



UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel

Análisis de la abundancia de foraminíferos sedimentados en el pozo ANOMA-1, para inferir los paleoambientes ocurridos entre el Mioceno-Pleistoceno inferior en la costa de Tamaulipas, México.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias: Ecología Marina

Presenta:

Biol. Mar. Mardelín Fuentes Vásquez

Director:

Dr. Pedro Cervantes Hernández

Co-Directora:

Dra. María Auxilio Esparza Álvarez

Puerto Ángel, Oaxaca, México

2019

Dedicatoria

A mis padres y hermano por su apoyo, comprensión, paciencia y consejos.

“¿Porqué tenemos que mirar al pasado para prepararnos para el futuro?...Porque no hay nada más a donde mirar”

(James Burke)

Agradecimientos

A mi director de tesis el Dr. Pedro Cervantes Hernández y Co-director la Dra. María Auxilio Esparza Álvarez, por darme la oportunidad de formar parte de su grupo de trabajo. Por su paciencia y apoyo que demostraron tenerme en este tiempo de formación.

A mis sinodales por el tiempo brindado en la revisión y corrección de este trabajo.

A los profesores que contribuyeron en gran parte con mi formación académica.

RESUMEN. Análisis de la abundancia de foraminíferos sedimentados en el pozo ANOMA-1, para inferir los paleoambientes ocurridos entre el Mioceno-Pleistoceno inferior en la costa de Tamaulipas, México.

Debido a las investigaciones petroleras llevadas a cabo en el Golfo de México, en los últimos años se ha implementado la perforación de pozos en el fondo marino, de los cuales, PEMEX obtuvo un cilindro estratigráfico en el pozo ANOMA-1, ubicado frente al estado de Tamaulipas. Dicha columna estratigráfica fue analizada por PEMEX y generó una base de fósiles sedimentados. En este trabajo, se utilizó esa información, para separar de los fósiles sedimentados a los foraminíferos planctónicos y bentónicos. La columna estratigráfica del ANOMA-1, fue fechada por PEMEX, perteneciendo en el tiempo geológico entre el Mioceno (23 Ma) y Pleistoceno inferior (0.7 Ma). El objetivo de este estudio, fue obtener la secuencia cronológica de depositación de los foraminíferos planctónicos y bentónicos entre la edad mencionada. Los resultados obtenidos, se utilizaron para explicar parcialmente los paleoambientes ocurridos frente a la costa de Tamaulipas. En este caso, se realizó el análisis de Componentes Principales para obtener la secuencia cronológica de la depositación. Se identificaron tres eventos geológicos de depositación, y en cada uno de estos, se identificaron foraminíferos planctónicos y bentónicos particulares. El evento geológico de depositación mas antiguo, se registró durante el Mioceno inferior, entre los pisos Aquitaniano y Serravaliano (23-20.4 Ma), con una abundancia máxima de foraminíferos en los pisos Aquitaniano y Burdigaliano. Se detectó un segundo evento geológico de depositación (piso Gelasiano) (17-5.3 Ma), con una abundancia máxima de foraminíferos entre los pisos de Langiano y Zancleano. El evento geológico de deposición más joven, se observó comenzando al final del Plioceno (piso Piaceziano) al Pleistoceno inferior (piso Calabriano) (3.6-0.7 Ma), donde se registró la abundancia máxima de foraminíferos. Los resultados indicaron que entre el Mioceno inferior e inicios del Plioceno, frente a las costas de Tamaulipas, el paleoambiente permaneció cálido; pero durante el Mioceno superior (entre los pisos Tortoniano y Mesiniano), el paleoambiente fue más frío. Cuando el paleoambiente fue cálido, la abundancia de los foraminíferos bentónicos superó a la abundancia de los foraminíferos planctónicos. Cuando el paleoambiente fue más frío, los foraminíferos bentónicos y planctónicos registraron la misma abundancia. Se concluyó, que cuando el paleoambiente fue más frío, en el estuvo iniciando la última glaciación.

Palabras clave: foraminíferos, abundancia, paleoambiente, Golfo de México.

ABSTRACT. Sedimented foraminifera analysis in the ANOMA-1 well in order to infer the paleoenvironments occurred between the low Miocene and the low Pleistocene in front Tamaulipas offshore, Mexico.

Due to the oil researches in the Gulf of Mexico, well drilling is common on the seafloor, and from those, a stratigraphic cylinder was obtained by PEMEX in the ANOMA-1 well located in front Tamaulipas offshore. This stratigraphic cylinder was analyzed by PEMEX to make a sedimented fossils data set. In this work, mentioned information was used to separate from sedimented fossils to planktonic and benthic foraminifera. The stratigraphic cylinder from ANOMA-1 was dated by PEMEX between the low Miocene (23 MYA) and the low Pleistocene (0.7 MYA). The aim of this study was to obtain the chronological sequence of deposition to planktonic and benthic foraminifera between mentioned serie ages. Obtained results were used to partially explain the paleoenvironments occurred in front Tamaulipas offshore. In this case, the principal compons analysis was performed to obtain the chronological sequence of deposition. Three deposition geological events were identified, and at each of these particular planktonic and benthic foraminifera were identified. The older deposition geological event was recorded during in the low Miocene between Aquitaniano and Serravaliano floors (23-20.4 Ma), with maximum foraminifera abundance in Aquitaniano and Burdigaliano floors. A second deposition geological event of middle age was detected to began in the Langiano floor (low Miocene) (and ended in the low Pliocene (Zancleano floor) (17-5.3 MYA), with maximum foraminifera abundance in Langiano and Zancleano floors. The youngest deposition geological event was observed beginning in the Pliocene end (Piacenziano floor) and until low Pleistocene (Calabrian floor) (3.6-0.7 MYA), where was recorded maximum foraminifera abundance. Results indicated that the between Miocene and the low Pleistocene, in front Tamaulipas offshore, the paleoenvironment remained warm, but during the low Miocene (between Tortoniano and Messinian floors), the paleoenvironment was colder. When the paleoenvironment was warm benthic foraminifera abundance was high than planktonic foraminifera abundance. When the paleoenvironment was colder planktonic and benthic foraminifera recorded the same abundance. It was concluded, that when the paleoenvironment was colder, in front Tamaulipas offshore was occurred the last glaciation.

Key words: foraminifera, abundance, paleoenvironment, Gulf of Mexico.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades de los foraminíferos	1
1.2 Foraminíferos planctónicos	1
1.2.1 Morfología y testa	1
1.2.2 Alimentación	2
1.2.3 Ecología	2
1.3 Foraminíferos bentónicos.....	3
1.3.1 Morfología y testa	3
1.3.2 Alimentación	4
1.3.3 Ecología	4
1.4 Importancia de foraminíferos planctónicos y bentónicos.....	5
2. ANTECEDENTES	6
2.1 Los foraminíferos en la industria petrolera: Golfo de México	8
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. HIPÓTESIS	11
5. OBJETIVOS	11
5.1 General	11
5.2 Particulares	11
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	12
6.1 Golfo de México	12
6.1.1 Circulación y masas de agua.....	12
6.1.2 Remolinos.....	13
6.1.3 Vientos.....	13
6.1.4 Ríos y sedimento	14

6.2. Marco geológico y paleoceanográfico del Golfo de México	14
6.3 Pozo ANOMA-1 para la exploración petrolera mexicana	16
7. METODOLOGÍA.....	18
7.1 Obtención de la información	18
7.2 Consideraciones previas a la simulación general	19
7.3 Análisis de la matriz N.....	20
7.3.1 ACP entre los j pisos.....	20
7.3.2 ACP entre las i especies.....	21
7.4 Análisis confirmatorio del ACP entre las i especies mediante Análisis de Correspondencia (AC)	23
7.5 Series de tiempo para los foraminíferos planctónicos y bentónicos.....	24
8. RESULTADOS	25
8.1. Sucesión de eventos de depositación para todas las i especies de foraminíferos	25
8.2 Asignación para cada nCP , las i especies de foraminíferos depositados a lo largo de los j pisos	28
8.3 Análisis auxiliar del ACP entre las i especies.....	28
8.4 Serie de tiempo para los foraminíferos planctónicos y bentónicos.....	33
9. DISCUSIÓN	34
9.1 Evento primero de depositación.....	37
9.2 Evento segundo de depositación	37
9.3 El evento tercero de depositación	38
9.4 Paleoecología	38
10. Conclusión.....	43
Anexo I	52
Anexo II	59
Anexo III	64

