

ARAGONITO

SUPLEMENTO DEL PERIÓDICO DIGITAL ESPELEOLÓGICO EL EXPLORADOR

11 DE ENERO DE 2013

NACE ARAGONITO

Por: Pedro Luis Hernández Pérez

Desde hace tiempo se veía la necesidad de dar a conocer un nuevo suplemento del periódico digital *El Explorador*, luego del éxito que tuvo *Pisolito*, dirigido en exclusiva a los miembros de la Sociedad Espeleológica de Cuba, para abordar temas domésticos de la institución. Era necesario dedicar un especial a los temas científicos, ya que las características de un periódico no permiten trabajos muy extensos, y en la modalidad de seriado, como se venía haciendo, tiene la limitación del tiempo para completar la información.

Por ello nace *Aragonito*, destinado a poder divulgar temas científicos, donde se puedan incorporar mayor cantidad de fotos, tablas y otros elementos componentes de este tipo de trabajos. Que mejor aporte para inaugurar este número, que un importante trabajo del hermano y científico cubano, Leslie F. Molerio León, Miembro Ordinario de la Sociedad Espeleológica de Cuba y Consultor en Ingeniería Ambiental y Gestión de Recursos Hídricos.

Como nos tiene acostumbrado, Leslie siempre sorprende con aportes significativos al conocimiento del carso cubano, sus obras han sido motivo de consulta permanente de todos los espeleólogos del país y fuera de nuestras fronteras, es uno de los punteros de la ciencia del carso y la hidrogeología de Cuba.

Este trabajo: *Resumen de la Tipología Hidrogeológica del Karst Cubano*, es un aporte que marcará por los años el trabajo de muchos de los espeleólogos del país, ya que es uno de los temas básicos para el abordaje de la compleja relación entre el agua y su acción sobre la roca, esencia de la formación de los accidentes cársticos epigeos e hipogeos.

Por ello, damos la bienvenida a *Aragonito* y de esta forma reconocemos el trabajo científico de nuestro hermano Leslie Molerio, hombre cuya grandeza rebasa los marcos de Cuba y es de aquellos que Bertolt Brecht denominó como los imprescindibles; que mayor orgullo para la Sociedad Espeleológica de Cuba que sea uno de sus más destacados miembros. Felicidades hermano y continúa aportándole éxitos a la ciencia cubana.

Llegue a todos los miembros de la Sociedad Espeleológica de Cuba la convocatoria a enviar sus trabajos para que sean dados a conocer al resto de sus colegas a través de este suplemento, el reto está ante nuestra vista, es una oportunidad exclusiva de su compañero mensual *El Explorador*.

El Director

Resumen de la Tipología Hidrogeológica del Karst Cubano

L. F. Molerio León

**Consultor en Ingeniería Ambiental y Gestión de Recursos Hídricos
Miembro Ordinario de la Sociedad Espeleológica de Cuba**

**Apartado 6219, CP 10600, Habana 6,
La Habana, cuba**

E-mail: especialistaprincipal@gmail.com

CONTENIDO

ANTECEDENTES
JERARQUIZACIÓN DE LA REGIONALIZACIÓN
TIPO LITOLÓGICO
TIPO DE CARSO
MORFOGÉNESIS DEL RELIEVE
PATRÓN DE LA CARSIFICACIÓN Y EL CAVERNAMIENTO
GRADO DE EXPOSICIÓN Y RELACIÓN CON LA COBERTURA DEL KARST
TIPO DE ACUÍFERO Y ZONACIÓN HIDRODINÁMICA
ESTADO EVOLUTIVO
DESARROLLO DE LA RED FLUVIAL
FORMAS DE ABSORCIÓN
FORMAS DE CONDUCCIÓN
INDICADORES GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS DE LAS FORMAS DE CONDUCCIÓN
TIPOS DE CAUDALES HIPOGEOS (EN CUEVAS Y SIMAS)
FORMAS DE EROSIÓN DE LAS CAVERNAS
FORMAS DE SEDIMENTACIÓN EN CAVERNAS
TIPOS Y PROCESOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN CAVERNAS
FORMAS DE EMISIÓN: TIPO Y POSICIÓN DE LA DESCARGA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
INDICADORES MORFOMÉTRICOS DE LAS FORMAS DE CONDUCCIÓN

ANTECEDENTES

En 1974, al preparar la primera versión del Mapa Hidrogeológico de las Regiones Cársicas de Cuba a escala 1:1000 000 (Molerio, 1974a) el principal problema de diseño que fue necesario resolver era la selección de una simbología adecuada para representar los fenómenos cársicos cubanos que fueran de interés para guiar las investigaciones hidrogeológicas fundamentales y aplicadas que entonces comenzaban a desarrollarse bajo la rectoría del que fuera Grupo Hidráulico Nacional (actualmente Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos) del desaparecido Ministerio de Desarrollo Agropecuario del País. Definir los fenómenos cársicos de interés llevó, en consecuencia, al diseño de la primera tipología hidrogeológica del carso cubano hace ya casi cuatro décadas.

Como señalamos con J.J. Valdés Ramos en un artículo que apareciera publicado al año siguiente bajo el título “Problemas y Perspectivas de la Investigación Geoespeleológica en Cuba” y revisáramos 30 años después (Molerio y Valdés, 1975; Molerio, 2005), los resultados –básicamente descriptivos- heredados de las investigaciones de autores anteriores del carso cubano, sin dudas meritoria, pero conceptualmente deficiente y limitada para nuestros fines, impedía *“en buena medida, conceptualizar correctamente la dinámica genético-evolutiva cársica, del mismo modo*

*que no permiten argumentar sólidamente ni representar fielmente las características de una región **cuando se precisan las bases para ejecutar proyectos de construcción civil e hidrotécnica o explotación de los recursos subterráneos...***

Fue necesario un replanteamiento conceptual y metodológico del estudio del curso cubano que permitiera satisfacer las necesidades que se exigían para satisfacer la necesidad de conocimiento que exigía el desarrollo ingeniero civil e hidráulico. En este sentido, la experiencia y la solidez de los resultados de la investigación aplicada del curso desarrollada, sobre todo, en España y Francia fue inspiradora y orientadora, demostrando que era posible otra aproximación al problema y que, sólidamente elaborada, permitiría reevaluar muchísima información acumulada por las exploraciones del curso cubano desarrolladas hasta esa fecha.

