo, dada su extensa cuenca de drenaje, es de varias decenas de m<sup>3</sup>/s. Un tramo del colector, de 2 km de largo, es apreciable en la Cueva F. Zea, cercana a la surgencia. Pero sobre ambas orillas del cauce seco existen otras importantes cavidades (Cueva de Los

Verdes, La Guacamaya, etc.) cuyas galerías quedan completamente inundadas en aguas altas. El acuífero recibe además los aportes laterales de sus extensos flancos calcáreos, constituyendo probablemente el curso subterráneo más caudaloso de Venezuela.

Aguas arriba de esta región, en el Alto Guasare, prosiguen los afloramientos del Grupo Cogollo, con gran extensión y acibillados de dolinas y depresiones kársticas, sobre un dispositivo monoclinial muy favorable para la formación de grandes cavidades. Las fotos aéreas muestran que los ríos que nacen en la fila maestra de Perijá se infiltran enseguida al alcanzar las calizas y circulan en dirección al valle, que actúa como nivel de base local, salvando importantes desniveles y distancias. Probablemente este karst esté compuesto por todo un conjunto de ríos subterráneos en paralelo, cuya conectividad hídrica puede ser compleja. Algunas depresiones parecen albergar también sumideros locales, con probables cuevas aún inexploradas.

En paralelo al Guasare se encuentra el río Socuy, que en realidad es un afluente del primero al cual se une en su curso bajo. Ambos ríos siguen la directriz estructural longitudinal de la sierra (de azimut N35°E y declive generalizado hacia el N) y sus cauces están instalados sobre dos importantes ejes sinclinales dispuestos en paralelo. En ambos casos las calizas del Grupo Cogollo ocupan importantes extensiones. Y en el caso del Socuy las aguas subterráneas resultan concentradas en un único acuífero, espectacular por la magnitud de sus cavidades: el Sistema del Samán. El sistema está compuesto por todo un conjunto de grandes cavidades, siendo la mayor de ellas la Cueva del Samán, actualmente la mayor de Venezuela, con 18,2 km de galerías y -176 m de desnivel.

De modo parecido al accidente del Guasare, el curso alto del Socuy desaparece en un sumidero y reaparece en una surgencia inferior. El trayecto subterráneo en línea recta es de 12 km y el desnivel, mucho más importante, de -350 m. Pero además el propio cauce seco carece de continuidad, ya que se ve interrumpido por una elevación topográfica, la cual atraviesa la Cueva del Samán entre sus bocas Sur y Norte. Tramos kilométricos del colector de este río subterráneo se encuentran en una serie de cavidades: La Carlótica, Los Laureles, La Cristalina, El Samán, Cañón Norte 1. El curso subterráneo va incrementando su caudal por aportes laterales de sus flancos calcáreos, desde 0,5 m<sup>3</sup>/s en el tramo superior a 1,2 m<sup>3</sup>/s en la surgencia terminal (caudal mínimo en sequía). Sobre los flancos hay también grandes cavidades con ríos subterráneos afluentes al colector, como las cuevas de La Retirada, Sumidero La Retirada, Sumidero Los Encantos, Sumidero Los Cantos, Cueva de Santa Elena, Cueva del cañón de Sorotamia, Cueva-sumidero Las Piscinas, varias de ellas kilométricas. La cuenca total del acuífero es de 160 km<sup>2</sup> y posee una importante zona saturada. Se estima que drena un módulo medio anual de 8 m<sup>3</sup>/s, con puntas de crecida de 100 a 200 m<sup>3</sup>/s (Galán, 1991b). En las galerías de la Cueva del Samán, exploradas en aguas bajas, si bien se encuentran algunos drenes con importantes circulaciones, en la mayoría de los casos muchas simas internas alcanzan el nivel piezométrico de la zona inundada. Dado el dispositivo estructural, el acuífero posee grandes reservas. En época de lluvias, cuando asciende el nivel piezométrico, las aguas circulan también por superficie y atraviesan las galerías principales de la Cueva del Samán con caudales impresionantes, mayores de 100 m<sup>3</sup>/s. La boca Norte de la cueva, de 80 m de diámetro, prosigue en un espectacular y profundo cañón, con numerosas cavidades a sus orillas. Este espectacular sistema, que alberga algunas de las mayores cuevas de Venezuela, resulta notable también por la elevada diversidad de su fauna cavernícola, y se encuentra seriamente amenazado tanto por la deforestación como por su proximidad a zonas de explotación carbonífera, que podrían destruir lo que hoy tal vez sea el mayor sistema de cavidades subterráneas conocido en el país.

En la parte más alta de la cuenca del Guasare, sobre la Fila Maestra, al Norte del pico Tetarí (3.660 m snm, máxima elevación de la sierra) se encuentran dos importantes karsts tabulares, las mesetas de Cerro Pintado (a 3.240 m snm) y Turik (a 2.680 m snm), la primera de ellas sobre la Fila Maestra (divisoria de aguas con Colombia) y la segunda en una estribación al SE de la misma, que separa las cuencas de los ríos Guasare, Palmar y Apón. En Cerro Pintado han sido exploradas ocho simas y una cueva, cuyo desarrollo se ve interrumpido por intercalaciones de carácter arenoso de la Formación Lisure. Las aguas percolan toda la serie pero las galerías se ven interrumpidas, habiéndose alcanzado un desnivel máximo de -80 m. Este karst también es notable por sus rasgos glacio-kársticos, especies troglobias y restos fósiles de vertebrados (Urbani et al, 2006; Herrera et al., 2006).

El karst de Mesa Turik alberga un conjunto de mega-depresiones interconectadas por sistemas de cuevas gigantes (conductos de amplios diámetros: hasta 60 m en la Cueva de Los Guácharos y en el sector la T de la Cueva del Río, que une dos depresiones). El mayor desnivel es alcanzado en la Sima Turik 2, de -173 m. Como en el caso de Cerro Pintado, las aguas subterráneas atraviesan las calizas de la Formación Maraca pero tienen dificultades para atravesar las calizas arenosas y areniscas de la Fm. Lisure, existiendo surgencias a varios niveles. En Turik han sido exploradas 14 cavidades que suman 5,8 km de galerías. Los recursos hídricos son importantes, dada las altas precipitaciones, disponiéndose de módulos de infiltración eficaz medios de 100 l/s.km<sup>2</sup>, con una superficie de cuenca de 90 km<sup>2</sup>. El caudal de sequía del río subterráneo que atraviesa el sistema principal de cuevas es de 220 l/s, pero experimenta una rápida respuesta a las precipitaciones: tras un período lluvioso de 24 horas (15 mm de lluvia, en sequía) el caudal ascendió a 1,2 m<sup>3</sup>/s. Por lo que puede estimarse que durante las crecidas en época de lluvias se alcanza con facilidad los 6 m<sup>3</sup>/s. Otro aspecto curioso es que las aguas de este karst tienen un color té similar al de las aguas de los tepuys de Guayana, fuerte acidez (pH de hasta 5,5),

valores de conductividad de entre 10 y 250 uS/cm, y un alto poder agresivo para la caliza debido a las sustancias húmicas en solución, por lo que no es de extrañar los grandes volúmenes disueltos. Mesa Turik es una zona de alta diversidad en Perijá y dado que permanecía inexplorada, por su difícil acceso, la expedición de la SVE permitió describir más de 20 especies nuevas para la Ciencia, de vertebrados e invertebrados, tanto cavernícolas como epígeos, reportando en adición la presencia de colonias de guácharos y de una importante población de oso frontino. Así mismo se hallaron en las cuevas yacimientos con restos óseos humanos fósiles de cientos a varios miles de años de antigüedad.

Esta sección de la sierra es la fuente de agua para las represas de Manuelote (río Socuy), Tulé (río Cachirí) y Tres Ríos, también conocida como El Diluvio (confluencia de los ríos Lajas, Palmar y Caño e Pescado) que suministran el 93% del recurso demandado por la ciudad de Maracaibo, y el sistema agroindustrial periurbano.

La mitad Sur de Perijá ha sido menos explorada y los mapas geológicos muestran afloramientos de caliza mucho más reducidos en extensión. Cinco cavidades han sido topografiadas: la Cueva de Toromo, en la cuenca del río Negro; dos cavidades menores en la Serranía de Canobatupe; y otras dos en la Serranía de Motilonos (región de Río de Oro - Río Aricuaizá: cuevas de Inshká Troá y Orro), donde existen referencias adicionales de más de una docena de cavidades. La cueva de Inshká Troá tiene un pequeño río subterráneo, con más de 2 km de galerías, y la Cueva de Toromo (de 1,2 km) alberga otro río del cual fue descrito el isópodo cirolánido *Zulialana coalescens*, perteneciente a un grupo de crustáceos previamente desconocido para América del Sur (Galán, 1995). Esta sección del karst se encuentra protegida bajo la figura del Parque Nacional Sierra de Perijá, decretado en 1978, con el objeto de resguardar la diversidad de recursos naturales y el patrimonio histórico y cultural de la región, quedando los extensos acuíferos del norte de la sierra, conformados por los valles de los ríos Guasare, Socuy y Palmar, fuera del sistema de áreas protegidas.

### **Estado Falcón**

Los acuíferos kársticos más importantes se presentan en la Sierra de San Luis, Sierra de Churuguara, Cerro Misión y en el karst costero de Mayorquines, aunque existen zonas kársticas con cuevas de menor entidad en la Península de Paraguaná, meseta de Jácura y otros afloramientos de caliza de menor entidad. Las calizas de los karsts de Falcón pertenecen a la Formación Capadare (de edad Mioceno medio) y a la Formación San Luis (de edad Oligoceno - Mioceno temprano) (Herrera et al, 2006).

Sin duda el karst más importante es el que se desarrolla en la Sierra de San Luis, que constituye una especie de isla topográfica elevada, con selva húmeda y decidua, rodeada de terrenos bajos semiáridos a áridos. Contrasta además porque recibe abundantes precipitaciones por efectos del relieve. Casi toda la sierra es calcárea y tiene una forma general de meseta, con dos grandes cubetas o depresiones en su parte central. El espesor de las calizas de la Fm. San Luis supera los 400 m en su borde Sur. El karst se caracteriza por presentar gran número de simas (más de un centenar) conteniendo las simas de mayor desnivel del país en caliza: la sima o haitón del Guarataro (de -305 m) y la sima de Sabana Grande (de -288 m), entre otras. Posee también algunas cuevas kilométricas, como las de Hueque, Coycoy de Uria, Zárraga, Coycoy de Acurigua, San Lorenzo, etc. En muchas cavidades hay pequeños ríos subterráneos, pero predominan las cavidades fósiles o hidrológicamente inactivas, excavadas en ciclos de kartificación antiguos, anteriores al actual.