Anexo IV.....	69
Anexo V.....	70
Anexo VI.....	71
Anexo VII.....	72

Índice de tablas

Tabla 1. Bioestratigrafía del pozo ANOMA-1.....	19
Tabla 2. Ficha técnica general del informe ANOMA-1.	19
Tabla 3. Escala cualitativa correspondientes a la abundancia de especies de foraminíferos.	20
Tabla 4. Matrices de factores resultantes del ACP entre los j pisos.....	26
Tabla 5. Especies validadas con base en valores de correlación (ACP entre las i especies) y medidas de similitud (AC) en cada una de las tres depositaciones....	30
Tabla 6. Características morfológicas de la testa y preferencias batimétricas de la asociación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos presentes durante el primer evento de depositación.	31
Tabla 7. Características morfológicas de la testa y preferencias batimétricas de la asociación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos presentes durante el segundo evento de depositación.....	32
Tabla 8. Características morfológicas de la testa y preferencias batimétricas de la asociación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos presentes durante el tercer evento de depositación.	33
Tabla 9. Bioestratigrafía por pisos del pozo ANOMA-1 en concordancia con la paleoceanografía descrita por Waelbroeck <i>et. al.</i> , (2002).	37

Índice de figuras

Figura 1. Formas de las testas.....	2
Figura 2. Testas de foraminíferos bentónicos	4
Figura 3. Áreas de planificación para la exploración petrolera en el Golfo de México correspondiente a EE.UU.....	16
Figura 4. Ubicación geográfica del pozo de exploración petrolera ANOMA-1 y su cercanía con Western Gulf of Mexico Planning Área	17
Figura 5. Ubicación geográfica del pozo de exploración petrolera ANOMA-1 en relación a la batimetría y borde continental del Golfo de México.	18
Figura 6. Sucesión biocronológica de eventos de depositación	27
Figura 7. Resultados por clasificación con Análisis de Correspondencia (AC) para la matriz N.....	29
Figura 8. Variación simulada de probabilidad para la abundancia de foraminíferos.	34
Figura 9. Tendencia de foraminíferos planctónicos y bentónicos.....	36

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades de los foraminíferos

Los foraminíferos son un grupo de protozoarios ameboideos ampleamente representados en los mares actuales y registro fósil (Ayala-Castañares, 1966). Presentan una cubierta llamada “testa”, formada por una o varias cámaras comunicadas entre sí por múltiples orificios (forámenes); las cámaras están separadas por estructuras llamadas septos (Sen, 1994; Palacios, 2008). La testa puede ser simple (tubular, esférica) o compleja (seriada, espiralada, multilocular, discoidal, fusiforme) (Sen, 2003; Calonge *et. al.*, 2001; Molina, 2004; Daners & Verde, 2008). Con respecto a la profundidad en la que habitan los foraminíferos, la testa puede variar en su composición pudiendo ser: quitinosa, calcárea, silícea o aglutinada (Arenillas *et. al.*, 2000; Molina, 2004; Figueroa *et. al.*, 2005). Entre las funciones biológicas y ecológicas de la testa puede citarse: soporte al citoplasma, ayuda al crecimiento y reproducción, controla la flotabilidad, protege del estrés ambiental y es un mecanismo anti-depredación (Jean-Pierre *et. al.*, 2010; Bhaumik *et. al.*, 2014).

De acuerdo con el modo de vida, los foraminíferos se dividen en dos grupos: los planctónicos que se encuentran flotando en la columna de agua movidos por las corrientes oceánicas; capaces de realizar migraciones verticales y con registros de presencia hasta ~1,000 m de profundidad. Por otra parte están los bentónicos, adaptados al fondo marino a diversas profundidades (200-6,000 m) (Sen, 1994; Arenillas *et. al.*, 2000; Calonge *et. al.*, 2001; Ibáñez, 2008; Jean-Pierre *et. al.*, 2010; Vargas, 2011).

Los foraminíferos planctónicos y bentónicos están delimitados en su distribución y abundancia por diversos factores ambientales como: la temperatura, la profundidad, la salinidad, la concentración de nutrientes y oxígeno. (Bandy, 1956; Ayala-Castañares, 1996; Arenillas *et. al.*, 2000; Molina, 2004; Nava, 2009; Rosa del Río *et. al.*, 2011).

1.2 Foraminíferos planctónicos

1.2.1 Morfología y testa

La testa de los foraminíferos planctónicos tienen un tamaño ~50-600 μm , pero en las especies con espinas el tamaño real puede duplicarse o triplicarse. La pared de la testa está compuesta por láminas de calcita hialina o aragonita que estos mismos secretan. Las cámaras de la testa se forman inicialmente en capas bilamelares y cada vez que una nueva capa se forma, se acumula dando lugar a una pared multilamelar. Esta última tiene perforaciones murales, abiertas hacia el exterior y suelen estar rodeadas por crestas donde están situadas las espinas. La disposición más frecuente de las cámaras es la trocoespiralada pero están documentadas otras formas como planiespiraladas y estreptoestiradas. Los tipos de enrollamiento de

la testa pueden ser: mixtos, seriados, biseriados y triseriados. Las cámaras suelen ser globosas, pero en las formas carenadas están comprimidas, pudiendo presentar una (monocular) o dos cámaras (bilocular), aunque la mayoría son multiloculares (Fig. 1) (Calonge *et. al.*, 2001; Molina, 2004).

En el ambiente marino, los foraminíferos planctónicos están mayormente presentes hasta los 200 m de profundidad, siendo dominantes entre 10-50 m, coincidiendo con las mayores concentraciones de fitoplancton (Arenillas *et. al.*, 2000; Molina, 2004; Schiebel & Hemleben, 2005; Jean-Pierre *et. al.*, 2010). Particularmente, las especies globosas y espinosas tienen presencia dominante entre 10-100 m de profundidad (zona fótica), y tienen simbiosis con dinoflagelados de los que reciben oxígeno. A mayor profundidad se localizan especies con cámaras alargadas y finamente perforadas que tienen simbiosis con diatomeas por lo que habitan hasta los 130 m de profundidad (Arenillas *et. al.*, 2000). Las especies superficiales más típicas son pequeños globigerínidos espinosos, mientras que las especies profundas son grandes globorotalidos no espinosos (Molina, 2004; Schiebel & Hemleben, 2005; Jean-Pierre *et. al.*, 2010).

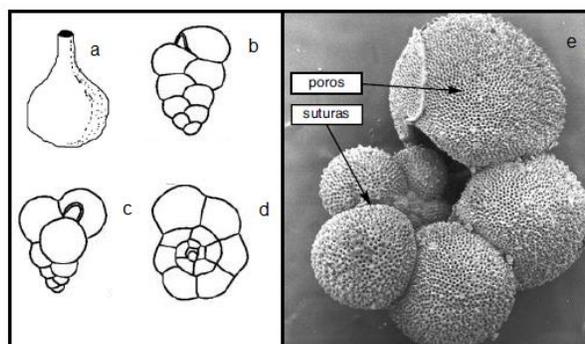


Figura 1. Formas de las testas. a) monocular (tomado de Daners & Verde, 2008), b) biseriada, c) triseriada, d) trocoespiralada (tomado de Arenillas & Nández, 2007) y e) globosa planoespiralada con poros para un mejor intercambio de gases (tomada de Calonge *et. al.*, 2001).

1.2.2 Alimentación

Entre los foraminíferos planctónicos hay formas oportunistas que se alimentan de cualquier partícula orgánica o grupos de zooplancton y fitoplancton. Las especies espinosas se alimentan principalmente de copépodos, crustáceos, tintínidos, radiolarios, poliquetos, larvas de gastrópodos, pterópodos y tunicados; pero las que se localizan en la zona fótica consumen adicionalmente a sus simbioses. Las especies no espinosas son omnívoras, pero dado que habitan preferencialmente en ambientes eutróficos, se alimentan principalmente de diatomeas, cocolitoforidos y dinoflagelados (Arenillas *et. al.*, 2000; Molina, 2004; Jean-Pierre *et. al.*, 2010).

1.2.3 Ecología

Los foraminíferos planctónicos son pelágicos y forman parte del microplancton marino. Con respecto a la salinidad, son estenohalinos (toleran intervalos estrechos de salinidad) por lo que suelen vivir en medios marinos de salinidad normal. No

soportan aguas hipersalinas o dulces de los medios continentales, ni aquellas costeras que tienen una mayor turbidez. Las asociaciones de especies están determinadas por la estructura termal y la distribución de nutrientes en aguas superficiales (Chaisson & Ravelo, 1997). De acuerdo con la temperatura, están documentadas especies que soportan grandes y frecuentes variaciones, pero otras mueren al mínimo cambio, esto afecta también el resultado de las interacciones simbióticas con otras especies de plancton (Calonge *et. al.*, 2001; Molina, 2004).