Así, en ese año se preparó una tipología hidrogeológica del curso cubano que sirviera de base a la redefinición de la morfología del curso y, ante todo, sustentara la regionalización hidrogeológica del curso cubano. Los primeros resultados, fuera del ámbito institucional (Molerio, 1974b) fueron presentados, en 1975, al Simposio XXXV Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba (Molerio, 1975a, 1975b, 1975c, 1975d).

Metodológicamente, desde esa fecha y hasta principios de la década del 2000; es decir, durante casi 30 años, absolutamente todas las evaluaciones regionales llevadas a cabo por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos aplicaron estos principios conceptuales (véase bibliografía). Hitos importantes de ese período fueron la regionalización y evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del karst de montaña de Cuba (Molerio, 1981), Molerio et al., (1998); el Mapa Hidrogeológico del Karst Cubano a escala 1:500 000 (Molerio, Guerra y Flores, 1982); la conceptualización del Mapa Hidrogeológico de Cuba a escala 1:250 000 (Molerio et al., 1998), los estudios y cartografía del Cuaternario cubano sobre bases geológicas (Peñalver et al., 2001a, 2001b) y el rediseño y optimización de la Red de Monitoreo de las Aguas Subterráneas de la República de Cuba (Molerio et al., 1998, 2002). La versión más reciente fue presentada al VIII congreso de Geología y Minería celebrado en La Habana en el 2009 (Molerio, 2009).

De particular importancia fue la selección y aprobación de la tipología y su simbología cartográfica por la Unesco, como parte integrante de la Leyenda para Mapas Hidrogeológicos del Karst del Atlas Hidrogeológico del Caribe (Molerio, 1988). Ello permitió su aplicación en no pocos proyectos de investigación de algunas agencias del sistema de Naciones Unidas, tales como los programas de Medio ambiente (PNUMA) y el Desarrollo, de la FAO y del Organismo Internacional de Energía Atómica en Cuba y en muchos países de América Latina y el Caribe.

Es de reconocer que la tipología y su leyenda, básicamente aplicadas a la solución de problemas de investigación y de ingeniería de proyectos de obras civiles e hidráulicas si, por un lado, se enriqueció sostenidamente con los aporte de nuestros antiguos colegas en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos durante más de 30 años, solamente fue escasa y esporádicamente utilizada fuera de ese ámbito por el resto de los investigadores del karst cubano. No obstante, en 1987 fue incorporada al Curso de Especialización en Hidrología Cársica que entonces se impartía en la también desaparecida Escuela Nacional de Espeleología. Algunos entusiastas alumnos de

aquel curso la adoptaron en sus trabajos y la mejoraron notablemente. Desde entonces, los aportes de Juan Guarch, Marilú Labrada, Evelio Balado y Martín Rodríguez han sido inapreciables en su mejoramiento.

Casi cuarenta años después de haber sido esbozada por primera vez, se presenta una versión resumida de la tipología hidrogeológica del carso cubano. Un texto más amplio se encuentra en prensa, pero esta constituye una oportunidad excepcional para agradecer a nuestros más cercanos colegas su sostenida y valiosa contribución al desarrollo de los conceptos que la sustentan. En el artículo en prensa creo que la lista es exhaustiva pero, en esta breve nota, no quiero dejar de agradecer a Mario Guerra y a Ernesto Flores con quienes he compartido los últimos 40 años de estudios del carso cubano y de cuya colaboración emergieron más de uno de estos estudios.

INDICADORES SELECCIONADOS

Los indicadores en que se basa la tipología son 17 en total y reflejan absolutamente toda la dinámica del movimiento de las aguas en las unidades hidrogeológicas cársicas. El concepto de unidad hidrogeológica que se sigue en este y todos nuestros trabajos se basa en Kiraly (1978). El principio básico es que sin agua en movimiento el sistema carsificable es absolutamente inerte y, por ende, no hay posibilidad de desarrollo del carso; de ahí la suprema e insoslayable importancia de considerar la organización del sistema de flujo como el elemento clave para el desarrollo del carso. Tales indicadores se resumen a continuación:

1. Jerarquización de la regionalización hidrogeológica
2. Tipo litológico
3. Tipo de carso
4. Morfogénesis del relieve
5. Esquema geotectónico
6. Patrón de la carsificación y el cavernamiento
7. Grado de exposición y relación con la cobertura del karst
8. Tipo de acuífero y zonación hidrodinámica
9. Estado evolutivo
10. Desarrollo de la red fluvial
11. Dinámica epigea: formas de absorción
12. Formas de conducción
13. Indicadores geológicos e hidrológicos de las formas de conducción
14. Tipos de caudales hipogeos (en cuevas y simas)
15. Formas de erosión de las cavernas
16. Formas de sedimentación en cavernas
17. Formas de emisión: tipo y posición de la descarga de las aguas subterráneas

Las tablas siguientes resumen los contenidos de cada uno de los indicadores. Algunas definiciones que no son obvias se han incluido. No obstante, en el artículo en prensa y en los trabajos mencionados en la bibliografía los conceptos que sustentan cada indicador se presentan bien diferenciados. Se ha incluido, al final un listado de los indicadores morfométricos de las formas de conducción (cuevas y simas) que hemos usado en nuestras evaluaciones.

