

**CORRELACIÓN BIOESTRATIGRÁFICA DE FORAMINÍFEROS
PLANCTÓNICOS EN EL INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO,
CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO**

OSWALDO MANTILLA MUÑOZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

**CORRELACIÓN BIOESTRATIGRÁFICA DE FORAMINÍFEROS
PLANCTÓNICOS EN EL INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO,
CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO**

OSWALDO MANTILLA MUÑOZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

Directores

**Marco Idelfonso Alvarez Bastos
Universidad Industrial de Santander**

**Mauricio Alejandro Pulido Taborda
Ecopetrol-Instituto Colombiano del Petróleo**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

Dedicatoria

A Dios por darme la vida
A mi madre por dárme todo
A mi padre por ser mi guía y apoyo
A Edward por su amistad y creer en mi
A mi princesa por darme todo su amor y paciencia
A mi hija por ser mi inspiración y mi gran tesoro.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

A la Universidad Industrial de Santander por mi formación como profesional.

Al Instituto Colombiano de Petróleos por su apoyo tecnológico, profesional y económico.

Al geólogo Ph. D. Carlos Jaramillo por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por sus enseñanzas en el área de la investigación.

A mis Directores Ph. D. Marco Álvarez Bustos por sus correcciones en el trabajo y colaboración en el transcurso del proyecto y al geólogo Mauricio Pulido Taborda por su guía en la investigación, clasificación de los géneros y dirección del proyecto.

Al grupo de foraminíferos: Biólogo marino Daniel Rincón y geólogos Andrés Cárdenas, Claudia Caicedo, José Arenas y Carlos Molinares, por su apoyo en todo el transcurso del trabajo.

Al grupo de palinología: Ph. D Vladimir Torres, Geólogo Guillermo Rodríguez, Biólogas Carolina Vargas y Pilar Lopera, por sus correcciones en todas las presentaciones del trabajo y consejos en la elaboración del proyecto.

AL geólogo Ph. D Herman Duque Caro por su ayuda en la identificación taxonómica de foraminíferos y por compartirme sus experiencias y conocimientos.

AL Ing. Luís Fernando Peña por toda su colaboración en la preparación de las placas micropaleontológicas y su grupo de colaboradores, auxiliares de laboratorio: Freddy, Fernando, Gustavo, Jimmy y Edgar.

A mis amigos geólogos Heraclio, Rafael, Javier, Darwin, Hernán, Olga, Paola, Carlos y Vladimir por su amistad y compañerismo.

A la familia Rangel Gómez por su colaboración y aguantarme tanto.

A todos los que de una u otra manera colaboraron en la realización de este sueño.

TABLA DE CONTENIDO

Listado de figuras	I
Listado de graficas	II
Listado de tablas	III
Listado de apéndices	IV
Resumen	
1. Introducción	
1.1 Objetivos	
2. Localización del área de estudio	
3. Marco geológico regional	
3.1 Cuenca del Catatumbo	
3.2 Cuenca del Putumayo	
4. Estado actual del conocimiento	
5. Métodos y Materiales	
5.1 Etapa Inicial	
5.1.1 Estudio de pozos y intervalos de muestreo	
5.1.2 Entrenamiento micropaleontológico	
5.2 Etapa intermedia	
5.2.1 Picking y Sourting	
5.2.2 Microscopia	
5.3 Etapa Final	
5.3.1 Análisis cartas de distribución	
5.3.2 Diversidad y Equidad	

5.3.3 Gráficas y corrección por rarefacción

6. Resultados

6.1 Taxonomía

6.1.2 Guía foraminífera

6.1.3 Asociaciones faunísticas del cenomaniano - turoniano

6.1.4 Análisis cartas de distribución

6.1.5 Cronología de los pozos.

6.1.6 Riqueza, diversidad y equidad

7. Discusión

7.1 Eventos característicos del límite Cenomaniano - Turoniano

7.2 Estructura de la comunidad

8. Conclusiones

9. Recomendaciones

10. Referencias

LISTA DE FIGURAS

1. Localización área de estudio Cuenca del Catatumbo.
2. Localización área de estudio Cuenca del Putumayo.
3. Columna estratigráfica generalizada cuenca del catatumbo.
4. Columna estratigráfica generalizada Cuenca del Putumayo y sus formaciones correspondientes en otras cuencas.
5. Biozonación global de foraminíferos planctónicos asociado con el pico de C^{13} del límite Cenomaniano – turoniano.
6. Biozonación propuesta por Villamil y Arango para el límite Cenomaniano – Turoniano.
7. Placa para la determinación de morfotipos.
8. Curva de número de especies(s) vs. número de individuos por muestra.
9. Correlación bioestratigráfica de los pozos de estudio.
10. Zonas definidas para el pozo Cerro Gordo – 3, relacionadas con los porcentajes de distribución de foraminíferos planctónicos y bentónicos.
11. Zonas definidas para el pozo Eslabones - 1, relacionadas con los porcentajes de distribución de foraminíferos planctónicos y bentónicos.
12. Zonas definidas para el pozo Alea -1, relacionadas con los porcentajes de distribución de foraminíferos planctónicos y bentónicos.

LISTA DE GRAFICAS

1. Distribución de porcentaje de abundancia en foraminíferos planctónicos vs. Bentónicos pozo Cerro Gordo 3.
2. Distribución de porcentaje de abundancia en foraminíferos planctónicos vs. Bentónicos pozo Eslabones -1.
3. Distribución de porcentaje de abundancia en foraminíferos planctónicos vs. Bentónicos pozo Alea -1.
4. Diversidad de foraminíferos planctónicos pozo Cerro Gordo – 3.
5. Diversidad de foraminíferos planctónicos pozo Eslabones – 1.
6. Diversidad de foraminíferos planctónicos del pozo Alea -1.
7. Índice de uniformidad de foraminíferos planctónicos del pozo Cerro Gordo – 3
8. Índice de uniformidad de foraminíferos planctónicos del pozo Eslabones -1.
9. Índice de uniformidad de foraminíferos planctónicos del pozo Alea -1.

LISTA DE TABLAS

1. Resultados para el pozo Cerro Gordo - 3 donde se indica el número de individuos contados, la riqueza (S) y la riqueza esperada (R) usando rarefacción.
2. Resultados para el pozo Eslabones -1, donde se indica el número de individuos contados en cada muestra, la riqueza (S) y la riqueza esperada (R) usando rarefacción.
3. Resultados para el pozo Alea – 1, donde se indica el número de individuos contados en cada muestra, la riqueza (S) y la riqueza esperada (R) usando rarefacción.

LISTA DE CUADROS

1. Principales trabajos a nivel mundial del Límite Cenomaniano – Turoniano.
2. Resumen de los métodos y materiales utilizados.

LISTA DE APENDICES

1. Paleontología sistemática de especies encontradas en el estudio.
2. Cartas de distribución de los pozos Cerro Gordo -3', Eslabones 1 y Alea -1.
3. Tabla de datos de % abundancia de los pozos Cerro Gordo -3', Eslabones 1 y Alea -1.
4. Tabla de Valores de diversidad y equidad de los pozos Cerro Gordo -3', Eslabones 1 y Alea -1.

RESUMEN

TITULO: CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTONICOS EN EL INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO, CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO*

AUTOR: OSWALDO MANTILLA MUÑOZ**

PALABRAS CLAVES: Evento Anóxico, Foraminíferos, Fósiles Guía, Biozona, Zona Acme, Correlación Bioestratigráfica.

La distribución de foraminíferos planctónicos en la Cuenca del Catatumbo (Pozos Cerro gordo - 3 y Eslabones -1) y Cuenca del Putumayo (Pozo Alea -1) han sido estudiadas y correlacionadas con la sección de referencia de Villamil y Arango (1998) en el Valle Superior del Magdalena (VSM) para el límite Cenomaniano – Turoniano. Las zonas reconocidas en el Norte (Cuenca de Catatumbo) muestran una distribución a la de la sección del VSM. Sin embargo, hacia el Sur del país (Cuenca del Putumayo) cambios en la abundancia de géneros especialistas se encontraron.

Las especies *Rotalipora cushmani* y *Guembelitra cenomana* que son consideradas fósiles guía para el Cenomaniano más superior fueron reconocidos en el intervalo de estudio. Para la zona del límite Cenomaniano – Turoniano el contenido de foraminíferos mostró un decrecimiento en la abundancia de planctónicos y bentónicos. El intervalo Turoniano inferior esta definido por la zona de abundancia (zona acme) de los foraminíferos biseriales (*Heterohelix globulosa* and *Heterohelix moremani*). Los valores de las abundancias obtenidos por conteo han sido usados para calcular los índices de riqueza, diversidad y equidad, valores los cuales varían entre cuencas y que podrían evidenciar cambios en las condiciones oceánicas como temperatura, salinidad y productividad. Incremento de especies oportunistas (biseriales) y decrecimiento de otras especies especialistas (trocoespiral) están relacionadas a condiciones oceánicas de estrés.

Este estudio muestra como la fauna planctónica fue afectada por el Evento Anóxico Oceánico (AEO2) en el intervalo C – T. Las zonaciones propuestas por Villamil y Arango se cumplen para la Cuenca del Catatumbo. No obstante, se encuentran diferencias en la distribución de foraminíferos planctónicos en la Cuenca del Putumayo que podrían revelar condiciones quizás más nocivas hacia el sur de la megacuenca cretácica.

* Trabajo de grado modalidad investigación

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Directores Marco Álvarez y Mauricio Pulido

ABSTRACT

TITLE: BIOESTRATIGRAPHIC CORRELATION OF PLANKTONIC FORAMINIFERAL IN THE CENOMANIAN – TURONIAN INTERVAL, PUTUMAYO AND CATATUMBO BASIN*

AUTHOR: OSWALDO MANTILLA MUÑOZ**

KEYWORDS: Foraminiferal, Anoxic Event, Guide Fossils, Biozone, acme Zone.

The distribution of planktonic foraminifera in the Catatumbo basin (Cerro Gordo -3 and Eslabones -1 wells) and Putumayo basin (Alea – 1 well) have been study and correlated with Villamil and Arango's (1998) reference section in the Upper Magdalena Valley (UMV) for the Turonian – Cenomanian (C-T) boundary. The zones recognized in the North (Catatumbo basin) show a similar distribution to the UMV section. Nevertheless, in the South of country (Putumayo basin) change in the abundance of specialist genera has been found.

The species *Rotalipora cushmani* and *Guembelitra cenomana* that are considered guide fossils for the upper most Cenomanian have been recognized in the studied interval. For the zone of C – T boundary the content of foraminifera shows a decline in the abundance of planktonic and benthonic. The lower Turonian interval is defined by the abundance of zone (acme zone) of the biserials foraminifera (*Heterohelix globulosa* and *Heterohelix moremani*). The values of the abundances obtained by counting have been used to calculate the richness, diversity and equity index. These values vary among the well of the basins of studies and are indicative of change in the oceanic conditions like temperature, salinity and productivity. Increase of opportunist species (biserials) and decrease of others specialist species (trochospiral) are related to stressed oceanic conditions

These study show as the planktonic fauna have been affected from the oceanic Anoxic Event 2 (OAE2) in the C – T boundary. The zonations proposed by Villamil and Arango might also shows that can be extended to the old Catatumbo basin. Differences in the distribution of planktonics foraminifera in the Putumayo basin, reveal condition maybe more harmful toward the South of the cretaceous mega basin.

* Trabajo de grado modalidad investigación

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Directores Marco Álvarez y Mauricio Pulido

INTRODUCCION

El intervalo límite Cenomaniano – Turoniano (93 Ma.) es globalmente conocido por su coincidencia con el Evento Anóxico Oceánico 2 (AOE2) y la gran depositación de sedimentos ricos en materia orgánica (nivel Bonarelli). Diferentes tipos de anomalías geoquímicas, litológicas y características faunales son propias de este intervalo de tiempo que representa uno de los mayores eventos transgresivos del Cretácico

Es un intervalo de gran importancia en el tiempo geológico ya que se da un pico de anomalía geoquímica en isótopo de ΔC^{13} y anomalías de características faunales (Schlanger et al., 1987). Durante este periodo se presentó un nivel máximo de transgresión marina, desarrollándose condiciones anóxicas en los océanos alrededor del planeta (Norris et al, 2002). Estas condiciones anóxicas se desarrollaron a lo largo de márgenes continentales y en mares epicontinentales restringidos (Schlanger et al., 1987). En dichos ambientes se depositó plancton en margas del mar profundo, en lodolitas fisiles ricas orgánicamente, y en carbonatos pelágicos que influenciaron un importante registro de como la biosfera marina respondió a cambios de periodos cortos y largos en el sistema climático oceánico (Leckie et al., 2002; Bice et al., 2003).

Varios eventos y cambio bióticos incluyendo el acme de foraminíferos planctónicos biseriales y crisis de diferentes géneros foraminíferos son reconocidos en el C- T (Hart and Ball, 1986; Huber et al., 1999; Premoli Silva et al., 1999). Ellos proveen evidencia de un progresivo y rápido deterioramiento de condiciones paleoambientales (Leckie et al., 2002; Nederbragt et al., 1998; Villamil and Arango, 1998; Coccioni et al, 2004), alcanzando un clímax con el coincidente Evento Bonarelli (Coccioni et al, 2004).

Estudios bioestratigráficos a nivel mundial del límite C – T han reconocido los fósiles guía de foraminíferos planctónicos definiendo las respectivas biozonas (Leckie, 1985; Kuhnt et al., 1986; Jarvis et al., 1988; Nederbragt et al., 1998). Las zonas definidas en Europa, Norte de África y Norte América, son respectivamente la zona de *Rotalipora cushmani* para el Cenomaniano más superior y la zona de intervalo de *Whiteinella Archeocretacea* para el Turoniano inferior (Caron., 1985, Coccioni et al, 2002; Keller et al 2003). Sin embargo, los estudios para este intervalo en zonas tropicales especialmente para el Norte de Sur América son muy escasos.

Estudios de facies del Cenomaniano más superior – Turoniano inferior en Colombia han sido previamente restringidos a zonaciones bioestratigráficas básicas del cretácico usando macrofósiles, particularmente ammonites. Investigaciones por Bürgl (1957) y Etayo (1979) realizaron la bioestratigrafía cretácea en general de Colombia, pero ninguno propuso una zonación formal

para el Cretacéo. Bürgl y Dummit (1954) y Petters (1955) identificaron foraminíferos del Cenomaniano y el Turoniano. Sin embargo el límite no fue discutido ni definido. Posteriormente Villamil y Arango (1998) realizaron un estudio micropaleontológico del límite C- T en la Cuenca del VSM y Cordillera Oriental a partir de foraminíferos, con este estudio definieron una zonación integrando foraminíferos planctónicos trocoespirales y biseriales, que podría aplicarse para el Norte de Sur América. La zona definida se identifica por la especie *Rotalipora cushmani* – *Heterohelix moremani* que comprende el Cenomaniano superior y la zona *Whiteinella archaeocretacea* – *Heterohelix globulosa* que comprende el Cenomaniano más superior y el Turoniano más temprano.

Este estudio tiene como objetivo central la identificación de la distribución de foraminíferos planctónicos del límite Cenomaniano – Turoniano en las Cuencas del Catatumbo y Putumayo. Posteriormente estas distribuciones se correlacionaran con la biozonación de la sección de referencia del VSM (Villamil y Arango, 1999) y con esto observar si la zonación se prolonga hacia el Norte y Sur del país. Esta evaluación se adelanto utilizando métodos tradicionales de análisis bioestratigráficos y de índices de abundancia y diversidad de poblaciones planctónicas.

OBJETIVOS

GENERAL

Conocer la distribución estratigráfica de foraminíferos planctónicos en el intervalo Cenomaniano Superior – Turoniano Inferior en las cuencas del Catatumbo, (pozo Cerro Gordo 3 y Eslabones -1) y Putumayo (pozo Alea -1).

ESPECIFICOS

Identificación taxonómica de los foraminíferos planctónicos para este intervalo de tiempo.

Realizar las cartas de distribución de foraminíferos planctónicos para cada pozo y definir las zonas bioestratigráficas

Comparar las distribuciones estratigráficas de los foraminíferos planctónicos en las Cuencas del Putumayo y Catatumbo para observar si hay cambios con las del VSM

Establecer los índices de diversidad, abundancia y equidad para foraminíferos planctónicos.

2. LOCALIZACION

Para el presente estudio se escogieron dos cuencas sedimentarias teniendo en cuenta su distribución geográfica y evolución geológica. En primer lugar se encuentra la Cuenca del Catatumbo, con una extensión de cerca de 7350 km² que está localizada hacia el nororiente del país, en el Departamento de Norte de Santander, entre los 7° y 9° de latitud (Figura 1). Geográficamente, la cuenca está limitada hacia el occidente por la Serranía de Perijá, hacia el suroriente por la Cordillera Oriental de Colombia y los Andes de Mérida y hacia el oriente por el límite fronterizo con Venezuela (Mondragón, 2002). De esta cuenca se seleccionaron los pozos Cerro Gordo – 3 y Eslabones – 1.

La otra cuenca de estudio es la Cuenca del Putumayo (Figura 2) la cual hace parte de la compleja cuenca del oriente del Ecuador, en Colombia esta es una depresión elongada orientada N 40 E, entre los 0° y 2° de latitud con una extensión de 31.000 Km², limitada al oeste por la cordillera de los Andes, al norte por el Precámbrico del macizo de Garzón, al este y noreste los límites son el cratón y el Arco de Caquetá. De esta cuenca se seleccione el pozo Alea -1. (Informe ECOPETROL, 1995).



Figura1. Localización área de estudio Cuenca del Catatumbo (Tomado y modificado de Mondragón, 2002).

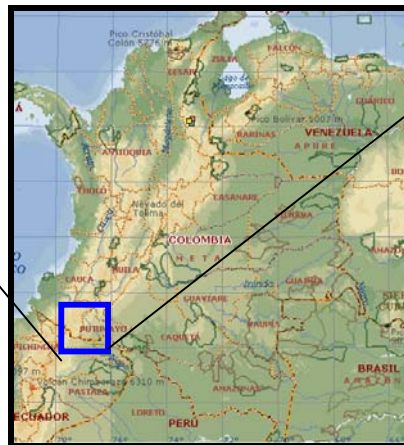


Figura 2. Localización área de estudio Cuenca del Putumayo (Tomado y modificado de Mondragón, 2002).

3. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

3.1 Cuenca del Catatumbo

La Cuenca del Catatumbo es la extensión SW de la Cuenca de Maracaibo, una de las provincias petrolíferas más prolíficas del mundo. La cuenca de Maracaibo–Catatumbo forma una depresión estructural limitada por cordilleras Andinas que incluye al sur y oriente los Andes de Mérida (Mondragón, 2002). Hacia el occidente y suroccidente la Serranía de Perijá y la extensión más norte de la Cordillera Oriental de Colombia respectivamente. El límite oriental de la Cuenca del Catatumbo está definido por el límite internacional de Venezuela-Colombia (Mondragón, 2002).

El registro sedimentario de la cuenca del Catatumbo sobrepasa los 15.000 pies de espesor e involucra rocas de un amplio rango de edad desde el Jurásico hasta el Reciente (Notestein et al 1944). La historia geológica de la cuenca durante el Mesozoico–Cenozoico registra múltiples estadios de evolución, desde una cuenca extensional durante Triásico-Jurásico, un estadio de margen pasivo durante la mayor parte del Cretácico, un estado de transición entre un margen pasivo a uno activo a finales del Cretácico y comienzos del Terciario, y finalmente una cuenca de antepaís (*foreland*) durante el Terciario (Notestein et al 1944). Cada uno de estos mayores estadios de evolución es caracterizado por una secuencia sedimentaria y un estilo propio de deformación, que registran una dinámica y compleja historia de evolución tectónica, ligada a múltiples episodios de colisión, acreción y transgresión a lo largo de la parte norte de la placa suramericana (Mondragón 2002).

ESTRATIGRAFIA

El basamento en la cuenca del Catatumbo consiste de rocas ígneas y metamórficas, afines a las presentes en el Macizo de Santander, la Sierra de Perijá y los Andes de Mérida (Briceño et al, 2000).

Cretáceo.

El registro sedimentario cretácico se inicia en el Aptiano con la depositación de una secuencia detrítica de origen continental sobre rocas del basamento constituidas principalmente por granitos, granodioritas y rocas metamórficas, que marcan el hundimiento de la cuenca permitiendo la acumulación de sedimentos de origen marino, alcanzando el mayor cubrimiento de la cuenca durante el lapso Turoniano-Coniaciano representado por las rocas correspondientes a las formaciones Cogollo y La Luna (Farias et al, 2000). Los registros más recientes de Cretáceo en la cuenca están representados por las

formaciones Colón y Mito Juan, El espesor de la secuencia cretácica en el Catatumbo oscila entre los 4.000 y 5.800 pies de espesor, la Figura 3 ilustra la columna estratigráfica generalizada para la cuenca (Farias et al, 2000). Dentro de la estratigrafía solo se describirá la Formación Cogollo ya que dentro de esta se encuentra la zona de interés.