La mayor abundancia de foraminíferos planctónicos está documentada en latitudes tropicales y polares, cerca al talud donde afloran estacionalmente aguas frías ricas en nutrientes (Hemblene *et. al.*, 1989). La diversidad de especies es mayor en latitudes tropicales y templadas; y disminuye hacia los polos (Molina, 2004).

1.3 Foraminíferos bentónicos

1.3.1 Morfología y testa

La testa de los foraminíferos bentónicos puede estar compuesta por láminas calcáreas, hialinas, calcárea hialina, aragonita, quitinosa, silíceas y silíceas opalinas; generalmente es recristalizada o aporcelanada. Respecto a la forma, ésta varía de planiespiraladas a desenrolladas, no septada, tubular, cíclica o con pocas cámaras por vuelta (Fig. 2). Los representantes de este grupo tienen pared monolamelar o multilamelar, y como resultado del crecimiento continuo, la laminación de la pared es primaria y secundaria. También pueden presentar un prolóculo seguido de una segunda cámara tubular enrollada, planiespiralada o trocoespiralada (Molina, 2004; Loubere & Austin, 2007). Está documentado que pueden tener material adicional que forma engrosamientos, espinas o nódulos en uno o dos lados de la concha que lo protegen contra la abrasión, esto principalmente en especies que habitan aguas poco profundas. Las especies esféricas o lenticulares (biconvexo o simétrico) se encuentran en la superficie del sustrato y las formas fusiformes son excavadoras infaunales (Molina, 2004; Corbí, 2010; Jean-Pierre *et. al.*, 2010).

Con respecto a la morfología, las especies de foraminíferos bentónicos infaunales son alargadas, planas, cilíndricas, cónicas, biseriadas, triseriadas de paredes delgadas con poros distribuidos uniformemente en la superficie de la testa, para facilitar el intercambio del oxígeno en ambientes hipóxicos. Las especies esféricas planoconvexas y lenticulares prefieren habitar en los ambientes bien oxigenados (Bhaumik *et. al.*, 2014). Los foraminíferos con pared aglutinada no necesitan carbonato de calcio para la construcción de la testa, pudiendo habitar y proliferar por debajo del nivel de compensación de la calcita (~4,500-5,000 m de profundidad) (Arenillas *et. al.*, 2000; Cardich, 2012; Chester & Jickells, 2012).

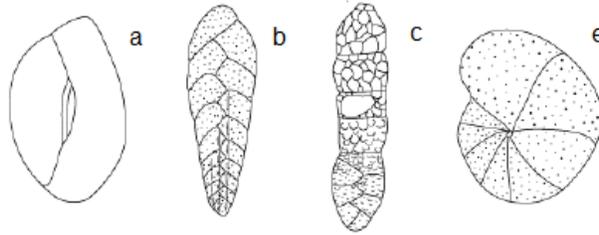


Figura 2. Testas de foraminíferos bentónicos. a) aporcelanado, b) calcáreo biseriado, c) aglutinado y e) hialino trocoespiralado (Tomado de Jean-Pierre *et. al.*, 2010).

1.3.2 Alimentación

Los foraminíferos bentónicos viven en diferentes hábitats, razón por la cual se han adaptado a diversas estrategias alimenticias (Murray, 1991 in Molina, 2004). El modo de vida de los foraminíferos incluyen: erguidas, epifaunal e infaunal y según éstas, pueden ser relacionados con varias estrategias de alimentación (Vargas, 2011). Las especies erguidas se alimentan principalmente por suspensión. La mayoría de las especies son omnívoras epifaunales con preferencia a ambientes profundos de agua con energía disminuída y sedimento fino; en algunas especies está presente la simbiosis con algas que ayudan al abastecimiento de energía. Los herbívoros activos están confinados a la zona fótica, donde las algas realizan la fotosíntesis; por tanto habitan los medios litorales (especialmente estuarios y lagunas costeras). Los herbívoros pasivos se encuentran sésiles capturando el alimento (diatomeas) alrededor del sitio de residencia fijo. Los carnívoros se alimentan principalmente de artrópodos y otros foraminíferos. Las especies infaunales son limpiadores, detritívoros y bacteriófagos que habitan en zonas con sedimento fino bajo la interfase agua-sedimento (Molina, 2004; Cardich, 2012; Betancur & Martínez, 2003; Jean-Pierre *et. al.*, 2010; Vargas, 2011).

1.3.3 Ecología

Los foraminíferos bentónicos pertenecen al segundo eslabón de la trama trófica en los ambientes marinos y costeros (Schröder-Adams, 2006). Por el corto ciclo de vida y alta diversidad, estos se adaptan rápidamente a cambios ambientales y faunísticos (Murray, 2006 in Mojtahid *et. al.*, 2010). La mayoría de las especies se desplazan entre la interface agua-sedimento y pocas forman parte de la epifauna. Para ambos casos, se han reportado hábitos sésiles e incrustantes. Éstos últimos son poco abundantes y tienen asociaciones ecológicas con organismos más grandes, para acceder y asegurar tener acceso al agua aireada, logrando enterrarse más profundo dentro del sedimento, superando las barreras de hipoxia y anóxia (Betancur & Martínez, 2003; Calonge *et. al.*, 2001; Loubere & Austin, 2007; Cardich, 2012).

Cada especie bentónica tiene intervalos batimétricos que delimitan su distribución y abundancia (Arenillas *et. al.*, 2000). Así mismo, el sustrato es otro factor determinante, el tamaño de partícula tiene relación con la cantidad de oxígeno disuelto y el tipo de vegetación que se desarrolla en el fondo (*e.g.* vegetación

perenne o estacional) (Calonge *et. al.*, 2001). Cambios en la concentración de oxígeno en la interface agua-sedimento juega un importante rol controlando las asociaciones de foraminíferos bentónicos y sus características morfológicas como son el tamaño, grosor y porosidad de la testa (Bornmalm, 1997).

En zonas poco profundas, la energía del agua tiene influencia en la distribución y abundancia debido al tipo de sustrato que se deposita (duro o blando) y la concentración de nutrientes que estos contienen (Calonge *et. al.*, 2001; Molina, 2004). La cantidad de materia orgánica depositada en el piso oceánico es un factor esencial que influye en la abundancia de asociaciones de foraminíferos bentónicos (Almeida *et. al.*, 2015; Bornmalm, 1997). Otros factores que están en relación con lo antes descrito y morfología de la testas son: la salinidad, pH, las corrientes y tasa de sedimentación (Calonge *et. al.*, 2001; Molina, 2004). En ambientes oceánicos eutróficos con poco oxígeno son abundantes los foraminíferos bentónicos infaunales, con concha de tipo planiespiralada, esféricas y alargadas, cilíndricas o aplanadas. En medios oligotróficos y bien oxigenados, las especies epifaunales, generalmente con concha de tipo trocoespiralada, biconvexas o planoconvexas y regulares o tubulares, proliferan mientras que especies infaunales son muy poco abundantes; están documentadas especies oportunistas que sobreviven a largos periodos oligotróficos. En aguas tropicales someras localizadas en el rango de la zona eufótica, la abundancia está dominada por los grandes foraminíferos bentónicos con endosimbiontes (Betancur & Martínez, 2003; Molina, 2004; Cardich, 2012; Almeida *et. al.*, 2015).

1.4 Importancia de foraminíferos planctónicos y bentónicos

Los foraminíferos son unos de los grupos más abundantes del microbentos calcáreo marino, son importantes por describir características de hábitats y como indicadores ecológicos debido a su especificidad ambiental (Vargas, 2011). La sucesión de especies de foraminíferos proporciona una herramienta para la datación y reconstrucciones ambientales actuales como en el registro fósil.

Los foraminíferos han sido afectados por grandes eventos, por ejemplo, la extinción del Permo-Triásico y los principales cambios en la transición Cretácico-Paleogeno. Estudios han revelado estas importantes transiciones, también evidenciadas con varios otros grupos de organismo (Jean-Pierre *et. al.*, 2010).

El primer registro de foraminíferos esta datado para el Cámbrico temprano, con una testa aglutinada. Las testas calcíticas microgranulares, aporcelanadas e hialinas aparecieron en el Carbonífero. Las primeras formas fueron de hábitos bentónicos. Las especies planctónicas no aparecieron hasta después del Jurásico. Un elevado nivel del mar y temperatura cálida en dicho tiempo favoreció la diversificación de especies planctónicas. Aparecieron especies con testa micro y macroporforada, trocoespiral y globular. Al final del Cretácico fueron casi extintas. Al inicio del Cenozoico ocurrió una evolutiva diversificación de especies, con características similares a sus antecesores (enrollamiento planiespiral, incrementando el número

de cámaras por vuelta, desarrollo de quelas), las cuales se mantienen en la actualidad (Jean-Pierre *et. al.*, 2010).