La mayoría de las precipitaciones se infiltra verticalmente hacia la zona saturada, dejando no obstante niveles colgados e inundados a distintas alturas, con sistemas anexos de almacenamiento de considerable desarrollo. El drenaje subterráneo profundo se organiza en la zona inundada y descarga a través de varias surgencias periféricas en la base del macizo. Los caudales principales emergen al Sur de la Sierra, en la zona surgente de Hueque, pero existen surgencias adicionales al E y N del macizo, que drenan áreas cercanas a las mismas. La delimitación de unidades hidrogeológicas presenta algunas incógnitas y puede haber alguna interconexión en aguas altas entre las mismas. No obstante, las reservas hídricas son importantes. A modo de embalses subterráneos naturales pueden suministrar recursos hídricos utilizables para el agro y para el suministro a áreas áridas periféricas, urbanas e industriales. El sistema de la sierra suministra agua a tres embalses del acueducto Falconiano, ubicados en las tierras bajas que circundan al afloramiento. Estos tres embalses (El Isiro, Las Barrancas y Hueque) tienen una capacidad superior a 400 Hm<sup>3</sup> y suministran el agua de la ciudad de Coro, y las poblaciones y complejos industriales de la península de Paraguaná. Los principales contribuyentes de estos embalses son ríos o manantiales que nacen de las aguas que emergen del karst, captadas en las partes altas, principalmente en la sección más oriental que se corresponde con el máximo de precipitación y captura de agua. Por consiguiente, el interés en la conservación de la sierra es máximo, y para regular las actividades que se realizan y conservar los recursos locales fue decretada parque nacional en 1987, inicialmente bajo el nombre de Juan Crisóstomo Falcón, hoy denominado, Sierra de San Luis. Cabe destacar que, el karst de San Luis y sus cuevas han experimentado una larga evolución en el tiempo, a lo largo de varios ciclos hidrogeológicos, teniendo hoy un carácter en parte relictivo. Por lo que posee un interesante conjunto de especies troglobias de antiguo origen.

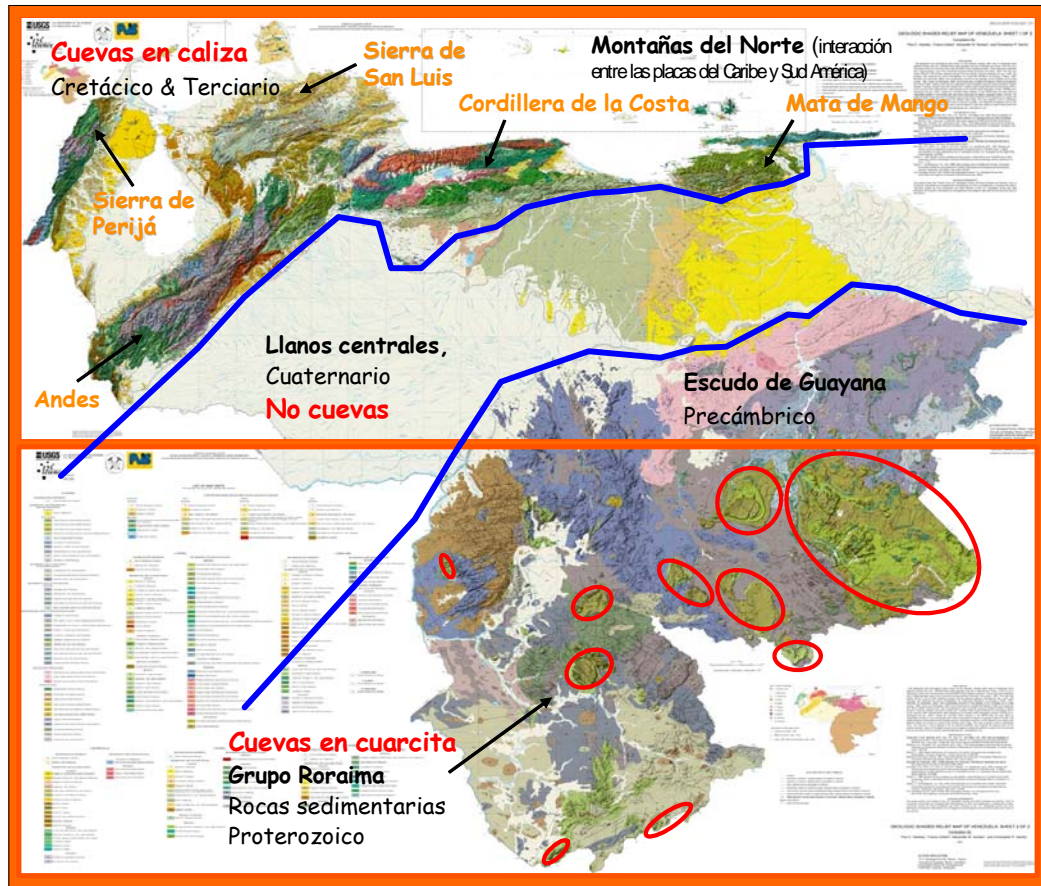


Figura 1. Distribución de las principales regiones con acuíferos kársticos en Venezuela. Un escenario con muchas posibilidades para comparar regiones, litologías, acuíferos y fauna cavernícola.



Figura 2. Cueva Alfredo Jahn, Birongo (Estado Miranda). Junto a la Cueva del Guácharo (Monagas), es una de las primeras zonas kársticas que comenzó a explorarse en Venezuela, en 1950, por la SVE.



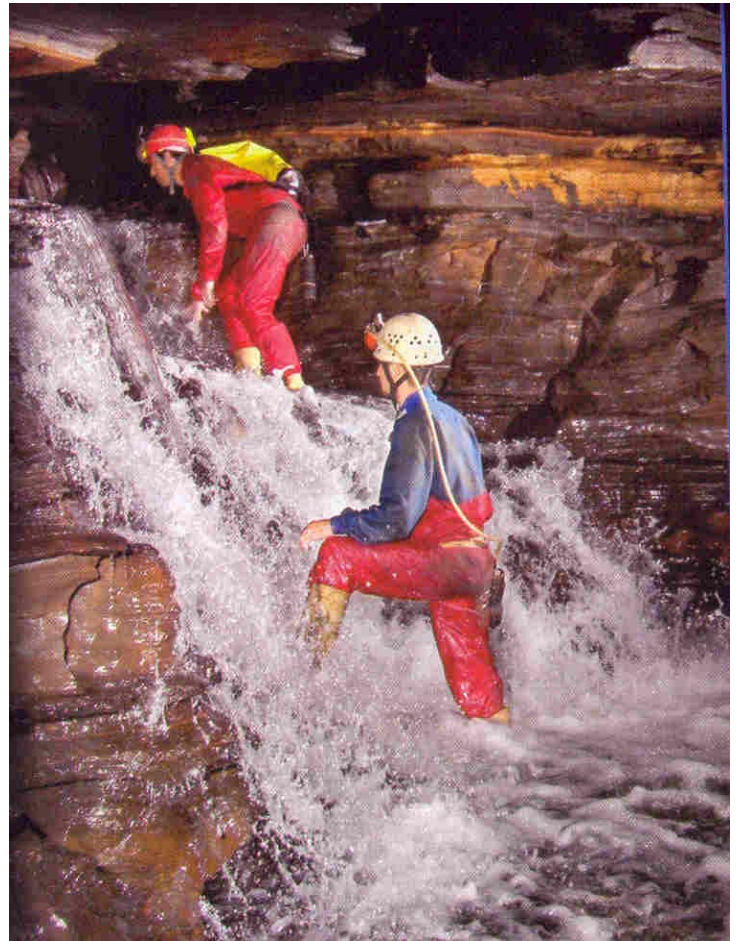
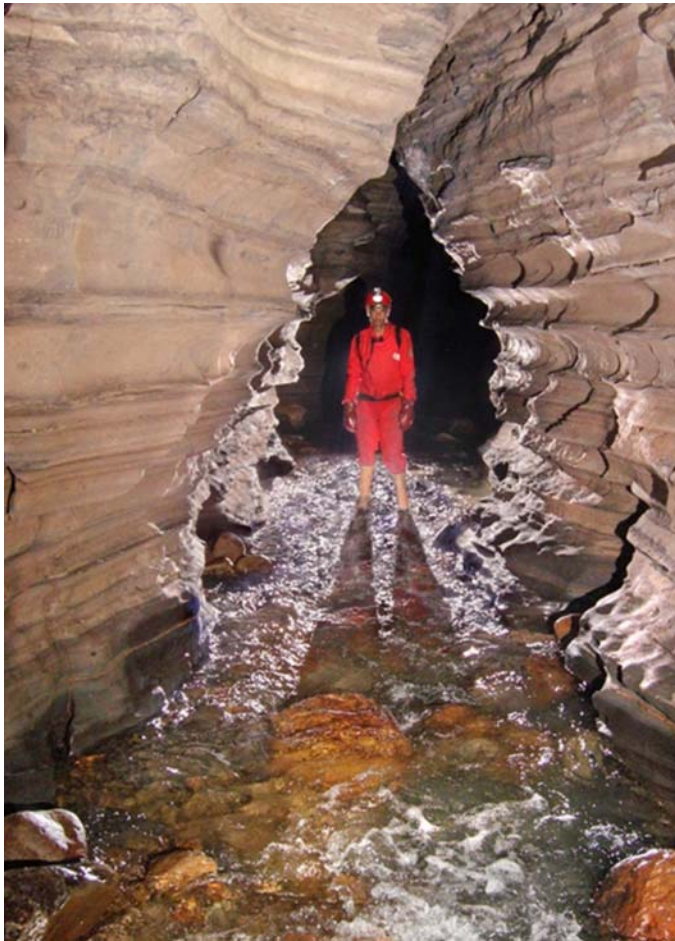


Figura 03. Estado Zulia. El sistema de las cuevas Mara 1 (arriba) y Mara 2 (debajo), se desarrolla en calizas de la Formación La Luna, en la parte N de la Sierra de Perijá. Posee un río subterráneo que recorre 4,4 km de galerías, con importantes sistemas anexos.