Formación Cogollo

(Albiano Superior- Coniaciano). Litológicamente está constituida por Shale gris oscuro y calizas grises fosilíferas, terminando en el tope por un banco de caliza (miembro Guayacán) (Mondragón, 2002). El espesor de la formación es de 574' a 1427' pies y sus contactos superior e inferior son concordantes (Mondragón, 2002). El ambiente de depósito ha sido interpretado como marino somero (Mondragón, 2002). El carácter transgresivo y el desarrollo de ambientes anóxicos y subóxicos, favorecieron la concentración de material orgánico, principalmente de tipo II, dentro de las rocas de las Formaciones La Luna y Cogollo durante el intervalo Cenomaniano–Campaniano (Mondragón, 2002).

Terciario.

Durante este periodo las condiciones de depositación se hacen más continentales. El registro litológico está representado por arcillolitas, areniscas y horizontes de carbón depositados en sistemas fluviales y deltaicos (Notestein et al 1944). Desde el punto de vista tectónico coincide con el desarrollo de una cuenca antepaís (*foreland*) relacionada con el levantamiento de la Cordillera Oriental, formaciones Catatumbo, Barco, Los Cuervos, Mirador, Carbonera, León, Guayabo (Notestein et al 1944).

Tectónica

Tectónicamente la cuenca de Maracaibo-Catatumbo se localiza dentro de una amplia zona de deformación, en el centro del denominado "Bloque Tectónico de Maracaibo", una cuña tectónica que está "*escapando*" activamente hacia el norte por la acción conjugada entre los sistemas de fallas de desplazamiento lateral y escala regional, que incluye el sistema sinextral de Santa Marta-Bucaramanga al oeste y el sistema dextral de Boconó al sur y este (Notestein et al, 1944). Este último corta longitudinalmente los Andes de Mérida. Pindell et al. (1998) estimó un desplazamiento sinistral de 110 km. sobre el sistema de fallas de Bucaramanga –Santa Marta y de 150 km. de desplazamiento dextral en los Andes de Mérida, con base en la retrodeformación paleogeográfica del área durante el Cenozoico.

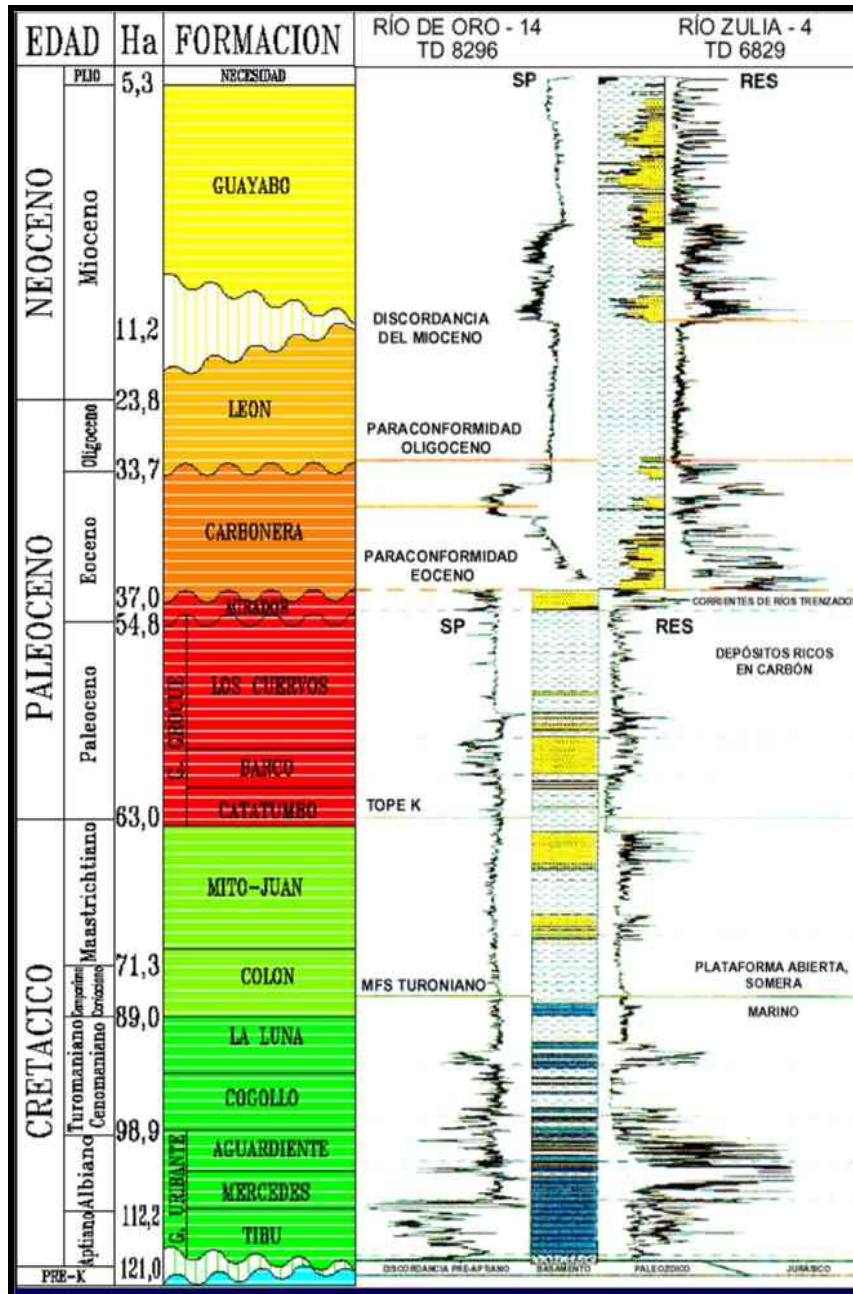


FIGURA 3. Columna estratigráfica generalizada cuenca del catatumbo (Tomado de Mondragón, 2002)

Pozos de estudio

De la Cuenca del Catatumbo se escogieron 2 pozos y de la Cuenca del Putumayo 1 pozo. Los criterios para la elección de los pozos fueron los siguientes:

1. Secuencia estratigráfica lo más completa posible del intervalo de interés.
2. Tener muestras de zanja húmeda

Pozo Cerro Gordo – 3

(Febrero 15/89 – Abril 19/89). Localizado cerca de la Falla de Cerro Gordo este pozo posee datos de las Formaciones Cuervos, Barco, Catatumbo y Mitojuan, se interpretan dos fallas una en la Formación Cuervos y otra en la parte superior de la Formación Mitojuan, en esta última, se observa un posible pliegue invertido asociado al arrastre de la falla. Este pozo perfora la cresta de una estructura (Figura-4).

Eslabones –1

(Diciembre 17/78 – Abril 1/79) TD: 7.550 pies. Este pozo perforó hasta el basamento económico. El pozo mostró en el Terciario inferior hidrocarburos y gas, pero muy cerca, la formación Cogollo aflora en superficie, lo que implicaría que la estructura no tiene cierre propio o el pozo no está en una buena posición estructural. Perforó un pliegue anticlinal limitado por fallas inversas de alto ángulo, ubicadas dentro del monoclinal de Orú (Mondragón, 2002).

3.2 CUENCA DEL PUTUMAYO

La Cuenca del Putumayo es una depresión continua con la Cuenca de Oriente Ecuador -Perú. Esta Cuenca cubre aproximadamente 50.000 Km². y es separada de la Cuenca de los Llanos hacia el este – noreste por el Arco de Vaupes (Informe ECOPETROL, 1987). La Cuenca es bordeada al noroeste por el Macizo de Garzón el cual la separa de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena (Informe ECOPETROL, 1988).

ESTRATIGRAFIA

La Cuenca del Putumayo ha sido objeto de exploración de hidrocarburos desde 1941, contiene más de 11,500 pies de sedimentos cretácicos y Terciarios, los cuales registran los diferentes ambientes que han intervenido en el transcurso de la evolución de la cuenca (informe ECOPETROL, 1988).

De la cuenca se describirá la Formación Villeta que hacen parte del periodo Cretácico donde se encuentra la zona de estudio (específicamente límite Cenomaniano – Turoniano). La base del Cretacéo representa el basamento económico en el Putumayo (Mora et al, 1998).

Cretacéo

El Cretacéo esta representado por las formaciones Caballos y Villeta, las cuales son las mayores rocas fuente y reservorio en esta cuenca (Mora et al, 1998).

Formación Villeta (Albiano – Santoniano)

Los miembros informales denominados por Cáceres y teatin (1985) para la Formación Villeta son caliza C, Arena T, caliza B, Arena U, caliza A y arena M (figura 5). El límite inferior de esta unidad es neto sobre la formación Caballos y corresponde a un paquete lodolítico calcáreo delgado que se correlacionaría con la caliza C de Cáceres y Teatin (1985) en la parte inferior con intercalaciones de arenitas en la parte media que se asignan a la unidad U, en esta unidad se presentan las primeras capas que evidencian ambientes claramente marinos, arenitas, lodolitas fosfáticas, arenitas glauconíticas fosilíferas (Mora et al., 1998).

Ambientes: Las capas conglomeráticas básicas evidencian ambientes de alta energía de origen fluvial, que hacia la parte media evolucionan hacia ambientes intermareales, a los que se asocian las sucesiones de cuarzoarenitas (Mora et al, 1998). Las capas medias a superiores fueron depositadas en ambientes de plataforma media externa (Mora et al, 1998).

Evolución de la cuenca

A comienzos del cretácico en el área que incluye el VSM, la Cordillera oriental y la Cuenca del Putumayo había una depresión estructural (Rift) cuyas partes más bajas se hallaban al W y SW (Mitchum et al 1977). Mientras que en zonas más profundas de la Cuenca del Putumayo la sedimentación pudo comenzar en el Aptiano – Albiano, más al N, el área se inundó en algún momento comprendido entre el Cenomaniano tardío al Turoniano temprano, como resultado del ascenso eustático bien conocido para ese tiempo (Mora et al ,1998).

La sedimentación cretácica comenzó con ambientes fluviales que pasan de manera rápida a ambientes más distales, principalmente transicionales a marinos someros (Mompart, 1983). La parte media a superior representa el paso de ambientes netamente marinos a predominantemente someros (plataforma interna a media) (Mora et al ,1998).

En el cretácico superior se evidencia una regresión marina que corresponde a los depósitos de la **Formación Rumiyaco**, que de acuerdo con Cáceres y Teatin (1985) hacia el oriente pasa a facies predominantemente arenosas denominadas por Texaco como miembro "El Neme". La edad de la formación Rumiyaco, es Maastrichtiano a Paleoceno según Cáceres y Teatin (1985).

A comienzos del Terciario, se evidencia pulso de levantamiento de la Cordillera Central y la consiguiente retirada del mar, dando paso a la acumulación de sedimentos continentales molásicos que corresponden en la Cuenca del Putumayo a la **Formación Pepino** (Cáceres y Teatin, 1985).

A finales del Eoceno y comienzos del Oligoceno predominaban las condiciones lacustres, pantanosas y de aguas salobres que prevalecieron durante la acumulación de los sedimentos de la **Formación Orteguaza** (Cacera y Teatin, 1985). Estas condiciones lacustres predominaron hasta finales del Mioceno, con la depositación de las arcillolitas abigarradas y arenitas de las **Formaciones Orito Belén y Ospina** (Cacera y Teatin, 1985). Después del Mioceno y hasta el reciente el levantamiento de la Cordillera Oriental aportó continuamente sedimentos de piedemonte como los que conforman la **Formación Caimán** (Cáceres y Teatin, 1985).

Pozo Alea -1

En esta zona se escogió el pozo Alea -1 que esta ubicado en la parte central de la cuenca y reunió los criterios requeridos para el presente estudio. Agosto 12/88 8340 pies, se perforó hasta el basamento económico. Se ubica en las coordenadas N: 543.600 m, E: 1.087.750 m. El horizonte productor se ubico en la formación Villeta- unidad U inferior. Este pozo perforó hasta el basamento económico. El pozo mostró en el cretácico superior hidrocarburos, la zona no presentaba complicaciones estructurales. Se tomaron corazones en las formaciones Rumiyaco y Caballo y algunos intervalos de Villeta (informe ECOPETROL, 1987).

ERA	AGE		Putumayo	Oriente	Maranon
			W → E		
CENOZOIC	TERTIARY	Pleistoceno	Calman	Chambira / Cuzco / Anapuro / Chakana	
		Plioceno	Guamues		
		Mioceno	Copina		
		Oligoceno	Orito Gp.	Orteguaza	Ipururo Chambira
		Eoceno	Rumiyaco	Tiyuyacu	Perzo Yahuarango
MESOZOIC	CRETACEOUS	Maastrichtian	Nivel de Leites y Arenas	Tena	
		Campanian	Ollin Gp.		Vivian
		Santonian	"W" S ₂	Miñaca S ₂ M2 Let	Chonta ar
		Coniacian	Villeta	Napo ar	
		Turonian	"T" S ₂	U S ₂	Agua Caliente
		Senonian	ar "U" S ₂	B Let	
		Albian	Caballos ar	T S ₂	Raya ar
		Aptian		Hollin ar	Cushabatay
		JURASSIC	Motema	Michaelli y/o Chapiz	Sarayaquillo Gp. ar
		TRIASSIC	?	Santiago	Pucara Gp. ar
		PERMIAN	?	Macuma	Mitu Group Ene ar
		CARBONIFEROUS	?		Copacabana Tarma Ambo ar
		DEVONIAN	?	Pumbulza	Cabanillas ar
SILURIAN					
ORDOVICIAN	?		Contaya		
CAMBRIAN					
PR.	PRECAMBRIAN	(Metamorphics)	(Metamorphics)	(Metamorphics)	

Figura 4. Columna estratigráfica generalizada Cuenca del Putumayo y sus formaciones correspondientes en otras cuencas. (Tomado de U.S. Geological Survey Digital Data Series 63,2001).

4. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

El límite Cenomaniano – Turoniano (CT) es un intervalo muy importante en el tiempo geológico debido a las diferentes anomalías geoquímicas y litológicas que se presentaron. Las investigaciones que se han enfocado en el estudio del límite en Europa y Norte América han encontrado eventos que han sido correlacionados globalmente, estos eventos están caracterizados por cambios mayores en el registro bioestratigráfico, litológico y geoquímico en depósitos marinos como se puede apreciar en la figura 12 (Arthur et al., 1987). Eventos paleoceanográficos en este tiempo están relacionados al pico (95 Ma.) de uno de los más grandes ascensos del nivel del mar en el Fanerozoico (Norris, 2002). Diversos sucesos y cambios bióticos incluyendo el acmé de foraminíferos planctónicos y crisis de diferentes géneros bentónicos, se han reconocido (Coccioni et al., 2004). Los cuales proveen evidencia de un progresivo y rápido deterioro de las condiciones paleoambientales, que alcanzaron un clímax coincidente con el Evento Anóxico Oceánico (OAE2 o Evento Bonarelli) muy cerca al límite CT y que llevaron a la deposición de sedimentos muy ricos en materia orgánica (Coccioni et al., 2004).

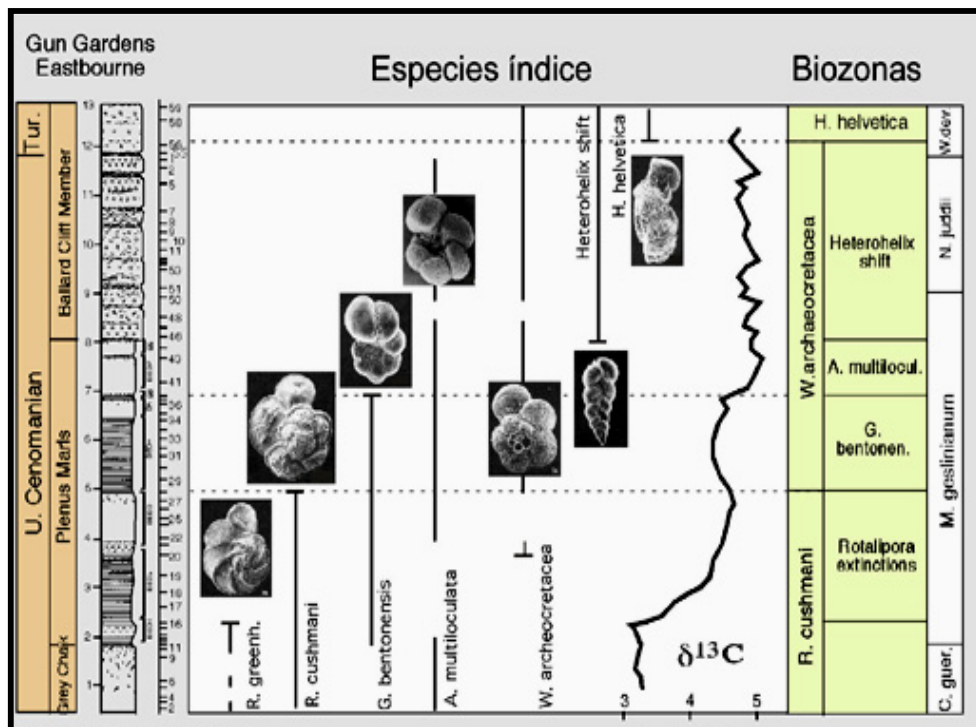


Figura 5. Biozonación global de foraminíferos planctónicos asociado con el pico de $\delta^{13}\text{C}$ del límite Cenomaniano – Turoniano (Tomado de Keller et al, 2002)

Mundialmente, diversos autores han realizado investigaciones alrededor de este intervalo cretácico como se muestra en el cuadro 2.

AUTOR	TITULO	AÑO
Keller, G.	Age and paleoenvironment of the Cenomanian – Turonian global stratotype section and point at Pueblo, Colorado.	2003
Villeneuve, M	Calibrating the Cenomanian-Turonian in the Western Canada Sedimentary Basin: Implications for the correlation of high-frequency palaeoenvironmental changes	1996
Bice, K and Norris, D	Possible atmospheric CO2 extremes of the Middle Cretaceous (late Albian–Turonian)	2002
Coccioni, et al.	Planktonic foraminifera and environmental changes across the Bonarelli event.	2004
Huber, T et al.	Foraminiferal assemblage and stable isotopic change across Cenomanian – Turonian boundary in the subtropical North Atlantic.	1999

Cuadro 1. Principales trabajos a nivel mundial sobre el Límite Cenomaniano – Turoniano.

En Colombia estudios de facies del Cenomaniano más superior - Turoniano más inferior han sido restringidos a una zonación bioestratigráfica básica utilizando macrofósiles, particularmente ammonites. Buriel and Dummit (1954) and Petters (1955) identificaron foraminíferos del límite CT; sin embargo el límite C/T no fue definido ni discutido. En la biozonación de Etayo (1979) el Cenomaniano no está representado y el Turoniano fue definido basado sobre la primera ocurrencia del ammonite *Franciscoites suaresi* y *Mammmites fugax*. Posteriormente Villamil et al (1998) proponen un nuevo límite Cenomaniano – Turoniano basado en una biozonación compuesta que integra ammonites, bivalvos *inoceramidos*, y rangos de foraminíferos de diversas secciones en Colombia. Esta biozonación que plantearon para el norte de Sur América, fue complementada con estudios geoquímicos y faciales que dan los primeros datos con los cuales se puede comparar los cambios o anomalías del trópico con estudios realizados en altas latitudes.

El trabajo de Villamil y Arango (1998) propone una zonación (figura 10) para el límite Cenomaniano – Turoniano, esta combina foraminíferos planctónicos trocoespirales y biseriales, calibrados con macrofósiles y definidas por zonas de intervalo. La sección estratigráfica realizada se ubica en la cordillera oriental y Valle Superior del Magdalena.

Paleontológicamente Villamil y Arango (1998) definieron los fósiles guía de este intervalo de tiempo como siguen:

- El límite C – T (1998) está definido para el norte de Sur América basado en la primera aparición de *Vascoceras Barcoisence exile* y *Rotalipora sp.*, y la primera ocurrencia de *Mytiloides Kossmati*, *Heterohelix pulcra* y la abundancia *Heterohelix globulosa*.
- El Cenomaniano superior de Colombia contiene abundancia de *Exogyra spp.*, raros *Inoceramus pictus*, *Rotalipora cushmani*, *Hedbergella spp*, *Guembelitra cenomana*, y abundancia de *Heterohelix moremani*.
- El Turoniano temprano puede ser fácilmente reconocido por la primera ocurrencia y por la abundancia del bivalvo género *Mytiloides*. Los foraminíferos marcadores para el Turoniano son *Whiteinella archeocretacea*, *Heterohelix globulosa*, *Heterohelix pulcra*, abundante *Hedbergella spp.* y grandes *Heterohelix moremani*.

A partir de los fósiles guía definidos se propuso una zona compuesta que combina heterohelicidae y globotruncanidae. La zona de *Rotalipora cushmani* – *Heterohelix moremani* comprende el Cenomaniano tardío superior y la zona *Whiteinella archaeocretacea* - *Heterohelix globulosa* comprende el Cenomaniano tardío más superior y el Turoniano temprano – inferior.

Los cambios encontrados en la fauna evidencian las fuertes condiciones oceánicas a las que estuvieron expuestas, y muestra también ciertas diferencias con relación a la distribución de especies de foraminíferos en otras latitudes.