Los trabajos sobre la abundancia y depositación de foraminíferos planctónicos y bentónicos han sido empleados como una herramienta para inferir y realizar reconstrucciones paleoambientales, paleoecológicas, paleoceanográficas y bioestratigráficas costeras y marinas (Culver, 1988; Watkins *et. al.*, 1996; Gamper, 1997; Gonzalvo, 1997; Arenillas *et. al.*, 2000; Schiebel *et. al.*, 2002; Schmuker & Schiebel, 2002; Schaefer *et. al.*, 2005; Schröder-Adams, 2006; Loubere & Austin, 2007; Machain-Castillo *et. al.*, 2008; Narváez-Rodríguez *et. al.*, 2008; Vargas, 2011; Bhaumik *et. al.*, 2014; Alves *et. al.*, 2016; Rebotim *et. al.*, 2016).

En ambientes costeros, la sucesión de depositación, cambios en la paleoproductividad y las fluctuaciones del nivel del mar han sido deducidas con los foraminíferos bentónicos (Arenillas *et. al.*, 2000; Molina, 2004; Schröder-Adams, 2006; Narváez-Rodríguez *et. al.*, 2008; Nava, 2009; Rosa del Río *et. al.*, 2011; Almeida *et. al.*, 2015). Los foraminíferos hialinos, por ejemplo, presentan una testa con más poros en aguas con poca salinidad y cálidas. Estas aguas serán entonces menos densas, por lo tanto la porosidad en testas de foraminíferos planctónicos puede ser utilizada como una herramienta para evaluar la temperatura, salinidad y densidad relativa del agua de mar (Jean-Pierre *et. al.*, 2010).

Los foraminíferos planctónicos son en la actualidad uno de los grupos de organismos más utilizados en trabajos paleoceanográficos debido a su abundancia, lo que favorece la obtención de planos de referencia (Gamper, 1977). Algunas especies como *Globigerina bulloides* son comunes en zonas de surgencia, asociadas con aguas frías, alta salinidad y alta productividad biológica; *Globigerina glutinata* está registrada en los límites de la zona de surgencias; *Globorotalia inflata* se encuentra en aguas con intervalo amplio de temperatura pero es menos abundante en condiciones de alta salinidad (Vargas, 2011).

Particularmente en el área de la investigación petrolera, los foraminíferos han sido utilizados con éxito en la resolución de problemas de índole bioestratigráfico, así como para la localización geográfica de niveles productivos (Ayala-Castañares, 1966; Pérez, 2005; Oviedo, 2006; Estrada, 2007; Lajous, 2009; Cantú, 2010; Saldaña & Shield, 2010).

2. ANTECEDENTES

En los últimos 40 años los foraminíferos han sido estudiados por diversos autores haciendo énfasis en su bioestratigrafía y significancia paleoambiental, en diferentes regiones del mundo. Son ampliamente reconocidos por ser una herramienta de gran utilidad en las correlaciones bioestratigráficas de carácter regional y global.

Canudo & Molina (1992) realizaron un estudio cuantitativo con asociaciones de foraminíferos planctónicos de la sección Osinaga (Pirineo de Navarra, España) con

el fin de mostrar el modelo de evolución y extinción de los foraminíferos a lo largo del tránsito Cretácico-Terciario. Establecieron la bioestratigrafía mediante el reconocimiento de la siguiente biozonación: biozona *Pseudotextularina deformis* (Cretácico), biozona *Guembelitra cretácea*, biozona *Parvularugo globigerina eugubina*, y biozona *Subbotina pseudobulloides* (Paleogeno). En la parte más alta del Maastrichtiense no se produjeron cambios sustanciales en los porcentajes de foraminíferos planctónicos lo cual indicó que no hubo cambios ambientales importantes en la parte más alta del Cretácico. Coincidiendo con el límite Cretácico/Terciario desaparecieron bruscamente 37 especies de foraminíferos planctónicos. Por lo tanto la diversidad específica en el Maastrichtiense superior se mantuvo alta y estable por lo que las diferencias entre especies en dicho piso serían debidas a los efectos a largo plazo que producen desapariciones locales en medios someros. La desaparición regional de *Abathamphalus mayaroensis* pudo haberse debido a cambios eustáticos regresivos en el nivel del mar; sin embargo, el brusco cambio faunístico entre el Cretácico y el Paleoceno indicó que el efecto a corto plazo de un probable impacto meteorítico pudo ser el desencadenante más importante y último de la extinción de foraminíferos cretácicos.

También se han utilizado para la determinación de edades geológicas y reconstrucción de ambientes como lo demuestra Marchant (2011) quien analizó foraminíferos planctónicos y bentónicos del Paleógeno de muestras obtenidas del pozo de extracción de hidrocarburos, Dorado Sur N° 1, ubicado en el sector continental al noreste de la bahía Santiago, Estrecho de Magallanes, con el objetivo de reconstruir su paleoambiente. Las muestras de canal fueron obtenidas entre 10 y 2,287 m de profundidad.

El análisis de la composición faunística permitió reconocer dos ingresiones: una durante el Brunswickiano-Clarenciano (Eoceno temprano-Eoceno medio) y la otra en el Cameroniano (Eoceno tardío), registrándose en ambas, aguas de plataforma externa. Durante el Germaniano (Eoceno temprano-Paleoceno temprano) se determinó que se había estado produciendo un ascenso y somerización de la cuenca, demostrado por la presencia del género *Spiroplectamina* que indicó aguas someras e hiposalinas. En el Bruswickiano (Eoceno temprano-Paleoceno tardío) se habría restablecido las condiciones normales de salinidad, debido a la ingesión de las aguas con profundidad de 200 m (plataforma externa), aquí las formas planctónicas alcanzaron su mejor representación. Estas condiciones ecológicas se habrían mantenido durante el Clarenciano.

La segunda ingesión, ocurrida durante el Cameroniano (Eoceno tardío) sería la causa de la presencia de géneros como *Cibicides*, *Pyrgo* y *Martinotiella*. En el piso Moritziano (Eoceno medio superior) se presentó una disminución de formas planctónicas lo cual indica aguas de plataforma interna. Durante el Rosariano-Miradoriano (Eoceno tardío-Oligoceno temprano) y Gaviotiano (Oligoceno temprano) la presencia de *Boltovskoyella argentinensis* y formas aglutinadas confirman una asociación típica de ambientes de plataforma interna. La autora

propuso que la fauna que constituyeron los diferentes pisos tiene homeomorfos que viven en los océanos actuales.

2.1 Los foraminíferos en la industria petrolera: Golfo de México

La reconstrucción de ambientes a partir de foraminíferos ha formado parte de los estudios realizados en la zona del Golfo de México, tal es el caso de Flower & Kennett (1990) quienes analizaron el evento de enfriamiento llamado “Joven Dryas” en el Golfo de México a partir de datos obtenidos del núcleo EN32-PC4 localizado en la cuenca Orca. Los datos obtenidos confirmaron la existencia de un congelamiento del agua superficial durante los 11-10 ka. Las especies de foraminíferos del glacial tardío reaparecieron entre los 11.4-9.8 kiloaños (1ka=1,000 años), un episodio además marcado por valores altos de isotopos de oxígeno derivado de la especie planctónica *Globigerinoides ruber*. Un rápido decremento de valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en formas blancas de *G. ruber* hace 10.2 ka fue explicado por una significativa entrada de agua de deshielo en el golfo y un rápido incremento en la temperatura superficial del mar. También, no observaron decrementos en las formas rosa de *G. ruber*, un habitante de aguas superficiales en verano. Esta discrepancia puede ser explicada por una entrada continua de agua de deshielo durante el Joven Dryas solo en verano, tal que estos no tuvieron cambio en el $\delta^{18}\text{O}$ durante el fin de dicho evento. La coincidencia de los rápidos cambios en $\delta^{18}\text{O}$ sugiere una relación causal dinámica basada en el deshielo del glacial Laurentide.

Denne & Sen (1991) realizaron un estudio de asociación de especies de foraminíferos batiales con masas de agua en la parte noroeste del golfo. Analizaron la parte superior de 120 muestras tomadas a profundidad entre 87-1,361 m. Mediante un análisis cluster-tipo Q y ACP tipo R lograron distinguir cinco asociaciones faunísticas relacionadas con cinco masas de agua. *Ruessella atlántica*, *Bigenerina irregularis* y *Angulogenerina bella* fueron particularmente asociadas con la Capa de Mezcla Superficial; *Bulimina spicata*, *Planulina foveolata* y *Cibicidoides umbonatus* con el Agua del Golfo; *Sphaeroidina bulloides*, *Bulimina mexicana* y *Siphonina bradyana* fueron asociadas el Agua de Mínimo Oxígeno; *Epistominella exigua* con el Agua Intermedia Subantártica; y *Gyroidinoides laevis*, *Cibicides wuellerstorfi*, *Pullenia subshaerica*, *Bulimuna aculeata*, *Gyroidinoides polius* y *Laticarinina pauperata* con el Agua Intermedia del Caribe.

