

LOS CONODONTOS DE LA FORMACIÓN EL HÍGADO Y SU CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL METAMORFISMO Y LA PALEOGEOGRAFÍA DEL ORDOVÍCIO EN LA CORDILLERA CENTRAL COLOMBIANA

Borrero, C.¹; Sarmiento, G.N.²; Gómez-González, C.³; Gutiérrez-Marco, J.C.²

RESUMEN

En la Formación El Hígado aflorante en la vertiente oriental de la Serranía de Las Minas, a 9.5 km al NW del municipio de Tarqui (Departamento del Huila), se encontró en su miembro inferior, en niveles de caliza bioclástica formados por acumulaciones lumaquéllicas de braquiópodos rinconeliformes, una asociación de conodontos del Ordovícico Medio, junto con microelementos reelaborados del Ordovícico Inferior y Medio basal. El conjunto involucra una mezcla tafonómica de dos o más horizontes ordovícicos. Las formas más antiguas son de edad Tremadociano (biozonas de *Paltodus deltifer* a *Paroistodus proteus*). El rango de la asociación más moderna abarca las biozonas de *Lenodus variabilis* a *Eoplacognathus suecicus* y es de edad Darriwiliano. Otras formas retrabajadas parecen sugerir asociaciones adicionales de edades Floiano, Piso Tercero y Darriwiliano basal. El descubrimiento de estos conodontos implica que el Tremadociano llegó a depositarse en esta zona y fue erosionado prácticamente *in situ* en tiempos arenigianos, por lo que el Terreno Chibcha ya quedaría adyacente por aquél entonces a la cuenca pericratónica del este de Colombia. El índice de alteración del color de los conodontos (CAI), con valores 2 a 4, descarta el metamorfismo regional de la Formación El Hígado, afectada localmente por hidrotermalismo (CAI 6).

Palabras clave: Conodontos, Ordovícico, Cordillera Central de Colombia, Metamorfismo, Paleogeografía

THE CONODONTS FROM THE EL HÍGADO FORMATION AND ITS CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF METAMORPHISM AND ORDOVICIAN PALEOGEOGRAPHY IN THE CENTRAL CORDILLERA OF COLOMBIA

ABSTRACT

Conodonts are rare fossils in northern South America, and this work reports their first occurrence in the Ordovician of Colombia. The studied sample come from a thin brachiopod coquina interstratified in storm-generated sandstone deposits, 20 m above the base of the El Hígado Formation (Darriwilian) in its type section in the Central Cordillera. The conodont assemblage contains fairly well preserved elements with different states of mechanical fragmentation, corrosion and even bacterial alteration. CAI values are between 2 and 6, in absence of regional metamorphism and with evidence of local hydrothermalism. The sample involved a taphonomic mixture of two or more Ordovician horizons. The older conodont assemblage is of Tremadocian age and range from the *Paltodus deltifer* to the *Paroistodus proteus* conodont biozones. The youngest assemblage range through the *Lenodus variabilis* and *Eoplacognathus suecicus* conodont biozones and is of Darriwilian age. A number of reworked conodont taxa seem to suggest additional assemblages of Floian, Third Stage and lowest Darriwilian intermediate ages. The studied conodonts indicate the existence of older and previously unknown Ordovician sedimentation in Central Colombia, where reworked specimens were probably winnowed from condensed successions ranging from the lower Tremadocian to the lower Darriwilian, and are indicative of a pre-Ordovician accretion from the Chibcha terrane.

Key words: Conodonts, Ordovician, Central Cordillera of Colombia, Metamorphism, Palaeogeography.

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Caldas, Manizales (Colombia). borrero_c@yahoo.com

² Departamento de Paleontología e Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, E-28040 Madrid, España. gsarmien@geo.ucm.es

³ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá de Henares, E-28871 Alcalá de Henares (Madrid), España.

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de fósiles ordovícicos en el flanco oriental de la Cordillera Central colombiana se debe a Harrison (1930) quien encontró, durante el reconocimiento geológico del ferrocarril Puerto Berrío-Medellín, algunos graptolitos del Arenigiano cerca de La Cristalina (Dpto. Antioquia), en un yacimiento luego cartografiado y revisado estratigráficamente por Botero Arango (1940). Se trata de una sucesión levemente metamorfizada de areniscas (predominantes en la parte inferior), lutitas oscuras fosilíferas y algunas intercalaciones calcáreas (hacia techo), asignada al Arenigiano por el hallazgo de *Expansograptus hirundo*, *E. extensus*, *E. nitidus* y *Pseudisograptus?* sp. (= "*Didymograptus*" *gibberulus*) (taxonomía levemente revisada por Gutiérrez-Marco *et al.*, 2006).