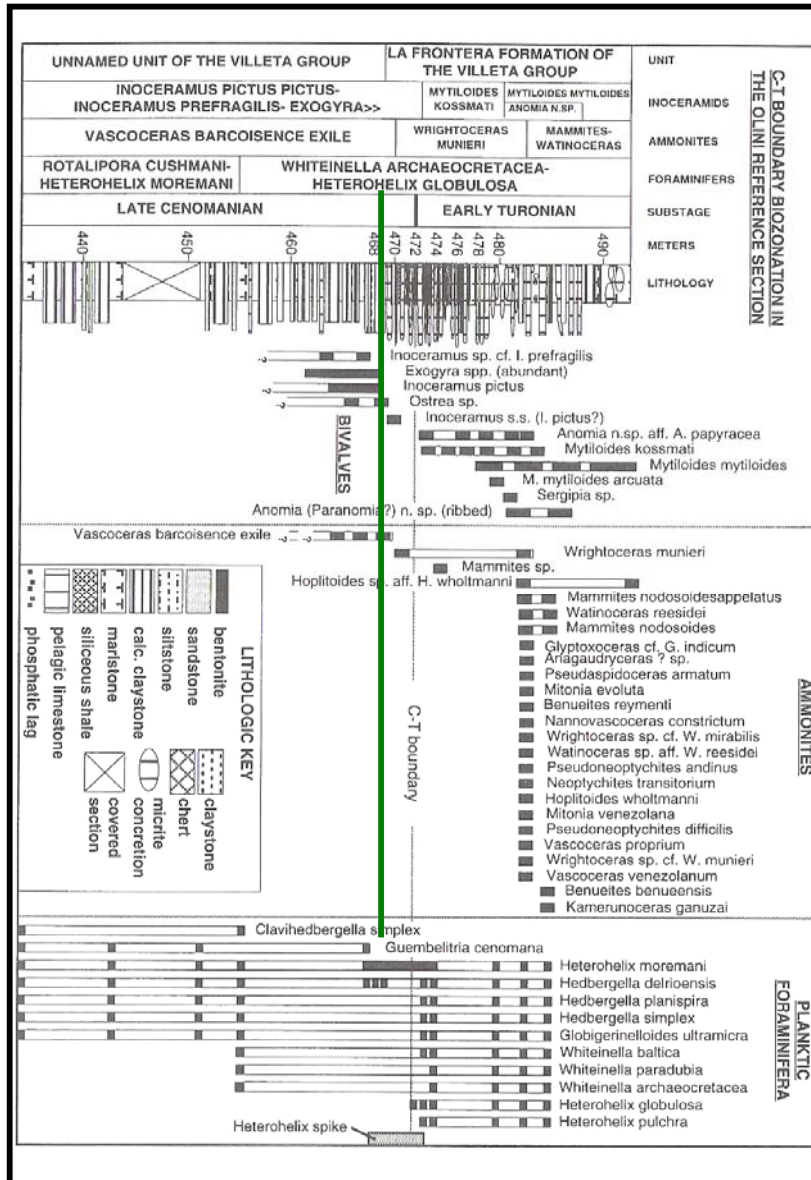
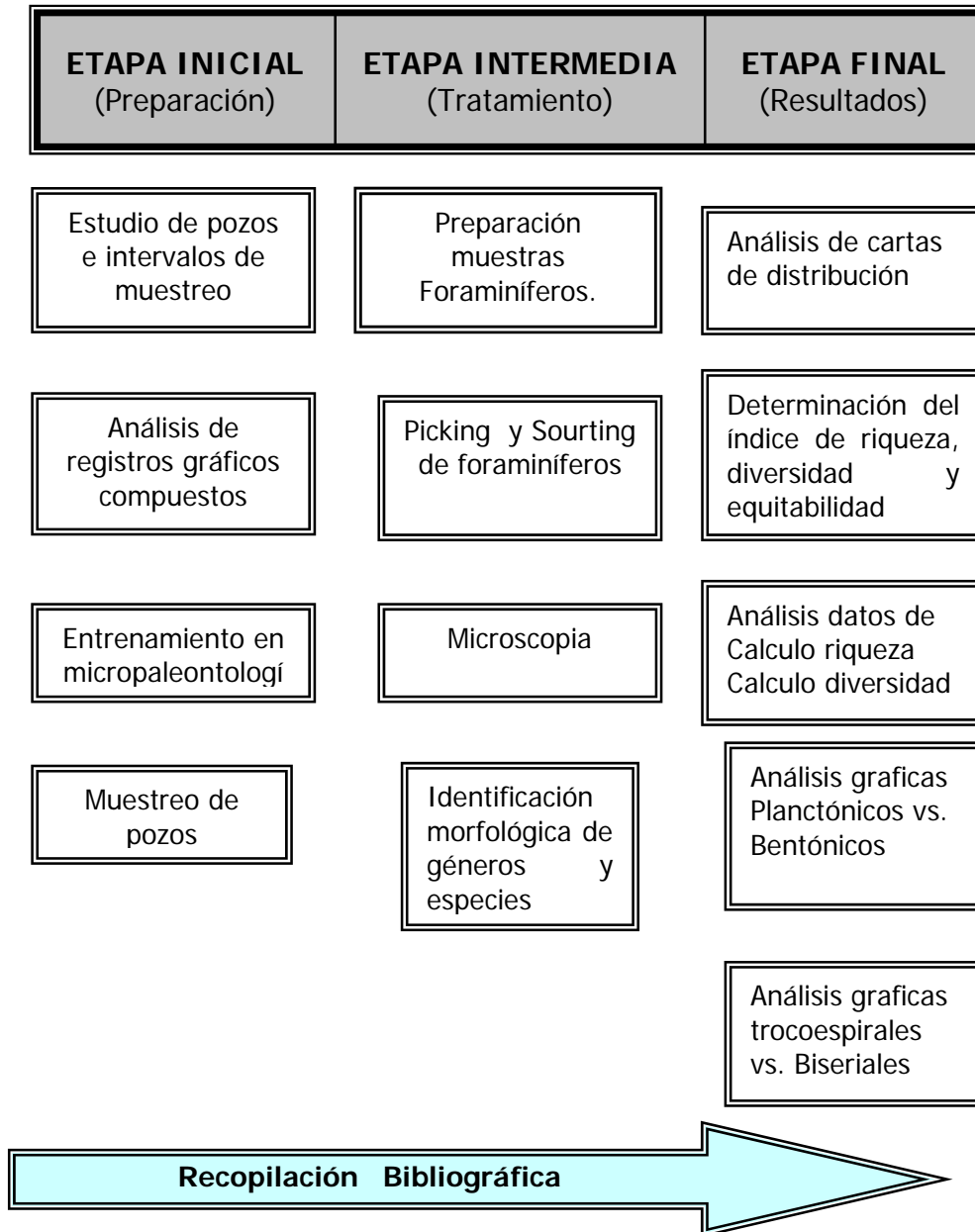


Figura 6. Biozonación propuesta Por Villamil y Arango para el límite Cenomaniano – Turoniano (tomado de Villamil y Arango, 1998).

5. METODOS Y MATERIALES

Para la realización de esta investigación se siguió una metodología que involucra las siguientes etapas (cuadro 2).



Cuadro 2. Metodología utilizada

5.1 ETAPA INICIAL

En esta primera etapa se seleccionaron los pozos para el estudio de foraminíferos, también se realizó el análisis de registros.

5.1.1 Estudio de pozos e intervalos de muestreo

Los criterios para la selección de los pozos fueron: secuencia estratigráfica completa en el intervalo de estudio, que tuvieran muestras de zanja húmeda y que la perforación del pozo haya llegado hasta el intervalo de interés. Para la Cuenca del Catatumbo fueron seleccionados los pozos Cerro Gordo – 3 y Eslabones – 1 y para la Cuenca del Putumayo el pozo Alea-1.

Los intervalos de muestreo se determinaron pensando en tener un buen registro de la distribución de foraminíferos. De esta manera se dio importancia a los cambios litológicos en la columna estratigráfica de cada pozo y el comportamiento del registro gamma ray. Analizando los aspectos nombrados anteriormente, se definieron los intervalos de muestreo por cada pozo en 20' pies para el pozo Cerro Gordo -3 y cada 30' en los pozos Alea-1 y Eslabones - 1, cubriendo un espesor de 200 a 250 pies por pozo (60 – 70 m).

5.1.2 Placas micropaleontológicas

La preparación de las muestras para la extracción de foraminíferos se realizó según la metodología utilizada en el laboratorio de preparación de muestras geológicas del Instituto Colombiano de Petróleos (ICP) siguiendo los siguientes pasos:

Preparación Tradicional con Varsol

- ✓ La muestra de zanja es triturada hasta obtener fragmentos de 2 -4 mm.
- ✓ Ya triturada va a un recipiente de vidrio, donde es calentada a una temperatura de 50° C por 30 minutos, posteriormente se deja enfriar e inmediatamente es remojada en varsol por un día.
- ✓ Tras haberse enfriado la muestra, es retirado el varsol sobrante y es añadida una solución concentrada, jabonosa de agua y detergente. La muestra es calentada de nuevo a una temperatura de 60° a 70° C por 45 min., posteriormente es lavada con agua a temperatura ambiente o tibia en unas mallas o tamices N° 20 y N° 200 (0.074mm), hasta obtener la muestra final de la que más adelante serán separados los microfósiles, minerales, etc., que serán objeto de estudio.
- ✓ Después de lavadas, las muestras son colocadas en un horno a 50° hasta que estas quedan secas.

Preparación con Peróxido de Hidrógeno: (H₂O₂)

Algunas muestras fueron sometidas a un segundo tratamiento, debido a que las muestras no soltaron suficiente fracción arcilla. Esta preparación es descrita por Sohn (1961). El proceso de trituración es el mismo indicado inicialmente, con la diferencia que la muestra es remojada en una solución de H₂O₂ durante dos horas, a lo cual sigue el proceso de varsol tal como fue descrito anteriormente

5.2 ETAPA INTERMEDIA

5.2.1 Picking (selección) y Sorting (agrupamiento)

Esta labor consistió en la separación de microfósiles, minerales, fragmentos de restos fósiles, etc., y en el montaje de los mismos en placas micropaleontológicas de 60 casillas. Para estas actividades se usó un estereoscopio binocular de 40 aumentos marca Wild, y se siguió el siguiente procedimiento:

- **Peso:** Las muestras son nuevamente pesadas, ya que se hace necesario conocer el peso real de la muestra luego del proceso de lavado.
- **Tamizado:** Las muestras son pasadas por un juego de tamices desde la malla 40 hasta la malla 140, posteriormente se extiende cada muestra del tamiz en una bandeja y se extraen los microfósiles con la ayuda del estereoscopio. Los foraminíferos se van colocando en una placa dividida en 60 casillas (figura 15) enumeradas.

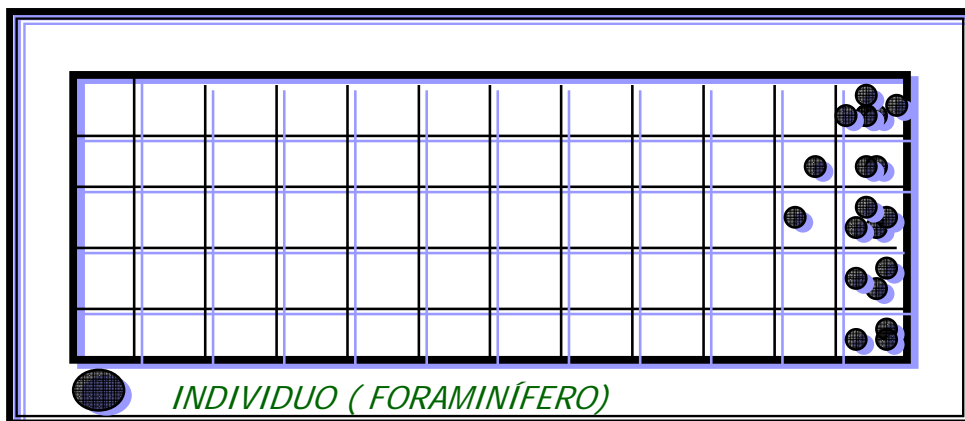


Figura 7. Placa para la determinación de morfotipos

- ✓ Después de haber picado todos los foraminíferos de cada malla, los foraminíferos se van agrupando por el criterio morfológico (número de cámaras, estilo de la conchilla, apertura, etc.), con la última cámara hacia arriba y sobre el lado dorsal.

5.2.3 Microscopia

La microscopia se hizo en un estereoscopio binocular de mayor aumento (80 aumentos) marca Nikon debido al tamaño tan pequeño de los foraminíferos planctónicos, este proceso se realizó en el laboratorio de micropaleontología del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

Para las placas de foraminíferos se eligió un número mínimo de 300 especímenes para una mejor confiabilidad de los datos. Este valor se utilizó debido a que estudios realizados por Hayek and Buzas (1997), demostraron que después de graficar individuos contra especies (figura 16), da como resultado una curva que se estabiliza en 300, manifestando que después de este valor el número de especies no varía representativamente.

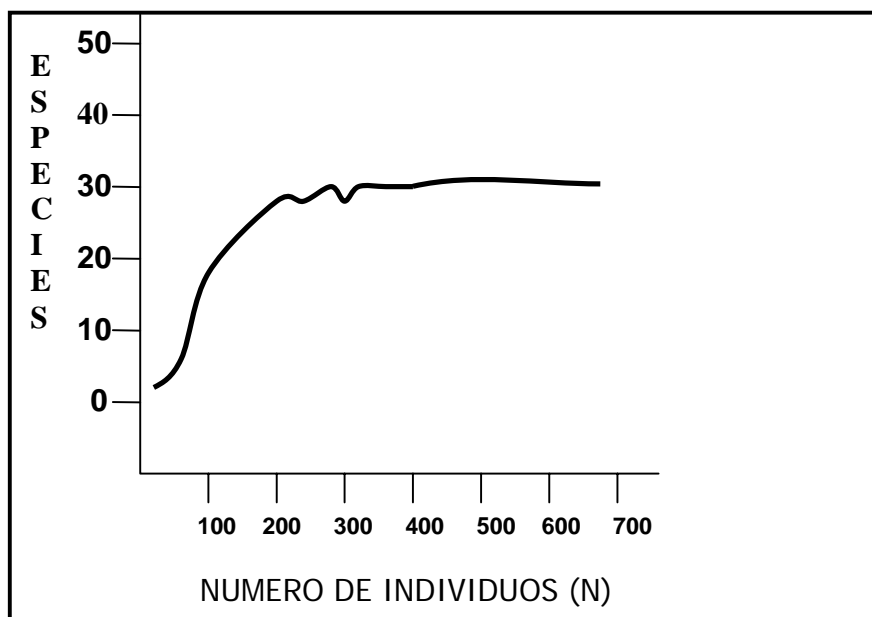


Figura 8. Curva de número de Especies (s) Vs. Número de individuos por muestra (Modificado de Hayek and Buzas, 1997).

Posteriormente de haber escogido los 300 especímenes de foraminíferos, se clasificaron por géneros y especies de acuerdo a la clasificación de Caron, 1985. Los diferentes géneros se agruparon en morfotipos, teniendo en cuenta características morfológicas para su identificación; cantidad y disposición de las cámaras, posición de la apertura, quilla y organización de la pared.

Luego de haber completado 300 especímenes de foraminíferos en las placas que se pudo alcanzar este conteo (como mínimo 165 para hacer confiable los datos), fueron agrupados en morfotipos (se entiende por morfotipo como una agrupación de especímenes con características morfológicas similares y no necesariamente abarca o coincide con unidades taxonómicas) teniendo en cuenta características morfológicas para su identificación; cantidad y disposición de las cámaras, posición de la apertura, quilla y organización de la pared. Finalmente se realizó la clasificación taxonómica por géneros y especies de acuerdo a la clasificación de (Caron, 1985).

5.3 ETAPA FINAL

Análisis de los datos obtenidos de la identificación taxonómica de las muestras micropaleontológicas.

6.3.1 CARTAS DE DISTRIBUCIÓN

Al realizarse los conteos de los diferentes géneros y especies de cada muestra se obtiene una tabla de valores, información con la cual se generan las cartas de distribución de cada pozo en el software Stratabugs.

A partir de las cartas de distribución se definen las zonas bioestratigráficas para cada pozo. En este trabajo se van a utilizar las zonas de intervalo y las zonas acme (Boggs, 1987). De acuerdo a esto los criterios a tener en cuenta serán primeras apariciones y últimas ocurrencias, sin embargo teniendo en cuenta que las muestras son de rípios solo se tendrán en cuenta últimas apariciones, ya que los datos de primeras apariciones no son muy confiables por la caída de rípios en pozo (contaminación por caída de bloques de profundidades diferentes a la marcada en la muestra de zanja).

6.3.2 ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD

Para conocer la diversidad de cada muestra se utilizó la riqueza [número de especies (S)], el índice de diversidad de Shannon - Wiener [relación entre el número de especies y su abundancia (H')], y la equidad (J) grado de uniformidad entre especies por muestra (Hammer et al, 2001).

Riqueza (S)

El número de especies registradas en un área de estudio se conoce como riqueza (Hayek & Buzas, 1997). Esta no tiene en cuenta el número de individuos, ni la manera cómo éstos se distribuyen entre las especies.

Índice de Shannon – Wiener (H')

Uno de los principales índices de diversidades es el de Shannon-Wiener (H'). Este índice fue derivado independientemente por Shannon y Wiener, y en el se asume que los individuos son una muestra al azar de una población infinitamente larga y que todas las especies están representadas en la muestra (Shaw, 2003).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Se calcula mediante la ecuación: Donde “p_i” es la proporción de individuos encontrados en las “i” especies. En una muestra el verdadero valor de “p_i” es desconocido, pero se estima como “n_i/N”, donde “n_i” es el número de individuos en la “i” especie y “N” es el número total de individuos. El valor es igual a cero si y sólo si hay una sola especie en la muestra y obtiene un máximo valor (H'=ln S) sólo si todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. Taylor (1978) demostró que si H' es calculado para un alto número de muestras, éste presenta una distribución normal. Esta propiedad hace posible usar estadística paramétrica, incluyendo análisis de varianza para comparar grupo de muestras para las cuales conocemos el índice de Shannon-Wiener (Magurran, 1988).

Equidad

La equidad es la magnitud con la cual los individuos están igualmente distribuidos entre todas las especies. Cuando los individuos de una población se distribuyen por igual entre todas las especies, se puede demostrar que H' = ln (S) y en este caso la relación H' / ln(S) es igual a 1 (Hayek & Buzas, 1997). Cuando la proporción de especies no es igual, esta proporción es menor a 1. Basado en el caso en que la distribución es igual, Pielou (1969) introdujo la siguiente medida de equidad:

$$J = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Donde J es el índice de equidad de Pielou, “H'” es el índice de Shannon-Wiener y “S” es la riqueza. Al eliminar el logaritmo natural (ln) a ambos lados de la ecuación H'=ln(S), se obtiene e^{H'}/ S el cual es también una medida de equidad. Esta medida fue introducida por Buzas & Gibson (1969) y se conoce como E:

$$E = \frac{e^H}{S}$$

Donde "E" es el índice de equidad o dominancia, "e" es la base de los logaritmos naturales, "H" es el índice de Shannon-Wiener y S es la riqueza.

5.3.3 GRAFICAS Y CORRECIÓN POR RAREFACCIÓN

Los cálculos de abundancia, diversidad y equidad son graficados para cada pozo. Posteriormente estas graficas son analizadas para conocer los cambios de la estructura de la población a través del intervalo de tiempo, las cuales pueden llegar a evidenciar características ecológicas de cada población.

Rarefacción

La rarefacción es básicamente una técnica de interpolación que hace posible estimar cuantas especies se deberían haber encontrado teniendo la muestra más pequeña (Raup, 1975). La técnica es derivada de un análisis de las frecuencias relativas de especímenes con especies y esto hace posible comparar diversidades estimadas en una muestra de tamaño constante. La aproximación más simple es tomar el número de individuos en la muestra más pequeña como tamaño estándar. La rarefacción calcula la riqueza de dos muestras si en ambas se hubieran contado el mismo número de individuos.

Para calcularla se puede utilizar la siguiente fórmula de Hurlbert, 1971:

$$E(S) = \sum \left\{ 1 - \left[\frac{N - N_i}{n} \right] \frac{N}{n} \right\}$$

Donde:

E(S)= Número de especies esperado

n= Tamaño estandarizado de la muestra

N= Número total de individuos

N_i= Número de individuos de cada especie.

Para conocer que riqueza tendría cada muestra si en todas se hubiera contado el mismo número de individuos, se calculó la curva de rarefacción para cada una y se estimó el valor de riqueza a un nivel de rarefacción igual al de la muestra con menor número de individuos contados.

6. RESULTADOS

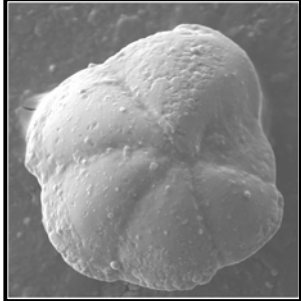
6.1 TAXONOMIA

Para la identificación de los diferentes foraminíferos planctónicos se realizaron grupos en cada placa de muestreo de acuerdo por sus características comunes de las generales hasta las más específicas de acuerdo con los parámetros de Longoria (1974) y Caron (1985), complementándolo con comparaciones de criterios como forma de las cámaras, enroscamiento, etc.

Posteriormente a la clasificación de acuerdo a las formas de los foraminíferos, se siguió con la clasificación taxonómica para reconocer las familias y los géneros donde se utilizó material bibliográfico guía: *Plankton stratigraphy*, (Loeblich and Tappan, 1988). *Foraminiferal Genera and their Classification*, Volume I – II. (Ellis and Messina, 1940). La revisión taxonómica se realizó también con la asesoría del Doctor Herman Duque Caro en un taller, observando las especies foraminíferas encontradas y haciendo las correcciones pertinentes.