JERARQUIZACIÓN DE LA REGIONALIZACIÓN

TIPO BÁSICO	DEFINICIÓN	COMPONENTES
Región	Unidad morfoestructural e hidrológica del relieve, caracterizada por procesos morfogenéticos comunes, similares condiciones de organización del escurrimiento superficial y de alimentación, movimiento y descarga de las aguas subterráneas. Puede incluir una o varias cuencas hidrográficas ¹ (superficiales y subterráneas) y, por ello, más de un sistema regional de flujo.	
Sistema	Unidad morfogenética e hidrológica donde tienen lugar procesos de organización del escurrimiento superficial y subterráneo bajo condiciones semejantes. Puede incluir varios sistemas subregionales o intermedios de flujo	
Aparato	Unidad morfológica e hidrológica pero en la que tiene lugar todo el proceso de recarga, drenaje y descarga y constituye, por tanto, un sistema local de flujo	
Zona	Sector del aparato cársico donde tienen lugar los procesos de recarga natural (absorción), conducción o descarga	
Forma	Se constituye por la función hidrológica que desempeña en el ente cársico	Absorción (infiltración, recarga natural) Conducción (drenaje, movimiento, almacenamiento) Emisión (descarga)
Elementos individuales	Morfologías que individualmente se producen como resultado de los procesos hidrológicos de absorción, conducción y emisión	Lapiés Ponores Dolinas Uvalas Poljes Turloughs Valles Lagos Cuevas y Simas Manantiales Surgencias y resurgencias fluviales

¹ O cuencas hidrológicas.

TIPO LITOLÓGICO

TIPO	DEFINICIÓN/COMPONENTES
Carbonatado	Desarrollo sobre rocas carbonatadas (calizas, dolomitas).
Carbonatado – terrígeno	Desarrollo sobre calizas y margas interestratificadas o sobre margas.
Carbonatado-metamórfico	Desarrollo sobre calizas metamorizadas (mármoles en general).
Terrígeno – carbonatado	Desarrollo sobre sedimentos clásticos, del tipo de areniscas.
Terrígenas	Clastokarst sobre arcillas.
Salino	Desarrollo sobre yesos y rocas salinas en general.
Seudocarso	Desarrollo básicamente en rocas de tipo intrusivo o volcánicas, del tipo de granitoides, troctolitas, cuarcitas, ofiolitas.

TIPO DE CARSO

TIPO	ZONA HIDRODINÁMICA	TIPO DE ACUÍFERO	CONTROLES HIDRÁULICOS	SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICOS	CONTROLES FÍSICO-QUÍMICOS	PROCESOS DOMINANTES EN EL CONTROL DE LA TASA DE DISOLUCIÓN
Singénéticos	No saturada o vadosa	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (efecto de mezcla)	H ₂ CO ₃ -CaCO ₃	Cinéticos	Mezcla de aguas (fundamentalmente efecto salino y de insaturación por mezcla agua dulce/agua salada)
Epigenéticos	Epikarst	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (agua en movimiento y mezcla de aguas). La capacidad de disolución se atenúa en la dirección del flujo.	H ₂ CO ₃ -CaCO ₃	Cinéticos	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas.
	Zona No saturada o vadosa			H ₂ S-H ₂ SO ₄	Balace de masas	Efecto de mezcla
	Zona Saturada o Freática			Sistemas mixtos: H ₂ CO ₃ -CaCO ₃ y H ₂ S-H ₂ SO ₄	Controles mixtos: cinético y balance de masas	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas
Hipogenéticos	Circulación profunda	Confinado, semi-confinado o semilibre	Sin intercambio con procesos subaéreos. La capacidad de disolución es independiente del flujo	H ₂ S-H ₂ SO ₄	Balace de masas	Irrupciones de agresividad limitadas en tiempo y espacio: Efecto de mezcla Oxidación del H ₂ S Enfriamiento de aguas termales ascendentes

						Metamorfismo Reducción de sulfatos Maduración de hidrocarburos Dedolomitización
--	--	--	--	--	--	--

MORFOGÉNESIS DEL RELIEVE

TIPO	SUBTIPO	COMPONENTES
Montañas	Sistemas de Bloques y Horst en Mantos de Sobrecorrimiento	Tectónico-Erosivas (N ₁ -Q) Tectónico-litológicas
	Sistemas de Horst y Bloques, Masivas	Tectónico-Erosivas (N ₁ -Q)
	Sistemas de Cúpula-Bloque, Antiformes	Tectónico-Erosivas (N ₁ -Q) Tectónico-litológicas(N ₁ -Q)
	Sistemas de Horst Escalonado	Tectónico-litológicas (N ₁ -Q)
	Sistemas de Bloques Escalonados en Monoclinales e Intrusiones	Tectónico-Erosivas (N ₁ -Q) Tectónico-litológicas(N ₁ -Q)
	Sistemas de Horst Escalonados, en Plegamientos y Monoclinales	Tectónico-Erosivas (N ₁ -Q) Tectónico-litológicas(N ₁ -Q)
	Sistemas de Bloques en Plegamientos y Monoclinales	Tectónico-litológicas(N ₁ -Q)
	Sistemas de Bloque, en Plegamiento Complejo	Tectónico-Erosivas (N ₁ -Q)
Alturas	Tectónico-Erosivas (N ₁ -Q)	
	Tectónico-Estructurales (N ₂ -Q)	
	Litólogo-Estructurales y Petrogénicas (N ₂ -Q)	
Llanuras	Marinas	
	Fluvio-marinas	
	Fluviales	
	Lacustres y Palustres	
	Denudativas	

ESQUEMA GEOTECTÓNICO

TIPO	SUBTIPO	COMPONENTES
Estructuras de Manto Plegamientos Alpinos	Margen Continental	Mármoles y granitos de Sierra Morena (pE)
		Complejo detrítico-carbonatado y evaporitas ($(J_3^1-K_2^m)$)
		Complejo carbonatado y carbonatado-silíceo ($(K_1^{ber}-K_2^{cm-1})$)
		Complejo carbonatado-silíceo de aguas profundas ($J_3^1-K_2^{cm}$)
	Cuencas superpuestas sobre el Margen Continental	Complejo turbidítico-carbonatado-detrítico ($P_{1-2}-P^{1-2}$)
	Cuencas superpuestas sobre el Arco Volcánico Cretácico	Molasa inferior carbonatada flyschoides (K_2^{op-m})
		Molasa inferior carbonatada o formaciones carbonato-detríticas con olistostromas (P_1-P^{1-2})
		Molasa superior carbonatada terrígeno-detrítica (P_2^1)- P_2^{2-3})
	Macizos meridionales	Complejo carbonatado y terrígeno (J_{2-3})
		Complejos carbonatado y carbonatado-silíceo ($J_3-K_2^1$)
Complejo metavulcanógeno-carbonatado ($J_3-K_2^1$)		
Complejo flyschoides carbonatado terrígeno (K_{1-2})		
Cobertura de la Plataforma Moderna (P_{2-3} , N-Q)		