A esta primera localidad Ordovícica colombiana le siguieron nuevos hallazgos de unidades fosilíferas del mismo periodo en la Cordillera Oriental (La Uribe y Río Venado), Sierra de La Macarena (sector central y caños Guapayito, 40½ y 60 km), subsuelo de los Llanos Orientales (sondeos La Heliera-1, Negritos-1, Trinidad-1 y Voragine-1) y Cuenca del Amazonas (Araracuara y SO de Mitú): para referencias ver Mojica & Villarroel (1990) y Gutiérrez-Marco *et al.* (2006). En la Cordillera Central, al descubrimiento inicial de Ordovícico fosilífero en el Magdalena Medio (Formación La Cristalina) le siguió muchos años después la caracterización de la Formación El Hígado en la Serranía de Las Minas (Valle Superior del Magdalena), con importantes hallazgos paleontológicos del Ordovícico Medio (Mojica *et al.*, 1988a, 1988b; Vélez & Villarroel, 1993) que guardan estrechas relaciones con los fósiles de la Formación Contaya del área amazónica peruana.

Los conodontos son fósiles raros en las rocas del Paleozoico Inferior de Suramérica septentrional, donde hasta ahora se habían mencionado para el Ordovícico en un único sitio en el sureste de Perú, investigado preliminarmente por Sarmiento *et al.* (2001) y Gutiérrez-Marco *et al.* (2004). Este trabajo reporta los resultados de una segunda localidad, esta vez en Colombia, en donde hasta ahora sólo se conocían conodontos del Paleozoico Superior (Stibane, 1967, entre otros autores).

MARCO GEOLÓGICO

La Formación El Hígado aflora de modo intermitente a lo largo de unos 15 km en la vertiente oriental de la Serranía de Las Minas (Rodríguez *et al.*, 1998; Velandia *et al.*, 2001), y su estratotipo se ubica en el curso superior de la Quebrada de El Hígado, a unos 9,5 km al noroeste de Tarqui (Dpto. del Huila), donde fue descrita originalmente por Mojica *et al.* (1988a, 1988b). La revisión litoestratigráfica detallada de dicha sección (Caicedo en Velandia *et al.*, 2001; Caicedo Andrade, 2001) muestra que la Formación El Hígado se apoya en contacto probablemente discordante sobre los neises de Las Minas (Proterozoico) y comprende tres tramos o miembros: el inferior (98 m), compuesto por areniscas y limolitas arcillosas con algunas intercalaciones de calizas bioclásticas hacia la base; el intermedio, formado por 270 m de pizarras oscuras y limolitas que intercalan un nivel de nódulos; y el superior (317 m) con areniscas, limolitas y niveles conglomeráticos. El techo de la sucesión no es visible, pero lateralmente la unidad entra en contacto discordante o por falla tanto con las calizas y arenitas de La Batalla (Paleozoico Superior), como con rocas vulcanosedimentarias del Jurásico (Formación Saldaña). Los primeros fósiles fueron asignados al tramo inferior y medio de la Formación El Hígado por Mojica *et al.* (1988a, 1988b) y constan de graptolitos (*Didymograptus purchisoni*, *D. aff. artus*, *Glyptograptus* sp., *Cryptograptus* cf. *tricornis* y *Hallograptus* cf. *bimucronatus*), raros trilobites (*Anebolithus* cf. *tafuri*, *Porterfeldia* sp., Asaphidae) y braquiópodos (*Obolus?* sp.). Los graptolitos proceden de niveles no especificados, ubicados hacia la parte media de la sección tipo, que en conjunto se atribuyeron al rango "Llanvirniano-¿Llandeiliano?". Vélez & Villarroel (1993) citaron más tarde diversos trilobites procedentes de la quebrada de La Danta, tributaria de la de El Hígado, entre los que identificaron *Anebolithus tafuri*, *Protolloydolithus* cf. *salax*, *Ogygiocarella* cf. *debuchii* y *Ogygiocaris* cf. *macrops*, así como una valva de un posible braquiópodo heterórtido y dos ostrácodos (*Cerninella* sp. y una forma lisa). Por su parte, Caicedo Andrade (2001) determinó la existencia de una decena de niveles fosilíferos en la Quebrada de El Hígado repartidos a lo largo de unos 400 m de sucesión, señalando la presencia de abundantes graptolitos, raros trilobites, braquiópodos Orthida y fragmentos de conchas indeterminables, estos últimos restringidos a la parte basal de los tramos inferior y superior de la unidad.