6.1.2 GUÍA FORAMINÍFERA

A partir de la identificación taxonómica realizada en las placas micropaleontológicas, se creó una guía de foraminíferos planctónicos con las especies encontradas que caracterizan el intervalo de tiempo de estudio. Cada ficha integra la foto (fotos tomadas en un microscopio electrónico de barrido, marca Oxford) de cada especie, su descripción tipo, sinonimias y la diagnosis (**paleontología sistemática apéndice 1**). Esto con el fin de ser un elemento de ayuda para la identificación de especies del Cenomaniano –Turoniano. Aquí se encuentran especies de los tres pozos, debido a que se escogieron las especies mejor conservadas. Todos los foraminíferos planctónicos aquí referenciados pertenecen a tres superfamilias, a saber: *Heterohelicacea*, *Rotaliporacea* y *Globotruncanacea*.



ROTALIPORA CUSHMANI

Rotalipora cushmani (MORROW) 1944

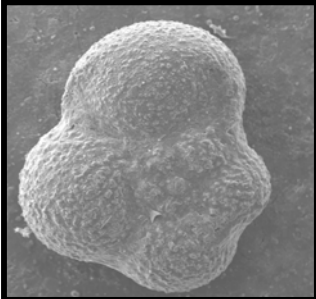
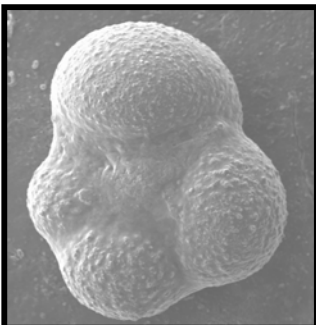
SINONIMIA:

Rotalipora turonica **BOTZEN, 1942**

Rotalipora alpina **BOLLI, 1945**

Descripción: Conchilla de enrollamiento trocoesprial bajo, margen periférico lobulado; 5 cámaras en la última vuelta, que incrementan gradualmente de tamaño a medida que se adicionan; cámaras petaloideas o con forma de media luna en el lado espiral mientras que en lado umbilical son ovoides (fotos apéndice 1).

Diagnosis: Enrollamiento trocoesprial bajo; 5 cámaras en la última vuelta que aumentan gradualmente de tamaño a medida que nuevas cámaras se adicionan; cámaras petaloideas o con forma de media luna.



Whiteinella baltica

Whiteinella baltica Douglas y Rankin, 1969

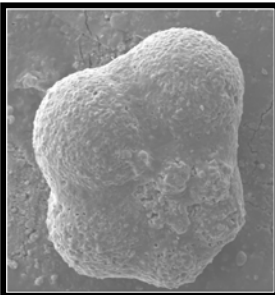
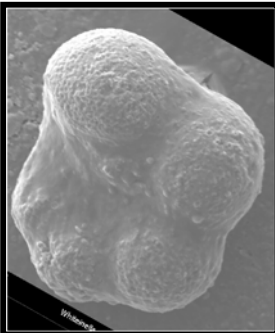
SINONIMIA:

Rugoglobigerina? Alpina **Porthault, 1969.**

Hedbergella bornholmensis **Douglas y Rankin, 1969**

Descripción: Conchilla de enrollamiento trocoesprial; contorno periférico fuertemente lobulado; pared calcárea con prominente ornamentación presentándose pustulosa; la última vuelta ligeramente en un plano más bajo al del enrollamiento; 4 a 5 cámaras que aumentan de tamaño gradualmente a medida que se adicionan; las cámaras son esféricas a subsféricas tanto en el lado espiral como en el lado umbilical.

Diagnosis: Conchilla con enrollamiento trocoesprial; contorno periférico fuertemente lobulado; 4 a 5 cámaras.



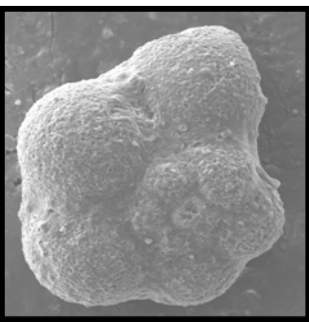
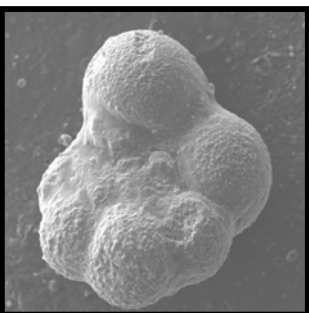
Whiteinella archaeocretacea

Whiteinella archaeocretacea
Pessagno, 1969

SINONIMIA: *Whiteinella*, Pessagno 1969
Hedbergellita, Maslakova 1983
Whiteinella Loeblich y Tappan, 1987

Descripción: Conchilla lobulada, enroscamiento trocoesprial bajo con 4 a 5 cámaras en la última vuelta, cámaras esféricas inicialmente, siendo ovada en sección en la última vuelta; en espiral y vista umbilical, cámaras cortas en la última vuelta, separadas por curvadas y rectas depresiones, suturas radiales.

Diagnosis: Enrollamiento trocoesprial bajo; cámaras globosas algo achatadas, abertura bastante pronunciada.



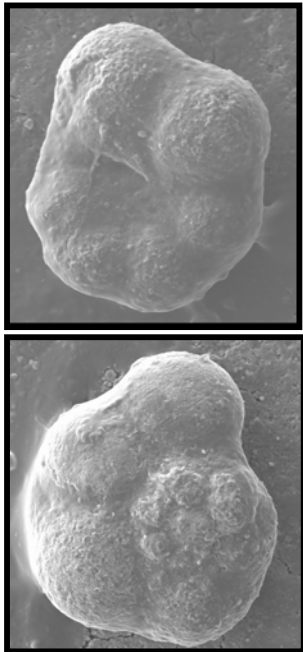
Hedbergella delrioensis

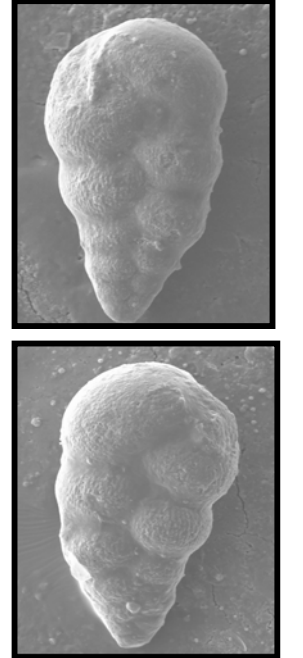
Hedbergella delrioensis
(Plummer, 1931)

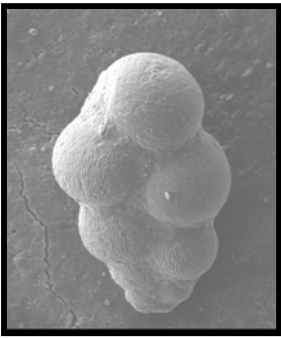
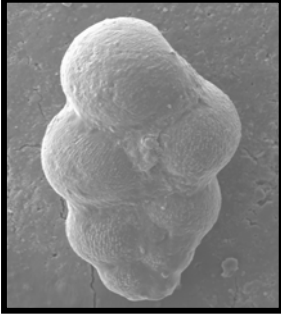
SINONIMIA:
Globorotalia delrioensis, Plummer 1931

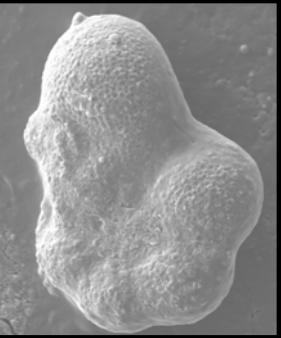

Descripción: Conchilla de enrollamiento trocoesprial; contorno periférico subcircular; las primeras vueltas están ligeramente elevadas respecto al plano de enrollamiento y la última cámara está claramente desviada hacia el lado umbilical cubriendo parcialmente el ombligo; 5 a 6 cámaras que aumentan de tamaño gradualmente a medida que se adicionan (fotos apéndice 1).

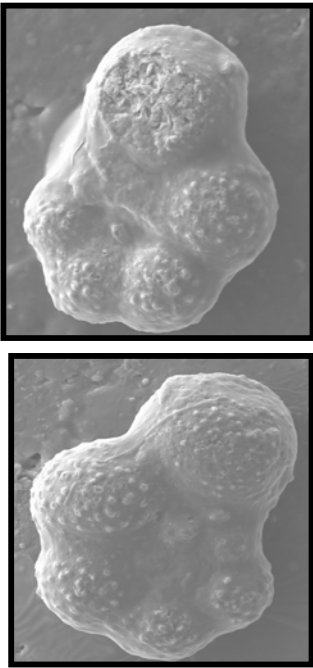
Diagnosis: Enrollamiento trocoesprial; 5 a 6 cámaras globulares que aumentan de tamaño a medida que se adicionan; la primeras vueltas están ligeramente

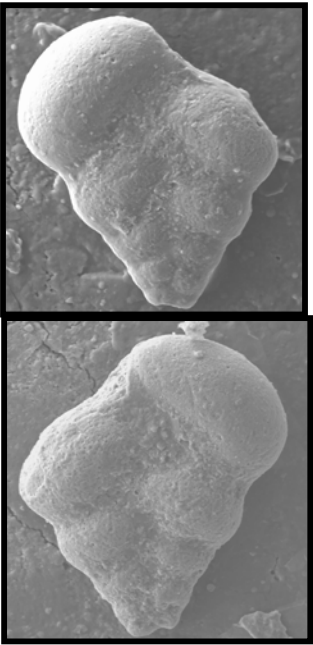
	<p><i>Hedbergella planispira</i> (Tappan, 1940)</p> <p>SINONIMIA: <i>Globigerina gaultina</i>, Morozova 1948 <i>Globigerina globigerinelloides</i>, Subbotina 1949 <i>Praeglobotruncana modesta</i>, Bolli 1959</p> <p>Descripción: Conchilla de bajo enrollamiento trocospiral; contorno periférico subcircular a oval; vueltas sobre un mismo plano de enrollamiento; 6 – 7 cámaras que aumentan levemente de tamaño a medida que se adicionan; cámaras subesféricas tanto en el lado espiral como en el lado umbilical; suturas rectas a ligeramente</p> <p>Diagnosis: Conchilla con enrollamiento trocospiral bajo; vueltas en un mismo plano; 6 – 7 cámaras subesféricas que aumentan levemente de tamaño a medida que se adicionan.</p>
<p><i>Hedbergella planispira</i></p>	

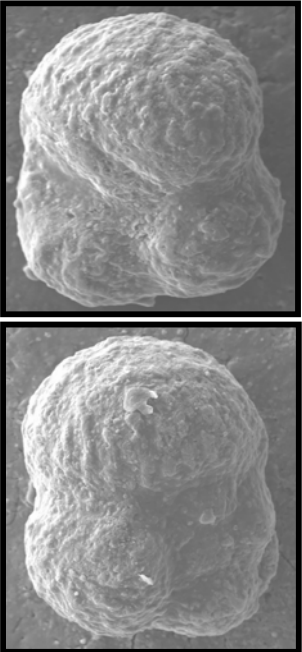
	<p><i>Heterohelix moremani</i> (Cushman, 1938)</p> <p>SINONIMIA: <i>Guembelina washitensis</i>, Tappan 1940</p> <p>Descripción: Conchilla biserial, subcónica; compuesta por aproximadamente 5 a 7 pares de cámaras, cámaras subtriangulares y poco infladas que aumentan gradualmente de tamaño a medida que se adicionan; suturas rectas a ligeramente curvas, distinguibles y profundas; apertura en un arco bajo interiomarginal en la base de la cámara final.</p> <p>Diagnosis: Conchilla de apariencia biserial de principio a fin, subcónica; cámaras subtriangulares y poco infladas; apertura en un arco bajo interiomarginal en la base de la cámara final.</p>
<p><i>Heterohelix moremani</i></p>	

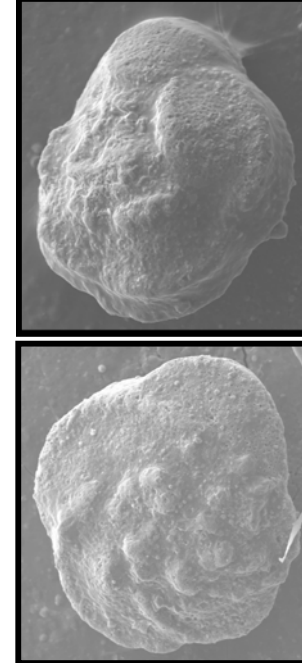
	<p><i>Heterohelix globulosa</i> (Ehremberg, 1843)</p>
	<p>SINONIMIA: Gumbelina Globulosa, Ehremberg 1843</p> <p>Descripción: Conchilla biserial, subcónica; compuesta por aproximadamente 5 pares de cámaras; cámaras globulares y muy infladas que aumentan rápidamente de tamaño a medida que se adicionan; suturas rectas a ligeramente curvas, distinguibles y muy profundas; apertura no visible en la base de la cámara final.</p> <p>Diagnostico: Conchilla de apariencia biserial de principio a fin, subcónica; cámaras globulares y muy infladas; apertura no visible</p>
<p><i>Heterohelix globulosa</i></p>	

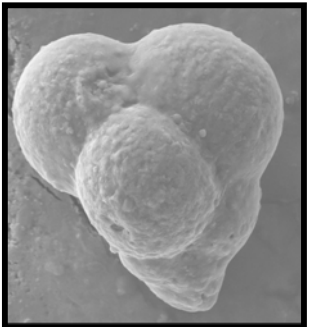
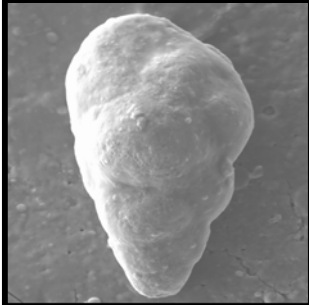
	<p><i>Hedbergella simplex</i> (Morrow, 1934)</p>
	<p>SIN SINONIMIA</p> <p>Descripción: Conchilla de enrollamiento trocospiral; contorno periférico fuertemente lobulado; 5 cámaras que aumentan de tamaño gradualmente a medida que se adicionan; las primeras cámaras son infladas y ovoides, en la última vuelta son elongadas tanto en el lado espiral como en el lado umbilical; la elongación de las últimas cámaras es variable; suturas rectas, radiales y profundas en ambos lados; apertura primaria en posición umbilical – extraumbilical; ombligo moderado.</p> <p>Diagnosis: Conchilla con enrollamiento trocospiral; contorno periférico fuertemente lobulado; 5 cámaras que aumentan de tamaño a medida que se adicionan; cámaras infladas y elongadas.</p>
<p><i>Hedbergella simplex</i></p>	

 <p data-bbox="379 1064 566 1090"><i>Hedbergella sp.</i></p>	<p data-bbox="798 398 1098 454"><i>Hedbergella sp.</i> Bronnimann y Brown 1959</p> <p data-bbox="722 510 1169 566">SINONIMIA: <i>Hedbergella</i>, Bronnimann y Brown 1958</p> <p data-bbox="722 622 1233 891">Descripción: Conchilla de enrollamiento trocospiral; contorno periférico subcircular; las primeras vueltas están ligeramente elevadas respecto al plano de enrollamiento y la última cámara está claramente desviada hacia el lado umbilical cubriendo parcialmente el ombligo; 5 a 6 cámaras que aumentan de tamaño gradualmente a medida que se adicionan; cámaras globulares casi esféricas tanto en el lado espiral como en el lado umbilical</p> <p data-bbox="722 947 1233 1059">Diagnosis: Enrollamiento trocospiral; 5 a 6 cámaras globulares que aumentan de tamaño a medida que se adicionan; la abertura es pequeña.</p>
--	---

 <p data-bbox="355 1814 590 1848"><i>Heterohelix pulchra</i></p>	<p data-bbox="782 1182 1220 1216"><i>Heterohelix pulchra</i> (Cushman, 1956)</p> <p data-bbox="707 1238 885 1272">SIN SINONIMIA</p> <p data-bbox="707 1384 1233 1585">Descripción: Conchilla biserial, subcónica; compuesta por aproximadamente 5 pares de cámaras; cámaras subglobulares alargadas y que aumentan levemente de tamaño a medida que se adicionan; suturas rectas y muy profundas; apertura visible en la base de la cámara final.</p> <p data-bbox="707 1664 1233 1776">Diagnostico: Conchilla de apariencia biserial de principio a fin, subcónica; cámaras subglobulares elongadas; suturas rectas uniéndose..</p>
---	--

 <p data-bbox="359 1064 582 1097"><i>Rugoglobigerina</i></p>	<p data-bbox="805 403 1053 470"><i>Rugoglobigerina</i> (Bronnimann, 1952)</p> <p data-bbox="702 526 1197 616">SINONIMIA: <i>Rugoglobigerina</i>, Robaszyski et al 1984 <i>Rugoglobigerina</i>, Loeblich y Tappan 1987</p> <p data-bbox="702 705 1228 907">Descripción: Conchilla con trocoespira alta a algo aplanado. Cámaras globulares incrementando en tamaño de bajo a muy rápido. Periferia ligeramente redondeada. Apertura en posición umbilical. Sistema umbilical compuesto de tegilla. La superficie de la cámara es ornamentada y rugosa.</p> <p data-bbox="702 974 1228 1064">Diagnosis: Conchilla de apariencia globosa. 3 – 4 cámaras globulares. Superficie de la conchilla bastante rugosa.</p>
--	--

 <p data-bbox="359 1825 614 1859"><i>Dicarinnella primitiva</i></p>	<p data-bbox="853 1176 1101 1243"><i>Dicarinnella primitiva</i> (Shaibnerova, 1962)</p> <p data-bbox="702 1321 1228 1388">SINONIMIA: <i>Globotruncana roddai</i>, Marianos y Singula, 1966</p> <p data-bbox="702 1433 1252 1612">Descripción: Conchilla con trocoespira baja con forma biconvexa. 5 – 8 cámaras en la última vuelta; Cámaras incrementando ligeramente de tamaño. Apertura umbilical a extraumbilical; 2 quillas en la periferia (paleontología sistemática apéndice 1).</p> <p data-bbox="702 1657 1252 1780">Diagnosis: Periferia biconvexa. 2 quillas bordeando toda la periferia. 5- 8 cámaras en la última vuelta. Sistema umbilical compuesto de portici.</p>
--	---

	<p style="text-align: center;"><i>Guembelitra cenomana</i> (Keller, 1955)</p> <p>SINONIMIA: <i>Guembelitra harrisi</i>, Tappan 1940</p> <p>Descripción: Conchilla muy pequeña, triserial, con cámaras globulares, 3 – 4 cámaras en cada serie. Suturas distintivas deprimidas, superficie de la conchilla lisa, apertura en arco bajo bordeado por labio.</p> <p>Diagnosis: Conchilla muy pequeña triserial con cámaras globulares.</p>
	
<p style="text-align: center;"><i>Guembelitra cenomana</i></p>	

6.1.3 ASOCIACIONES FAUNISTICAS DEL CENOMANIANO - TURONIANO

El intervalo analizado parte del Cenomaniano más superior hasta el Turoniano más inferior y está representado por foraminíferos planctónicos en todas las muestras, con buen recobro y preservación, excepto en algunas muestras del pozo Alea – 1 (muestras, 8020 – 8050/ 8050 – 8080/ 8080 – 8110). Ningún radiolario fue encontrado en las muestras de foraminíferos y otros constituyentes biogénicos, tales como ostracodos, dientes de peces fueron raros a ausentes.

Los géneros *Heterohelix*, *Hedbergella* y *Whiteinella* en ese orden y especies *Heterohelix globulosa*, *Heterohelix moremani* y *Hedbergella sp.* son los más abundantes para todo el intervalo de estudio (Tabla 3).

Pozos \ Géneros	Géneros		
	<i>Heterohelix</i> %	<i>Hedbergellas</i> %	<i>Whiteinellas</i> %
Cerro Gordo - 3	67	21	11
Eslabones - 1	62	22	12
Alea -1	88	8.1	3.5

Tabla 3. Porcentaje de los géneros de foraminíferos planctónicos más representativos de los pozos de estudio.

Las especies identificadas en los pozos de estudio presentan diferentes rangos en el registro estratigráfico. A partir de esto se enfatizó en el análisis de las especies índices de este intervalo (C/T) geológico.

Las especies definidas por Villamil y Arango (1998) como marcadoras para el Cenomaniano más tardío son la *Rotalipora cushmani*, *Heterohelix moremani* y para el Turoniano temprano *Whiteinella archaeocretacea* y *Heterohelix globulosa*. Las especies que se encontraron con mayor abundancia durante el Cenomaniano superior son *Hedbergella sp.* y *Heterohelix moremani* y para el Turoniano inferior *Heterohelix globulosa* y *Whiteinella archaeocretacea* (Tabla 4).