PATRÓN DE LA CARSIFICACIÓN Y EL CAVERNAMIENTO

TIPO	DEFINICIÓN
Porosidad	Generalmente asociada al karst singenético. El desarrollo del karst está controlado por la distribución de la porosidad primaria de las rocas. No puede señalarse una orientación precisa para el cavernamiento, cuyo desarrollo muestra galerías lobuladas, integradas por coalescencia en rocas con elevada porosidad primaria. Forma acuíferos libres, de muy bajo gradiente hidráulico y flujo difuso.
Estratificación	Generalmente asociada a los karsts epigenéticos. El desarrollo del karst está condicionado por las relaciones estructuro – sedimentarias entre las rocas carsificables y las no carsificables y puede desarrollarse tanto a favor de la dirección como del buzamiento de los estratos. La orientación del cavernamiento y del flujo subterráneo está determinada por la disposición de los elementos de yacencia de las capas (dirección o buzamiento) o por la alternancia de estratos litológicamente diferentes, en cuyo caso suelen conformar acuíferos con presión. En general forma acuíferos libres, semilibres o de flujo retardado, amplios y extensos, de flujo concentrado o difuso, según el caso. Se reconocen tres tipos básicos de relaciones entre las rocas carsificables: <ul style="list-style-type: none"> • Macizos constituidos homogéneamente por rocas carsificables. • Macizos constituidos por capas alterna de rocas carsificables y no carsificables.

	<ul style="list-style-type: none"> • Macizos constituidos por lentes de rocas carsificables.
Agrietamiento	Generalmente asociada a los karsts epi e hipogénicos. El desarrollo del karst está asociado a la dirección de las grietas, generalmente del tipo de diaclasas y en menor grado de fallas tectónicas. El buzamiento de las grietas es un fuerte controlador del desarrollo de formas específicas del relieve. La orientación del cavernamiento y del flujo subterráneo, además de la disposición de los ejes o las vertientes absorbentes o emisivas o de los conductos subterráneos está determinada por la distribución espacial, relaciones físicas, carácter del relleno y orientación de las redes de grietas. Cavernas y relieve en general con un fuerte control lineal. Forma acuíferos de flujo concentrado cuya integración depende de la conexión física entre los sistemas de grietas.
Mixtos	Combinación de los anteriores pero, básicamente, asociadas a la estratificación + agrietamiento.

GRADO DE EXPOSICIÓN Y RELACIÓN CON LA COBERTURA DEL KARST

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPOS	COMPONENTES
Tipo de sedimentos	Friables o no consolidados		Suelos y arenas
	Semiconsolidados		Sedimentos no coherentes
	Consolidados		Rocas coherentes
Relación con la cobertura	Carso cubierto	Preactuales: La cobertura es más antigua que el karst	Profundo
			Subyacente
			Interestratificado
			Lenticular
		Actuales: La cobertura es contemporánea con el karst	
		Modernos: La cobertura es más joven que el karst	
	Carso descubierto o expuesto	Karst denudado	
Karst exhumado			
Karst abierto			

TIPO DE ACUÍFERO Y ZONACIÓN HIDRODINÁMICA

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPO	COMPONENTES	SUBCOMPONENTES	DEFINICIÓN
Tipo hidrodinámico	Libre	Concentrado	Colgantes o suspendidos (acuíferos de tipo capa o conducto)	Descubiertos	Acuífero sin presión. La red de flujo se organiza según patrones en líneas preferenciales expresadas morfológicamente (concentrado). En los

					descubiertos las rocas solubles se extienden hasta la superficie.
				Cubiertos	Las rocas impermeables condicionan la descarga del acuífero en o por encima del nivel de base local.
		Profundos	Descubiertos		Sistema desarrollado hasta el nivel de base regional o a considerable profundidad bajo el nivel de base local.
				Cubiertos	Las rocas impermeables condicionan la descarga del acuífero en o por debajo del nivel de base local.
		Hipodérmico			Circulación bajo el epikarst o en la zona no saturada que puede o no converger al sistema de capa.
		Cutáneos			Circulación independiente del epikarst pero desarrollado de manera independiente sin converger al sistema de capa.
	Difuso	Colgantes o suspendidos (acuíferos de tipo capa o conducto)	Descubiertos		Domina el flujo darciano, manto acuífero con nivel continuo real o virtualmente, anisotropía homogénea. Acuífero sin presión. La red de flujo se organiza según patrones en líneas preferenciales expresadas como zonas transmisivas separadas de otras capacitivas. En los descubiertos las rocas solubles se extienden hasta la superficie.
				Cubiertos	Las rocas impermeables condicionan la descarga del acuífero en o por encima del nivel de base local.
		Profundos	Descubiertos		Sistema desarrollado hasta el nivel de base

					regional o a considerable profundidad bajo el nivel de base local.
				Cubiertos	Las rocas impermeables condicionan la descarga del acuífero en o por debajo del nivel de base local.
	Confinado (flujo retardado)	Artesiano			Acuífero con presión (mayor que la atmosférica), desarrollado bajo controles hidráulicos, litológicos o ambos. Rocas impermeables cubren los límites superior e inferior de las rocas del acuífero que se alimenta básicamente por simas verticales lo están por rocas impermeables.
		Lenticular			Acuífero con presión local, completamente rodeado por rocas impermeables, generalmente desvinculado del ciclo hidrológico actual.
		Interestratificado (entre capas)	Semiconfinado (Percolante: Leaky)		Capa completamente saturada cuyo límite superior es semipermeable y el inferior impermeable. La capa semipermeable presenta una permeabilidad baja pero medible y el rebajamiento de la superficie piezométrica provoca una circulación entre el acuífero y la capa semipermeable.
			Semilibre (Retardado: Delayed)		Comportamiento intermedio entre los acuíferos semiconfinados y libres debido a la existencia de una capa lo suficientemente permeable para despreciar la componente horizontal de flujo.