Con el fin de revisar las dataciones y adscribir estratigráficamente los distintos fósiles mencionados por autores precedentes, realizamos una campaña de estudio en las quebradas de El Hígado y La Danta, en el primer caso siguiendo el levantamiento litoestratigráfico de Caicedo Andrade (2001). La formación está afectada por numerosos recubrimientos y cuerpos intrusivos que enmascaran notablemente la potencia de los tramos medio y superior de la unidad, cuyo espesor real parece bastante inferior al que marcan los estudios precedentes, concordando en cambio con la potencia asignada al tramo inferior (= segmento 1+2 de Velandia *et al.*, 2001). La presencia de rocas calcáreas se circunscribe a los 20 m basales de la formación, donde existen acumulaciones lumaquéllicas de braquiópodos en capas centimétricas de naturaleza tempestítica. Por el contrario, la potente caliza (5 m) que Mojica *et al.* (1988b), Mojica & Villarroel (1990) y Caicedo Andrade (2001) ilustraron en la parte media-superior de la unidad, en opinión de Gutiérrez-Marco *et al.* (2006) no aflora *in situ* y contiene restos de productidos, por lo que se trata probablemente de un gran bloque rodado procedente de la Formación La Batalla, que aflora en cotas superiores.

Desde el punto de vista paleontológico, las asociaciones de graptolitos documentadas en la parte alta del tramo inferior de la unidad y en todo el tramo medio de la misma corresponden al Darriwiliano (= Llanvirniano “clásico”), en virtud de abundantes *Didymograptus* pendientes y formas biseriales (mono y dipleurales), además de un raro dico-grptoide extensiforme y escasos trilobites, nautiloideos ortoconos y filocáridos. Los horizontes fosilíferos más elevados de la sucesión, localizados aguas abajo de la intersección con la quebrada La María, libraron graptolitos mal conservados, icnofósiles y braquiópodos epiplanctónicos (*Schizocrania*), por lo que de momento no es posible precisar si la sucesión alcanza el Llandeiliano (= Llanvirniano “superior” redefinido). Los únicos trilobites identificados por Gutiérrez-Marco *et al.* (2006) fueron algunos olénidos (*Porterfieldia* sp.) en las facies graptolíticas del miembro medio. Los mismos autores señalaron que los trinucleidos y asáfidos descritos por Vélez & Villarroel (1993) en la quebrada de La Danta, proceden probablemente de un nivel de nódulos semejante al intercalado en el tramo intermedio de la Formación El Hígado. La exploración detenida de la quebrada de La Danta determinó la existencia de numerosos bloques de pizarras graptolíticas y nódulos rodados con escaso transporte provenientes de la Formación El Hígado, probablemente arrancados del propio lecho de la quebrada en episodios torrenciales, ya que en la sección

los únicos afloramientos existentes corresponden a los cuerpos intrusivos comúnmente intercalados en las pizarras fosilíferas.

Finalmente, la presencia de rocas calcáreas en los primeros 20 m. de la parte basal de la Formación El Hígado, reportadas por Velandia *et al.* (2001) y Caicedo Andrade (2001), fue confirmada por Gutiérrez-Marco *et al.* (2006), quienes estudiaron varias capas de caliza bioclástica conteniendo lumaquelas mono-específicas de un braquiópodo órvido. Tales lumaquelas forman cuerpos lenticulares interestratificados con areniscas generadas por tormentas, y de ellas provienen los conodontos estudiados.

LA ASOCIACIÓN DE CONODONTOS

Gutiérrez-Marco *et al.* (2006) anticiparon el descubrimiento de conodontos ordovícicos en el miembro inferior de la Formación El Hígado en su sección tipo, sin aportar detalles de los taxones encontrados, cuyo listado se aborda en la presente nota. La asociación de conodontos se encuentra restringida a una capa lenticular de caliza lumaquéllica que alcanza un espesor de 15 cm, intercalada en una alternancia arenosa de características tempestíticas. La muestra fue obtenida en la orilla sur de la quebrada de El Hígado, aproximadamente 1500 m al oeste del caserío de Rica Brisa, y corresponde a la muestra litológica JCEH02 o a la JCEH03 de las descritas por Caicedo Andrade (2001). La primera de ellas fue identificada originalmente como una metabioesparita arenosa con fragmentos de conchas de braquiópodos Orthida, los cuales forman acumulaciones lumaquéllicas en la muestra estudiada por nosotros (FIGURA 1). La disolución en ácido fórmico rebajado al 8% liberó numerosos fragmentos de conodontos entre el residuo insoluble, junto a sulfuros metálicos como piritita y calcopiritita (ambos minerales identificados mediante microanálisis EDAX). Durante el proceso de disolución de la roca, las conchas de los braquiópodos se disolvieron selectivamente frente a la matriz, lo que permitió liberar sus moldes para el futuro estudio taxonómico. En apariencia se trata de una acumulación mono-específica de una forma de la familia Nanorthidae (E. Villas comunicación oral), ver FIGURA.1, a la que se unen microbraquiópodos acrotrétidos y fragmentos indeterminables de lingúlidos.