Figura 04. Cueva de Las Brisas, cuenca del río Guasare, en la Sierra de Perijá. Cavidad kilométrica desarrollada en calizas del Grupo Cogollo. Uno de los múltiples ríos subterráneos que alberga esta región, donde se encuentran los más importantes acuíferos y grandes cavernas de Venezuela.



Figura 05. El sistema del Samán (cuenca del Socuy, Sierra de Perijá), con algunas de las mayores cavernas de Venezuela. Imágenes de la Cueva de Los Laureles, con 4 km del colector principal.



Figura 06. Sierra de San Luis (Estado Falcón). Río subterráneo en la Cueva Zárraga (arriba y centro).  
Debajo: Cascadas en el río subterráneo de la Sima Walter Dupouy (Capaya, Estado Miranda).

A lo largo de la Sierra de Churuguara, existen diversos afloramientos calcáreos, que se extienden hasta alcanzar la costa del Mar Caribe en la región de Chichiriviche y Morrocoy. Muchos albergan pequeños acuíferos locales. Sin duda el más importante es el que comprende la Cueva de la Taza o de la Quebrada del Toro, declarado Parque Nacional en 1969. La cueva atraviesa un afloramiento calcáreo, con un río subterráneo caudaloso y accidentado por cascadas. La galería del río tiene 1,6 km de desarrollo y -120 m de desnivel. En su parte media, un sifón separa la cueva-sumidero de la cueva-surgencia, pero existe una galería aérea que mediante escalada permite superar ese obstáculo sin bucear. La cuenca drenada es de 16 km<sup>2</sup> y el caudal del río en época de lluvias supera 1 m<sup>3</sup>/s.

Otros karsts de Falcón albergan cavidades interesantes, como la cueva del Miedo y la cueva de Zumbador, con importantes restos de interés paleontológico, o las cuevas anquihalinas del karst costero de Mayorquines, con aguas salobres y mixohalinas, por lo que presentan una interesante fauna acuática stygobia, con especies nuevas para la Ciencia y únicas para el continente Sudamericano.

### **Estado Miranda**

La mayor parte de la Cordillera de la Costa (así como de la región de Los Andes venezolanos) presenta rocas metamórficas con poca presencia de caliza. No obstante el Estado Miranda presenta pequeños afloramientos de calizas y mármoles en la región de Birongo, Capaya, Salmerón y en los alrededores de Caracas (Cañón del Guaire, Peñón de Lyra, Morros de la Guairita), principalmente en calizas metamórficas de edades Jurásico tardío (Formación Las Brisas) y Cretácico (mármoles calcíticos de la Formación Las Mercedes). Muchas de las cavidades conocidas son fósiles o hidrológicamente inactivas, y albergan acuíferos de menor entidad.

Sin duda las cavidades y ríos subterráneos más importantes y extensos se encuentran en la región de Birongo (cuevas Alfredo Jahn y Cajigal) y Capaya (sima Walter Dupouy), circunscritos a afloramientos pequeños de mármoles que son atravesados por drenajes alóctonos (procedentes de terrenos impermeables), siendo baja la contribución de la infiltración autóctona de las precipitaciones sobre la caliza. La cueva de la Tapa de Cambural o cueva Alfredo Jahn se desarrolla en la Fm. Las Mercedes y posee algo más de 4 km de galerías que son recorridas por un río subterráneo cuyas aguas proceden de la infiltración de una quebrada superior, con un área de drenaje de 7 km<sup>2</sup>. La Cueva Cajigal se desarrolla en mármol de la Fm. Las Brisas. Las aguas proceden de la infiltración parcial de la Quebrada Palacios (de 9 km<sup>2</sup> de cuenca) y recorren 1,2 km para emerger por la boca-surgencia y tributar al río Birongo. El caudal en este caso es más importante, ya que no desciende de los 500 l/s en sequía. La sima W. Dupouy, situada al N de Capaya, drena una pequeña cuenca (de 1,2 km<sup>2</sup>) en la parte alta del cerro Piedra Azul. Su boca superior es el sumidero activo de la quebrada Santa Cruz, de caudal permanente. El río subterráneo es una sucesión de galerías con cascadas de 1,2 km de desarrollo y desciende un desnivel de -120 m, para emerger en la boca-surgencia inferior y tributar a través de una alta colada a la quebrada Marasmita de Capaya. Las aguas de estas cavidades tienen pH de 7,4 a 8,2, conductividades de 300 a 400 micro.ohms/cm, y tenores en carbonato de calcio de 120 a 180 mg/l. Estas características y sus variaciones son debidas a su punto de ingreso al karst tras drenar terrenos esquistosos. Al momento de penetrar al karst las aguas están saturadas con respecto a la calcita, produciéndose pocos cambios posteriores en su química por su rápido tránsito a través de las cuevas.

### **Estado Monagas**

Posee importantes karsts en la región que se extiende entre Caripe y Caripito, a ambos lados del río Caripe, y afloramientos menores en Cerro Negro, cuenca del río Guarapiche y Mundo Nuevo. Las calizas pertenecen a la Formación El Cantil (Cretácico temprano, Aptiense-Albiense) y Formación Querecual (Cretácico tardío, Turoniense), equivalentes respectivos del Grupo Cogollo y Formación La Luna (de Perijá), en las montañas orientales.

En los alrededores de Caripe y Cerro Negro predominan las calizas de El Cantil. La cavidad más notable y conocida desde antiguo es la famosa Cueva del Guácharo, que posee 10,2 km de galerías y alberga un pequeño río subterráneo. El afloramiento se circunscribe al cerro del mismo nombre, que se extiende entre La Guanota y Caripe, y el río subterráneo de la cueva es el colector principal. Al N de Caripe se presentan otros afloramientos dispersos, con pequeños acuíferos. Al S de Caripe existen otros más importantes, con reservas hídricas más caudalosas. El río subterráneo de la Cueva de Quijano, por ejemplo, tiene casi 700 m de desarrollo de galerías y un caudal medio de 300 l/s.

Entre Caripe y Caripito se encuentran importantes acuíferos kársticos, fraccionados en unidades independientes. El karst de Mata de Mango es el más notable de ellos, desarrollado en calizas negras de la Formación Querecual, donde la Fila montañosa de Las Cuevas de Anton Göering (limitada entre los ríos Arcacuar, Tucuyucual y Caripe), alberga ella sola más de 24 grandes cavidades, muchas de ellas

simas kilométricas, con importantes ríos subterráneos y desniveles de hasta -260 m, entre ellas: las simas de Los González, Bastimento, Narciso, La Quebrada, Pánfilo, Domingo, Hilario, El Danto, El Cacao, El Chorro, La Peinilla, El Barrial, El Bajo, Las lapas, Las Báquiras, El Naranja, Simón, cuevas Grande, Clara, Sucia-Mala, y surgencia de La Puerta. Estas cavidades del karst de Mata de Mango suman más de 14 km de galerías y 2.800 m de desnivel acumulado. Todas las cavidades son hidrológicamente activas y el drenaje subterráneo está organizado en cinco sistemas jerarquizados. Estos sistemas drenan diferencialmente a los ríos Arcacuar al N y Tucuyucual al S, siendo ambos afluentes del río Caripe, Los acuíferos poseen importantes reservas y el flujo subterráneo alcanza 1.050 l/s de caudal medio anual (Galán, 1991). Las cuevas resultan notables por albergar amplias galerías, con importantes colonias de guácharos y una notable biomasa y biodiversidad de fauna, con hasta más de 100 taxa distintos en una cueva individual. Recientes trabajos muestran que se trata de las cavidades con mayor biomasa de fauna cavernícola a nivel mundial.

Al E de esta región y al S del río Caripe se localiza la zona kárstica de El Culta, con las cuevas de El Culta, el Caituco y El Chorro, en calizas de Querecual, y la Cueva Nueva, en calizas de El Cantil. Cueva Nueva es fósil pero las otras cavidades poseen ríos subterráneos caudalosos, que constituyen perforaciones hidrogeológicas, donde ríos de superficie han formado las cuevas al atravesar los afloramientos calcáreos.

Al N del río Caripe también se encuentra una alternancia de afloramientos de calizas de El Cantil con otras de Querecual, que se extienden al E de las localidades de Teresén y Las Margaritas hasta la proximidad de Caripito. Aquí se localizan las simas del Guamo, La Palencia, El Casupo, Casupal, Quebrada Sucia, El Pegón, Alto de La Palencia, Alto del Guamo, algunas de ellas superando los -100 m de desnivel y con acuíferos locales, sólo parcialmente conocidos. En 1989, se decreta la ampliación del P.N. El Guácharo para incluir al sector antes descrito con el objeto de proteger los bosques, cuevas y ecosistemas que sustentan a las colonias de esta ave que están presentes en el Monumento Natural Alejandro de Humboldt y diversas cuevas de la región. Esta ampliación reviste particular interés, porque se sustentó en el trabajo científico que permitió determinar la importancia de la dimensión real de karst y sus implicaciones en la conservación de esta especie, y los recursos locales.

En la cuenca del río Guarapiche y otras zonas de Monagas se han encontrado otras cavidades y acuíferos menores. Destaca entre ellas la Cueva de La Milagrosa, en Mundo Nuevo (al Sur del cerro Turimiquire), con un río subterráneo de 1.286 m y 56 m de desnivel, formado en calizas negras de la Formación Querecual.

### **Otros estados en el Norte de Venezuela**

Afloramientos kársticos menores se encuentran dispersos en otros estados de la mitad Norte del país. En Los Andes (estados Táchira, Mérida, Trujillo, Lara), Morros de San Juan, Loma del Medio, San Sebastián y Macaira (estados Aragua y Guárico), Guanta, Turimiquire, Bergantín (estado Anzoátegui), cabeceras del río Neverí, Cumanacoa (Sucre), más algunos karsts costeros e insulares en estos dos últimos estados (Urbani et al., 2006). Aunque la karstificación y el número de cavidades puede ser localmente elevado, en general se trata de cavidades menores en afloramientos poco extensos. En esta enumeración nos referiremos a los que albergan los acuíferos y ríos subterráneos de mayor interés, ya que muchas zonas constituyen morros y afloramientos con cavidades básicamente fósiles, con escasa actividad hídrica en la actualidad, o con transmisión de sus reservas a acuíferos en sedimentos contiguos (TPP).