Pozos \ Géneros	<i>H. moremani</i> %	<i>Hedbergella sp.</i> %	<i>H. globulosa</i> %	<i>W. archaeocretacea</i> %
	Cerro Gordo	23.8	16.2	41.2
Eslabones - 1	25	17.5	36	4
Alea -1	21.4	5.4	67	1.8

Tabla 4. Porcentaje de las especies de foraminíferos planctónicos más representativos de los pozos de estudio

6.1.4 CARTAS DE DISTRIBUCIÓN

La agrupación de morfotipos y posterior identificación de especies en cada placa micropaleontológica, dio como resultado una carta de distribución que muestra el comportamiento (abundancia) de cada especie a lo largo del intervalo de interés. Como se mencionó anteriormente en este trabajo el criterio más importante para definir las zonas son las últimas ocurrencias de especies, ya que como se está trabajando con muestras de zanja las primeras apariciones no son muy confiables. En el pozo Cerro Gordo 3 y Eslabones 1 se encontraron 3 zonas o asociaciones de foraminíferos y 2 en el pozo Alea 1, las zonas están descritas de base a tope (**Cartas de distribución apéndice 2**).

Zona de *Rotalipora cushmani* (definida por Villamil y Arango, 1998).

- En este estudio la base no está definida, la primera aparición de la *R. cushmani* se encuentra por debajo del intervalo de estudio y no se encontró ningún otro marcador.
- El tope de la zona está definido por la última aparición de la *R. cushmani*.
- Profundidad: Cerro Gordo - 4760', Eslabones - 5390' y en el pozo Alea -1 no fue definida esta zona.

Zona de *Guembelitra cenomana* (zona definida en este estudio).

- Tope de la zona definido por la última aparición de *Guembelitra cenomana* (Apéndice 1).
- Límite inferior de la zona definido por última ocurrencia de *Rotalipora cushmani*.
- Profundidad: Cerro Gordo, 4760'- 4720'/ Eslabones, 5390' - 5330'/Alea, 8110- 8050.

Límite Cenomaniano - Turoniano

- Caracterizada por disminución casi total en el registro fósil de foraminíferos planctónicos y bentónicos (Apéndice 2).
- Profundidad: Cerro Gordo, 4690' – 4710', Eslabones, 5330' – 5270', Alea -1, 7990' – 8020'.

Zona *Whiteinella archaeocretacea*. Zona definida por Villamil et al (1998).

- La base esta caracterizada por aparición de *W. archaeocretacea* y abundancia de *Heterohelix globulosa*.
- Según Villamil et al (1998) esta zona incluye la asociación *Whiteinella baltica*, *Heterohelix globulosa* y *Whiteinella archaeocretacea*, también identificada aquí.
- El tope no esta definido debido al intervalo de estudio y no encontrar marcadores.
- Profundidad. Cerro Gordo, 4690 – 4600/ Eslabones, 5240 5120/Alea, 7990 – 7900.

6.1.5 CRONOLOGÍA DE LOS POZOS CERRO –GORDO -3, ESLABONES – 1 Y EL POZO ALEA -1

Se determino la distribución de foraminíferos planctónicos para cada pozo y posteriormente se establecieron las zonaciones para el intervalo Cenomaniano – Turoniano en estas cuencas. Sucesivamente las zonas definidas se correlacionaron con las propuestas por Villamil et al (1999).

➤ Pozo Cerro – Gordo -3

El análisis de la carta de distribución indica que la secuencia se puede dividir en 4 zonas de foraminíferos planctónicos:

Zona *Whiteinella*- *Globulosa*

Definición: Zona de intervalo (Rango parcial) *Whiteinella*- *Globulosa*- 4600'a 4690' pies (Figura 9). El límite inferior de la zona está definido por la aparición y abundancia de *Whiteinella archaeocretacea* y la abundancia del género *Heterohelix*. Estos taxones pertenecen a la zonación del Turoniano (Villamil y Arango., 1998). El tope de la zona esta definido estratigráficamente por encima de la profundidad estudiada.

Eventos dentro de la zona: La observación de los datos de las cartas de distribución dejan ver fauna característica, como *Dicarinellas* y *Whiteinellas* (**apéndice 2**) que sugieren la ubicación del Turoniano, esta fauna cambia hacia el Turoniano medio a medida que las condiciones oceánicas van mejorando (Huber et al., 1999).

Observaciones: Comprende la parte media de la Formación Cogollo de edad Turoniana. Se obtuvo un buen recobro en las muestras en todo el intervalo de estudio, la abundancia del foraminífero biserial *Heterohelix globulosa* es característico de esta zona. La primera ocurrencia del foraminífero biserial *Heterohelix globulosa* marca la base del Turoniano (Caron., 1985; Nederbragt, 1998), sin embargo en los pozos de estudio se encuentran algunos individuos asociadas con fauna Cenomaniana. Los foraminíferos trocospirales *Whiteinella baltica*, *Whiteinella archeocretacea*, y *Whiteinella paradubia* son comunes y representativos de esta zona (Villamil y Arango, 1998).

Zona límite Cenomaniano-Turoniano

Definición: Zona límite Cenomaniano-Turoniano. 4690'-4720'. Esta zona esta caracterizada por una disminución de foraminíferos tanto planctónicos como bentónicos (**apéndice 2**). La base de la zona lo marca la caída en el registro de foraminíferos en relación a la que venia apareciendo. El tope del límite lo marca una normalización de l registro fósil.

Eventos dentro de la zona: Los datos de las cartas de distribución nos indican una fuerte caída de los foraminíferos planctónicos, probablemente inducidos por el evento anóxico que se presenta en este intervalo. Algunas desapariciones de especies se observa asociadas a esta caída (**apéndice 2**). Una abundancia de foraminíferos biserial es registrada en la zonación de Villamil et al (1998) para este límite, sin embargo Huber et al, (1999) y Coccioni et al, (2004) definen esta zona como una sección estéril y en este trabajo se encuentra una caída de todos los foraminíferos.

Observaciones: Este intervalo se caracteriza por una baja abundancia y baja diversidad de los foraminíferos planctónicos. En algunas muestras el porcentaje de foraminíferos planctónicos biserial es mayor comparado con el porcentaje de foraminíferos planctónicos trocospirales. Coccioni (2004) correlaciona esta caída con el Evento Anóxico Oceánico y con el isótopo de δC^{13} .

Zona de intervalo Guembelitria cenomana

Definición: Zona de intervalo Guembelitria Cenomana (Rango Parcial) - **4720' a 4760'**. El límite inferior de la zona esta definido por la extinción de la *Rotalipora cushmani*, este taxón pertenece a la zonación del Cenomaniano. El

tope de la zona es definido por la extinción de la *Guembelitra cenomana* (apéndice 3).

Eventos dentro de la zona: Última ocurrencia del foraminífero triserial *Guembelitra cenomana*, La *Guembelitra cenomana* tiene la primera y última ocurrencia en esta zona (**apéndice 2**), esta especie es característica del Cenomaniano más superior (Nederbragt., 1995; Villamil y Arango., 1998). Nederbragt (1998) define también este intervalo por la abundancia de *Heterohelix moremani*, en este pozo se presenta este foraminífero pero su abundancia no es muy apreciable, es menor que la del *Heterohelix globulosa*.

Observaciones: El límite inferior de esta zona es la extinción de la *Rotalipora cushmani*, que es el marcador global del Cenomaniano más superior, en este pozo se encontró pero su abundancia es baja.

Zona de intervalo *Rotalipora cushmani*

Definición: Zona de intervalo *Rotalipora* – *cushmani* (Rango parcial) 5130'a 5730'.-1 Recobro bueno Formación Cogollo. El límite inferior de esta zona no está definido para esta investigación por la profundidad de muestreo. El tope de la zona está definido por la extinción de la *Rotalipora cushmani*.

Eventos dentro de la zona: Los datos de las cartas dejan ver una zona con fauna más característica del Cenomaniano superior con algunas apariciones de *Whiteinella* que podrían ser de restos caídos. La última ocurrencia del género *Rotalipora cushmani* marca la parte más superior del Cenomaniano, es importante anotar que la abundancia de esta especie es muy baja. Dentro de la zona se encuentra la aparición de la especie *Guembelitra cenomana* para este pozo. En toda la secuencia muestreada se registra un buen registro de foraminíferos bentónicos excepto para el límite C/T.

Observaciones: Última ocurrencia de *Rotalipora cushmani*. En esta zona se empieza a observar una disminución de los foraminíferos trocoespirales en relación a los biseriales, están las últimas apariciones de la *Rotalipora cushmani*. La primera ocurrencia de la *Rotalipora cushmani* ocurre debajo de esta zona. Se reconoció una zona similar en el pozo González – 1 (Cuenca del Catatumbo).

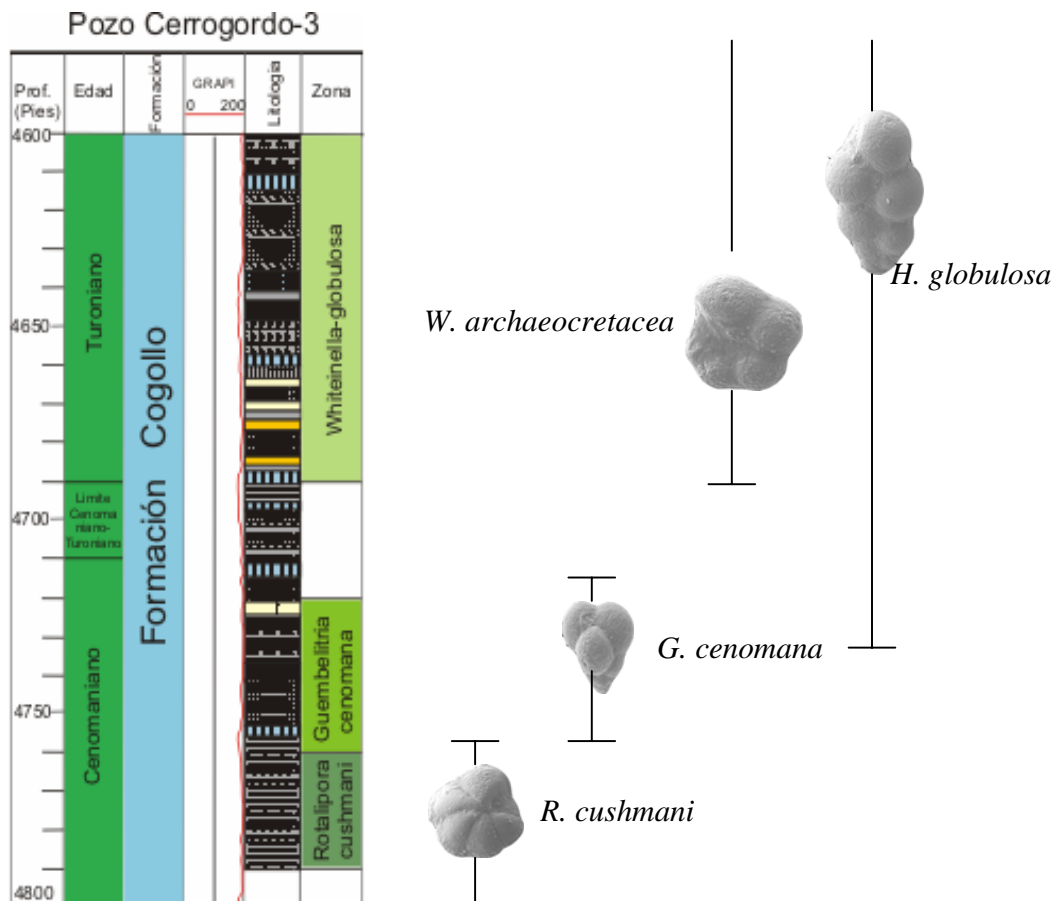


Figura 9. Zonas bioestratigráficas intervalo C/T pozo Cerro Gordo -3, con sus respectivos fósiles guía.

➤ **Pozo Eslabones -1**

El análisis de los datos de distribución indica que la secuencia estratigráfica se puede dividir en 4 zonas de foraminíferos planctónicos:

Zona Whiteinella.- Globulosa

Definición: Zona de intervalo (Rango parcial) Whiteinella.- Globulosa- 5120'a 5270' pies (apéndice 2). Esta zona se caracteriza por presentar un límite inferior definido por la aparición y abundancia de *Whiteinella archaeocretacea* y la abundancia del género *Heterohelix*. Estos taxones pertenecen a la zonación del Turoniano (Villamil y Arango., 1998). El tope de la zona no está definido y que no se encuentran eventos bioestratigráficos para identificarlo

Eventos dentro de la zona: Los datos de las cartas de distribución dejan ver una distribución caracterizada por fauna, como *Dicarinellas*, *Whiteinellas* y abundancia de *Heterohelix* que sugieren la ubicación del Turoniano (apéndice 3), esta fauna cambia hacia el Turoniano medio con presencia de más faunas especialistas (*Dicarinellas*) a medida que las condiciones oceánicas van mejorando.

Observaciones: El límite inferior de la zona es la aparición y abundancia de *Whiteinella archaeocretacea* y abundancia del género *Heterohelix*. Se obtuvo un buen recobro en todas las muestras en todo el intervalo de estudio. La abundancia del foraminífero biserial *Heterohelix globulosa* es característica; Sin embargo, no se usa como indicador del Turoniano debido a que esta abundancia se presenta en casi todo el registro del intervalo de estudio. La primera ocurrencia del foraminífero biserial *Heterohelix globulosa* marca la base del Turoniano (Caron., 1985; Nederbragt, 1998), sin embargo aquí se encuentran algunos individuos asociados con fauna Cenomaniana. La asociación de foraminíferos trocospirales *Whiteinella baltica* y *Whiteinella archaeocretacea*, son comunes y representativos de esta zona (Norris et al, 2002) (apéndice 3).

Zona límite Cenomaniano-Turoniano

Definición: Zona límite Cenomaniano-Turoniano. 5270'-5300'. Esta zona está caracterizada por un registro de foraminíferos bastante bajo (**apéndice 2**). La base de la zona lo marca la caída en el registro de foraminíferos en relación a la zona inferior definida. El límite en este pozo presenta una disminución de individuos pero no es tan fuerte como el presentado en el pozo Cerro Gordo – 3. El tope del límite lo marca una normalización en el registro fósil.

Eventos dentro de la zona: Los datos de las cartas de distribución nos indican una fuerte caída de los foraminíferos planctónicos y bentónicos, probablemente inducidos por el evento anóxico que se presenta en este intervalo límite (Hart, 2002). Algunas desapariciones de especies se observan asociadas a esta caída en el registro de foraminíferos (*Guembelitra cenomana*). Una abundancia de foraminíferos biserial es registrada en la zonación de Villamil et al (1998) para este límite, sin embargo para este trabajo se observa una disminución de todos los foraminíferos. Huber et al, (1999) y Coccioni et al, (2004) definen esta zona como una sección estéril.

Observaciones: Este intervalo se caracteriza por una baja abundancia y baja diversidad de los foraminíferos no tan alta como en el pozo anterior. En algunas muestras el porcentaje de foraminíferos planctónicos biserial es mayor comparado con el porcentaje de foraminíferos planctónicos trocospirales, sin embargo el registro es muy bajo.

Zona de intervalo Guembeltria

Definición: Zona de intervalo Guembeltria Cenomana (Rango Parcial) - **5300' a 5390'**. El límite inferior de la zona esta definido por la extinción de la *Rotalipora cushmani*, este taxón pertenece a la zonación del Cenomaniano superior. Este taxón es muy escaso en el registro, Nederbragt (1998) lo asocia con las fuertes condiciones de upwelling. El tope de la zona es definido por la extinción de la *Guembeltria cenomana* (**apéndice 2**).

Eventos dentro de la zona: Ultima ocurrencia del foraminífero triserial *Guembeltria cenomana*, La *Guembeltria cenomana* tiene la primera y ultima ocurrencia en esta zona, este especie es característica del Cenomaniano más superior (Nederbragt., 1995; Villamil y Arango., 1998). Nederbragt (1998) define también este intervalo por la abundancia de *Heterohelix moremani*, en este pozo se presenta dos picos que sugieren un Cenomaniano más superior.

Observaciones: El límite inferior de esta zona es la extinción de la *Rotalipora cushmani*, que es el marcador global del Cenomaniano más superior, en este pozo se encontró pero su abundancia es muy baja. Además la relación de esta especie con la abundancia de *Heterohelix moremani* como marcador no es muy clara en este pozo. Se encontró presencia de ostracodos en el registro micropaleontológico, estos son de un tamaño grande y están bien conservados, en el pozo Cerro Gordo – 3 (CG3) no se encontraron ostracodos.

Zona de intervalo Rotalipora cushmani

Definición: Zona de intervalo Rotalipora – cushmani (Rango parcial) 5390'a 5450'. El límite inferior de esta zona no esta definido para esta investigación no se encontraron fósiles marcadores. El tope de la zona esta definido por la extinción de la *Rotalipora cushmani*.

Eventos dentro de la zona: Los datos de las cartas dejan ver una zona con fauna más característica del Cenomaniano superior con algunas apariciones. La última ocurrencia del género *Rotalipora cushmani* marca la parte más superior del Cenomaniano, es importante anotar que la abundancia de esta especie es muy baja. Dentro de la zona se encuentra la aparición de la especie *Guembeltria cenomana* para este pozo.

Observaciones: Ultima ocurrencia de *Rotalipora cushmani*. La primera ocurrencia de la *Rotalipora cushmani* ocurre debajo de esta zona. Las abundancias de *Heterohelix globulosa* y *Heterohelix moremani* no varia mucho en este intervalo Por lo cual el *H. moremani* no se puede usar como especie guía en este intervalo. El cambio morfométrico del género *Heterohelix*

moremani podría ser utilizado en la identificación del límite Cenomaniano – Turoniano según Nederbragt, 1995 y Villamil et al, 1998.

➤ **Pozo Alea – 1.**

El análisis de los datos de distribución en este pozo indica que la secuencia estratigráfica se puede dividir en 3 zonas de foraminíferos planctónicos:

Zona *Whiteinella* - Globulosa

Definición: Zona de intervalo (Rango parcial) *Whiteinella*- *globulosa* - 7870' - 7990' pies (apéndice 2). Esta zona se caracteriza por presentar un límite inferior definido por la aparición y abundancia de *Whiteinella archaeocretacea* y la abundancia del género *Heterohelix globulosa*. Estos taxones pertenecen a la zonación del Turoniano (Villamil y Arango., 1998). El tope de la zona no está definido ya que no se encuentran eventos bioestratigráficos para identificarlo. Las asociaciones de *Whiteinella archaeocretacea* y *Whiteinella baltica* se encuentran en esta zona pero la abundancia de estas especies es bastante menor a los pozos de la Cuenca del Catatumbo

Eventos dentro de la zona: Los datos de las cartas de distribución muestran una fauna con pocos individuos de foraminíferos para cada especie, excepto para el género *Heterohelix globulosa*, no se encuentran faunas como *Dicarinellas* y la *Whiteinella baltica* no es abundante hasta el Turoniano y no en la proporción encontrada anteriormente en el pozo Cerro Gordo -3 y Eslabones -1 La abundancia de *Heterohelix globulosa* es muy marcada en relación a los otras especies presentes.

Observaciones: El límite inferior de la zona está marcado por la asociación *Whiteinella archaeocretacea*, *Heterohelix globulosa* y *whiteinella baltica*. Se obtuvo un recobro regular a malo en las muestras en todo el intervalo de estudio. El registro de foraminíferos bentónicos en la zona es muy bajo.

Zona límite Cenomaniano-Turoniano

Definición: Zona límite Cenomaniano-Turoniano. 7990' - 8020'. Esta zona es caracterizada por un registro de foraminíferos bastante bajo (apéndice 2). La base de la zona lo marca la caída en el registro de foraminíferos en relación a la zona inferior. El límite en este pozo presenta una disminución de individuos básicamente en el género *Heterohelix* ya que las otras especies no presentan mucha abundancia en toda la zona de estudio. El tope del límite lo marca una normalización en el registro fósil.

Eventos dentro de la zona: Los datos de las cartas de distribución es similar a la encontrada en los otros pozos, una fuerte caída de los foraminíferos planctónicos y bentónicos, sin embargo en este pozo llama la atención el bajo registro en foraminíferos trocoespirales. Una abundancia de foraminíferos biseriales es registrada en la zonación de Villamil et al (1998) para este límite, en este pozo aunque el *Heterohelix* no muestra un pico muy alto su registro es mayor a las otras especies determinadas.

Observaciones: Este intervalo se caracteriza por una baja abundancia y baja diversidad de los foraminíferos pero no tan baja como en el pozo anterior.

Zona de intervalo Guembelitra cenomana

Definición: Zona de intervalo Guembelitra Cenomana (Rango Parcial) - 8050' a 8140'. El límite inferior de la zona esta definido por la extinción de la asociación *Guembelitra cenomana* y *Favucinella washitensis*, estos taxones pertenece a la zonación del Cenomaniano superior. El tope de la zona es definido por la extinción de la *Guembelitra cenomana* (Apéndice 3).

Eventos dentro de la zona: Ultima ocurrencia del foraminífero triserial *Guembelitra cenomana*, La *Guembelitra cenomana* tiene la primera y ultima ocurrencia en esta zona, este especie es característica del Cenomaniano más superior (Nederbragt., 1995; Villamil y Arango., 1998). Nederbragt (1998) define también este intervalo por la abundancia de *Heterohelix moremani*, en este pozo se presenta un pico que sugiere también un Cenomaniano más superior.

Observaciones: El límite inferior de esta zona esta definido por la abundancia de *Heterohelix moremani*, también la presencia del *favucinella washitensis* ayuda a definirla. Se encontró presencia de ostracodos en el registro, los ostracodos son de un tamaño grande y están bien conservados, el tamaño es mayor a los encontrados en el pozo Eslabones -1.