Los conodontos identificados corresponden en su gran mayoría a elementos coniformes de un amplio rango de tamaños (220-1100µm), con la excepción de tres elemen-

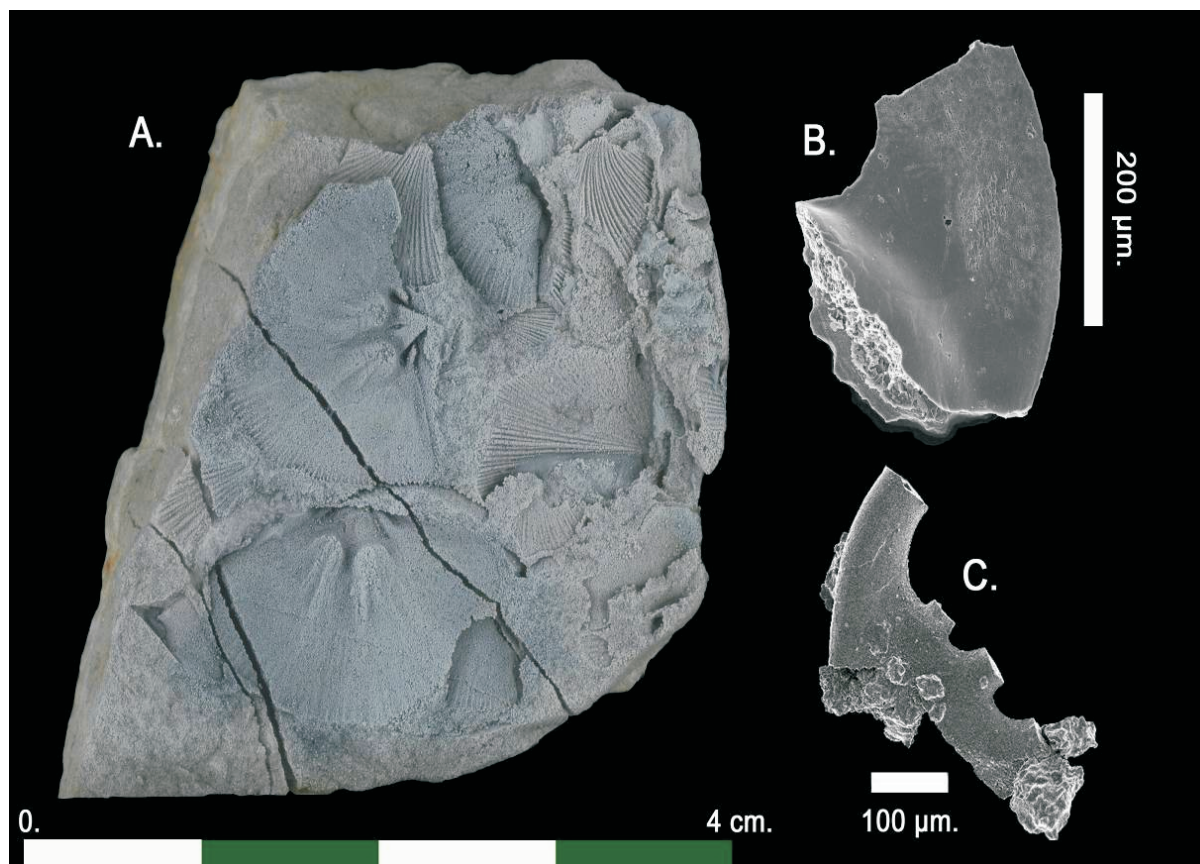


FIGURA 1. Izquierda/A, Nanorthidae indet. Moldes internos de valvas dorsales conservadas en la parte superior de la acumulación lumaquéica de donde proceden los conodontos estudiados. Arriba derecha/B, elemento escandodiforme de *Parapaltodus simplicissimus* Stouge, integrante de la asociación de edad Darriwiliano. Abajo derecha/C, elemento redondeado de *Cordylodus* sp., procedente de la asociación del Tremadociano. La escala gráfica de los conodontos está indicada en μm , y las divisiones en la ilustración de los braquiópodos 1 cm.

tos ramiformes del género *Cordylodus*, lo que revela una neta selección hidrodinámica gravitacional. El estado de conservación de los microelementos es bastante bueno, con superficies lisas sin recristalización asociada, y en su mayoría se presentan fragmentados mecánicamente sin observarse abrasión en las fracturas. De un modo puntual se detectaron procesos de corrosión y degradación bacteriana previos al enterramiento.

Desde el punto de vista taxonómico y bioestratigráfico, la característica más sobresaliente de la muestra estudiada es la mezcla tafonómica de diferentes especies de conodontos de distinta edad, adscribibles a dos o más asociaciones del Ordovícico Inferior y Medio, registradas en un mismo horizonte estratigráfico. Estos fenómenos de reelaboración

tafonómica no son infrecuentes, y ya han sido descritos implicando conodontos ordovícicos en otras áreas de la periferia de Gondwana (Bultynck & Sarmiento, 2003).