Aharon (2003) analizó registros isotópicos de oxígeno y carbono obtenidos de conchas de foraminíferos planctónicos de las especies *G. ruber* blanca y *N. dutertrei*, obtenidas en siete muestras de núcleo de pistón entre los 401-1,112 m de profundidad. Los registros mostraron evidencia de una sucesión de cinco eventos de inundación de agua de deshielo y cuatro pausas a través de la ruta de la parte norte durante un intervalo de 16-8.9 ka. Los resultados indicaron que el Golfo de México actuó como una fuente de superinundaciones hace 13.4, 12.6 y 11.9 ka que alcanzó el Atlántico norte y contribuyó significativamente a la estratificación, interrupción de la ventilación oceánica y reversiones. Los eventos naturales de flujo

de agua de deshielo dentro del golfo fueron confirmados por picos contemporáneos, obtenidos de aproximaciones relacionadas con la intensidad de erosión.

Flower *et. al.* (2004) analizaron $\delta^{18}\text{O}$ y datos de relación Mg/Ca obtenidos de testas de foraminíferos de la especie *Globigerinoides ruber*, encontrados en el núcleo EN32-PC6 en la cuenca Orca. Identificaron cambios en la temperatura superficial del mar (TSM) mediante valores de $\delta^{18}\text{O}$. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en *G. ruber* evidenciaron dos inundaciones causadas por el agua de deshielo del Laurentide. Las comparaciones de los registros de TSM basados en proporciones de Mg/Ca con registros de núcleos de hielo revelaron un gradual calentamiento $>3^\circ\text{C}$ hace 17.2-15.5 ka. Además, la base de datos de TSM es consistente con asociaciones de foraminíferos que indican TSM cálidas. Con este estudio infirieron un breve congelamiento subsuperficial cerca del inicio del evento "Joven Dryas" hace ~ 13 ka, esto basado en reapariciones de la especie de ambiente glacial *Globoconella inflata*. La TSM incrementó para el Último Máximo Glacial (UMG) con valores de $23.6 \pm 0.5^\circ\text{C}$ al Holoceno temprano con valores de $27.8 \pm 0.4^\circ\text{C}$ principalmente entre los 17.2-15.2 ka.

Denne & Sen (2005) examinaron foraminíferos bentónicos para la parte noroeste del golfo encontrados entre los 283-1,341 m de profundidad. Los sedimentos presentaron una edad de 15 ka. Estos revelaron cambios en sus asociaciones durante la transición del UMG a un periodo interglacial. Registraron un importante cambio del Agua Intermedia Nortatlántica presente durante el UMG al Agua Intermedia Subantártica que es la que se encuentra en el golfo actual. Identificaron tres eventos de cambio faunístico, al parecer relacionados con cambios en las masas de agua (hace 13 y 11 ka) y en la materia orgánica presente en el sustrato (hace 4.5 ka).

Pérez (2005) realizó un manual para el control geológico en la perforación del pozo Fourier-1 como productor de gas y petróleo mediante el uso de micropaleontología y sedimentología, localizado en la cuenca de Veracruz. Analizó la litología desde los 105-2,441 m de profundidad encontrando una serie de intercalaciones de cuerpos de areniscas y lutitas. A los 1,610 m y 1,853 m de profundidad observó manifestaciones de gas. La secuencia comprende desde el Mioceno superior al Reciente, registrando tres cimas cronoestratigráficas: a los 220 m el Plioceno medio con *Globigerinoides obliquus extremus*; 420 m el Plioceno inferior con *Globorotalia margaritae margaritae* y a 2,200 m el Mioceno superior con *Globorotaloides variabilis*.

Sánchez *et. al.* (2006) realizaron la bioestratigrafía de alta resolución con base en nanopláncton calcáreo, foraminíferos planctónicos y bentónicos así como con palinomorfos marinos y continentales de dos pozos localizados en la parte occidental del golfo. Procesaron 600 muestras de canal y de núcleo las cuales fueron analizadas de manera sistemática e integraron los datos taxonómicos de abundancia y diversidad específica de los microfósiles. La edad asignada a los

sedimentos fue del Mioceno medio al Pleistoceno inferior. El Mioceno tardío presentó una paleobatimetría en la cual se depositaron sedimentos correspondientes a la zona Nerítica externa-Batial superior. El Plioceno presentó una paleobatimetría correspondiente al Nerítico interno-Batial superior. Los sedimentos del Pleistoceno inferior se depositaron a una profundidad somera de Nerítico interno-Nerítico medio.

Narváez-Rodríguez *et. al.* (2008) presentaron un análisis integrado de nanofósiles calcáreos, foraminíferos y registros geofísicos en la cuenca Macuspana, parte sureste del golfo. El material analizado correspondió a muestras de canal y de núcleo de dos pozos exploratorios con el fin de determinar cambios en los conjuntos de microfósiles y correlacionar las secciones estratigráficas. Reportaron que los sedimentos fueron depositados desde el Mioceno medio hasta el Pleistoceno. Los nanofósiles calcáreos fueron comunes en la mayoría de los niveles. La distribución de siete conjuntos de foraminíferos bentónicos constituyó la base de la reconstrucción paleobatimétrica de la cuenca y su diversidad permitió determinar ambientes desde someros a profundos (nerítico interno, medio y externo a batial superior).

Machain-Castillo *et. al.* (2010) estudiaron las repercusiones de los cambios climáticos durante el UMG asociados con cambios en la estructura y química del agua de fondo de la parte suroeste del golfo por medio de análisis numérico de foraminíferos bentónicos en tres núcleos sedimentarios. Para un mejor entendimiento de la distribución de los foraminíferos bentónicos modernos en las aguas batiales y abisales, analizaron datos de especies correspondientes a la parte superior de doce núcleos sedimentarios. Mediante un Análisis de Factores tipo Q lograron delimitar dos principales asociaciones: la asociación dominada por *Nuttallides decorata*, *Alabaminella turgida*, *Ioanella tumidula* y *Globocassidulina subglobosa* del Agua profunda Noratlántica (APNA a profundidades mayores de 2,000 m) y la segunda asociación dominada por *Boliviana lowmami*, *Bulimina aculeata*, *Alabaminella turgida*, *Globocassidulina subglobosa*, *Epistominella exigue* y *E. vítrea*, características de aguas más someras del Agua Antártica Intermedia y el Agua del Caribe. El estudio de la fauna mostró diferencias entre asociaciones dominantes del UMG y el Holoceno. Estas diferencias se pueden relacionar con las modificaciones producidas por los cambios climáticos. Durante el UMG *Alabaminella turgida*, especie altamente sensitiva a bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, y un grupo de especies susceptibles a la disolución tales como *Biloculinella irregularis* y *Cornuloculina inconstans* prosperaron en la parte más profunda del área en estudio indicando la presencia de las aguas bien oxigenadas correspondientes a la APNA glacial. Al cesar la producción de esta masa de agua en el Holoceno, las áreas profundas del Golfo de México fueron ocupadas por el APNA actual, con menor concentración de oxígeno y mayor CO₂.

Esta masa con mayor corrosividad no permitió la presencia del conjunto de especies poco tolerantes a la disolución, excepto en las zonas cercanas a la plataforma de Yucatán, donde se presenta un mayor contenido de oxígeno y carbonato de calcio.

3. JUSTIFICACIÓN

Aunque PEMEX tiene gran actividad petrolera en la Cuenca de Burgos, no se conocen estudios publicados sobre foraminíferos enfocados a su aplicación en estratigrafía para la exploración petrolera y otros aspectos, tales como identificación de biofacies y reconstrucción de paleoambientes. Es por esta razón, que para el pozo de exploración petrolera mexicana ANOMA-1, se realizó por primera vez, el análisis integral de la abundancia de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos con el objetivo de obtener la sucesión cronológica de eventos de depositación de especies de foraminíferos así como las especies correspondientes a cada evento y con ellas, además de literatura disponible, inferir posibles paleoambientes ocurridos en el Golfo de México durante el tiempo geológico comprendido entre el Aquitaniano (Mioceno) y Calabriano (Pleistoceno inferior); constituyendo así, un complemento a otros estudios paleoceanográficos para reconstruir sucesiones de eventos climáticos pasados y entender cambios futuros.