Sistema de flujo	Local				Tiene su área de recarga en un alto topográfico y el área de descarga en un bajo topográfico adyacente, es decir, localizados uno al lado del otro
	Intermedio o subregional				Sus zonas de recarga y descarga, no son adyacentes, ni tampoco ocupan las elevaciones más altas y bajas de una cuenca; pero sus zonas de recarga y descarga están separadas por uno o más altos o bajos topográficos.
	Regional				Su zona de recarga ocupa el parte aguas subterráneo y su zona de descargase sitúa en el fondo de la cuenca.
Modelo hidráulico de transferencia de flujo y energía (modelo de porosidad)	Única (simple)				Domina un solo espacio de flujo (poro, grieta o caverna).
	Doble porosidad				Dominan un par de espacios en la organización de flujo y transferencia de masa, momento y energía: poro-grieta; grieta-caverna.
	Porosidad múltiple				Dominan más de un par de espacios.
Zonación hidrodinámica	Holokarst				Se reconoce una zonación hidrodinámica completa que, en el corte vertical incluye: zona no saturada, de fluctuación estacional de las aguas subterráneas, de drenaje o saturada y de circulación profunda; generalmente se encuentra en acuíferos de capa.
	Merokarst				No se reconoce alguna de las dos últimas zonas de flujo (saturada y/o de

					circulación profunda) pero, por lo común se refiere a aquellos casos en que falta la zona saturada o está poco desarrollada.
--	--	--	--	--	--

ESTADO EVOLUTIVO

TIPO	SUBTIPO	COMPONENTE	PROCESO DOMINANTE
Hidrológicamente activo	Permanente		
	Estacional		
	Episódico		
	Reactivado (karst exhumados)		
Merofósil	Parcial	Alóctona	
		Autóctona	
		Mixta	
		Por inactividad hidrológica	
Holofósil	Completa	Alóctona	Inmersión
			Subaéreo
			Mixto
	Incompleta	Alóctona	
Autóctona			
Paleokarsts			

DESARROLLO DE LA RED FLUVIAL

TIPO	SUBTIPO	COMPONENTE
Ríos autóctonos	Intercárcicos	Surgentes
		Resurgentes
	Transcurrentes	Completos
		Incompletos
	Marginales	
Ríos alóctonos	Transcurrentes	
	Transfluentes	

	Marginales	
--	------------	--

FORMAS DE ABSORCIÓN

TIPO	SUBTIPO	COMPONENTES	DEFINICIÓN/ORIGEN
Lapiés	Libres		Originados por corrosión directa sobre las rocas carsificables; presentan crestas agudas, bien definidas, generalmente sin cobertura o bajo una capa, lentes o bolsones de sedimentos poco potentes producto de decalcificación.
	Semilibres		Originados por aguas de escorrentía en manto o difusa obstaculizada o eventualmente retenida por la cubierta de suelo y/o vegetación
	Cubiertos		Originados bajo la cubierta de suelo o vegetación. presentan rasgos de corrosión laminar, con multitud de pequeñas depresiones y canales de disolución, suele carecer de crestas y canales interconectados
	Litorales		Originados por procesos mixtos abrasivo – corrosivos en el litoral marino. Suelen presentar crestas pequeñas agudas y numerosas, en campos extensos bordeando las líneas de costas marinas actuales y preactuales.
Ponores	De talweg		Originados por procesos de drenaje localmente concentrado en los talwegs fluviales.
	De dolina		Originados en las vertientes y fondo de estas formas como consecuencia de procesos de profundización de las mismas, (corrosivos, erosivos –arroyada en manto o concentrada, o hundimiento de cavernas, asentamientos del epikarts o subsidencia en general.
	De uvala		
	De polje		
	De turlough		
	Estavelas simples o de recirculación		
Dolinas	De hundimiento		Debidas a clastificación de bóvedas de cavidades subyacentes o por procesos mixtos de corrosión subaérea y erosión inversa.
	Corrosivas		Debidas a procesos predominantemente de corrosión cársica.
	Sufosivas		Formadas por asentamiento progresivo o brusco de su fondo debido a procesos de sufusión.
	De contacto (marginales)		Desarrollados en el contacto entre rocas carsificables y no carsificables por procesos de disolución y de erosión predominantemente diferencial.
	Lacustres		Formadas por erosión lateral y flujo helicoidal en sistemas lacustres.
	Mixtas (poligénicas)		Combinación de las anteriores.
Uvalas	De hundimiento		Debidas a clastificación de bóvedas de cavidades subyacentes o por procesos mixtos de corrosión