La asociación de conodontos más antigua es de edad Tremadociano y está integrada por *Acodus deltatus* Lindström, *Paltodus deltifer?* (Lindström), *Paroistodus numarcuatus* (Lindström) y *Cordylodus* sp. (FIGURA 1). El rango estratigráfico de estos taxones abarca de la Biozona de *Paltodus deltifer* a la Biozona de *Paroistodus proteus*.

La asociación de conodontos más moderna está formada por *Costiconus iniquus* (Viira), *Costiconus?* cf. *ethingtoni* (Fahraeus), *Drepanodus robustus* Hadding, *Drepanoistodus* cf. *tablepointensis* Stouge y *Parapaltodus simplicis-*

simus Stouge (FIGURA 1). El conjunto de estos taxones indica las biozonas de *Lenodus variabilis* y *Eoplacognathus suecicus*, que tienen una edad Darriwiliano equivalente a la parte superior de la Biozona de *Expansograptus hirundo* y a la Biozona de *Didymograptus artus* de graptolitos (Arenigiano superior a Llanvirniano inferior de la escala británico-avalónica). Esta datación corresponde probablemente a la etapa de la formación de la lumaquela fosilífera, dada su vecindad y continuidad estratigráfica con respecto a las restantes dataciones de graptolitos y trilobites encontrados en niveles suprayacentes de la Formación El Hígado.

Además de estas dos asociaciones de conodontos de los pisos Tremadociano y Darriwiliano, se identificaron diversos conodontos que podían encuadrarse indistintamente en ambas, o bien denotar la existencia de otras asociaciones de edades intermedias. En el primer caso se encuentran algunos ejemplares de *Cornuodus longibasis* (Lindström), una forma de amplia distribución estratigráfica en el Ordovícico. La segunda posibilidad viene indicada por la presencia de *Scolopodus striatus* Pander *sensu* Tolmacheva (= *S. rex* Lindström) y *Protopanderodus rectus* (Lindström), cuyo rango es Floiano a Darriwiliano inferior. También por *Paroistodus cf. parallelus* (Pander), cuya forma nominal se extiende desde el piso Floiano a la base del Piso Tercero (o piso inferior de la Serie Ordovícico Medio, aún sin nombre: Bergström *et al.*, 2006); además de *Semiacontiodus cf. cornuiformis* (Sergeeva) *sensu* Löfgren, una especie que, cuando confirma su presencia, señala la parte superior del Piso Tercero.

El material estudiado será depositado en el Museo Geológico “Royo Gómez” de INGEOMINAS (Bogotá) una vez culminen los estudios taxonómicos que seguirán a estos resultados preliminares.

DIAGÉNESIS vs. METAMORFISMO

Kroonenberg & Diederix (1982) fueron los primeros autores que postularon la presencia de rocas metamórficas de bajo grado (filitas y esquistos), de probable edad Cambro-Ordovícica, en la vertiente occidental del Alto Magdalena. Posteriormente estos afloramientos fueron en parte asignados a la Formación El Hígado por Mojica *et al.* (1988a, 1988b), sin referencia explícita al metamorfismo. La correlación de la unidad con la Formación La Cristalina del norte del Cordillera Central llevó a Toussaint (1993) a deducir la aloctonía de ambas

formaciones Paleozoicas, a las que consideró afectadas por metamorfismo caledoniano.

Nuevas investigaciones en la sección tipo de la Formación El Hígado llevaron a Jiménez & Caicedo (1998) a descartar la presencia de un metamorfismo regional en los materiales ordovícicos fosilíferos. Sin embargo, Castillo & Caicedo (2000; in Caicedo Andrade, 2001), mediante análisis microtectónicos en las mismas muestras, postularon la existencia de un metamorfismo regional de bajo grado para la Formación El Hígado, en la facies del esquistos verde. De acuerdo con sus datos, los resultados del análisis de la deformación del cuarzo indican que las rocas fueron sometidas a presiones superiores a 1 Kb y a temperaturas mayores de 200°C (de 200 a 1300°C y 1 a 12 Kb según la FIGURA 16 de Caicedo Andrade, 2001).

Nuestras observaciones basadas en el estado de conservación de los macrofósiles y microfósiles presentes en la Formación El Hígado no revelan evidencias de tal metamorfismo regional, lo cual coincide con lo indicado por Ordóñez-Carmona *et al.* (2006). En particular los conodontos carecen de vestigios de deformación o alteración metamórfica, como los ilustrados por Rejebian *et al.* (1987) y muchos autores posteriores. A pesar de hallarse fragmentados mecánicamente, estos microfósiles están relativamente bien conservados y su índice de alteración del color (CAI) varía entre 2 y 4, en función únicamente de su historial tafonómico previo al enterramiento final, y a las evidencias de alteración hidrotermal que igualmente condicionaron la precipitación de sulfuros o la sausrutización de los cuerpos intrusivos. El índice de alteración del color de los conodontos permite evaluar el grado de madurez térmica de los sedimentos que los incluyen dentro de un amplio espectro de paleotemperaturas (50-600°C; e.g. Sarmiento & García-López, 1996), siendo una herramienta muy utilizada desde los trabajos de Epstein *et al.* (1977 y Rejebian *et al.* (1987). De los conodontos encontrados en la Formación El Hígado, las especies del Tremadociano muestran valores muy bajos (CAI 2-3), con un rango de paleotemperaturas comprendido entre los 60 y 200°C. Por su parte las formas post-tremadocianas y darriwilianas alcanzan valores más elevados (CAI 3.5-4), indicativos de un valor máximo de paleotemperatura en torno a 180-300°C. Finalmente la presencia de estos últimos valores y de algunos microelementos con pátinas grises (CAI 6) coinciden con los procesos de circulación hidrotermal responsables también de la precipitación local de sulfuros.