En Los Andes es de destacar algunas cavidades en el Páramo de Tamá (Estado Táchira) por presentarse en una litología de areniscas y a considerable altitud (superior a 3 mil metros), con presencia de guácharos y una fauna cavernícola poco conocida. En Mérida destaca por su desarrollo la Cueva de La Azulita, en un afloramiento calcáreo, y con un trazado laberíntico kilométrico. Pero sin duda los mayores ríos subterráneos hasta ahora conocidos se encuentran en la región de los Humocaros y en Barbacoas (estado Lara), con cuevas de varios kilómetros, como la Cueva de la Segunda Cascada (de 3 km) y la Cueva La Peonía (de 2,5 km), ambas con ríos subterráneos.

La zona de morros del centro del país posee un paisaje de mogotes o pináculos de caliza (tower karst) acribillados de lapiaz y pequeñas cavidades en relieves residuales, prácticamente carentes de actividad hídrica actual. Algo parecido ocurre en afloramientos costeros e islas calcáreas que se extienden entre la región de Puerto La Cruz y Mochima. También se conocen algunas cuevas de erosión marina en la costa de Paria y, recientemente, en afloramientos de mármoles dispersos en la fila maestra de Araya, pero se trata de fenómenos de poca entidad, aunque, como en el caso de la Península de Paraguaná (en Falcón), pueden contener ingentes colonias de quirópteros y una fauna cavernícola peculiar, siendo muchas de ellas "cuevas calientes". Un caso curioso resultó la Sima de Isla de Monos, frente a Guanta (estado Anzoátegui), por haber presentado un fenómeno fumarólico con emisión de gases por combustión natural de un depósito de guano de quirópteros, probablemente iniciado por actividad geotérmica e hidrotermal.

En Guanta se localiza también el sistema de la Sima An.1 - Cueva del Agua, con desarrollo kilométrico y un acuífero local. A lo largo de la cuenca del Neverí existen otros afloramientos calcáreos, que se prolongan hasta su cabecera en el Estado Sucre. Destaca por su caudal la cueva-surgencia del Viejo o nacimiento del Río Negro y la Cueva del Naranjal, con recursos hídricos importantes que incorporan a la cuenca del Neverí. Del lado opuesto, sobre el valle de Cumanacoa, existen otros karsts con cavidades, pero de escasa actividad hídrica.

En la fila montañosa de los Cerros Peonía, Tristeza y Turimiquire, hay afloramientos calcáreos adicionales, habiéndose explorado algunas simas y cuevas en la zona de Bergantín, donde también existe un reporte de una sima que superaría los -200 m de desnivel, pero cuya exploración no ha sido completada. En todo caso se trata de afloramientos de caliza con acuíferos locales, de escasa entidad.

### **Guayana Venezolana**

En el Sur del País los karsts en cuarcita se presentan en numerosos tepuys, principalmente en la cuenca de los ríos Caroní-Paragua, Caura y Autana (estados Bolívar y Amazonas). Las rocas, karstificadas localmente, corresponden a las cuarcitas (cuarzo-arenitas) del Grupo Roraima (de edad Proterozoico, Precámbrico inferior a medio) y rocas silíceas relacionadas (limolitas y lutitas intercaladas). Principalmente las cuevas se forman en cuarcitas compactas de la Formación Matauí, que ocupan la parte superior de la serie y el tope de los tepuys (= mesetas tabulares de cuarcita). También hay algunas cavidades, de menor extensión, en las llanuras de la Gran Sabana (región de Icabarú, Santa Elena de Uairén, Chirikayén, salto Eutobarima, Apongua) y base del Autana.

El sistema hidrológico más extenso y de mayor desnivel es el de la Sima Aonda, con todo un conjunto de grandes simas que superan los -300 m de desnivel y alcanzan un máximo de -383 m en Sima Aonda (la cavidad de mayor desnivel de Venezuela), que alberga el río subterráneo colector del sistema en la galería Alí Primera, de 1,8 km de longitud. Varias simas actúan como sumideros y las aguas emergen de manera concentrada en una cueva-surgencia colgada en la pared exterior del tepuy, a 400 m por debajo de la plataforma Aonda y sólo separada del fondo de Sima Aonda por una obstrucción de bloques. Los caudales mínimos de estiaje son del orden de 100 l/s pero son frecuentes caudales medios de 2 m<sup>3</sup>/s y caudales de crecida aún mucho más considerables. El área drenada en la plataforma es de 1,5 km<sup>2</sup> pero parte del caudal procede de un río superficial de la parte alta de la meseta, que se infiltra en la base de la segunda muralla tras precipitarse 100 m en cascada (Galán, 1991a; Herrera et al., 2006).

Otros sistemas cercanos son los de Aonda Superior (2 km; -136 m), Auyantepuy Norte (650 m; -320 m), y Auyantepuy Noroeste (2.950 m; -370 m). Recientemente ha sido reportado el descubrimiento de otra gran cavidad subhorizontal en la parte E del tepuy, que según notas de prensa divulgativas alcanza 15 km de desarrollo de galerías, cifra que habrá que tomar con reservas porque hasta la fecha no ha sido dada a conocer su descripción y topografía, aunque sí han sido publicadas fotos.

En el macizo de Chimantá se conocen cavidades con circulaciones hídricas en varios sectores de Akopán (8 cavidades) y Amurí (6 cavidades), en la parte Sur del extenso macizo. La cavidad de mayor desarrollo es la Sima Akopán 1 (de 1.376 m) y el mayor desnivel el de la sima Akopán 4 (de -100 m), existiendo también todo un conjunto de grietas y cañones de profundidades variables. En la parte N de Churí tepuy, del mismo macizo, hay también reportes de otro sistema de cuevas, con ríos subterráneos subhorizontales y galerías con grandes volúmenes internos; fueron exploradas por un grupo de espeleólogos checos con el apoyo de Charles Brewer. Al menos tres cavidades superan los 2 km de desarrollo, siendo la mayor de ellas la cueva que Brewer denominó con su nombre, y que anunció como "la mayor del mundo, con 4,4 km de galerías". La topografía publicada muestra un desarrollo de 2,8 km, y la cifra de 4,4 km, dada la amplitud de la galería, se debe a que las mediciones fueron efectuadas en zigzag, incrementando artificialmente la longitud real. No obstante, las fotos publicadas no dejan lugar a dudas de que se trata de un sistema de grandes cavernas de gran interés científico, como el antes referido sistema de Auyantepuy Este. El grupo checo entró también en controversia con los espeleólogos venezolanos por incumplimiento de las normas éticas de la UIS en Roraima en materia de exploraciones internacionales.

En la cadena de tepuys orientales (de la cuenca alta del río Caroní), sin duda el más extenso es el Sistema Roraima Sur, cavidad única con 18 bocas (6 bocas de cueva, 8 bocas de sima y 4 bocas abiertas a la pared exterior), que posee 11,2 km de galerías y -72 m de desnivel. Se localiza sobre el borde Sur de la meseta, en territorio venezolano, y las aguas de su río subterráneo colector se sumen en un relleno de bloques para emerger a través de varias surgencias en la base de la pared y talud de la meseta, a 700 m de desnivel bajo la cumbre. Este sistema subhorizontal (aunque con varias simas) drena un área de 2 km<sup>2</sup> con un caudal medio en el colector de 310 l/s y puntas de crecida de más de 4 m<sup>3</sup>/s. La cavidad es actualmente la mayor del mundo en cuarcitas y resulta también notable por su morfología, diversidad de espeleotemas, rasgos litológicos, hidrografía y fauna cavernícola (Urbani et al., 2006). Frente a Roraima, en el vecino tepuy Kukenán, han sido exploradas cinco simas y cuevas, la mayor de ellas de -150 m de desnivel, con circulaciones hídricas

locales. Más al N, en el tepuy Yuruaní, han sido exploradas 5 simas, la mayor de ellas de -252 m de desnivel y con un río subterráneo de cierto caudal. Cavidades menores han sido exploradas en los tepuys Ilú, Tramen y Wei-Asipu, con rasgos semejantes.

A menor elevación, en la parte N de la cuenca, se encuentra la extensa meseta de Guaiquinima, la cual posee un sistema de megadepresiones interconectadas parcialmente por cuevas menores. Un río de superficie se infiltra en las depresiones, de hasta -70 m de desnivel, circulando subterráneamente una distancia de 2 km para reaparecer en una surgencia sobre el mismo cauce. En aguas altas el sistema se inunda totalmente y en las depresiones se forman lagos. Se trata de un fenómeno de captura subterránea que se produce por la existencia de un paquete de metalimolitas intercaladas y que tienen por techo a cuarcitas compactas. El río es muy caudaloso, dada la extensa cuenca drenada, y su caudal medio anual se estima superior a 5 m<sup>3</sup>/s.

En el Alto Paragua (importante afluente del Caroní) se encuentra la meseta de Marutaní, límite con Brasil. Sobre la línea fronteriza y atravesando subterráneamente la misma se encuentran las cuevas de Urutany 1 y 2, con pequeños arroyos que drenan hacia Brasil. En la parte N, enteramente en territorio venezolano, se encuentran el sector conocido como Aguapira, con dos grandes megadepresiones o gigantes dolinas y un sistema con 11 cavidades exploradas, las mayores de ellas simas que superan los -100 m de desnivel y cuevas de hasta 400 m de desarrollo individual de galerías. Existe un conjunto de drenajes subterráneos locales, que se dirigen hacia el fondo de las depresiones y la pared exterior, tributando al río Paragua.