4. HIPÓTESIS

-Tomando en cuenta la lejanía que el pozo ANOMA-1 tiene con respecto a la costa de Tamaulipas, se espera encontrar en el registro fósil, una mayor cantidad de especies de foraminíferos planctónicos que bentónicos.

- De acuerdo con periodos de enfriamiento o calentamiento se espera encontrar diferentes grupos de ensambles de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Obtener la sucesión cronológica de eventos de depositación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos en la Cuenca de Burgos, Tamaulipas, México (con énfasis en el pozo de exploración petrolera ANOMA-1), para inferir con interpretaciones paleoceanográficas y paleoecológicas, los posibles paleoambientes ocurridos entre los pisos Aquitaniano (Mioceno) - Calabriano (Pleistoceno inferior).

5.2 Particulares

- Reconstruir la sucesión cronológica de eventos de depositación de especies de foraminíferos registradas durante el Mioceno-Pleistoceno inferior mediante un análisis multivariado.

- Identificar los pisos correspondientes a cada evento de depositación así como las especies correspondientes a cada una de ella.
- Diferenciar la tendencia dominante de las especies planctónicas y bentónicas en el periodo de estudio.
- Inferir los posibles paleoambientes ocurridos en el periodo en estudio a partir de interpretaciones paleoecológicas y paleoceanográficas.

6. ÁREA DE ESTUDIO

6.1 Golfo de México

El Golfo de México es un mar marginal, se comunica con el océano Atlántico por el estrecho de Florida y con el mar Caribe a través del canal de Yucatán. La cuenca se caracteriza por tener una estructura de forma concéntrica y escalonada en el talud con una profundidad mayor a 4,000 m en su región central.

El pozo ANOMA-1 se localiza sobre la provincia Plataforma y Talud Continental del Este de México la cual está delimitada por ciertos rasgos estructurales, tectono-sedimentarios y batimétricos del fondo marino (Segura, 2009; Galloway *et. al.*, 2009 *in* Núñez-Useche *et. al.*, s/a; Pérez, 2010; Valle, 2011; De la Lanza *et. al.*, 2013) (Fig. 5). La plataforma se orienta al oeste con 70-82 km de amplitud (De la Lanza-Espino, 1991). En general esta región está afectada por los vientos que tienen una fuerte componente estacional, generando corrientes hacia el norte durante el verano y hacia el sur durante el otoño e invierno. Tiene mucho intercambio con la plataforma de Texas y está fuertemente afectada por los remolinos que interactúan con el talud, principalmente en la plataforma externa. La influencia de los remolinos es mayor en la zona de Tamaulipas (Zavala & Fernández, 2004).

6.1.1 Circulación y masas de agua

La circulación oceánica del Golfo de México se debe principalmente al viento y al transporte de masas de agua. El agua cálida y salina que llega por el Canal de Yucatán es llevada hacia el estrecho de Florida formando la llamada Corriente de Lazo. De esta parte se forma un gran giro anticiclónico que afecta los patrones regionales de corrientes (Denne & Sen, 1991; Zavala & Fernández, 2004; Monreal & Salas de León, 2004; Manzano-Sarabia & Salinas-Zavala, 2008).

Se ha reportado que, dentro del golfo se forman seis masas de agua. La Capa de Mezcla Superficial (CMS), presente a una profundidad de 100 m, es relativamente homogénea con respecto a la salinidad y temperatura. Estas varían con relación a las estaciones. Por debajo se encuentra el Agua del Golfo (AG). Esta masa está caracterizada por una alta salinidad (promediando 36.4-36.5) entre los 100-250 m de profundidad (Caso *et. al.*, 2004). El Agua de Mínimo Oxígeno localizada a 250-650 m de profundidad está caracterizada por presentar un contenido bajo de oxígeno disuelto (2.5-2.9 ml/l). El Agua Intermedia Subantártica (AISA)

generalmente tiene un límite entre 550-1000 m de profundidad y está caracterizada por presentar un mínimo de salinidad de 34.8. El Agua Media del Caribe caracterizada por presentar los valores más altos de silicatos y ligeramente baja salinidad. La masa de agua profunda llamada Agua de la Cuenca del Golfo se encuentra a profundidades mayores a 1,500 m de profundidad. Esta masa de agua es reconocida por presentar temperatura, salinidad y oxígeno homogéneo (Denne & Sen, 1991).

6.1.2 Remolinos

En el Golfo de México se forman giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo, lo que favorece la productividad biológica. Los giros anticiclónicos (movimiento en sentido de las manecillas de un reloj) presentan un hundimiento de agua de alta temperatura y con bajo contenido de nutrientes; por sus características estos giros son denominados cálidos y pobres, y tienen una duración de alrededor de un año. Sin embargo, son importantes en los procesos biológicos porque cuando se presentan en una región próxima a un giro ciclónico, en la frontera entre ellos, se forma un frente oceánico, denominado frente geostrofico (Monreal & Salas, 2004; Zavala & Fernández, 2004).

El giro anticiclónico presenta un mecanismo de formación de un núcleo cálido de alta salinidad. Este núcleo se desplaza hacia el oeste, donde se disipan al interactuar con el talud continental de los estados de Tamaulipas y Texas. Tienen un diámetro de más de 300 km y una profundidad de 1,000 m (Zavala & Fernández, 2004; Monreal & Salas de León, 2004).

6.1.3 Vientos

En el Golfo de México son de particular importancia los vientos sobre la plataforma continental. En el lado oeste estas corrientes varían a lo largo del año ya que los vientos cambian de dirección, siendo predominantemente del sureste durante el verano y del noreste en el otoño e invierno, por lo que, para estas temporadas, las corrientes a lo largo de las costas de Tamaulipas y Veracruz van en dirección hacia el sur (Zavala & Fernández, 2004).

El Golfo de México está influenciado por las masas de aire frío y seco que provienen del continente (Canadá, Estados Unidos y México), las cuales al encontrarse con las masas de aire propias del Golfo, de origen marítimo y tropical, provocan frentes fríos principalmente de octubre a abril. Estos meses son los más extremos en el patrón de circulación superficial. Los vientos tienen gran importancia en la mezcla vertical del Golfo de México. En el invierno los nortes y en el verano las tormentas tropicales y los huracanes, hacen más profunda la capa mezclada incorporando nutrientes en la zona fótica (Zavala & Fernández, 2004).

La presencia de un frente frío en el golfo produce vientos que soplan de norte a sur (nortes). Durante el invierno se presentan las temperaturas más bajas del ciclo anual que resultan de los frentes polares y nortes. El frente frío genera nubes provocando

lluvias invernales. En el verano, el Golfo de México es influenciado por tormentas tropicales (Caso *et. al.*, 2004; Monreal & Salas de León, 2004). Estas características meteorológicas tienen gran influencia en la zona costera debido a la descarga de agua dulce que modifica la posición de la termoclina haciéndola más profunda e influye en la circulación general.

6.1.4 Ríos y sedimento

Los ríos influyen en las corrientes ya que al descargar aguas de baja salinidad, al entrar en contacto con el agua de mar, por diferencias de densidad se estratifica, el agua dulce se desplaza por arriba de la marina y cuando está en movimiento tiende hacia la derecha por efecto de Coriolis (Zavala & Fernández, 2004).

En la región de Tamaulipas y Veracruz, las corrientes inducidas por los ríos y las producidas por los vientos tienen la misma dirección durante el otoño e invierno, pero los vientos del verano tienen una dirección contraria, lo que provoca flujos complejos cerca de las desembocaduras de los ríos. Uno de los aportes de agua más importantes para la plataforma mexicana del Golfo de México proviene del río Mississippi, las cuales penetran durante el otoño e invierno hacia los estados de Tamaulipas y Veracruz (Zavala & Fernández, 2004).

La distribución, tipo y origen de los sedimentos en el piso del Golfo de México están relacionados con las características intrínsecas (e.g. orientación de la plataforma) (De la Lanza-Espino, 1991). La zona costera del estado de Tamaulipas se caracteriza por tener un origen acumulativo, asociada en los dos primeros tercios de esta región a un retroceso de la línea de costa por sumersión (subsistencia). Recibe los aportes de agua y sedimento de los ríos que integran las regiones Bravo-Conchos, San Fernando-Soto La Marina y Pánuco (Manzano-Sarabia & Salinas-Zavala, 2008; Galloway *et. al.*, 2009 *in* Núñez-Usecche *et. al.*, 2014; De la Lanza *et. al.*, 2013).