En definitiva, el predominio de conodontos con valores CAI comprendidos entre 2 y 4 indica condiciones de catagénesis avanzada y metagénesis dentro de la zona diagenética, sin alcanzarse el metamorfismo regional o situándose como mucho en la difusa frontera diagénesis-metamorfismo incipiente, correspondiendo a la “diacai-zona” de conodontos (hasta CAI 4: García-López *et al.*, 2006, con referencias). En cualquier caso, los datos que indican los conodontos son incompatibles con la facies metamórfica de los esquistos verdes, señalada por Castillo & Caicedo (2000; in Caicedo Andrade, 2001). Por lo tanto, los cuarzos que estos autores habían analizado en su mapa de deformación, deben corresponder en realidad a granos detríticos de procedencia metamórfica, similares a los restantes componentes señalados por Jiménez & Caicedo (1998), los cuales terminaron acumulados en una roca sedimentaria no afectada por metamorfismo. Corroborando esta idea, los microfósiles de braquiópodos que integran la lumaquela calcárea que conserva los conodontos tampoco muestran deformaciones reseñables, contraviniendo una deformación simultánea a la de los granos de cuarzo detrítico.

PALEOGEOGRAFÍA Y CONCLUSIONES

Desde el punto de vista cronoestratigráfico, la Formación El Hígado es la única unidad post-arenigiana incuestionable que aflora al oeste del Cratón de Guyana y del Arco de Iquitos. Hasta el presente se creía que la transgresión Ordovícica había operado durante el Tremadociano únicamente en los depocentros de los Llanos Orientales y sur de La Macarena, pero que no era hasta el Arenigiano cuando se generalizaba en toda la región, con facies de cuarcitas con *Cruziana* y *Skolithos* en la Amazonia y de areniscas y pizarras graptolíticas en el resto del territorio colombiano. El hallazgo de conodontos reelaborados del Tremadociano, Floiano y tal vez del Piso Tercero cerca de la base de la Formación El Hígado demuestra que existieron sedimentos de esta edad en la Cordillera Central, posiblemente integrando una sucesión condensada de naturaleza carbonatada, erosionada prácticamente *in situ* antes del Darriwiliano. Del carácter condensado de los sedimentos desaparecidos da cuenta el hecho de que algunos conodontos coniformes muestran manchas oscuras en su cavidad basal debidas a la alteración bacteriana, sufrida durante un largo período de exposición sobre el fondo marino previo al enterramiento.

La presencia de unidades post-arenigianas en la Cordillera Oriental y la Sierra de La Macarena no está clara, pues los graptolitos mencionados por Trumphy (1943) y Harrington & Kay (1951) en el río Ambicá/quebrada Cueva (La Uribe) y en la localidad “Caño 40½” fueron descritos por Turner (1960) y parecen más bien del Arenigiano, corroborando la probable extensión de la Biozona de *Baltograptus deflexus* a toda el área. A la misma se adscribirían, probablemente, los hallazgos revisados por Gutiérrez-Marco *et al.* (2006) de *Baltograptus cf. turgidus* (Lee) [= “*Didymograptus* sp. b” de Turner, 1960] en La Macarena o de *Acrograptus cf. filiformis* (Tullberg) en la Formación Venado (= *Didymograptus* sp. de Villarroel *et al.*, 1997, FIGURA 3a).