6.1.6 CORRELACION BIOESTRATIGRAFICA

Las zonas definidas anteriormente comparten la misma distribución de las zonas identificadas en el VSM, sin embargo para el pozo Alea – 1 Cuenca del Putumayo no se identifico la zona *Rotalipora cushmani*. Las zonas identificadas en este trabajo (figura 21) muestran un comportamiento cronológico y distribución estratigráfica similar. La correlación de los tres pozos de estudio se realizo observando los diferentes eventos faunales marcados como regionales en el VSM, estos eventos son el pico de

“*Heterohelix*” para el Turoniano temprano y caída de foraminíferos del límite C/T.

Los espesores marcados para las diferentes zonas identificadas varían de un pozo otro, pero no se observan cambios muy considerables teniendo en cuenta que los intervalos de muestreo en los pozos Alea y Eslabones es de 30’ pies y en Cerro Gordo es de 20’. Los espesores de la zona *Whiteinella – globulosa* son respectivamente para el pozo Cerro Gordo 110’ pies, Eslabones 100 pies, Alea 90’ pies. Para la zona de *Guembelitra. cenomana* los espesores son Cerro Gordo 30’ pies, Eslabones y Alea 60’ pies. Zona de *Rotalipora. cushmani* espesores pozo Cerro Gordo 30’ pies, Eslabones 60’ pies y en el pozo Alea no se definió esta zona.

Otro aspecto importante de la correlación bioestratigráfica tiene que ver con el aspecto litológico de cada pozo, el cual puede llegar a representar uno de los factores que podrían haber influenciado el bueno o malo registro fósil en cada localidad. Aquí se quiere llamar la atención en el cambio litológico que se puede observar en el pozo Alea, el cual se caracteriza por una intercalación de shales y areniscas de grano fino hacia el Cenomaniano y areniscas y calizas hacia el Turoniano el cual es diferente a la secuencia que tenemos hacia el Catatumbo que presenta una secuencia de shales y calizas en el pozo cerro Gordo - 3 y shales con algunas lodolitas. Pozo Eslabones -1. Las características litológicas del pozo Alea – 1 podrían ser un factor importante en los resultados micropaleontológicos de las muestras de foraminíferos.

La correlación bioestratigráfica muestra una gran correspondencia de las zonas definidas para el VSM y Cordillera Oriental, con las identificadas hacia el norte (Cuenca del Catatumbo). Sin embargo hacia el sur (Cuenca del Putumayo) la diferencia en las zonas identificadas, la distribución y abundancias de foraminíferos planctónicos no muestran claridad en cuanto a la prolongación de estas zonas foraminíferas.

CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO EN LAS CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO

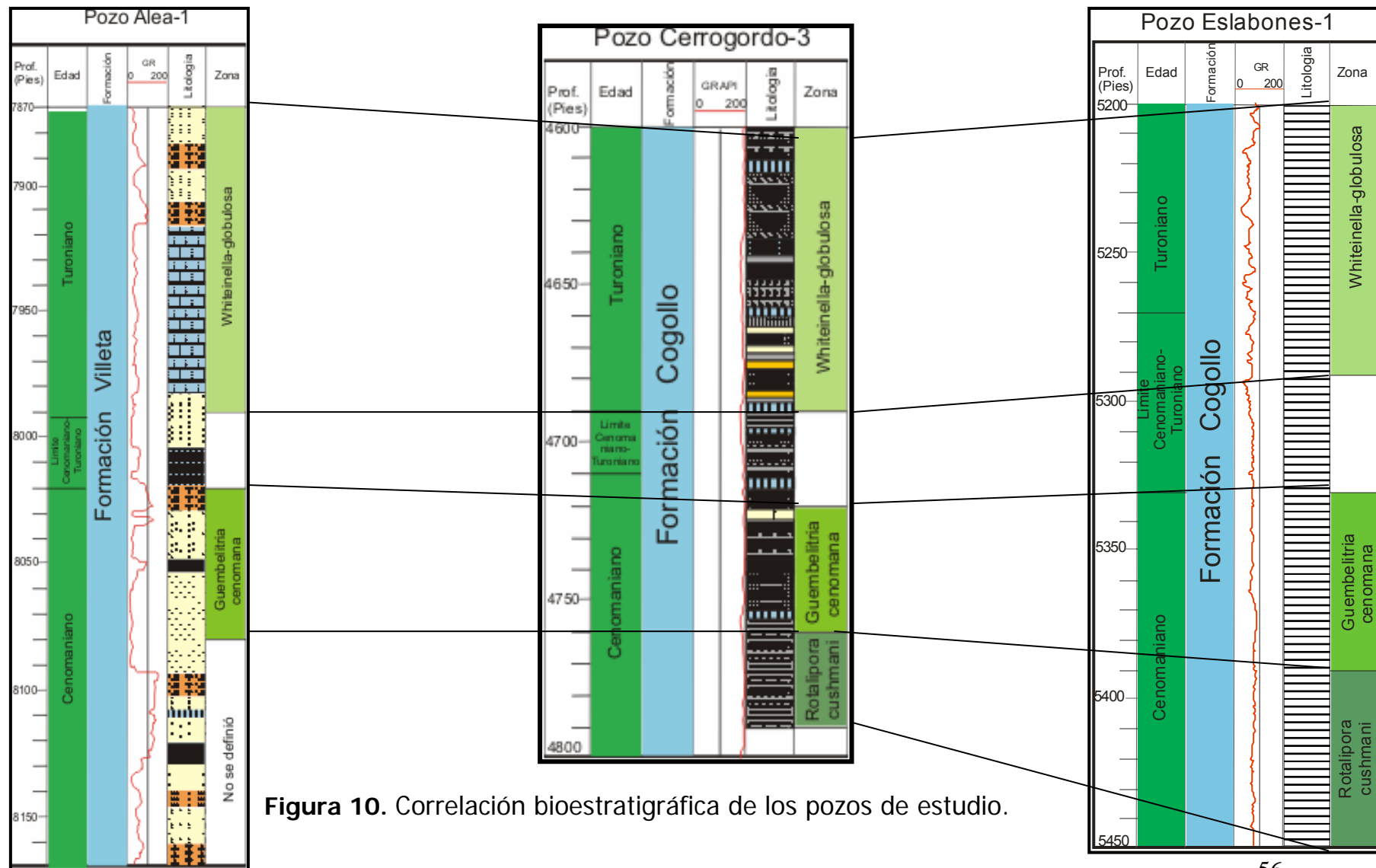


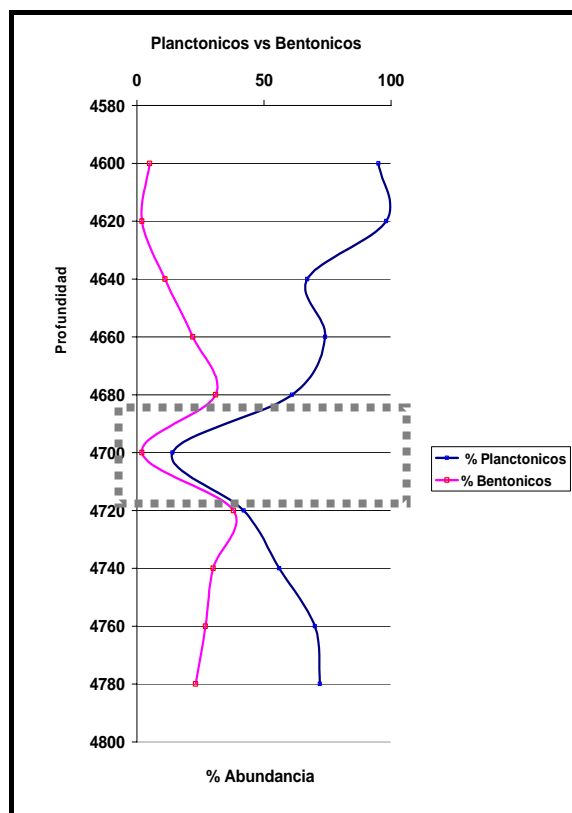
Figura 10. Correlación bioestratigráfica de los pozos de estudio.

6.1.7 ABUNDANCIA, RIQUEZA, DIVERSIDAD Y EQUIDAD

De las 30 muestras observadas se contaron un total de 8074 individuos y se identificaron 13 especies. Su distribución estratigráfica por pozo se presenta en las graficas 1, 2 y 3 (Tablas de valores de abundancia apéndice 3).

ABUNDANCIA

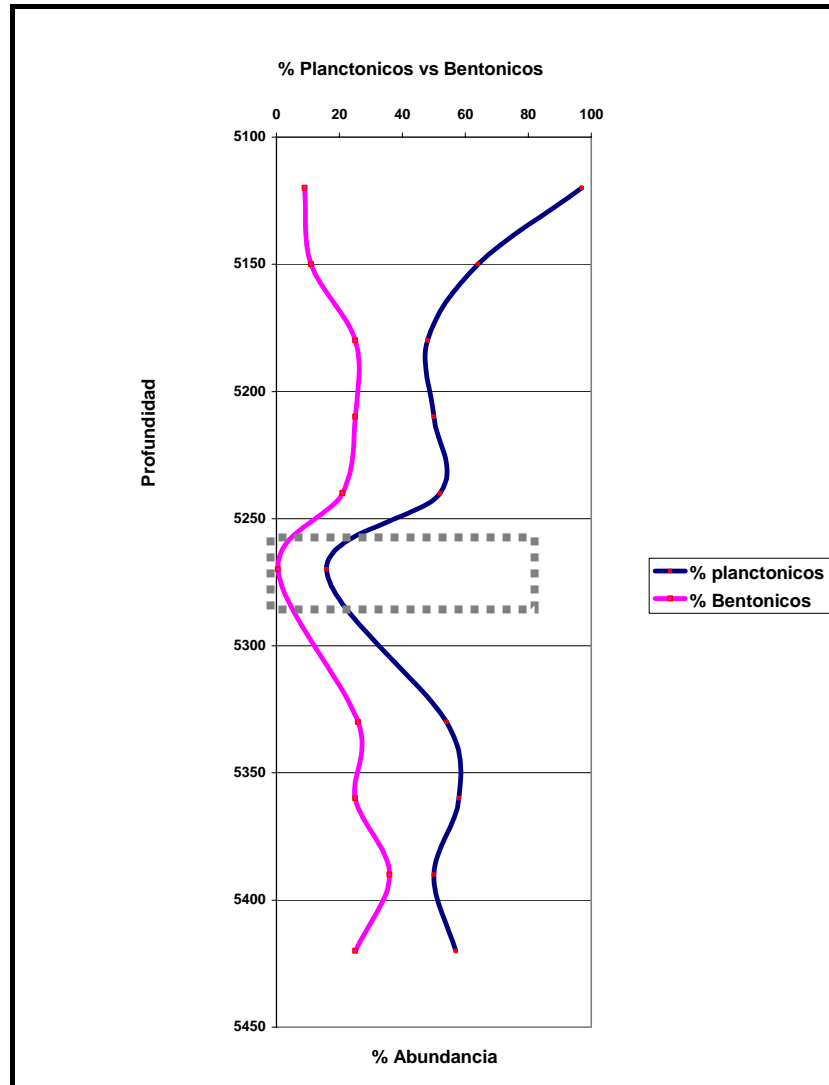
Pozo Cerro gordo -3



Grafica 1. Distribución de % de abundancia en foraminíferos planctónicos vs. Bentónicos, pozo Cerro Gordo – 3.

La abundancia de los foraminíferos planctónicos respecto los bentónicos por debajo del límite C/T siempre es mayor (40%). La curva de foraminíferos bentónicos muestra dos picos más altos en relación a su abundancia promedio, estos picos se verificaron observando las especies encontradas en estas profundidades y se concluyo que eran individuos caídos, esto con la supervisión del Dr. H. Duque Caro. Ambas curvas son casi iguales en el C/T, probablemente debido a las fuertes condiciones anóxicas de la tabla de agua. La curva de planctónicos hacia el Turoniano inferior presenta un crecimiento bastante alto al contrario de los bentónicos.

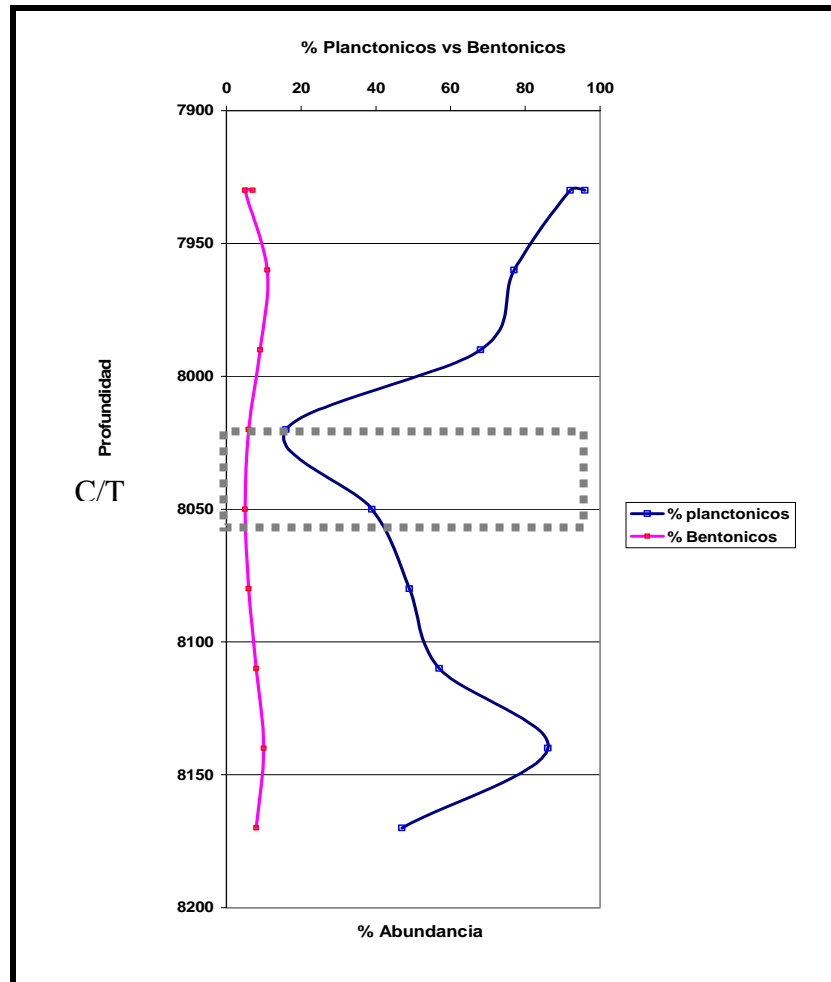
Eslabones -1



Grafica 2. Distribución del porcentaje de abundancia en foraminíferos planctónicos vs. Bentónicos.

En este pozo la curva de bentónicos presenta una abundancia promedio bastante constante para el Cenomaniano tardío, en el C/T presenta una caída casi total en individuos, y el Turoniano inferior retoma la abundancia promedio, pero a los 5150' pies presenta un nuevo decaimiento. La curva de planctónicos solo presenta una caída de los individuos en el límite C/T al igual que los bentónicos, presenta una abundancia mayor en el Turoniano que en el Cenomaniano y en la disminución de bentónicos presenta un crecimiento de la población.

Pozo Alea -1



Grafica 3. Distribución del porcentaje de abundancia en foraminíferos planctónicos vs. Bentónicos, pozo Eslabones 1.

Las características del porcentaje de abundancia de este pozo son respecto la curva de foraminíferos bentónicos muy baja en todo el intervalo y alto en planctónicos a lo largo del registro excepto en el límite C/T. Como se puede observar el porcentaje en los tres pozos de foraminíferos planctónicos es muy similar.

Uno de los más notables cambios en la abundancia de la población es un cambio de conjuntos de dominio trocoespiral en la zona *R. cushmani* a un dominio de conjuntos biseriales al final de la *R. cushmani* hasta la parte inferior de la zona de *W. archaeocretacea*. Este “cambio Heterohelix” fue registrado ligeramente en el Cenomaniano más superior, en los sitios en el southwest Western Interior (USA) (Leckie and others, 1998) y en varias secciones del Tethyan y deep sea (Nederbragt and others, 1998).

Riqueza

En cada muestra se contó diferente número de individuos, la muestra con mayor número de individuos contados fue la muestra del pozo Eslabones - 1 (profundidad, 5120' -5150' pies) con 425 y la muestra con menor número fue la del pozo Alea- 1 (profundidad 8020' - 8050' pies) con 132. Se calculo la riqueza (S) para cada intervalo contando el número de especies por muestra (S). Para conocer qué riqueza tendría cada muestra si solo se hubieran contado con la muestra de menor número de individuos, se calculó la riqueza esperada usando la muestra de menor tamaño con la técnica de rarefacción.

Pozo Cerro Gordo -3

Tabla 1. Resultados para cada muestra donde se indica el número de individuos contados para la riqueza (S) y la riqueza esperada (R) usando rarefacción a un nivel de 172 individuos (muestra con menor conteo).

Individuos	Riqueza (S)	R (172)	Profundidad
291	11	10	4600
305	8	6	4620
260	11	9	4640
227	10	8	4660
215	7	6	4680
44	4	2	4700
189	8	7	4720
172	9	9	4740
214	11	8	4760
222	8	6	4780

Los valores del cálculo de la riqueza por conteo directo y aplicando la técnica de rarefacción se tiene que es más alta la riqueza promedio (7.8) para el Turoniano que para el Cenomaniano, aunque la diferencia es muy pequeña. El intervalo C/T muestra un riqueza bastante baja (promedio 2) aplicando ambos índices.

Pozo Eslabones -1

Tabla 2. Resultados para cada muestra, donde se indica el número de individuos contados en cada muestra, la riqueza (S) y la riqueza esperada (R) usando rarefacción a un nivel de 195 individuos (muestra con menor conteo).

Individuos	Riqueza	R(195)	Profundidad
388	12	8	5120
257	9	6	5150
195	9	9	5180

CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO EN LAS CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO

201	11	8	5210
214	8	6	5240
61	6	4	5270
215	8	7	5330
233	8	6,5	5360
201	14	11	5390
229	11	9	5420

Los valores de riquezas en el pozo nos dejan un índice mayor en el Turoniano (Riqueza promedio, 7.3), que en la parte del Cenomaniano más superior, sin embargo la riqueza promedio es muy similar en ambas secuencias.

Pozo Alea - 1

Tabla 3. Resultados para cada muestra, donde se indica el número de individuos contados en cada muestra, la riqueza (S) y la riqueza esperada usando rarefacción(R) a un nivel de 117 individuos (muestra con menor conteo).

Individuos	Riqueza	R(117)	Profundidad
289	6	5	7870
325	7	6	7900
232	9	7	7930
204	7	5	7960
47	4	3	7990
117	8	8	8020
148	6	4	8050
171	7	5	8080
258	6	5	8110
143	6	4	8140

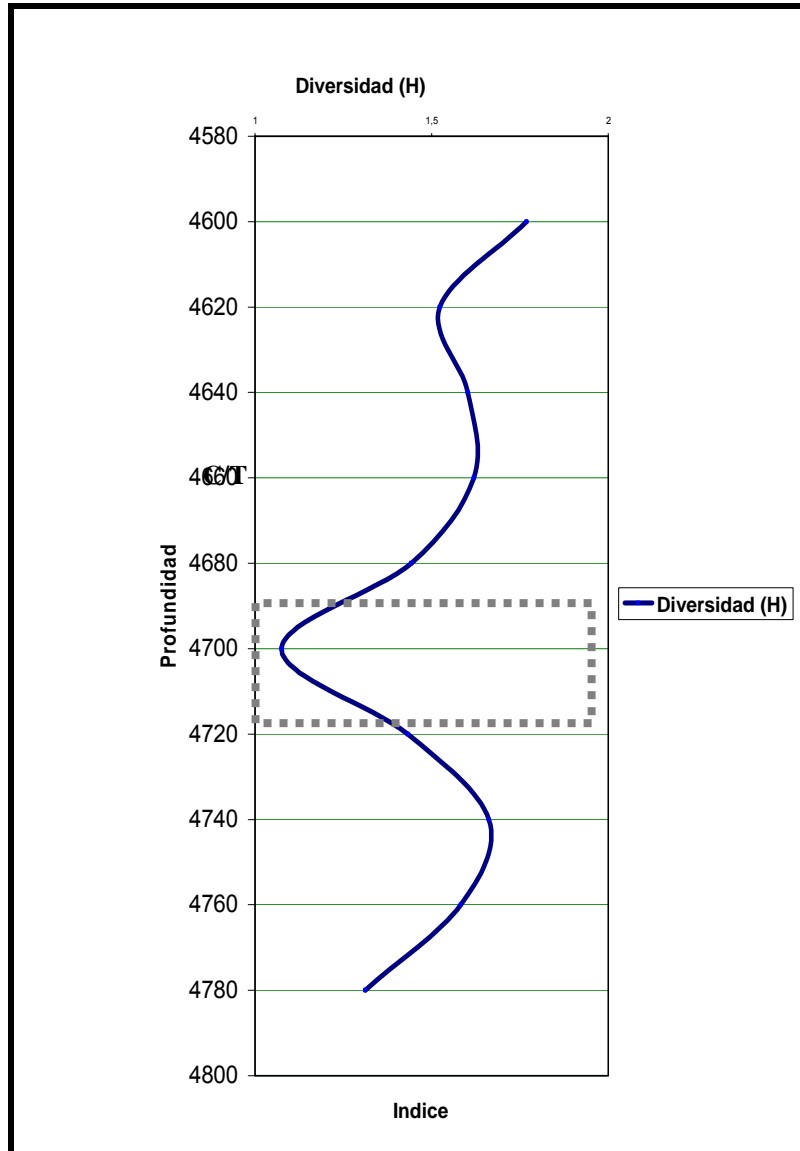
La riqueza aplicando la técnica de rarefacción dio como resultado una riqueza promedio (5.75) mayor para el Turoniano en comparación a la riqueza promedio del Cenomaniano más superior (5.2).