			subaérea y erosión inversa.
	Corrosivas (coalescentes)		Debidas a procesos predominantemente de corrosión cársica y/o a la coalescencia de varias dolinas.
	Sufosivas		Formadas por asentamiento progresivo o brusco de su fondo debido a procesos de sufusión.
	De contacto (marginales)		Desarrollados en el contacto entre rocas carsificables y no carsificables por procesos de disolución y de erosión predominantemente diferencial.
	Lacustres		Formadas por erosión lateral y flujo helicoidal en sistemas lacustres.
	Mixtas (poligénicas)		Combinación de las anteriores.
Poljes	Simples	Marginales o de contacto	Desarrollados en el contacto entre rocas carsificables y no carsificables por procesos de disolución y de erosión predominantemente diferencial.
		Corrosivos	Debidas a procesos predominantemente de corrosión cársica.
		De hundimiento o subsidencia	Formadas por subsidencia progresiva de la cuenca geológica o parte de ella.
		Sufosivos	Formadas por asentamiento progresivo o brusco de su fondo debido a procesos de sufusión.
	Poligénicos compuestos	Lacustres	Formadas por erosión lateral y flujo helicoidal en sistemas lacustres. La fase lacustre es típica de la evolución hidrológica de los poljes.
De conjugación (coalescentes)		Debidas a procesos predominantemente de corrosión cársica y/o a la coalescencia de varias uvalas y campos de dolinas.	
Valles	Ciegos		La corriente fluvial es absorbida totalmente en un punto, deteniéndose el desarrollo del valle en superficie.
	Inversos		Originados por formas de erosión inversa que abortaron al talweg desarticulando la corriente fluvial.
	Surgentes (emisivos)		Debidos a la descarga de surgencias (ver formas de emisión)
	Resurgentes (absorbentes-emisivos)		Debidos a la descarga de resurgencias (ver formas de emisión)
	Corrosivos (coalescentes)		Formados como consecuencia de la coalescencia entre campos de dolinas o pequeños valles.
	Muertos		Aquellos debidos al total desmembramiento y abandono del sistema fluvial.
	Fluviocársicos		Desarrollados por procesos combinados de erosión fluvial y corrosión cársica.
	Poligénicos		Combinación de los anteriores.
Lagos	De caudal epigeo	Afluentes	Que actúan como colectores de aguas superficiales.

		Efluentes	Que actúan como derivadores de las aguas superficiales.
		Mixtos	Combinación de los anteriores.
	De caudal hipogeo (subterráneo)	Afluentes percolantes	Colectores de aguas de goteo o de rezumamiento.
		Afluentes de drenaje	Colectores de escorrentía subterránea concentrada o difusa.
		Efluentes percolantes	Emisores de aguas de goteo o de rezumamiento.
		Efluentes de drenaje	Emisores de escorrentía subterránea concentrada o difusa.
		Mixtos	Combinación de los tipos anteriores.

FORMAS DE CONDUCCIÓN

Categorías generales morfológicas: Simas o Cavernas

TIPO GENÉTICO	DEFINICIÓN PRINCIPAL	SUBTIPO	COMPONENTE	DEFINICIÓN
Directas	Condicionadas por el desarrollo de redes hidrológicas epigeas y/o hipogeoas o ambas. Se trata de fragmentos truncados o no de esas redes de drenaje.	De caudal autóctono	Transcurrente	Debidas al desarrollo subterráneo parcial de líneas de flujo concentrado absorbente o emisiva.
			Transfluentes	Debidas al desarrollo subterráneo de líneas de flujo concentrado absorbente-emisiva.
			Emisivas	Debidas a la descarga de las aguas subterráneas (antiguos conductos de manantiales o trop-pleins)
			De mezcla	Debidas a la mezcla de aguas de diferentes puntos del macizo.
		De caudal alóctono o alogénico	Transfluente	Debidas al desarrollo subterráneo de líneas de flujo concentrado absorbente-emisiva.
			Emisiva	Debidas a la descarga de las aguas subterráneas (antiguos conductos de manantiales o trop-pleins)
			De mezcla	Debidas a la mezcla de aguas alogénicas o alogénicas-autígenas (autóctonas).
			Absorbente	Debidas a la captación de líneas de flujo superficial.

		De caudal híbrido		Debidas a la contribución de caudales de diferente origen y procedencia.
Indirectas	Formadas por acción de flujos no organizados superficiales.	Abrasivas		Debidas a la acción predominantemente abrasiva y abrasivo-corrosiva del agua de mar.
		Absorbentes		Debidas a la captación de caudales superficiales
		Erosión lateral		Debidas a erosión lateral fluvial y lacustre.
		Clástica (o de pendiente)		Debidas a procesos de erosión y desarticulación del lavado de vertientes.
Inversas	Formadas por procesos de erosión inversa, sin intervención de corrientes fluviales o sistemas de flujo organizados. El termino pseudogalería se reserva para cavidades de este tipo de eje horizontal.	Simples	Isoclásicas	Domina una sola forma de fuso y el alargamiento de su sección ortoxial coincide con lo orientación del sistema de diaclasas dominante.
			Heteroclásicas	Domina una sola forma de fuso y el alargamiento de su sección ortoxial es aberrante.
			Semitectónicas	Sección ortoxial circular o subcircular.
		Compuestas	Homogéneas	Debidas al dominio de una sola forma de fuso.
			Heterogéneas	Debidas al dominio de varias formas de fuso
		Mixtas	Combinación de las anteriores	Combinación de las anteriores
De caudal híbrido	De mezcla			
			De efecto salino	Debidas a efectos de insaturación.
			Hipo epigenéticas +	Debidas a procesos de disolución de sistemas mixtos: $H_2CO_3-CaCO_3$ y $H_2S-H_2SO_4$
Hipogénicas			De circulación profunda	Debidas a procesos de disolución de sistemas $H_2S-H_2SO_4$ en acuíferos confinados.
			De migración	Debidas a procesos de disolución de sistemas $H_2S-H_2SO_4$ en acuíferos libres, semilibres o semiconfinados.

INDICADORES GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS DE LAS FORMAS DE CONDUCCIÓN

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPO	COMPONENTE
Geológicos	Litología		
	Estratigrafía		
	Estructura geológica		
	Patrón de carsificación	Agrietamiento	
		Porosidad	
		Estratificación	
		Mixto	
Hidrológicos	Funcionamiento hidrológico de la cavidad	Permanente	
		Estacional	
		Episódico	
		Inactivo	Merofósil
			Holofósil
Funcionamiento hidrológico del sistema o aparato		Permanente	
		Estacional	
		Episódico	
		Inactivo	Merofósil
			Holofósil

TIPOS DE CAUDALES HIPOGEOS (EN CUEVAS Y SIMAS)

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPO	COMPONENTE
Tipos de flujo	Hipodérmico	Concentrado	
		Difuso	
	Pelicular		
	Rezumamiento		
	Condensación		
	Fluvial		
	Lacustre		
	Goteo		
	Drenaje lateral del acuífero		