En términos paleobiogeográficos, las asociaciones de olénidos del Tremadociano de Colombia guardan notables relaciones con las de la Cordillera Oriental argentino-boliviana, Llanos de la Orinoquia venezolana y en menor medida con las del área Báltica, en especial las faunas con *Jujuyaspis-Neoparabolina* (Baldis *et al.*, 1984) y *Kainella* (Harrington & Kay, 1951). Las asociaciones del Arenigiano son cosmopolitas, con graptolitos epi- a mesopelágicos y raros olénidos, salvo las icnofacies costeras del bloque amazónico que recuerdan a la Cuarcita Armoricana del norte de Gondwana. Finalmente, los abundantes graptolitos y escasos elementos bentónicos de la Formación El Hígado se correlacionan bien con las asociaciones de la Formación Contaya de la Amazonia peruana, revisadas por Hughes *et al.* (1980). Éstas muestran una vinculación clara con el área proto-avalónica de Gondwana por la presencia de *Anebolithus* y *Ogygiocarella cf. debuchii*, ambas registradas también en la Formación El Hígado, donde están acompañadas por *Protolloydolithus* (o *Myttonia*?), el cual refuerza la citada conexión. Las afinidades proto-avalónicas del noroeste de Sudamérica se inician en el Arenigiano inferior-medio de Perú (Formación San José), donde se localizan los hallazgos más antiguos de *Anebolithus* y *Ahtiella* (braquiópodo), previos a su migración al norte de Perú, Colombia, Terranova y Gales (Gutiérrez-Marco *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista paleogeográfico, diversos autores han subrayado el carácter alóctono de los afloramientos Ordovícicos de las cordilleras Central y Oriental colombianas frente a los Llanos Orientales y al área pericratónica de Colombia, Brasil y Perú (Ordóñez-Carmona *et al.*, 2006, con referencias previas). La acreción efectiva del *Terreno Chibcha* con basamento continental proterozoico, que in-

cluye el Magdalena Medio y Superior, es interpretada por Toussaint (1993) como caledónica, pero los datos del índice de alteración del color de los conodontos de la Formación El Hígado descartan un metamorfismo regional y demuestran que la región fue alcanzada por la transgresión del Tremadociense, en tanto que las sucesiones ordovícicas no se diferencian grandemente de las de los Llanos Orientales y la pericratonia. Ello plantea una acreción inicial pre-Ordovícica, de modo que la transgresión tremadociana operó sobre el *Terreno Chibcha* cuando éste ya formaba parte de la misma cuenca pericratónica del Escudo Guayanés, previamente a su amalgamación efectiva durante el evento orogénico Quetame (Ordóñez-Carmona *et al.*, 2006).

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Alain Hoyos (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena) y a las autoridades municipales de Tarqui (Dpto. Huila), por las facilidades puestas a nuestra disposición. Al ingeniero de la citada Corporación Héctor Cortés (Garzón), por su colaboración directa sobre el terreno. A los Dres. Carlos Villarroel (Univ. Nacional, Bogotá) y Juan Carlos Caicedo Andrade (INGEOMINAS, Bogotá), por sus comentarios y datos adicionales a sus respectivos trabajos en el área, y al Dr. Enrique Villas (Universidad de Zaragoza, España) por su información provisional sobre los braquiópodos. Este trabajo se financió con una ayuda del Grupo de Investigación sobre el Precámbrico y Paleozoico perigondwánico de la Universidad Complutense de Madrid, y constituye una contribución al Proyecto 503 del PICG (IUGS-UNESCO).

REFERENCIAS

Baldis, B.A.; González, S.B.; Pérez, V.E. (1984). Trilobites tremadocianos de la Formación Negritos (perforación "La Heliera"), Llanos de Colombia. III Congreso Latinoamericano de Paleontología, México, pp. 28-41.

Bergström, S.M.; Finney, S.C.; Chen, X.; Goldman, D.; Leslie, S.A. (2006). Three new Ordovician global stage names. *Lethaia*, Vol. 39, pp. 287-288.

Botero Arango, G. (1940). Geología sobre el Ordoviciano de Antioquia. *Revista de Minería, Medellín*, Vol. 17, No. 99, pp. 8249-8256.

Bultynck, P.; Sarmiento, G.N. (2003). Reworked Ordovician and autochthonous Siluro-Devonian conodonts from Khemissn'Ga (Moroccan Meseta) - Depositional, environmental, and palaeogeographic implications. *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, Vol. 242, pp. 257-283.

Caicedo Andrade, J.C. (2001). Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia. Formación El Hígado. INGEOMINAS, Bogotá, 27 p.

Castillo, G.; Caicedo, J.C. (2000). Determinación de metamorfismo en la Formación El Hígado, Ordovícico del Valle Superior del Magdalena. In: Geología y Petróleo en Colombia. Memorias I Convención Técnica de la Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo, Santafé de Bogotá, s/pág.

Epstein, A.G.; Epstein, J.B.; Harris, L.D. (1977). Conodont Color Alteration -an index to organic metamorphism. *US Geological Survey Professional Paper*, Vol. 995, pp. 1-27.

García-López, S.; Blanco-Ferrera, S.; Sanz-López, J. (2006). Consideraciones sobre la aplicación del índice de alteración del color de los conodontos (CAI) al estudio de la transición diagénesis-metamorfismo. XXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, Universidad de León, España, pp. 121-124.

Gutiérrez-Marco, J.C.; Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Finney, S.C.; Rábano, I.; Villas, E.; Herrera, Z. (2004). Paleontología y rasgos paleobiogeográficos del Ordovícico del sur de Perú. XII Congreso Peruano de Geología, Lima. Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial 6, pp. 455-458.