DIVERSIDAD

Los resultados del índice de Shannon – Wiener para cada muestra por pozo se presentan en las graficas de diversidad contra profundidad (**tabla de valores apéndice 4**).

Pozo Cerro Gordo – 3

Los resultados de diversidad exponen que las muestras del Turoniano tienen un valor de H' más alto que las muestras del Cenomaniano (Turoniano= 1,58 en promedio, Cenomaniano= 1.49 en promedio).



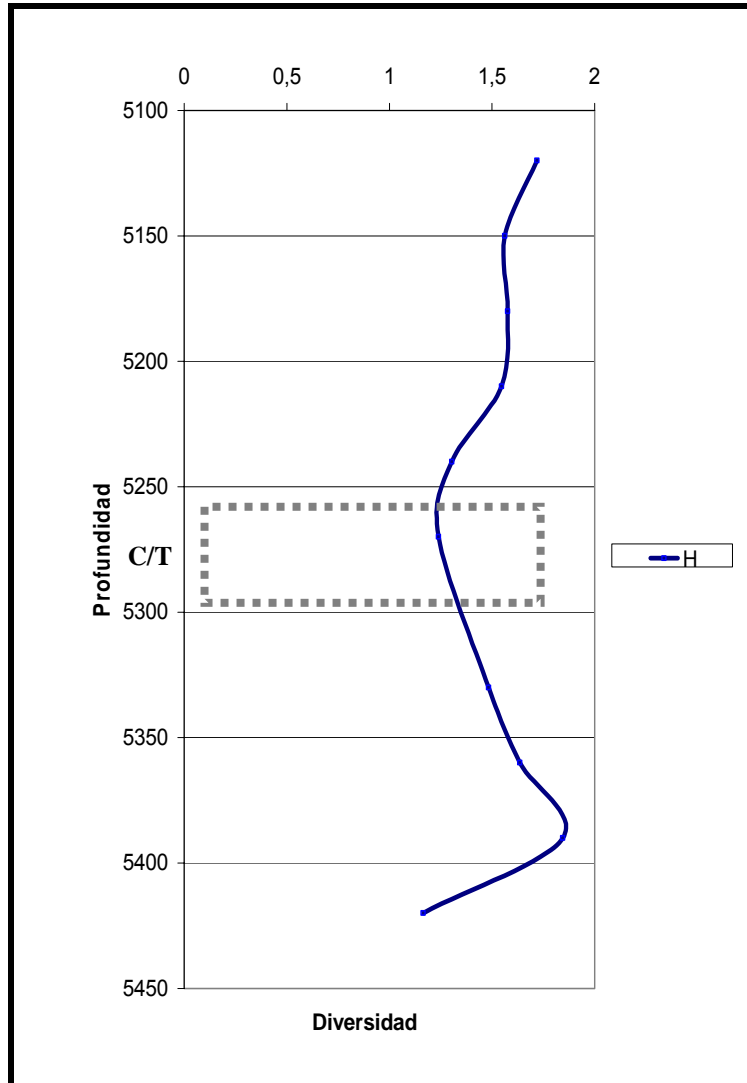
Grafica 4. Diversidad de foraminíferos planctónicos del pozo Cerro Gordo – 3.

Pozo Eslabones – 1

Los resultados de diversidad exponen que las muestras del Turoniano tienen un valor de H' promedio más alto que las muestras del

CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO EN LAS CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO

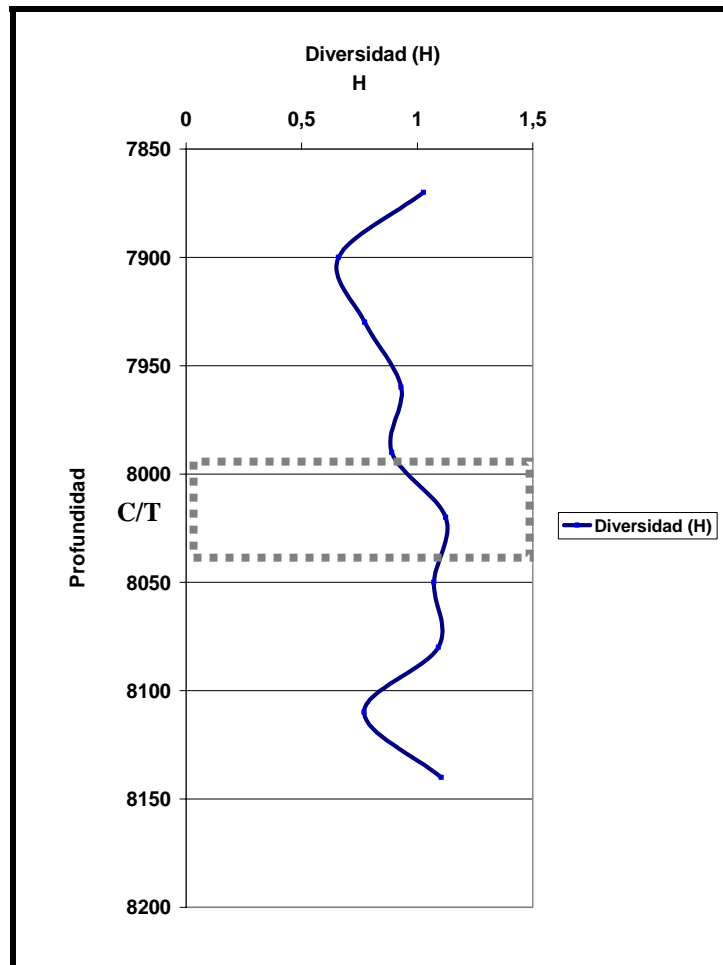
Cenomaniano (Turoniano= 1,54 en promedio, Cenomaniano= 1.53 en promedio).



Grafica 5. Diversidad de foraminíferos planctónicos del pozo Eslabones – 1.

Pozo Alea – 1

Los resultados de diversidad exponen que las muestras del Turoniano tienen un valor de H' promedio más bajo que las muestras del Cenomaniano (Cenomaniano= 1,03 en promedio, Turoniano= 0.84 en promedio).



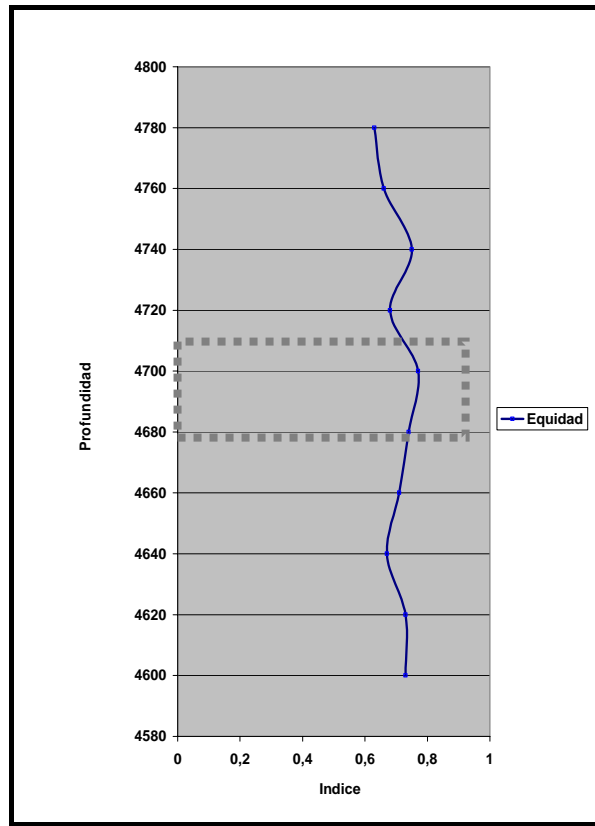
Grafica 6. Diversidad de foraminíferos planctónicos del pozo Alea – 1.

EQUIDAD

Se calcularon el índice de Pielou (J) que mide el grado de uniformidad de las especies encontradas. Se mostraran las tablas para cada pozo para evaluar este índice en cada muestra.

Pozo Cerro Gordo – 3

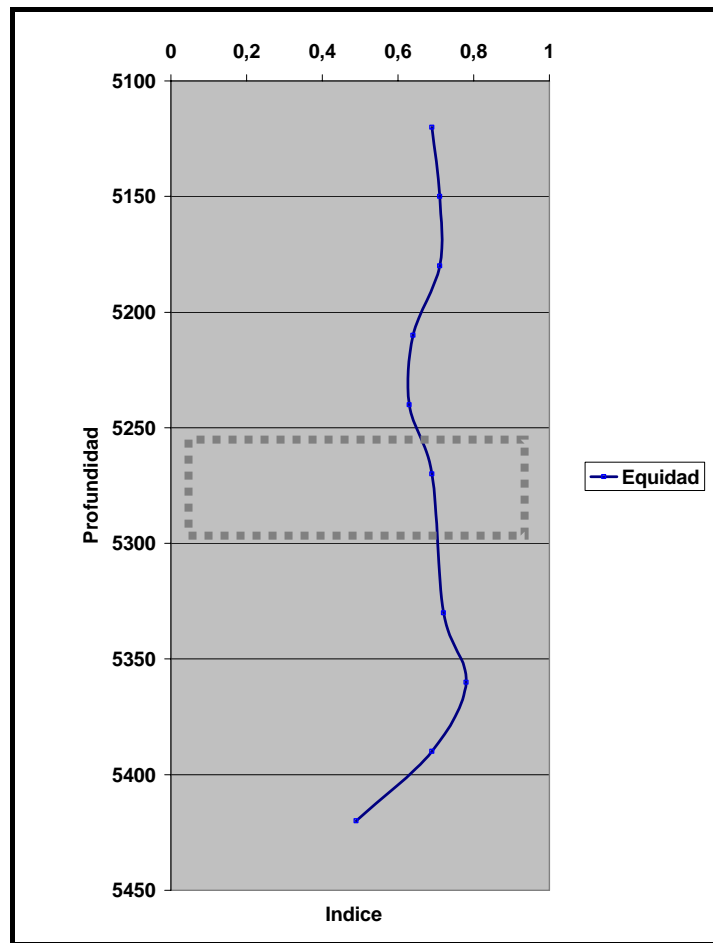
Los resultados de equidad exponen que las muestras del Turoniano tienen un valor de "J" promedio más alto que las muestras del Cenomaniano (Turoniano = 0.71 en promedio, Cenomaniano = 0.68 en promedio) indicándonos una fauna más uniforme para el Turoniano.



Grafica 7. Índice de uniformidad de foraminíferos planctónicos del pozo Cerro Gordo - 3

Pozo Eslabones – 1

Los resultados de equidad muestran una fauna más uniforme para el Turoniano, con un valor de “J” promedio más alto que las muestras del Cenomaniano (Turoniano = 0.68 en promedio, Cenomaniano = 0.67 en promedio). Sin embargo los cambios no son muy grandes lo cual indica que la comunidad no cambió su estructura.

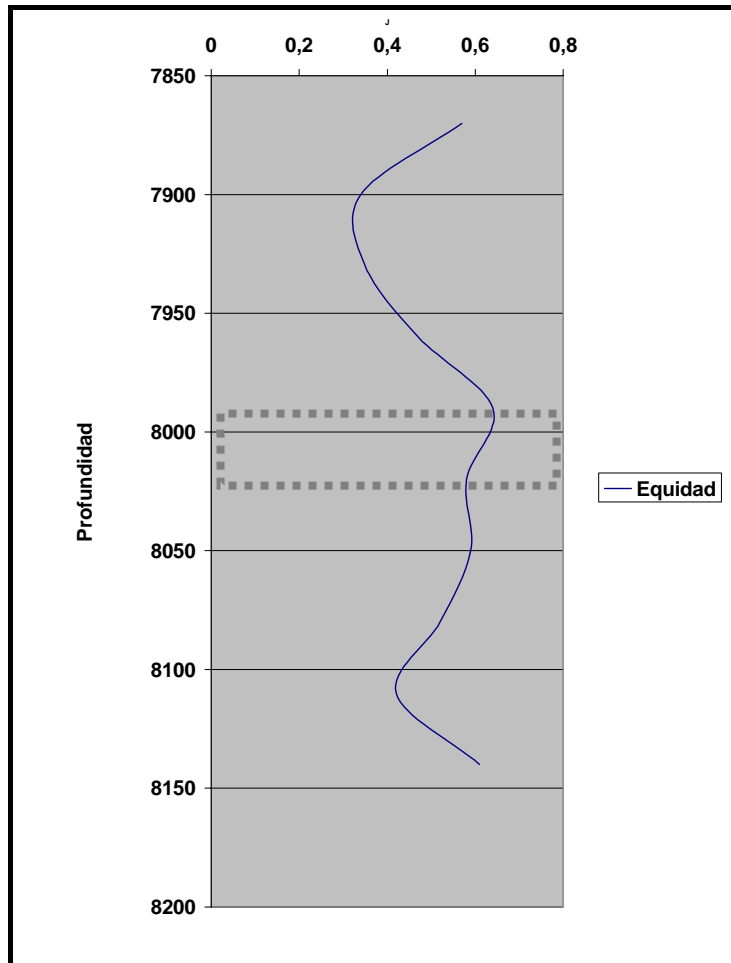


Grafica 8. Índice de uniformidad de foraminíferos planctónicos del pozo Eslabones -1.

Pozo Alea – 1

Los valores obtenidos en este pozo para el índice de equidad exponen que las muestras del Turoniano tienen un valor de “J” promedio más bajo que las muestras del Cenomaniano (Cenomaniano= 0.53 en promedio, Turoniano= 0.43 en promedio). La uniformidad de la comunidad en este pozo cambió respecto a los pozos anteriores, ya que en este se tiene mayor equidad en las especies del Cenomaniano.

**CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS
INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO EN LAS CUENCAS DEL PUTUMAYO Y
CATATUMBO**



Grafica 9. Índice de uniformidad de foraminíferos planctónicos del pozo Alea -1.

7. DISCUSIÓN

7.1 Eventos característicos del límite Cenomaniano - Turoniano

Villamil y Arango (1998) identificaron una serie de eventos bioestratigráficos, geoquímicos y litológicos, en las secciones del Valle Superior del Magdalena y Cordillera Oriental, que fueron usados para correlacionar eventos del límite C/T a nivel global. Sus estudios definieron del análisis bioestratigráfico 2 zonas de intervalo de foraminíferos planctónicos, la zona de *R. cushmani* – *H. moremani* para el Cenomaniano superior y *W. archaeocretacea* – *H. globulosa* para el Turoniano inferior. Estos eventos están caracterizados por un aumento de conjunto biserials asociados al Evento Anóxico Oceánico (OAE2).

La zonación definida en este trabajo para los intervalos de estudio arroja 3 zonas de intervalo para los pozos Cerro Gordo 3 y Eslabones – 1, y 2 zonas de intervalo para el pozo Alea – 1. Las zonas definidas muestran buena correlación con las zonas propuestas por Villamil y Arango (1998). Sin embargo las diferencias en el número de zonas definidas y las características de las especies de cada zona son importantes al momento de correlacionarlas.

Al analizar la distribución de los géneros planctónicos se esperaba una distribución similar a la zonación definida para el VSM. Las cuales muestran una comunidad planctónica que estratigráficamente aumenta la abundancia en foraminíferos biserials en todo el intervalo encontrando su pico máximo en el límite C/T y disminuyendo en foraminíferos trocoespirales en todo el intervalo aumentando hacia el Turoniano inferior superior (Villamil y Arango, 1998). Recíprocamente los foraminíferos biserials en los pozos de estudio evidencian una caída hacia el Cenomaniano más superior encontrando su pico mínimo en el límite C/T coincidente con estudios realizados por Hubert et al, (1999) y Coccioni et al, (2004), ocasionado probablemente por el ataque del OAE (Keller et al 2003; Leckie et al, 2002). La recuperación de la dominancia planctónica biserial se presenta posterior a la caída de foraminíferos hacia el Turoniano inferior. Los foraminíferos trocoespirales se presentan en todo el intervalo de estudio aunque su abundancia es siempre menor a los foraminíferos biserials, estos presentan también una disminución en el límite C/T (Figura 22).

Pozos Cerro Gordo – 3 y Eslabones -1

Los resultados bioestratigráficos en este trabajo discrepan en ciertos aspectos con la distribución encontrada en el VSM. El primer aspecto importante es el pico máximo de foraminíferos biserials, el cual no se observa en el límite C/T en los pozos estudiados. Aunque en todo el intervalo de estudio el género *Heterohelix* domina la población en el límite se presenta una caída de todo los foraminíferos (planctónicos y

bentónicos) no teniendo picos en abundancia en ningún género (gráficas 22). Este datos coinciden con resultados de estudios realizados por Coccioni et al, (2004), Huber et al, (1999) y Keller, (2003). Los cambios encontrados en el Límite C/T pueden estar relacionadas directamente a las fuertes condiciones anóxicas ocurridas y la alta depositación de materia orgánica (Keller et al, 2003).

El segundo factor importante a mencionar es el de las características faunales de las zonas definidas. La zonación de los pozos Cerro Gordo – 3 y Eslabones -1 (Figura 22 y 23) muestran mayor abundancias de la especie *Heterohelix globulosa* para el Cenomaniano superior (zona *G. Cenomana*) en relación a las encontradas para el VSM que solo indican algunas apariciones para este intervalo. Igualmente a partir de la distribución estratigráfica de foraminíferos encontrada se pudo aumentar la resolución bioestratigráfica para este intervalo de tiempo definiendo la zona de *Guembelitra cenomana* para la parte más alta del Cenomaniano más superior. La zona esta caracterizada en la base por la última ocurrencia de *R. Cushmani* y el tope por la extinción de la *G. Cenomana*.

Pozo Alea – 1

Las distribuciones de foraminíferos para este pozo presentan una disminución bastante fuerte en el porcentaje de abundancia en géneros trocoespirales (Figura 3) en todo el intervalo de estudio. Aquí se definieron dos zonas de intervalo, la zona de *W. archaeocretacea-globulosa* y la zona de *Guembelitra cenomana*, la zona de *R. cushmani* no fue definida (Figura 24). El límite C/T se identificó también por la disminución del registro de foraminíferos. En general este pozo muestra una distribución de foraminíferos que varía respecto a la de la sección del VSM y a la de los pozos de la Cuenca del Catatumbo, principalmente en la gran cantidad (abundancia) de foraminíferos biseriales “oportunistas” encontrados en relación a los trocoespirales. Estudios de Coccioni et al (2004) han mostrado que una disminución de géneros especialistas (trocoespirales) y abundancia de géneros oportunistas (biseriales) es indicador de condiciones eutróficas (condiciones inestables). Esto sugiere que probablemente las condiciones oceánicas hacia el sur de Colombia pudieron haber tenido diferencias con las del centro y norte del país para este intervalo de tiempo.

CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO EN LAS CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO

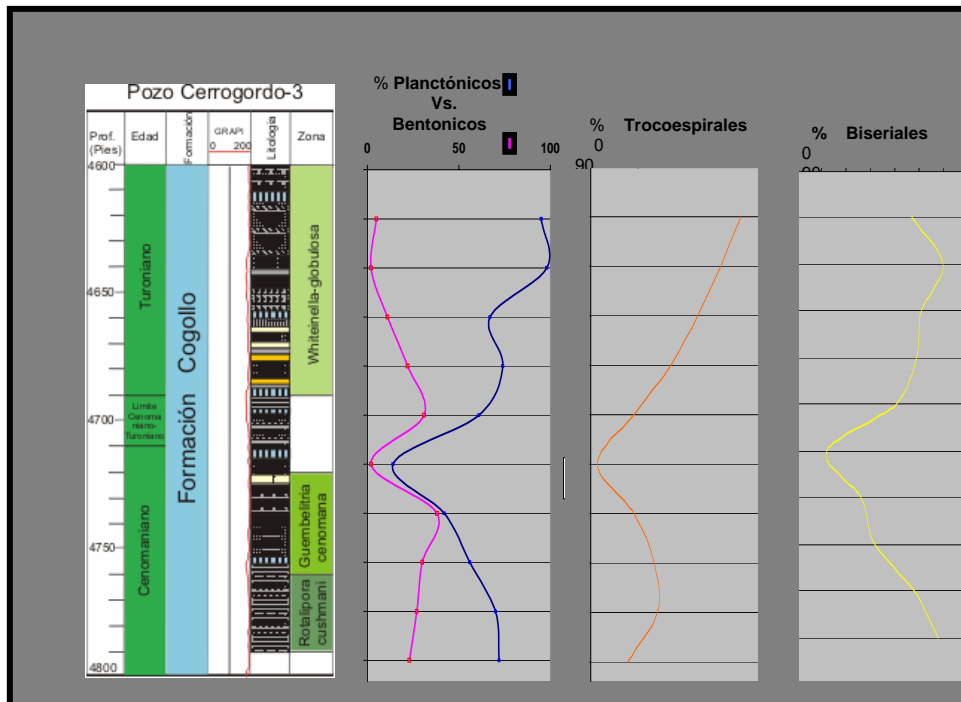


Figura 10. Zonas definidas para el pozo Cerro Gordo – 3, relacionadas con los porcentajes de distribución de foraminíferos planctónicos (Trocoespirales vs. biserales) y bentónicos.