Frente al estado de Tamaulipas los sedimentos están dominados por lodos terrígenos, cuya presencia se debe a las descargas de agua de ríos (De la Lanza-Espino, 1991). Se ha demostrado que el horizonte superior que cubre el fondo marino (5-50 cm) está compuesto en su mayoría por lodo rico en carbonato de calcio, subyacente por una alternancia de capas de arcilla y limo, pobres en carbonato de calcio (Trask *et. al.*, 1947 *in* Núñez-Usecche *et. al.*, 2014). En los sustratos del fondo marino a lo largo de toda la plataforma, el talud y la planicie frente a Tamaulipas, predominan las arcillas-limos y arenas fangosas (De la Lanza-Espino, 1991; Manzano-Sarabia & Salinas-Zavala, 2008).

6.2. Marco geológico y paleoceanográfico del Golfo de México

Desde su origen la fisiografía del Golfo de México ha cambiado y ha sido modificado por procesos geológicos y climáticos tanto a escala regional como global. El proceso tectónico y sedimentario del golfo se caracterizó por una subsistencia lenta que comenzó desde el Jurásico medio hasta la actualidad. Los eventos climáticos a nivel

global durante este periodo generaron las características bióticas y abióticas (Pérez, 2010; Valle 2011).

Desde el Eoceno tardío hasta el Plioceno la forma y el tamaño de la cuenca dependieron totalmente del flujo de sedimento clástico generado por el evento tectónico que dio origen a las cadenas plegadas y cabalgadas del occidente del Golfo de México (específicamente las sierras y cuencas de Coahuila, la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Zangolica). Esta condición tectónica favoreció el incremento del aporte de grandes volúmenes de sedimentos clásticos después del fin de la orogenia. Durante este tiempo se depositaron gruesos espesores de arenas finas en el talud del occidente del Golfo de México y planicie costera, al mismo tiempo que los sedimentos más finos se iban depositando en las partes más profundas (Goldhammer, 1999 *in* Padilla, 2007).

El aporte de sedimentos a la cuenca durante el Mioceno fue menor comparado con los espesores de sedimentos acumulados en periodos anteriores (Paleoceno y Eoceno). Durante este periodo en las costas de Tampico-Misantla y Veracruz se desarrollaron una serie de estructuras plegadas llamadas Cordilleras Mexicanas (Pérez, 2010).

Estas consisten en una serie de levantamientos batimétricos en el fondo marino formados por plegamientos paralelos entre sí y a la línea de costa, lo cual dio como resultado que el transporte de sedimentos al interior de la cuenca en el oeste del Golfo de México hubiera quedado parcialmente restringido (Bryant *et. al.*, 1968 *in* Pérez, 2010; Morales *et. al.*, 2013).

A finales del Mioceno e inicios del Plioceno se llevó a cabo el evento de pliegue de la Cadena Montañosa de Chiapas lo que contribuyó a que durante el Plioceno y Pleistoceno se produjera una depositación de varios kilómetros de espesor de sedimentos formando pliegues orientados NW-SE y con convergencia al noroeste. Con esto se movilizó un volumen importante de sal hacia el norte-noroeste generado por la inclinación del bloque geológico creando así centros de depositación de varios kilómetros de espesor de sedimentos clásticos que empezaron a deslizarse por gravedad (Padilla, 2007).

Waelbroeck *et. al.* (2002) realizaron la interpretación paleoceanográfica del pozo petrolero V3-128, localizado en el Golfo de México a los 23°77" N y -92°48" O durante el periodo comprendido entre 429.5-0.5 Ma (Fig. 4a). Los autores propusieron las siguientes series de tiempo para la reconstrucción paleoambiental entre 429.5-0.5 Ma: (a) el nivel relativo del mar por debajo del nivel actual (RSL en m), compatible con el RSL de los últimos cuatro ciclos climáticos, (b) temperatura superficial del mar (SST en °C) y (c) el porcentaje promedio del isótopo de oxígeno 18 ($\delta^{18}\text{O}$ ‰) (Tabla 6). Esta información puede ser consultada en el portal *National Center for Environmental Information* (NOAA: <https://www.ncei.noaa.gov>).

6.3 Pozo ANOMA-1 para la exploración petrolera mexicana

Al norte del Golfo de México, en la Zona Económica Exclusiva de EE.UU., se registra una gran actividad petrolera frente a las costas de los estados de Texas y Louisiana (Fig. 3) (Cantú, 2010).

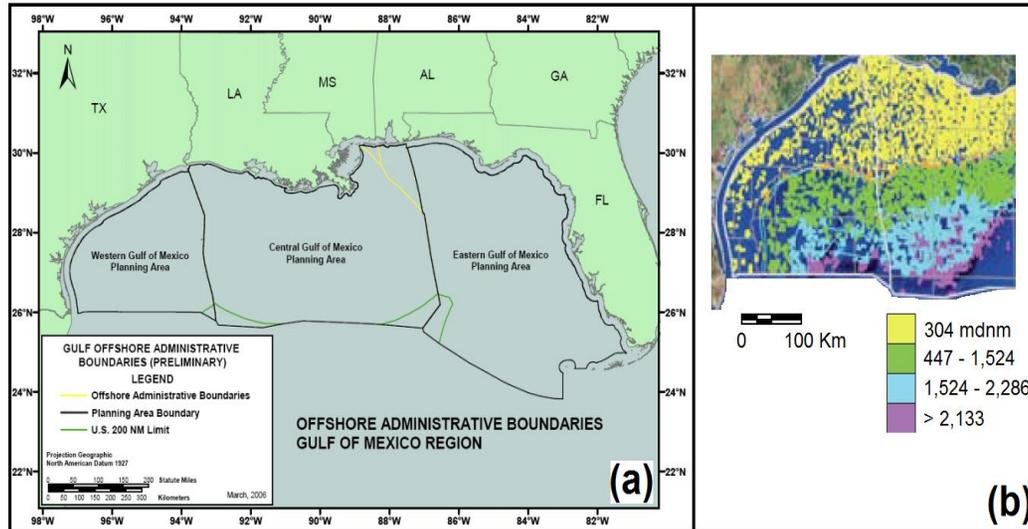


Figura 3. Áreas de planificación para la exploración petrolera en el Golfo de México correspondiente a EE.UU. a) Western Gulf of Mexico Planning Área, EE.UU. b) Distribución de la intensidad de perforación en Western Gulf of Mexico Planning Área, EE.UU. (Estrada, 2007; Cantú, 2010; Oil & Gas, 2016).

El pozo ANOMA-1 es una perforación petrolera ubicado en el borde de la plataforma continental frente al estado de Tamaulipas. Este pozo tiene colindancia al norte con la región petrolera *Western Gulf of Mexico Planning Area*, EE.UU (Fig. 4a); por esta razón se sustenta que ahí, en los estratos profundos del lecho marino deben estar presentes grandes yacimientos de gas y petróleo. Por lo anterior y desde 1948, en el campo Reynosa “Cuenca de Burgos” se han realizado 334 perforaciones terrestres y marinas de los cuales 234 resultaron productivos pero actualmente solo 81 de ellos están activos (González & Holguin, 1992; Oviedo, 2006; Cantú, 2009; Lajous, 2009; Cantú-Chapa, 2010; Saldaña & Shield, 2010).

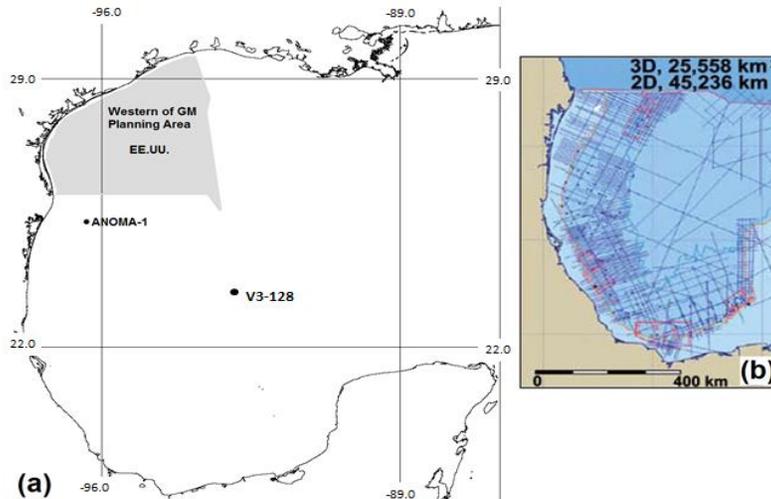


Figura 4. Ubicación geográfica del pozo de exploración petrolera ANOMA-1 y su cercanía con Western Gulf of Mexico Planning Área. a) El pozo petrolero V3-128 (Waelbroeck *et. al.*, 2002). b) Registro de perforaciones petroleras por transectos en el Golfo de México (Oviedo, 2006; Segura, 2009; Cantú, 2010).