Gutiérrez-Marco, J.C.; Gómez, C.; Sarmiento, G.N. (2006). El Ordovícico de la Cordillera Central colombiana y su correlación con Perú. XIII Congreso Peruano de Geología. Lima. Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial 7, pp. 623-626.

Harrison, J.V. (1930). The Magdalena valley, Colombia; South America. 15th International Geological Congress, Vol. 2, Pretoria, South Africa, pp. 399-409.

Harrington, H.J., and Kay, M. (1951). Cambrian and Ordovician faunas of Eastern Colombia. *Journal of Paleontology*, Vol. 25, No. 5, pp. 655-668.

Hughes, C.P.; Rickards, R.B.; Williams, A. (1980). The Ordovician fauna from the Contaya Formation of Eastern Peru. *Geological Magazine*, Vol. 117, No. 1, pp. 1-21.

Jiménez, D.M.; Caicedo, J.C. (1998). La Formación El Hígado una pieza importante en el rompecabezas del Paleozoico Inferior de Colombia. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, Vol. 1, Buenos Aires, Argentina, p. 25.

Kroonenberg, S.; Diederix, H. (1982). Geology of South Central Huila, Uppermost Magdalena Valley, Colombia (First Part). Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo, Bogotá, 39p.

Mojica, J., y Villarroel, C. (1990). Sobre la distribución y facies del Paleozoico Inferior sedimentario en el extremo NW de Sudamérica. *Geología Colombiana*, Vol. 17, pp. 219-226.

Mojica, J.; Villarroel, C.; Macia, C. (1988a). Nuevos afloramientos fosilíferos del Ordovícico Medio (Fm. El Hígado) al oeste de Tarqui, Valle Superior del Magdalena (Huila, Colombia). *Geología Colombiana*, Vol. 16, pp. 95-97.

Mojica, J.; Villarroel, C.; Cuerda, A.; Alfaro, M. (1988b). La fauna de graptolitos de la Formación El Hígado (Llanvirnia-no-?Llandeiliano), Serranía de las Minas, Valle Superior del Magdalena, Colombia. V Congreso Geológico Chileno, Vol. 2, Santiago de Chile, pp. C189-C202.

Ordóñez-Carmona, O.; Restrepo Álvarez, J.J.; Pimentel, M.M. (2006). **Geochronological and isotopical evidence of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes.** *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 21, No. 4, pp. 372-382.

Rejebian, V.A.; Harris, A.G.; Huebner, J.S. (1987). Conodont color and textural alteration: An index to regional metamorphism, contact metamorphism and hydrothermal alteration. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 99, pp. 471-479.

Rodríguez, G.; Ferreira, P.; Velandia, F.; Núñez, A. (1998). *Geología de la Plancha 366 Garzón. Escala 1:100.000. INGEOMINAS, Ibagué, 1 mapa.*

Sarmiento, G.N.; García-López, S. (1996). El método del Índice de Alteración del Color (CAI) de los conodontos: limitaciones y posibilidades. Ejemplos de su aplicación en el Hercínico ibérico. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, Vol. 9, No. 1-2, pp. 112-123.

Sarmiento, G.N.; Gutiérrez-Marco, J.C.; Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Cerpa, L.; Acosta, H. (2001). Conodontos ordovícicos de Perú (nota preliminar). *Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza*, Vol. 5, No. 2, pp. 535-542.

Stibane, F.R. (1967). Conodonten des Karbons aus den nördlichen Anden Südamerikas. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, Vol. 128, No. 3, pp. 329-340.

Toussaint, J.F. (1993). Evolución geológica de Colombia - Precámbrico y Paleozoico. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 227p.

Trumpy, D. (1943). Pre-Cretaceous of Colombia. *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 54, No. 9, pp. 1281-1304.

Turner, J.C.M. (1960). Faunas graptolíticas de América del Sur. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 14, No. 1-2, pp. 5-180.

Velandia P., F.; Ferreira V., P.; Rodríguez, G.; Núñez, A. (2001). Levantamiento Geológico de la Plancha 366 Garzón Escala 1:100.000. Memoria Explicativa. INGEOMINAS, Bogotá, 81 p.

Vélez C., M.I.; Villarroel, C. (1993). La fauna de trilobites de la Formación El Hígado (Ordovícico Medio) aflorante en la Serranía de las Minas (Huila-Colombia). VI Congreso Colombiano de Geología, Vol. 1, Medellín, pp. 169-180.

Villarroel A., C.; Macia S., C.; Brieva B., J. (1997). Formación Venado, nueva unidad litoestratigráfica del Ordovícico colombiano. *Geología Colombiana*, Vol. 22, pp. 41-49.

Trabajo recibido: febrero 22 de 2007

Trabajo aceptado: junio 13 de 2007