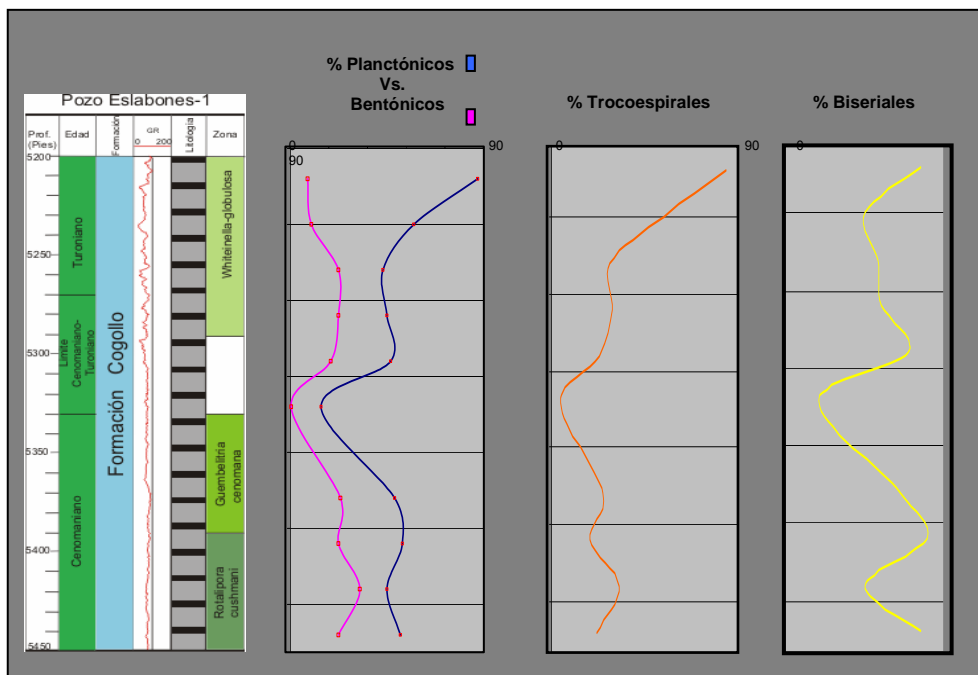


Figura 11. Zonas definidas para el pozo Eslabones - 1, relacionadas con los porcentajes de distribución de foraminíferos planctónicos (Trocoespirales vs. biserales) y bentónicos.

CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO EN LAS CUENCAS DEL PUTUMAYO Y CATATUMBO

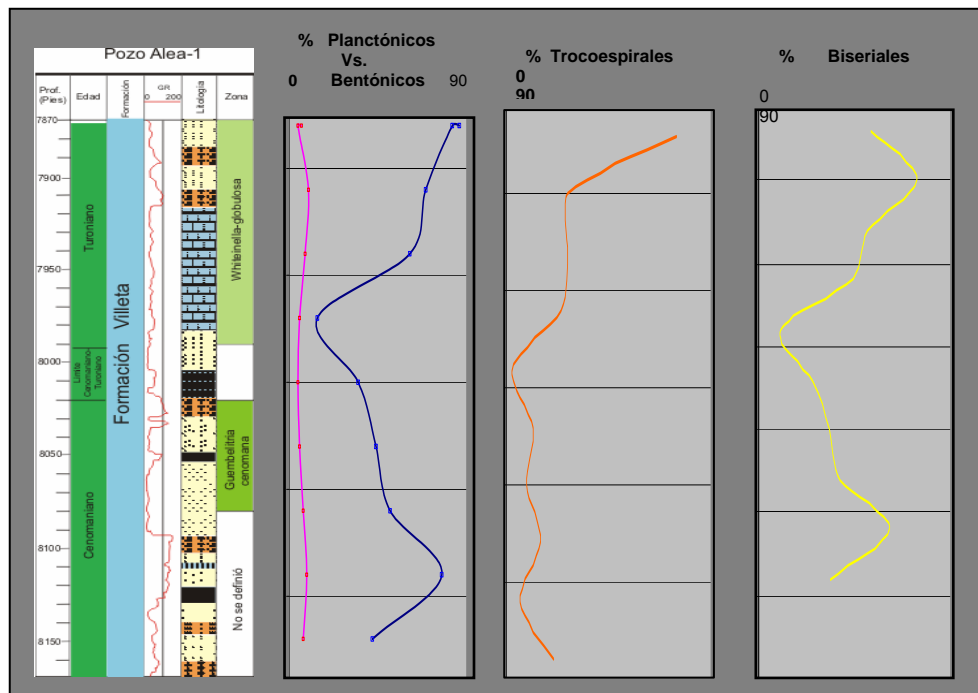


Figura 12. Zonas definidas para el pozo Alea – 1, relacionadas con los porcentajes de distribución de foraminíferos planctónicos (Trocoespirales vs. biseriales) y bentónicos.

7.2 ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD

Los diferentes índices de riqueza utilizados como el conteo directo de especies por muestra (S) y corrección por técnica de rarefacción (R) revelan una riqueza mayor promedio mayor para el pozo Cerro Gordo -3. Los análisis en la cuenca del Catatumbo respecto al índice de riqueza mostraron que en el pozo Cerro Gordo - 3 y Eslabones – 1 el valor de la riqueza promedio (7.3) es mayor para Turoniano que para el Cenomaniano (7.1). Sin embargo los valores no presentan una alta diferencia y los datos observados son consecuentes con los valores esperados ya que el ambiente en el cual habitaron los morfotipos estudiados fue afectado mayormente por cambios faciales que limitaron el registro fósil pero que no cambiaron la estructura de la comunidad (Coccioni et al, 2004).

La riqueza del pozo Alea – 1 presenta valores promedio (5.2) menores a los de los pozos de la Cuenca del Catatumbo (7.3), estos valores de riqueza muestran una menor diversidad de la comunidad y mayor dominancia de un grupo de especies pequeñas que probablemente se adaptaron mejor a las condiciones nocivas (Keller et al, 2003). En cuanto a los valores del intervalo de estudio en el pozo se observa que el valor del índice promedio es más alto para el Turoniano inferior (5.5) que para el Cenomaniano superior (4.5). En todos los pozos de estudio el índice de riqueza es mayor para el Turoniano inferior que para el Cenomaniano

superior indicando mayor diversidad para este, debido probablemente a mejores condiciones oceánicas.

El índice de riqueza como evaluador de la evolución de la estructura de una población y de los diferentes fenómenos que las han afectado, nos muestra en este estudio que regionalmente podría haber cambios en las condiciones en las cuales habitaron las poblaciones planctónicas, las cuales implicaron un comportamiento diferente en la estructura de las comunidades.

El grupo de muestras para los pozos de la Cuenca del Catatumbo revelan que el Turoniano presenta una mayor diversidad "H" (promedio =1.8) que el grupo del Cenomaniano (promedio = 1.5). Este índice nos corrobora la más alta diversidad para el Turoniano.

El análisis del índice de Shannon para el grupo de muestras del pozo Alea -1 de la Cuenca del Putumayo muestra que el Cenomaniano presenta una mayor H' (promedio =1.03) que el intervalo Turoniano (promedio =0.84). Los valores de diversidad obtenidos en este pozo son contrarios a los de la cuenca de Catatumbo y VSM, mostrando mayor diversidad para el Cenomaniano. Estos resultados podrían indicar cambios en las estrategias adaptativas diferentes a los de las otras cuencas. Sin embargo hasta no analizar micropaleontológica y estadísticamente otras muestras no es posible dar una opinión final de la distribución estratigráfica de foraminíferos del intervalo C/T en esta cuenca.

Las relaciones de diversidad entre las zonas estudiadas y las zonas definidas para el VSM, muestran un rango de valores entre 0 y 2. Estos valores van disminuyendo al acercarse al límite C/T y van aumentando hacia el Turoniano medio. Estos cambios en estrategias adaptativas reflejan variaciones en las características físicas y químicas a través del límite C/T. Las cuales son consistentes con el cambio del nivel del mar eustático y composición de masas de agua oceánica es este tiempo (Norris et al 2002).

En el presente estudió la muestra con la mayor equidad fue del pozo Eslabones – 1 (profundidad, 5390 pies) y de los pozos el que presenta mayor grado de uniformidad promedio es Cerro Gordo – 3 y el de mayor variabilidad Alea -1. Estos valores de equidad tanto en la Cuenca de Catatumbo como en la Cuenca del Putumayo, indican que un valor mayor de uniformidad de una muestra genera mayores valores de diversidad.

8. CONCLUSIONES

La correlación bioestratigráfica de foraminíferos planctónicos en las cuencas de estudio encontró que las zonas propuestas por Villamil y Arango (1998) para la sección de referencia del VSM, se pueden aplicar al Norte de Colombia, ya que estas zonas son muy coherentes a las definidas para los pozos Cerro Gordo – 3 y Eslabones -1 (Cuenca del Catatumbo).

La correlación bioestratigráfica con la zonas definidas para la Cuenca del Putumayo solo coincidieron en la zona *Whiteinella archaeocretacea* – *Heterohelix globulosa*. Esto probablemente debido al cambio en la distribución estratigráfica de foraminíferos en esta cuenca, que presentan una disminución en la presencia y abundancia de géneros trocoespirales en relación a la sección de referencia y los otros pozos estudiados. Esta disminución se asocia probablemente a condiciones nocivas más intensas lo cual provoco la abundancia de géneros oportunistas.

El límite Cenomaniano – Turoniano se ubico el intervalos de estudio en las profundidades de: Pozo Cerro Gordo – 3 (4690' – 4710' pies), Eslabones – 1(5270' – 5300' pies) y pozo Alea- 1 (7990' – 8020' pies).

La resolución bioestratigráfica para el C/T fue mejorada debido a la nueva zona definida para el Cenomaniano más superior nombrada como *Guembelitra cenomana*. Definida en la base por la ultima ocurrencia del *Rotalipora cuhmani* y el tope por la extinción del *Guembelitra cenomana*, esta zona fue identificada en ambas cuencas de estudio.

El índice de riqueza (S) por conteo directo y aplicando la técnica de rarefacción muestra una comunidad más rica para el Turoniano que el Cenomaniano, sin embargo la diferencia no es muy grande indicando que las condiciones nocivas del límite no variaron en mucho la estructura de la comunidad.

Las muestras del Cenomaniano cercanas al límite representan una comunidad con dominancia de especies oportunistas con poca diversidad y uniformidad entre las especies.

El intervalo Turoniano muestra valores de diversidad y uniformidad más altos que para el Cenomaniano, indicando una rápida recuperación de las condiciones y faunas que estaban presentes antes del OAE del límite C/T.

Los distintos índices de diversidad y uniformidad son de gran importancia en el entendimiento de los cambios en la estructura de la comunidad entre diferentes poblaciones o áreas geográficas.

9. RECOMENDACIONES

Los pasos a seguir son el estudio de otros pozos en la Cuenca del Putumayo para verificar la distribución de foraminíferos del Cenomaniano – Turoniano con las encontradas en este trabajo. También el aumento del número de muestras por encima y debajo del límite para la construcción de un modelo de abundancia de especies para conocer mejor los cambios en la estructura de la comunidad.

Utilizar otras herramientas geológicas con el fin de refinar la ubicación del límite Cenomaniano – Turoniano en las cuencas de estudio.

10. REFERENCIAS

Arthur, M. A., and Schlanger, S. O., 1979. Cretaceous “oceanic anoxic events” as causal factors in development of reef-reservoired giant oil fields, AAPG Bull., 63, 870–885.

Arthur, M. A., Dean, W. E. and Schlanger, S. O., 1985. Variations in the global carbon cycle during the Cretaceous related to climate, volcanism, and changes in atmospheric CO₂, in The Carbon Cycle and Atmospheric CO₂ : Natural Variations Archean to Present, Geophys. Monogr. Ser., vol. 32, pp. 504– 529.

Bice, L.K., Bralower, T .J., Duncan, R.A., Huber, B.T., Leckie R. M., and Sageman B. B., 2002. Cretaceous climate-ocean dynamics: future directions for IODP, The Nature Place, Florissant. pp. 44.

Bolli, H., 1959. Planktonic foraminifera from de Cretaceous of Trinidad, B.W.I Bull. Am. Paleontol., V.39, pp. 257 – 77.

BougDagher, M. K., 1992. The early Evolutionary History of Planktonic Foraminifera. British Micropalaeontological Society Publication Series. pp. 1 – 4.

Briceño H. & Callejón A. (2000) Chemostratigraphic Correlation of the source rock in the La Luna K/T. Paleography and Hydrocarbon Potential of the La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Depositional Systems. Memories SEPM. Research Conference, Caracas, Venezuela.

Burgl, H., and Dummit, Y., 1954. El Cretáceo Superior en la región de Girardot: Boletín Geológico, Instituto Geológico Nacional de Colombia, v. 5, No 2, p. 113 – 185.

Buzas, M.A., Gibson, T.G, 1969, Species diversity: Benthonic foraminifera in western North Atlantic: Science, v. 163, p. 72-75

Camacho, H.H, 1966. Invertebrados fósiles. Editorial Universitaria Buenos Aires.

Caron, M., 1985. Cretaceous planktic Foraminifera. In: Bolli, H., Saunders, J.B & Perch – Nielsen, K. (Ed) Planktic Stratigraphy. Cambridge University Press. Pp. 17 – 86.

Caceres, H & Teatin. P, 1985. Cuenca del Putumayo, Provincia petrolera meridional de Colombia.- II Simposio Bolivariano “Exploración petrolera en las cuencas subandinas”, memorias, Vol. I, p. 1 – 80, Bogotá.

Ecopetrol, 1987. Interpretación Report Putumayo, Caquetá, Macarena sectors Colombia. Texas Noviembre (Ref. Ecopetrol No 1341, Geología).

**CORRELACIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS
INTERVALO CENOMANIANO – TURONIANO EN LAS CUENCAS DEL PUTUMAYO Y
CATATUMBO**

Ecopetrol, 1988. Evaluación Regional Geológica y Geofísica de la Cuenca de Putumayo. Enero (Ecopetrol No 1584, Geología).

Ellis, & Mesina, A., 1940. Catalogue of foraminífera. American Museum of Natural History. New York. Actualizado hasta 2000.

Etayo Serna, F., 1979. Zonation of the Cretaceous of central Colombia by ammonites. Publicaciones Geológicas Especiales de Ingeominas, no. 2. 186 p.

Farias, A., Crux, Jason, Pilloud, Canache M. (2000). Biostratigraphic and Lithostratigraphic Study of the La Luna Formation and its Lateral Equivalents in Western Venezuela. In: Palaeogeography and Hydrocarbon Potential of the La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Systems, Memorias, SEPM Research Conference, Caracas, Venezuela.

Georgescu, M., 1995. Upper Cretaceous Heterohellicidae in the Romanian black sea offshore, Revista Española de Micropaleontología, vol. 28, no. 3, pp. 91 – 106.

Hayek, L.A., Buzas, M.A, 1997, Surveying Natural Populations, Columbia University Press, New York.

Hart, M. B., and Ball, K. C., 1986. Late Cretaceous anoxic events, sea-level changes, and the evolution of the planktonic foraminifera, in North Atlantic Paleooceanography, edited by C.P. Summerhayes and N. J. Shackleton, Geol. Soc Spec. Publ., 21, 67– 78

Hart, M.B., 1995. Cretaceous foraminiferal events, Geological Society Special Publication, no. 70. pp. 227 – 240.

Huber, B.T., Leckie, R.M., Norris, R.D., Bralower, T. J., and CoBabe, E., 1999. Foraminiferal assemblage and stable isotopic change across the Cenomanian-Turonian boundary in the subtropical North Atlantic, J. Foraminiferal Res., 29, 392–417.

Hulbert, S. H., 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. Ecology, 52: 577 – 586.

Keller, G., and Pardo, A., 2003. Age and paleoenvironment of the Cenomanian–Turonian global stratotype section and point at Pueblo, Colorado. Marine Micropaleontology 51 (2004) 95–128.

Leckie, R. M., 1989. An oceanographic model for the early evolutionary history of planktonic foraminifera, Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology, 73, pp. 107– 138.

Leckie, R.M., Bralower, T. J., and Cashman, R., 2002. Oceanic anoxic events and plankton evolution: Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous Paleooceanography, vol. 17, no. 3. pp. 13 –24.

Loeblich, A. & Tappan, H., 1998. Foraminiferal Genera and their Classification. Volume I – II. Van Nostrand, New York.

Magurran, A.E., 1981, Biological Diversity and Woodland Management, University of Ulster.

—, 1988, Ecological Diversity and its Measurement, Princeton University Press.

Mompart, L. C, 1983. Análisis bioestratigráfico Cuenca del Putumayo, Informe de Ecopetrol 980.

Mondragón. J. C, 2002. Evaluación regional de la Cuenca de Catatumbo, informe Ecopetrol 128.

Mora, A., Venegas, D., and Vergara, L., 1998. Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario inferior en el sector Norte de la Cuenca del Putumayo, Departamento del Caquetá, Colombia. Geología Colombiana, 23, p. 31 – 77, 19 Figs., 2 Tablas, 4 Laminas, Santafé de Bogotá.

Nederbragt, A.J., 1991. Late Cretaceous biostratigraphy and development of Heterohelicidae (planktic foraminifera), micropaleontology, vol. 37. No. 4. pp.329 – 372.

Nederbragt, A.J., Erlich, R.N., Fouke, B.W., and Ganssen G.M.,1998. Palaeoecology of the biserial planktonic foraminifer Heterohelix moremani (Cushman) in the late Albian to middle Turonian Circum – North Atlantic, Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology 144, pp. 115 133.

Norris, R.D., Bice, K.L. Wilson, P.A., and Magno E.A., 2002. Jiggling the tropical thermostat in the Cretaceous hothouse, Geological Society of America., v. 30; no. 4; p. 299–302.

Notestein, F. B, Hubman C. W, and Bowler J. W, 1944. Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Bull. Geol. Soc. Amer., vol 55, pp. 1165 – 1215, New York.

Pessagno, E. A., 1960. Stratigraphy and micropaleontology of the Cretaceous and lower Tertiary of Puerto Rico. Micropaleontology, 6, pp. 87 – 110.

Petters, V., 1955. Development of Cretaceous foraminiferal faunas in Colombia: Journal of Paleontology, v. 29, p. 212 – 225.

Premoli Silva, I., and Sliter, W. V., 1999. Cretaceous Paleoceanography: Evidence from planktonic foraminiferal evolution, in Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System, edited by E. Barrera and C. C. Johnson, Spec. Pap. Geol. Soc. Am., 332, 301– 328.

Ramsay, A. T., 1977. Oceanic Micropaleontology. Department of geology and Oceanography, University College of Swansea, Wales, pp. 1 - 703.

Raup, D. M., 1975. Taxonomic diversity estimation using rarefaction, Paleobiology. Vol. 1, pp. 333 – 342.

Rich, J. E., Johnson, G. L., Jones, J. E., and Campsie, J. A., 1986a. Significant correlation between fluctuations in seafloor spreading rates and evolutionary pulsations, Paleoceanography, 1, pp. 85– 95.

Schlanger, S. O., and Jenkyns, H. C., 1976. Cretaceous oceanic anoxic events: Causes and consequences, Geol. Mijnbouw, 55, 179– 184.

Shaw, A. B., 1964. Time in Stratigraphy. McGraw Hill, New York, 365 p.

Tappan, H., and Loeblich Jr, A. R., 1973. Evolution of the oceanic plankton, Earth Sci. Rev., 9, pp. 207– 240.

Vergara, L., Rodríguez, G., and Martínez I., 1997. Agglutinated foraminifera and sequence stratigraphy from the Chipaque Formation (Upper Cretaceous) of El Crucero section, Colombia, South America. Micropaleontology, vol. 43, no. 2 pp. 185 - 201.

Villamil, T., and Arango, C., 1998. Integrated stratigraphy of latest Cenomanian and early Turonian facies of Colombia, in Pindell, J, L. and Drake, C. L., eds., Paleogeographic evolution and Non-Glacial Eustasy, Northern South America: SEPM, society for Sedimentary Geology, Special Publication No. 58.,pp. 129- 159.

Villamil, T., and Arango, C., 1997. The Cenomanian – Turonian boundary interval in Colombia: Anatomy of a condensed section. Department of Geological Sciences CB 250, University of Colorado, Boulder Co 80309-0250, USA. UNC.

Villamil, T., Arango, C., and Hay, W, W., 1999. Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for Cretaceous rock and cherts of northern South America, in Barrera, E., and Johnson, C. C., eds., Evolution of the Cretaceous Ocean- Climate System: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 332, pp. 191- 202.

Villamil, T., and Pindell, J, L., 1998. Mesozoic Paleogeographic Evolution of Northern South America: Foundation for sequence Stratigraphic Studies in Passive Margin Strata Deposited during non glacial times.

Wilson, P.A., Norris, R.D., and Cooper, M.J., 2002. Cretaceous greenhouse hypothesis using glassy foraminiferal calcite from the core of the Turonian tropics on Demerara Rise, Geological Society of America, v. 30; no.7; p. 607 – 610.