Expresión morfológica	Aguas de capa	Drenaje horizontal difuso	Ascendente
			Descendente
		Drenaje lateral concentrado	Ascendente
			Descendente
	Aguas de goteo		
	Aguas de captación	Lagos	
		Gours	
		Pozas	
Régimen de flujo	Laminar	Infracrítico	
		Supercrítico	
	Turbulento	Infracrítico	
		Supercrítico	
Transicional			

FORMAS DE EROSIÓN DE LAS CAVERNAS

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPO	COMPONENTE
Primarias	Conducción forzada	Anastomosis	De grietas
			De estratos
		Redes	
		Alvéolos	Cenitales
			Parietales
			Pavimentarios
		Bolsadas	
		Boxwork	
	Spongework		
	Gravitacionales	Simples	Scallops y fluttes
			Tubos y medios tubos
			Canales
			Marmitas
			Nichos
			Pozas
Conjugación		Coalescente	

	Independientes	Fusos	Erosiva
		Abrasivas	Mixta
		Clásticas	
		Sufosivos	
		De cavitación	
Secundarias	Galerías mixtas o conjugadas		
	Decalcificación	De espeleotemas	
		De la roca estructural	
	Reexcavación	De galerías	
		De formas acumulativas	
	Reinundación	De galerías	
		De formas acumulativas	
	Redisolución		
	Creeping		
	Solifluxión		
	Subsidencia		
	Agrietamiento paragenético		
	Deposición turbillonar		
Avenamiento			

FORMAS DE SEDIMENTACIÓN EN CAVERNAS

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPO	COMPONENTES
Autóctonas	Litoquímicas	Climáticas	Cenitales
			Parietales
			Pavimentarias
		De caudal	Cenitales
			Parietales
			Pavimentarias
	Mixtas		
Clásticas	Expresión morfológica	Caos de bloques	

			Conos y hemiconos de deyección	
			Conos centrales	
			Coladas y hemiconos de bloques	
			Tipo genético	
				Quimioclástico
				Graviclástico
				Mecanoclástico
		Terrígenos	Acumulativas	Glyptoclástico
				Aluviales
				Eluviales
	Orgánicos		Lacustres	
			Poligénicos	
			Fauna	
Alóctonos	Marinos		Flora	
			Mixtos	
			Arcillas	
			Arenas	
	Orgánicos			Bloques
				Conglomerados
				Brechas detríticas
	Coluviones			Coladas
				Aluviones
				Fauna y flora
	Mixtos			

TIPOS Y PROCESOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN CAVERNAS

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPO	COMPONENTES
Tipos climáticos de cuevas	Estática	Saco de aire sencillo	
		Tubo de viento sencillo	
	Dinámica	Saco de aire múltiple	
		Tubo de viento múltiple	
	Trampa térmica	Fría	
		De calor	
Procesos termodinámicos			Condensación
			Evaporación

FORMAS DE EMISIÓN: TIPO Y POSICIÓN DE LA DESCARGA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

CATEGORÍA	TIPO	SUBTIPO	COMPONENTES
Alimentación	Surgencia	Descendente	Circulación libre
			Circulación forzada
		Ascendente	Circulación forzada
		Normales	Circulación libre
			Circulación forzada
		Resurgencia	Descendente
	Circulación forzada		
	Ascendente		Circulación forzada
	Normales		Circulación libre
		Circulación forzada	
Circulación	A presión continua	De sifón	
		De depósito	
	Intermitentes	De sifón	
		De depósito	
		Trop-plein	
	Descarga	Concentrada	Sencilla
Múltiple			Horizontal

			Escalonada
	Difusa	Sencilla	
		Múltiple	Horizontal
			Escalonada
Posición de la descarga:	Descarga a nivel del talweg o de la base local de erosión		
	Descarga sobre el nivel del talweg o de la base local de erosión		
	Descarga bajo el nivel del talweg o de la base local de erosión	Submarina	
		Subacuática	
	Filtraciones o rezumamiento (seepage)		
Nivel de base	Local	Fluvial	
		Lacustre	
		Impermeable regional	
	Regional	Litorales	Litoral conforme
			Litoral contrario
			Litoral transversal
	Continenciales		Fluvial
			Lacustre
			Impermeable regional

INDICADORES MORFOMÉTRICOS DE LAS FORMAS DE CONDUCCIÓN

1. Morfométricos
 - a. Factor de desnivel
 - b. Volumen
 - c. Índice volumétrico
 - d. Longitud total
 - e. Longitud rectificada
 - f. Factor hidrogeológico
 - i. Relativo
 - ii. Absoluto
 - g. Coeficiente de ramificación
 - h. Índice de laberinticidad
 - i. Coeficiente de sinuosidad
 - j. Coeficiente de no linealidad
2. Topográficos
 - a. Categoría del levantamiento
 - b. Relación de precisión
 - c. Cotas superior e inferior
 - d. Número de niveles
 - e. Profundidad total

f. Longitud total

BIBLIOGRAFIA²

Kiraly, L. (1978): **La notion d'unité hydrogéologique. Essai de définition.** These. Bull. Centre Hydrogeol. 2, Univ. Neuchatel, :83-216

Molerio León, Leslie F. (1974a): **Esquema Geoespeleológico Preliminar de Cuba (a escala 1:1 000 000).** Archivo, Inst. Nac. Rec. Hidráulicos, Cuba

Molerio León, Leslie F. (1974b): **Principios de Regionalización Geoespeleológica de Cuba.** Archivo, Inst. Nac. Rec. Hidráulicos, Cuba

Molerio León, Leslie F., M. Guerra Oliva y E. Flores Valdés (1987): **Mapa hidrogeológico del Carso Cubano (a escala 1:500 000).** Archivo, Inst. Nac. Rec. Hidráulicos, Cuba

Molerio León, Leslie F. y Julio J. Valdés Ramos (1975): **Problemas y Perspectivas de la Investigación Geoespeleológica en Cuba.** Tecnológica, La Habana, XIII (3):32-35