En las cabeceras del río Caura se encuentra la meseta de Sarisariñama, con un conjunto notable de simas de gran diámetro y desnivel localizadas en su parte N. La Sima Mayor tiene diámetros de 350 m y un desnivel total de -314 m, alcanzado en una sima interna. La Sima Menor posee diámetros máximos de 210 m y un desnivel total de -248 m, con dos cuevas en su interior de 988 m de desarrollo. A 8 km al Sur de la Sima Menor se localiza la Sima de la Lluvia, de 1.352 m de desarrollo y -202 m de desnivel. En estas cavidades, aunque hay múltiples goteos y pequeñas circulaciones hídricas no había sido encontrado ningún dren de importante caudal, estimándose que el colector que generó las cavidades y simas de colapso circulaba bajo el relleno de bloques que hoy obstruye sus fondos. Exploraciones más recientes para la filmación de un documental permitieron localizar la Sima de los Helechos, que a -150 m de desnivel intercepta un caudaloso río subterráneo (de varios m<sup>3</sup>/s) el cual se precipita en una cascada de más de 100 m de desnivel, y cuya continuidad no ha habido ocasión de explorar. Probablemente su exploración (si resultará libre de obstrucciones) permitiría comprender la complejidad del drenaje subterráneo en la zona profunda. En todo caso es claro que estos fenómenos kársticos son el resultado observable de una actividad hídrica de disolución de la roca-caja.

Igualmente producto de una actividad hídrica anterior es la Cueva Autana (N del estado Amazonas), que perfora de lado a lado el tepuy del mismo nombre, con 600 m de galerías, a cotas de 150 m por debajo del nivel de la cumbre. En parte de estas galerías se conservan morfologías freáticas, scallops o huellas de corriente y cantos rodados, indicadores de una potente y pasada actividad hídrica. La torre Autana es el remanente erosional que queda de una meseta que, en el pasado, debió ser mucho más extensa que la cumbre actual. La Cueva Autana resulta así, con toda probabilidad, una de las cuevas más antiguas del mundo. Entre sus notables rasgos destaca la presencia de curiosas espeleotemas, de ópalo, calcedonia y calcita, así como el descubrimiento de espeleotemas de Sveita, un mineral que resultó nuevo para la Ciencia, y que constituye el segundo mineral descrito de localidades de Venezuela (Martini & Urbani, 1984).

En conjunto, aunque con ligeras variaciones, las aguas subterráneas de las cuevas en cuarcita de los tepuys de Guayana comparten características semejantes, son aguas color té, de bajo pH (ácidas), baja conductividad y pobres en nutrientes. Generalmente son aguas subsaturadas, con tenores de sílice en solución del orden de 2 a 5 mg/l. Localmente, las aguas que percolan en zona vadosa pueden alcanzar la sobresaturación en algunos elementos y precipitan formando espeleotemas, siendo las más comunes los crecimientos de ópalo-A de origen biogénico (formadas con intervención de actividad bacterial). También cabe destacar el carácter local y no generalizado que presenta la karstificación en este tipo de rocas, donde la exploración de cavidades se ve dificultado por el difícil acceso. Seguramente sucesivas prospecciones con medios adecuados conducirán al descubrimiento de nuevas cavidades, ríos subterráneos y otros rasgos geo-biológicos de interés.

### **Aspectos geológicos destacados**

En el inventario anterior han sido citadas las principales formaciones geológicas karstificables de Venezuela que poseen acuíferos subterráneos. Ha sido explicado que los "ríos subterráneos" son en realidad una parte del sistema, correspondiente a drenes o grandes conductos de circulación situados en la parte basal de la zona vadosa. Pero todas las redes de galerías en zona vadosa fueron en el pasado objeto de actividad hídrica, la cual fue disolviendo la roca y penetrando en profundidad, ya que la tendencia general del trabajo de disolución del volumen de roca en el karst es la de profundizar el drenaje, hacia el nivel piezométrico, determinado por el nivel de las



surgencias. Los conductos hoy bajo el nivel freático, en zona saturada, podrán quedar en el futuro en zona vadosa, bajo la forma de cavidades fósiles o hidrológicamente inactivas. En estas cuevas en zona vadosa, posean o no ríos subterráneos, sigue existiendo actividad hídrica a pequeña escala, debido a la infiltración dispersa de las precipitaciones sobre el afloramiento. Estas aguas de percolación, generalmente penetran en forma di-fásica, acompañadas por aire, y al alcanzar la atmósfera subterránea de las galerías, frecuentemente alcanzan valores de sobresaturación y precipitan formando espeleotemas. Estos depósitos de minerales secundarios pueden llegar a colmatar y obstruir completamente antiguas galerías. De igual modo, el ingreso de sedimentos, o el colapso de bloques, puede colmatar conductos y galerías, incluso con grandes espesores. Aunque el agua circule entre y bajo ellos, las galerías accesibles al ser humano resultan obstruidas. Por lo que no siempre las cavernas en zona vadosa permiten acceder al acuífero profundo que las originó, aunque sean parte del mismo sistema.

Entre los rasgos sobresalientes del karst y los ríos subterráneos está la presencia de espeleotemas, depósitos químicos cristalinos que decoran las galerías y cuyas formas más comunes son las estalactitas y estalagmitas, a menudo de gran belleza estética. Venezuela resulta privilegiada por la enorme diversidad de espeleotemas que presentan sus cuevas.

Muchos estudios sobre la mineralogía de las espeleotemas efectuados desde los años 1960's han resultado en la identificación de nueve grupos de minerales: Carbonatos (calcita, aragonito, azurita, dolomita, magnesita, malaquita); Haluros (halita); Nitratos (nitrammita, sveita); Óxidos/hidróxidos (goethita, litiophorita, maghemita, ferro-hidrita, oxi-hidróxidos amorfos de Fe y Mn); Fosfatos (ardealita, brucita, carbonato-apatito, carbonato-fluor-apatito, cloro-apatito, evansita, fluor-apatito, hydroxyapatito, alófano, palygorskita, sepiolita); Sulfatos (aluminita, amonio-jarosita, bassanita, epsomita, yeso, hexahidrita, koktaita); Arseniatos (mangano-berzelita); y Orgánicos (pigotita) (Urbani, 1986, 1996).

Esto coloca a Venezuela entre los países con mayor diversidad de minerales en sus cuevas. Entre ellos destaca la sveita, un mineral nuevo para la Ciencia, descubierto por la SVE en la Cueva Autana. En la actualidad hay numerosas muestras bajo estudio, con la posibilidad de hallazgo de dos nuevos minerales, así como de algunos otros previamente descritos pero encontrados por primera vez en el ambiente de cuevas (Urbani et al., 2006; Herrera et al., 2006).

Venezuela ha sido pionera en el estudio de cuevas en cuarcita, una litología inusual para la formación de cuevas, ya que se consideraba que no era posible la disolución de estas rocas silíceas en el endokarst. Ello suscitó el interés internacional por su estudio y atrajo a investigadores y grupos espeleológicos extranjeros, con los que se llevaron a cabo exploraciones cooperativas conjuntas (entre ellos con grupos de Polonia, Italia, España, Inglaterra, Rumania), contribuyendo así al conocimiento del subsuelo del país. Los investigadores venezolanos de la SVE han aportado a su vez teoría general y datos que permiten comprender la génesis de cavidades en este tipo de rocas y muchos de los rasgos geomorfológicos que presentan los tepuys en superficie (Galán, 1991a; Urbani, 1986).

### **Aspectos biológicos destacados**

Los ecosistemas de las cuevas de Venezuela son notables por su biomasa y biodiversidad. Muchas de ellas albergan grandes colonias de guácharos, quirópteros, roedores y peces. Pero también la diversidad de invertebrados es enorme. En las cuevas (o secciones de estas) existen ambientes tanto eutróficos como oligotróficos. Muchos de los invertebrados son formas troglófilas (= capaces de vivir en las cuevas, con leves adaptaciones al medio hipógeo), habiéndose descrito hasta el presente más de 500 especies troglófilas distintas (Galán & Herrera, 2006). Sin duda la categoría que suscita mayor interés son las formas troglobias (= especies que completan todo su ciclo de vida en las cuevas, en el ambiente subterráneo profundo, poseyendo todo un conjunto de adaptaciones especiales para la vida en ellas que ha sido denominado troglomorfismo).

Lo más sorprendente de la fauna troglobia es el alto grado de convergencia de caracteres anatómicos, fisiológicos y de estrategia de vida (que incluyen a veces grandes cambios en los modelos funcionales), y que repetidamente presentan los troglobios de distintos grupos zoológicos, en las más diversas regiones del globo. El troglomorfismo comprende caracteres anatómicos como: pérdida o atrofia del aparato ocular, adelgazamiento de los tegumentos y pérdida de la pigmentación melánica, elongación del cuerpo y apéndices, reducción o atrofia de alas y otros apéndices con reducción de su capacidad de dispersión o de natación, multiplicación y optimización de la dotación sensorial no-óptica, como quimiorreceptores. Fisiológicamente es común una tasa metabólica reducida, bajo consumo de oxígeno por unidad de tiempo, hábitos alimentarios polípagos y resistencia al ayuno, menor número de huevos de mayor tamaño, etapas larvales contraídas, más lento desarrollo embrionario, mayor longevidad y deriva de la estructura poblacional hacia los adultos. Etológicamente puede constatar una pérdida de los ritmos internos más comunes, vida más pausada con frecuentes períodos de letargo, menor agresividad y menores reacciones de escape. Como estrategia de vida desde un punto de vista reproductivo existe en los troglobios la tendencia a pasar de una estrategia de la r (oportunistas, con gran flujo de energía a través de su biomasa) a una estrategia

de la K (especialistas, altamente eficientes, capaces de mantener su biomasa con un moderado flujo de energía), y más precisamente a una estrategia de la A (estrategia de adversidad, apta para desenvolverse en un medio severo, de escasos recursos). En este sentido existe un claro paralelismo entre la fauna cavernícola y la fauna abisal marina (Galán, 1995; Galán & Herrera, 1998).

En suma, los troglobios poseen un diseño “estructural”, dotado de múltiples sensores, que resulta óptimo para la exploración, comunicación y búsqueda de recursos en un medio poco predictivo. La depigmentación y anftalmia son probablemente los caracteres más rápidamente visualizables entre los troglobios. La reducción y pérdida de ojos puede extenderse desde una atrofia perceptible hasta una completa desaparición de los ojos y estructuras asociadas (nervios ópticos y centros ópticos cerebrales). La depigmentación puede ser total o parcial y generalmente entraña la pérdida de melanina, aunque pueden presentarse leves coloraciones debidas a carotenos, ommatas y ommatinas.

La depigmentación va unida a la pérdida de estructuras tegumentarias, e implica un incremento de la permeabilidad relacionada con el balance hídrico corporal. Esto es debido a que en la atmosfera subterránea la humedad relativa alcanza o está muy próxima a valores de saturación. La mayoría de los cavernícolas son estenohigrobios y requieren una elevada humedad atmosférica para controlar su balance hídrico. La razón de esto es que todos los animales pierden agua por evaporación y transpiración, y en las especies higrófilas la pérdida de agua es muy alta y muy rápida en un medio no-saturado, produciendo una rápida deshidratación. Los artrópodos terrestres consiguen sobrevivir en estos ambientes de alta humedad por incremento de la permeabilidad de sus tegumentos.

Los tegumentos de los cavernícolas generalmente son más delgados que los de las especies epigeas relacionadas. De ello resulta que sus tegumentos son permeables al agua y no pueden proteger a los cavernícolas de la pérdida de agua; como consecuencia, sólo pueden vivir en una atmósfera muy húmeda, saturada o muy próxima a la saturación. El efecto combinado de este adelgazamiento y aumento de la permeabilidad de los tegumentos otorga a la mayoría de los troglobios una condición anfibia. Muchos artrópodos terrestres son capaces de penetrar en el agua y vivir en ella cierto tiempo. Los artrópodos cavernícolas poseen en este sentido una gran flexibilidad ecológica para mantenerse en diferentes medios, siempre que la humedad sea elevada.

La representación de especies troglobias en cuevas y ríos subterráneos de Venezuela está desigualmente descrita. Para una síntesis efectuada en 2006 se reportaban 46 especies en 21 familias distintas (Galán & Herrera, 2006). Pero trabajos detallados realizados en los últimos años en las cuevas de Los Laureles (Zulia, sigla LL), Cueva Grande (Monagas, CG), y Coycoy de Uria (Falcón, CC), agregan 25 nuevas especies y 17 familias adicionales (Galán et al., 2009). Esto eleva la representación troglobia a al menos 71 especies en 38 familias distintas, que presentamos a continuación ordenadas en 24 grupos taxonómicos:

(1) Oligochaeta. Enchytraeidae: n.sp.LL. (2) Copepoda. Cyclopidae: *Hesperocyclops venezuelanus*. (3) Ostracoda. Cypridae: *Pseudocandona caribbeana*, *Danielocandona lieshoutae*. (4) Syncarida. Parabathynellidae: *Psalidobathynella stocki*. (5) Isopoda. Anthuridae: *Cyathura univam*. Calabozoidae: *Calabozoa pellucida*. Cirolanidae: *Zulialana coalescens*. Sphaeroniscidae: *Neosanfilippia venezuelana*. Oniscidae: *Colombophiloscia cavernicola*. Philosciidae: *Prosekia* n.sp.1.LL. Trichoniscidae: n.sp.CG. (6) Amphipoda. Bogidiellidae: *Bogidiella neotropica*. Hadziidae: *Metaniphargus venezuelanus*. Hyalellidae: *Hyalella anophthalma*. (7) Decapoda. Pseudothelphusidae: *Chaceus caecus*, *Eudaniella* n.sp. (8) Escorpiones. Chactidae: *Taurepania trezii*. (9) Pseudoscorpiones. Cheiridiidae: n.sp.1.LL. Cheiridiidae: n.sp.2.CG. Cheliferidae: n.sp.CC. Chthoniidae: n.sp.CG. (10) Schizomida. Schizomidae: n.sp.1.LL. Schizomidae: n.sp.2.CG. (11) Amblypygi. Charontidae: *Charinides (Speleophrynus) tronchonii*, *Charinides (Speleophrynus) bordoni*. (12) Opiliones. Agoristenidae: *Trinella (Vima) chapmani*, *Trinella (Vima) azulitai*, *Trinella (Phalangozea) bordoni*, *Trinella (Phalangozea) troglobia*, *Trinella* n.sp.2.LL. (13) Araneae. Sparasiidae: n.sp.LL. (14) Acari. Argasidae: *Antricola silvai*. (15) Hydrachnellae. Limnesiidae: *Rheolimnesia tronchonii*. Aturidae: *Neomamersa apophylonga*, *Axonopsella henrechi*, *Axonopsella linaresi*, *Axonopsella bordoni*, *Neoaxonopsella caripense*. Anisitsiellidae: *Rutacarus angelieri*, *Nilotonia simoni*. (16) Diplopoda. Trichopolydesmidae: n.sp. Ophistospermorpha: n.sp.LL. Peridontodesmidae: n.sp.CC. (17) Chilopoda. Scolopendridae: n.sp.CG. (18) Collembola. Onychiuridae: *Onychiurus acuitlapanensis*. Tomoceridae: n.sp.LL. Entomobryidae: n.sp.CG. Isotomidae: n.sp.CC. (19) Diplura. Campodeidae: *Lepidocampa juradoi* CC. (20) Thysanura. Nicoletiidae: *Cubacubana* n.sp.CG. (21) Orthoptera. Raphidiophoridae: n.sp.1.Fa, n.sp.2.Zu. n.sp.3.LL. Gryllidae: Gryllinae n.sp.1.CC. (22) Blattodea. Blattellidae: *Paranocticola venezuelana*. Blatellidae? n.sp.2.LL. (23) Coleoptera. Dytiscidae: *Trogloguignotus concii*. Catopidae: *Neotropospeonella decui*. Ptiliidae: n.sp.1.CC. Ptiliidae: n.sp.2.CC. Carabidae: *Speleodesmoides raveloi*. (24) Peces. Loricariidae: *Ancistrus galani*. Trichomycteridae: *Trichomycterus cf. guianense*, *Trichomycterus spelaeus*, *Trichomycterus* n.sp.1.Zu, *Trichomycterus* n.sp.2.Mo. Trychomycteridae: n.sp.3.CG. Heptapteridae: *Rhamdia guasarensis*. Synbranchidae: *Synbranchus spelaeus*.

Escapa al alcance de este trabajo enumerar las peculiares características biológicas y ecológicas de estas extrañas especies troglobias, pero sin exageración alguna se puede afirmar que cada una de ellas presenta rasgos excepcionales, de extraordinario interés biogeográfico y evolutivo, siendo además especies endémicas de Venezuela, restringidas incluso a karsts individuales.



Figura 07.El río subterráneo de la Cueva del Guácharo (karst del Estado Monagas, oriente de Venezuela), y galerías con espeleotemas en zona vadosa.



Figura 08. Río subterráneo en la Cueva de Quijano, Caripe, Estado Monagas. Salidas de la SVE para estudios de fauna cavernícola, balance de energía y nutrientes en los acuíferos kársticos del Norte de Venezuela.



Figura 09. La región de Mata de Mango (Estado Monagas) alberga un conjunto notable de grandes simas, cavernas y acuíferos kársticos, con los ecosistemas subterráneos de mayor biomasa y biodiversidad conocidos a nivel mundial. Río subterráneo de la Cueva Grande de A. Göering.



Figura 10. Cascada en el río subterráneo de la Cueva La Milagrosa, Mundo Nuevo, Estado Monagas (arriba), y guácharo volando sobre pradera de semillas germinadas en oscuridad total, en la orilla del río subterráneo de la Sima An.1 - sistema de la Cueva del Agua, Guanta, Edo. Anzoátegui (debajo).



Figura 11. Río subterráneo (en sequía) del Sistema Roraima Sur, de 11,2 km, la mayor cavidad del mundo en cuarcitas. Caverna localizada en la cumbre del tepuy Roraima, Guayana Venezolana.



### CARACTERÍSTICAS de los TROGLOBIOS (Troglomorfismo)

#### 1. Anatómicos.

- Reducción y atrofia del aparato ocular (anoftalmia).
- Adelgazamiento de los tegumentos y pérdida de la pigmentación melánica.
- Elongación del cuerpo y apéndices.
- Multiplicación de la dotación sensorial no-óptica: quimio, higo y mecano-receptores.

#### 2. Fisiológicos.

- Tasa metabólica reducida, vida pausada, períodos de letargo.
- Bajo número de descendientes, lento desarrollo embrionario, gran longevidad.
- Hábitos alimentarios polífagos, resistencia al ayuno.

#### 3. Estrategia de vida.

- Especialistas, estrategias de la K.
- Estrategia de adversidad, apta para un medio severo y con escasos recursos.



Figura 12. Fauna cavernícola. Arriba: Grandes colonias de quirópteros, que, junto con el emblemático guácharo (*Steatornis caripensis*), constituyen los principales grupos de vertebrados que frecuentan cuevas. Debajo: Principales rasgos de los cavernícolas especializados o troglombios, con algunas imágenes de los mismos que incluyen peces, crustáceos, pseudoescorpiones y opiliones.



En cuevas de zona templada muy ricas en fauna el número total de taxa raramente alcanza 70 especies distintas (incluyendo microfauna). El número de troglobios para cuevas individuales raramente pasa de 15-20 especies, situación muy común en las regiones de más alta diversidad del globo, como el N de España, SE de Francia, N de Italia, los Balcanes (países de la antigua Yugoslavia), Rumania, o los karsts de Alabama (USA) y regiones lávicas de Japón (Galán et al., 2009). Por consiguiente la diversidad hallada en las cuevas del N de Venezuela resulta considerablemente alta y equiparable o mayor que la de regiones templadas ricas en fauna cavernícola de Eurasia y Norteamérica (Galán et al., 2009). Reportes de más de 100 taxa distintos para cuevas individuales, como los que se presentan en cuevas de Venezuela, son muy raros en la bibliografía espeleológica mundial.