Molerio León, Leslie F. (1975a): **Notas para una Tipología Geoespeleológica del Karst Cubano.** Simp. XXXV Aniv. Soc. Espel. Cuba, La Habana, :65

Molerio León, Leslie F. (1975b): **El Concepto de Nivel de Base de Erosión en el Karst.** Simp. XXXV Aniv. Soc. Espel. Cuba, La Habana, :68

Molerio León, Leslie F. (1975c): **Fundamentos del Mapa Hidrogeológico del Karst Cubano.** Simp. XXXV Aniv. Soc. Espel. Cuba, La Habana, :65-66

Molerio León, Leslie F. (1975d): **Esquema Geoespeleológico Preliminar de Cuba (Memoria Explicativa del Mapa de las Regiones Cársicas de Cuba a escala 1:1 000 000).** Simp. XXXV Aniv. Soc. Espel. Cuba, La Habana, :68

Molerio León, Leslie F. (1978a): **Fundamentos del Mapa Hidrogeológico del Carso Cubano.** Voluntad Hidráulica, La Habana, XV (47-48):50-54

Molerio León, Leslie F. (1978b): **Anteproyecto de Normas e Índices de Costos de los Trabajos de Levantamiento Hidrogeológico.** Inst. Hidroeconomía, La Habana, 24: .Archivo, Inst. Nac. Rec. Hidráulicos, Cuba

Molerio León, Leslie F. (1981): **Problemas Hidrogeológicos del Karst de Montaña de Cuba.** Voluntad Hidráulica, La Habana XVIII (55):37-40

Molerio León, Leslie F. (1980): **Tipología Hidrogeológica del Carso Cubano.** Inst. Hidroeconomía, La Habana, 44: .Archivo, Inst. Nac. Rec. Hidráulicos, Cuba

Molerio León, Leslie F. (1981): **Notas para un Modelo Conceptual del Desarrollo del Karst en Cuba.** Voluntad Hidráulica, La Habana, XVIII (56):21-23

Molerio León, Leslie F.; M. Guerra Oliva & E. Flores Valdés (1982): **El Mapa Hidrogeológico del Karst Cubano.** Coloquio Internac. Hidrol. Cársica de la Región del Caribe, UNESCO, La Habana: 181-197

Molerio León, Leslie F. (1988): **Legend for Hydrogeological Maps of Karst Terranes. Hydrogeological Atlas of the Caribbean. A Contribution of the Cuban National Committee for the IHP.** CINCIA-UNESCO, La Habana, 44:

Molerio León, Leslie F.; M. Guerra Oliva; E. Planos Gutiérrez & A. Surí Hijos (1990): **Atlas Hidrogeológico del Caribe. Mapa Hidrogeológico de Cuba a escala 1:1 000 000.** CONAPHI Cuba-CINCIA. Archivo, Inst. Nac., Rec. Hidráulicos, Cuba

Molerio León, L.F.; E. Flores Valdés; M. Guerra Oliva; O. Barros Mouriño; I., Plaza Peñalver; E. Rocamora Alvarez; Y. Portuondo López; A. Menéndez Gómez; A. León Castillo; N. D. Gómez Fernández-Britto; C. Bustamante Allen; J.L. Gelabert Bravo & F. Méndez Riera (1998): **Mapa Hidrogeológico de Cuba 1:250 000.** Geología y Minería '98. Memorias, Volumen I, Versiones Resumidas,: 437-440

² Esta bibliografía es mínima, pero recoge los trabajos más importantes relacionados con la concepción y desarrollo de la tipología. Respecto a la bibliografía inédita se incluye exclusivamente la específicamente referida a los trabajos básicos de la tipología y que debe descansar en los Archivos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Molerio León, L.F., O. Barros, N. Gómez, J.L. Gelabert (1998): **Cuba. Red Nacional de Monitoreo del Régimen de las Aguas Subterráneas.** Red Internac. de Organismos de Cuenca. Carta de la Red. (6), 1er trimestre, 9

Molerio León, L.F.; E. Flores Valdés; M. Guerra Oliva; A. Menéndez Gómez; C. Bustamante Allen; E. Rocamora Alvarez (1998): **Evaluación, Aprovechamiento y Protección de las Aguas Subterráneas en las Zonas de Montaña de Cuba.** Geología y Minería '98. Memorias, Volumen I, Versiones Resumidas.: 441-444

Peñalver, L.L., M. Cabrera, H. Trujillo, H. Morales, M. Fundora, J. Pérez Lazo, L. Molerio, M. Guerra, I. Pedroso (2001): **Evolución paleoclimática y paleogeográfica de Cuba durante el Cuaternario.** IV Congreso de Geología y Minería. Memorias Geomin 2001, La Habana, Marzo 19-23: GQGC 74- GQGC 83

Peñalver, L.L., M. Cabrera, H. Trujillo, H. Morales, M. Fundora, J. Pérez Lazo, L. Molerio, M. Guerra, I. Pedroso (2001): **Mapa de depósitos cuaternarios del archipiélago cubano a escala 1:250 000.** IV Congreso de Geología y Minería. Memorias Geomin 2001, La Habana, Marzo 19-23: GQGC 94- GQGC 103

Molerio León, L.F., J.C. Torres Rodríguez (2002): **Métodos Geomatemáticos de diseño y optimización de redes de monitoreo de aguas subterráneas.** Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, XXIII (2):38-45

Molerio León, L.F. (2005): **Problemas y perspectivas de la investigación geoespeleológica en Cuba...30 años después.** *El Explorador.* Periódico Digital Espeleológico, La Habana, No. 19, Noviembre 26, 2005

Molerio León, L.F. (2009): **Características hidrogeológicas del carso cubano.** VIII CONGRESO DE GEOLOGÍA (GEOLOGIA 2009) Geomorfología, Carso e Hidrogeología GEO5. TERCERA CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2009. Memorias en CD-Rom, La Habana, 16-20 de Marzo de 2009, ISBN 978-959-7117-19