La biomasa global de las cavidades estudiadas en Venezuela es extremadamente elevada y supera en 2 ó 3 órdenes de magnitud los valores de biomasa de cuevas en zona templada. El valor más alto obtenido es el de Cueva Grande, de 3.824 kg ó 153 kg por cada 100 m lineales de galerías; la biomasa por m<sup>2</sup> para el área total muestreada en la cavidad (36.099 m<sup>2</sup>), da un valor medio de 105,93 g/m<sup>2</sup>. Como dato comparativo, en cuevas europeas ricas en fauna son frecuentes valores de entre 0,03 g/m<sup>2</sup> á 0,05 g/m<sup>2</sup>, por lo que nuestros datos suponen una magnitud media 3 mil veces superior (2,1 á 3,5 mil veces superior). (Galán et al., 2009). Estos datos constituyen por consiguiente los más altos valores de biomasa reportados hasta la fecha para fauna de cuevas a nivel mundial.

Otras cuevas de Mata de Mango y Perijá, con mayor abundancia de fauna (p.ej. la Sima de Los González o la Cueva del Samán), probablemente superan los datos de Cueva Grande y Los Laureles tanto en biodiversidad como en biomasa. Esto hace de las cuevas de estas regiones uno de los hot-pots de fauna cavernícola más significativos a nivel mundial. Estudios como los de Culver et al. (2006), que analizan las zonas del mundo con mayor diversidad de troglobios, destacan la importancia de conservar tales hot-pots, ya que ellos concentran los más altos valores de biodiversidad de fauna cavernícola, por lo cual resultan del más alto interés para la conservación de la biodiversidad global del país y del planeta.

Los datos obtenidos en las cuevas de Venezuela, muestran la presencia de ecosistemas de alta diversidad, con más de 700 taxa cavernícolas, 71 especies troglobias y numerosas especies nuevas para la Ciencia. La biomasa resulta extraordinaria y alcanza los valores más altos hasta ahora reportados para fauna de cuevas a nivel mundial. Por lo que se trata de zonas con un enorme potencial de investigación. Algunos taxa troglobios pertenecen a grupos en los que previamente no se conocían formas troglobias en Venezuela o incluso en Sudamérica. Lo cual constituye un aliciente más para propiciar las investigaciones en biología subterránea. Nuestra principal conclusión es que los ecosistemas subterráneos estudiados, particularmente los de las regiones de Mata de Mango y Sierra de Perijá, contienen valores biológicos sin paralelo, y tales regiones kársticas y las cuevas que contienen constituyen algunos de los hot-pots de fauna cavernícola más significativos por su biomasa y diversidad a nivel mundial (Galán & Herrera, 2006; Galán et al., 2009).

### **Estado actual de conservación**

Globalmente los acuíferos han jugado un rol fundamental en el aprovisionamiento de agua para las comunidades. En la actualidad países de Europa como Dinamarca, Portugal y Alemania satisfacen su suministro de agua potable hasta en un 90% a partir de las aguas subterráneas, y la demanda de este recurso ha crecido en algunas regiones hasta considerarlas sobre explotadas o agotadas (Danielopol et al. 2003). Igualmente comienzan a establecerse alertas sobre los niveles de consumo y contaminación de aguas subterráneas por la actividad agrícola, que demanda hasta un 70% de este recurso a nivel global, aspecto que debe tomarse en cuenta en el manejo de los acuíferos del país. Por su parte, la mayoría de los karsts venezolanos se encuentran (aparentemente) en buen estado de conservación, aunque sobre muchos de ellos se ciernen importantes amenazas. En realidad la información objetiva sobre estos temas es por demás escasa, debido tanto a que ha faltado financiación para desarrollar estudios específicos como a la falta de datos antiguos que permitan hacer un estudio comparado o un seguimiento de los cambios ocurridos a través del tiempo (Viloria, 2005; Galán et al., 2009).

Algunos casos puntuales de efectos negativos son conocidos y resultan ilustrativos de cierto tipo de amenazas. Por ejemplo, en la Cueva del Guácharo (y otras muy frecuentadas) es conocida la destrucción total de espeleotemas en el Salón de Los Pechos y el Salón Precioso, antes de la declaratoria del Parque Nacional. Otro ejemplo es el de una cantera, en Ocumare del Tuy, que arrasó el afloramiento de una cueva con un importante yacimiento paleontológico y fauna de interés. Hay otros casos donde se exterminaron colonias de quirópteros porque se pensaba que podrían contener vampiros portadores de rabia.

No obstante, estos no constituyen los impactos más negativos sobre el karst. Para entender mejor el tema resulta necesario mencionar al menos algunos de los temas más significativos sobre la conservación de los acuíferos kársticos. Entre ellos:

(1) El karst se encuentra entre los sistemas hídricos más vulnerables ante la contaminación. Debido precisamente a que son TPG (Terrenos permeables en grande) no tienen capacidad de filtración ni de autodepuración. Esto es conocido desde la época inicial de los estudios bacteriológicos. Cualquier contaminante que pase al karst a lo sumo puede diluirse en el volumen total del acuífero, pero sin

depuración. Y la contaminación, química u orgánica, puede permanecer largo tiempo en los sistemas anexos, es decir, tienen una baja resiliencia y una baja capacidad de recuperación. Obviamente, el paso de contaminantes al karst afectará a la calidad de las aguas y a las especies y ecosistemas subterráneos, incluyendo casos de corrosión de la roca y destrucción de pinturas rupestres.

(2) Debido a que las precipitaciones se infiltran al karst de modo disperso, tras atravesar el suelo y estratos subsuperficiales, muchos compuestos resultan altamente tóxicos, tales como pesticidas, plaguicidas, metales pesados, químicos, defoliantes y organismos genéticamente modificados, o incluso nutrientes nitrogenados que por su concentración contribuyen con procesos de eutrofización y anoxia. A pesar de que evaluar el impacto de estos compuestos en los ecosistemas subterráneos resulta complejo, podemos relacionar la data obtenida en superficie para comprender la sensibilidad de estos sistemas. Beketov et al. (2013) reportan que, tras una evaluación del efecto de los agroquímicos en quebradas y ríos de zonas agrícolas de Alemania, Francia y Australia, obtuvieron una reducción de hasta 42% de los taxa propios de estos sistemas, lo que resulta en una pérdida de biodiversidad extraordinariamente alta. Esto refleja la sensibilidad de los organismos acuáticos a compuestos químicos como la atrazina, simazina, paratión, y metales pesados como el mercurio, cadmio y selenio presentes en los agroquímicos de uso frecuente. Los niveles de sensibilidad para organismos adaptados a los ecosistemas subterráneos, que como se mencionó anteriormente presentan modificaciones como el adelgazamiento del tegumento, deben ser mayores, y por lo tanto, su vulnerabilidad es más elevada.

(3) La deforestación en superficie es otra causa importantísima de impacto negativo. En último término el karst es un sistema abierto al intercambio y, aunque existe cierta producción autóctona (a partir de bacterias quimioautótrofas que sintetizan en oscuridad total, donde faltan las plantas verdes), lo esencial cuantitativamente es el aporte de nutrientes desde superficie al endokarst. La deforestación no sólo priva a los ecosistemas de nutrientes indispensables, sino que produce aridez subterránea, arrastra sedimentos erosionados, e introduce bacterias heterótrofas oportunistas que eliminan las poblaciones autótrofas autóctonas, afectando de modo especial a fases larvarias y juveniles de especies troglobias. Este factor es para los karst del norte de Perijá y los afloramientos del estado Miranda y Sucre, y en menos grado la Sierra de San Luis, el más importante de evaluar en la actualidad, ya que las cuencas asociadas han sufrido avances de la frontera agrícola, con la consecuyente reducción de la cobertura vegetal y sus implicaciones en los aportes de materia orgánica, dinámica estacional y merma de los aportes de agua a los sistemas. Según los criterios establecidos por Rodríguez et al. (2010), estos ecosistemas de bosques se encuentran en categoría de Peligro Crítico principalmente por las elevadas tasas de deforestación de la últimas tres décadas. En el caso en que la pérdida de la cobertura vegetal esté asociada al uso de agroquímicos la condición de los ecosistemas subterráneos puede ser aún mucho más grave que la apreciada en superficie.

(4) Las cuevas son un ambiente frágil, que mantiene una relativa gran constancia en muchos parámetros ambientales y, salvo raras excepciones (por reunir condiciones peculiares) no toleran el impacto del turismo de masas. Existe múltiple documentación de cuevas turísticas en el mundo que han perdido su biota y han resultado acentuadamente degradadas. Mencionamos este aspecto debido a la proliferación de empresas de turismo de aventura que, por ánimo de lucro, propician una desconsiderada afluencia masiva de turistas a cavernas emblemáticas, algunas de ellas con ecosistemas acuáticos que resultan muy frágiles a las perturbaciones.

(5) Un número muy elevado de los acuíferos kársticos reseñados en este capítulo se encuentran incorporados a Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, fundamentalmente Parques Nacionales y Monumentos Naturales. Establecer con precisión el estado de conservación requiere estudios detallados, pero ciertamente, utilizando como indicadores la calidad de los ecosistemas que se encuentran en superficie, se puede inferir la calidad de los cuerpos de agua subterráneos de estos karsts. Sólo en aquellas áreas muy remotas o con muy limitada presencia humana se pueden estimar condiciones saludables de los acuíferos, como en las cumbres de tepuys, el karst de Mata de Mango y algunos sectores de la sierra de Perijá. Por ello, la declaratoria de Parque Nacional o área protegida, no elimina las citadas amenazadas, salvo que existan estudios previos que sustenten un adecuado plan de conservación y manejo. Por otro lado, vemos con preocupación cómo durante los últimos lustros se ha dificultado el acceso y estudio de las cuevas, que durante décadas se realizó con la participación de las comunidades locales e instituciones regionales (como Inparques, autoridades militares, escuelas, etc.), quienes legitiman en lo territorial a los investigadores e instituciones, limitándose la posibilidad de incrementar la divulgación e información de estos espacios que forman parte del acervo de los venezolanos. Lamentablemente, cuentan con menos restricciones, en algunas ocasiones, prácticas que no respetan el medio ambiente como la quema, deforestación, minería, agronegocio, turismo alóctono, etc.

Tras señalar estos puntos, queremos destacar que en el tema de garantizar la calidad de las aguas y ecosistemas subterráneos, el meollo de la cuestión reside en una cuestión de valores y de equilibrio entre su uso y su conservación, de manera inteligente y democrática, de modo que resulte útil tanto para la Naturaleza como para las generaciones humanas actuales y futuras. Sin duda los impactos negativos más desfavorables para los acuíferos kársticos residen en la deforestación de su cobertura vegetal, actividades mineras, erosión de sus cuencas y el paso a los acuíferos de fertilizantes, pesticidas y contaminantes agro-industriales.

## Discusión y Conclusiones

La localización de los karsts, generalmente en posición de cabecera de cuencas, es un factor adicional para garantizar la calidad de las aguas de los ríos de superficie. Los acuíferos kársticos contienen recursos hídricos importantes para el uso humano local, para el agro y para ciudades e industrias. Toda contaminación pasará sin filtrado ni autodepuración a las surgencias, que en último término tributan a los cursos de agua superficiales.

Hemos pasado revista a los principales ríos subterráneos conocidos, y a los valores biológicos y geológicos que encierran. Aunque los datos sobre caudales de sequía (en los cursos observables) puedan parecer modestos, hay que destacar que en la mayoría de los casos se carece de estudios que cuantifiquen las reservas hídricas locales de estos acuíferos y su dinamismo. Los cuales podrían ser objeto de una inteligente explotación, para el consumo humano, el agro y la industria, sobre todo en regiones con problemas de abastecimiento o que padecen de escasez de agua en épocas secas.

A nivel de amenazas o riesgo ecológico, ha sido señalado que la situación general en los karsts de Venezuela es buena, de alta calidad de las aguas y de poca alteración. No tanto porque esto haya sido producto de una toma de conciencia o de una gestión humana inteligente, sino porque se trata de karsts situados en zonas remotas, poco pobladas o de difícil acceso. Pero en la medida que la antropización del territorio avanza, se aproximan los problemas y se acrecientan los riesgos.

Los acuíferos subterráneos que presentan mayor vulnerabilidad ante impactos humanos y mayor número de valores ecológicos en situación de amenaza son, en nuestra opinión (basada en observaciones de campo, tras más de 50 años de estudios y exploraciones en el territorio nacional), los siguientes:

(1) La mitad Norte de la Sierra de Perijá, y especialmente el conjunto de la cuenca de los ríos Guasare y Socuy. Estos albergan las mayores cavernas y acuíferos subterráneos del país, con ecosistemas y rasgos hidrogeológicos notables. Hasta hace pocos años eran regiones poco o nada pobladas, que conservaban una selva primaria y unos ecosistemas intactos. El avance de la frontera agro-ganadera por obra de terratenientes locales, los asentamientos precarios de campesinos colombianos que buscan refugio en Venezuela (población desplazada que huye del paramilitarismo y la guerra en Colombia, en busca de mejores oportunidades), o los crecientes intereses carboníferos de multinacionales y políticas extractivistas, están alterando de modo rápido y alarmante la situación anterior. Hoy, la deforestación de estas cuencas ha avanzado muchísimo (como puede comprobarse por simple comparación de fotos aéreas de distintos años), hay cultivos intensivos (para beneficio de pocos) que están generando una gran destrucción de selva primaria, y por último, las explotaciones de carbón (que también benefician a pocas manos) prosiguen, con planes de mayor avance sobre estas cuencas y los karsts que contienen. Perijá debería incluirse hoy en categoría roja, de máximo peligro en este sentido, de amenaza a su diversidad y recursos hídricos, superficiales y subterráneos. Y deberían tomarse pronto medidas de conservación y regulación, impidiendo todos los usos indeseables y nocivos.

(2) La Sierra de San Luis. Rodeada de zonas áridas, de larga tradición agrícola, y con crecientes necesidades de agua para poblaciones e industrias cercanas, alberga también un potente karst con notables reservas hidráulicas, que incluso podrían ser objeto de una inteligente explotación sostenible, que no altere sus características esenciales. Hasta ahora el karst se conserva en un estado relativamente bueno o poco alterado. Los problemas mayores tal vez puedan derivar del empleo de fertilizantes y pesticidas en el agro, de la introducción de cultivos transgénicos y los agrotóxicos que los acompañan, o de la extracción excesiva de agua para usos urbanos e industriales, sin estudios previos de los balances hídricos que es necesario sostener para garantizar las reservas y su calidad. En este sentido parece que las organizaciones comunales campesinas tienen una buena comprensión de estos temas, que históricamente han sabido manejar con sabiduría y cooperación. Pero cabría apoyar más desde los estamentos oficiales sus iniciativas, dotarlos de mejores herramientas para la producción agro-ganadera y su comercialización, de modo que aporte, como en otras regiones del país, a la estrategia de lograr una soberanía alimentaria plena (meta enteramente alcanzable, y deseable, en nuestra opinión). De igual modo debería planificarse bien, en base a estudios hidrogeológicos bien diseñados, las capacidades de suministro a otras áreas urbanas e industriales próximas, sin permitir que se sobrepase la capacidad de regeneración hidráulica de estos acuíferos.

(3) Aquí incluimos los restantes karsts, que en algunos casos ya cuentan con cierta protección del sistema de Parques nacionales y áreas naturales protegidas. Pero señalando sobre todo que deben evitarse los problemas directos o indirectos de contaminación y pérdida de cobertura forestal, la minería en general (no sólo carbón, sino también oro, diamantes y minerales "raros" o de valor estratégico), los planes inadecuados de turismo de masas, y las intromisiones extranjeras disfrazadas como exploraciones o proyectos de investigación. Especialmente importante sería evitar la geo y biopiratería, y la realización de "estudios" sin permiso previo adecuado, sin controles y sin contrapartes nacionales que garanticen que los resultados obtenidos queden y contribuyan al acervo nacional. Cosas que en la práctica están faltando.

Por último señalar que los ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela contienen valores geográficos y científicos etéreos, a la vez que encierran un considerable potencial para la investigación, estudio y conocimiento de las jóvenes generaciones de estudiantes universitarios y egresados. Sus aplicaciones en el campo social y para el desarrollo de las comunidades locales pueden contener muchos componentes intangibles, pero valorables como bienes culturales colectivos y como parte del patrimonio del país.

A modo de conclusión. Sólo se protege lo que se ama y valora. Y para valorarlo hay que conocerlo. Y para conocer algo hay que estudiarlo antes. En el caso de las cavernas y ríos subterráneos de Venezuela, es necesario proseguir la exploración del territorio, y de sus acuíferos y cavernas, uniendo la investigación científica a las exploraciones subterráneas y al concurso de los habitantes donde están enclavados esos valores. Tenemos no sólo el deber moral, sino la obligación, de dejar a nuestros hijos y nietos un planeta habitable. Y los ríos subterráneos y las maravillas que encierran debieran ser considerados objeto especial de conservación.

### Agradecimientos

De modo especial a los compañeros y colaboradores de la SVE que han participado en la exploración y estudio de las cavernas de Venezuela, así como a los investigadores (nacionales y extranjeros) que han aportado contribuciones a su estudio y conocimiento.

### Bibliografía

La principal base de datos para este trabajo son los contenidos del Catastro Espeleológico de Venezuela, publicado en el Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología, números 1 á 42 (1967 á 2008). Dada la limitación de espacio para estos textos, anexamos a continuación sólo las referencias bibliográficas sintéticas más significativas y de fácil acceso. Son éstas las siguientes:

- Beketov, M.A.; B.J. Kefford; R.B. Schäfer & M. Liess. 2013. Pesticides reduces regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110: 1039-1043.
- Culver, D; L. Deharveng; A. Bedos; J. Lewis; M. Madden; R. Reddell; B. Sket; P. Trontelj & D. White. 2006. The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. *Ecography*, 29: 120-128.
- Danielopol, D.L.; C. Griebler; A. Gunatilaka & J. Notenboom. 2003. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation* 30: 104-130.
- Galán, C. 1991a El karst de la Fila de las Cuevas (zona kársticas de Mata de Mango), Monagas, Venezuela. *Bol. SVE*, 25: 1-14.
- Galán, C. 1991b. Hidrología del Sistema del Samán. *Bol. SVE*, 25: 15-25.
- Galán, C. 1991c. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. *Munibe (Ciencias Naturales.)*, S.C.Aranzadi, 43: 43-72.
- Galán, C. 1995. Fauna troglobia de Venezuela: sinopsis, biología, ambiente, distribución y evolución. *Bol. SVE*, 29: 20-38.
- Galán, C. & F. F. Herrera. 1998. Fauna cavernícola: ambiente y evolución. *Bol. SVE*, 32: 13-43.
- Galán, C. & F. F. Herrera. 2006. Fauna cavernícola de Venezuela: una revisión. *Bol. SVE*, 40: 39-57.
- Galán, C.; F. Herrera; A. Rincón & M. Leis. 2009. Diversidad de la fauna cavernícola de los karsts en caliza del norte de Venezuela. *Publicaciones Dpto. Espeleología S.C.Aranzadi. Pag web: www.aranzadi-sciences.org*, Archivo PDF, 31 pp.
- Herrera, F. F.; F. Urbani; J. Astort; R. Carreño; A. Viloria; C. Galán; F. Scaramelli, K. Tarble & A. Rincón. 2006. Sociedad Venezolana de Espeleología 2007: Profile of structure, history, activities and explorations. *Bol. SVE*, 40: 4-11.
- Martini, J. E. & F. Urbani. 1984. Sveita, un nuevo mineral de la cueva del cerro Autana (Am.11), Territorio Federal Amazonas, Venezuela. *Bol. SVE*, 21: 13-16.
- Rodríguez, J.P.; F. Rojas-Suárez & D. Giraldo (eds). 2010. Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas, Venezuela, 324 pp.
- Rodríguez, L. M. & C. Galán. 2008. Las zonas kársticas de la Sierra de Perijá, Venezuela: cavidades estudiadas y rasgos geológico-estructurales. *Bol. SVE*, 42: 7-19.
- Urbani, F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia*, 11(6): 298-300.
- Urbani, F. 1996. Venezuelan cave minerals: a review. *Bol. SVE*, 30: 1-13.
- Urbani, F.; C. Galán & F. F. Herrera. 2006. 55 años de exploraciones espeleológicas en Venezuela. *Bol. SVE*, 40: 17-33.
- Viloria, A. L. 2005. Evaluación de la situación de los organismos troglobios y troglófilos conocidos en territorio venezolano para su inclusión en las listas de la UICN. *Bol. SVE*, 39: 87.