El pozo ANOMA-1 se localiza a una distancia de 66,092 km al norte de la Laguna Madre, Tamaulipas (Fig. 4a). Este pozo fue perforado en 2005 en el borde continental del lecho marino entre 915 y 4,030 mblm (metros por debajo del lecho marino (Fig. 5). Cantú (2010) mencionó que la técnica de perforación utilizada fue la misma que en la Zona Económica Exclusiva de EE.UU. (Fig. 4), donde las perforaciones fueron secuenciales avanzando gradualmente por un mismo transecto desde el litoral (a 305 mblm) hacia aguas más profundas (>2,133 mblm) (Fig. 4b y 3b). Para el caso de la provincia petrolera “Golfo de México Profundo” el avance es desde la Zona Económica Exclusiva de México (isobata a los 200 mblm) y hacia la planicie abisal (>2,133 mblm) (Fig. 4b) (Oviedo, 2006; Segura, 2009; Cantú-Chapa, 2010).

De acuerdo con Pérez (2005), para la perforación de pozos petroleros (*e.g.* ANOMA-1), se sigue una trayectoria direccional, iniciando su desviación a los 620 m de profundidad, obteniendo un ángulo máximo de inclinación de 55.93° con relación a las coordenadas de inicio de perforación.

Durante las perforaciones, según las etapas programadas, se utilizaron diferentes barrenas y tuberías de revestimiento. Así, entre 0 y 100 mblm, la barrena que comúnmente se utiliza es tricónica de 17 1/2" de diámetro y tubería de revestimiento con 13 3/8" de diámetro. A 600 mblm, la barrena de tipo PDC con diamante policristalino (12 1/4" de diámetro) y tubería de revestimiento de 9 5/8" de diámetro. Después de 2,441 mblm, la barrena es de tipo PDC con 8 1/2" de diámetro y tubería de revestimiento con 3 1/2" de diámetro.

Durante la perforación del pozo se utilizaron tres tipos de lodos, dos con base agua (bentonítico y polimérico) y uno con base aceite (emulsión inversa), los cuales

durante el desarrollo de la perforación generalmente experimentan un aumento en su densidad, esto a manera de proteger las paredes del pozo y evitar derrumbes, invasiones de agua de formación o del mismo lodo, como medio de arrastre a los cortes y como lubricante para la barrena (Pérez, 2005).

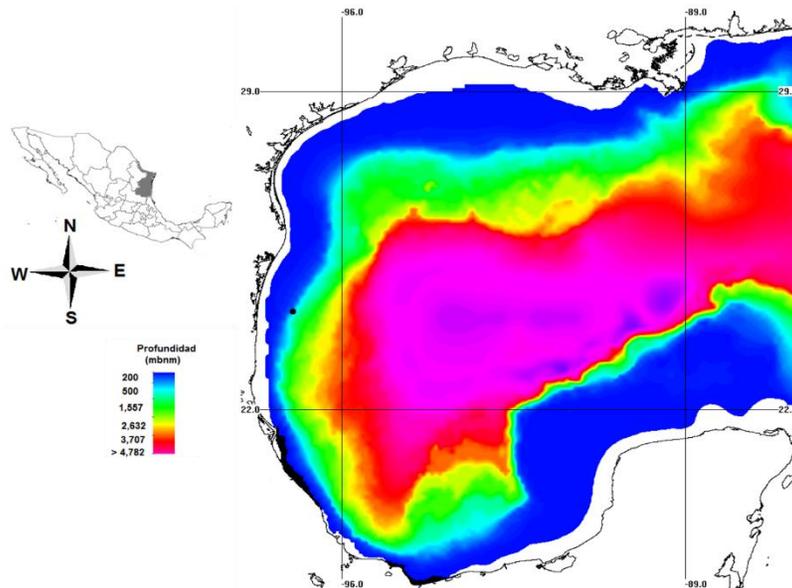


Figura 5. Ubicación geográfica del pozo de exploración petrolera ANOMA-1 en relación a la batimetría y borde continental del Golfo de México.

7. METODOLOGÍA

7.1 Obtención de la información

La disponibilidad de informes sobre las actividades de PEMEX en el Golfo de México resulta muy escasa y en particular, lo referente al pozo ANOMA-1. A pesar de lo anterior, un convenio realizado entre UMAR-PEMEX se logró establecer a través de las siguientes partes involucradas: la Biol. Mar. Andrea Flores Gómez (representante PEMEX) y el Dr. Pedro Cervantes Hernández (representante Universidad del Mar, campus Puerto Ángel). Mediante este convenio y para su análisis en la UMAR, se proporcionó un reporte técnico bioestratigráfico de alta resolución.

Este reporte se generó a partir del análisis de muestras de canal obtenidas durante la perforación del pozo ANOMA-1 en el año 2005 e incluyó registros de abundancias de fósiles identificados a nivel de especies pertenecientes a diferentes taxa, entre estos, foraminíferos planctónicos y bentónicos sedimentados entre los pisos Aquitaniano (Mioceno) y Calabriano (Pleistoceno inferior) (Tabla 1 y 2). El trabajo de laboratorio (Anexo IV) y el reporte fueron elaborados por el Sistema de Bioestratigrafía (SB), adjunto al departamento de Exploración y Producción de PEMEX. Número de expediente: ANOMA-1 UWI-1030024223. Paleontólogo responsable: Carmen Torres Estrada y Héctor Ruiz, captura de datos: Biol. Mar. Andrea Flores Gómez.

Tabla 1. Bioestratigrafía del pozo ANOMA-1 según el reporte técnico: ANOMA-1 UWI-1030024223. Serie: Pleistoceno inferior (Pleis. Inf.). Nomenclatura (Nom.): Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piacenziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML), Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP). Profundidad (Z) en metros por debajo del lecho marino (mblm). Nerítico (N), Batial (B). Edad en millones de años (Ma) se estableció según la *International Commission on Stratigraphy*.

Eóntema	Eratema	Sistema	Serie	Piso	Nom.	Z	Edad	
Fanerozoico	Cenozoico	Terciario	Cuaternario	Pleis.Inf.	Calabriano	CPC	915-1,080 ^N	0.7-1.8
					Gelasiano	TPGP	1,100-1,360 ^N	2.5
			Neogeno	Plioceno	Piacenziano	TPTG	1,380-1,800 ^N	3.6
					Zancleano	TPTZ	1,820-2,380 ^B	5.3
			Mioceno	Mesiniano	TMTM	2,400-2,680 ^B	7.2	
					Tortoniano	TMTT	2,700-2,710 ^B	11.6
					Serravaliano	TMMSP	2,720-2,880 ^B	13.8
					Langhiano	TMML	2,900-2,920 ^B	15.9
					Burdigaliano	TMTB	2,940- 3,420 ^B	20.4
					Aquitaniano	TMTAP	3,440- 3,629 ^B	23

Tabla 2. Ficha técnica general del informe ANOMA-1. Fuente: Sistema de Bioestratigrafía, departamento de Exploración y Producción de PEMEX. Profundidad en metros por debajo del lecho marino (mblm). Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM).

Ubicación	Región norte
Grupo fósil	Foraminíferos planctónicos y bentónicos
Profundidad inicial de registro	915 mblm
Profundidad final de registro	4,030 mblm
Localización geográfica UTM	740305.00 (X), 2817535.00 (Y)
Zona UTM 14	Elipsoide Klark 1866
Latitud-Longitud	25° 27'24.8"N, 96° .36'36.6" O
Tipo de profundidad	Nerítico y Batial

7.2 Consideraciones previas a la simulación general

Como una primera instancia, el reporte técnico fue revisado exhaustivamente para corroborar que en los siguientes pisos: (i) Aquitaniano, Burdigaliano, Langhiano, Serravaliano, Tortoniano, Mesiniano (serie Mioceno), (ii) Zancleano, Piacenziano (serie Plioceno), Gelasiano y (iii) Calabriano (serie Pleistoceno inferior), las especies reportadas fuesen efectivamente foraminíferos.

En el reporte técnico no estuvieron incluidos registros numéricos para definir cuantitativamente la abundancia de las *i* especies registradas en cada *j* piso; en vez de ello, los responsables utilizaron una escala cualitativa constituida por siete clases

(Tabla 3), identificada como Escala I. Para ordenar el total de los conteos en clases cuantitativas, se implementó un histograma de frecuencias (Zar 1999). Con este análisis se generó la Escala II inscrita en la Tabla 3; pero que a diferencia de la Escala I, una escala cualitativa considerada en esta fue eliminada.

Para este caso en particular, la clase “muy raro” se sustituyó por la “no presente” para aquellas especies de foraminíferos que presentaron 0 registro de abundancia en algún piso, la clase “raro” se fusionó con la clase “poco”, ya que el número de registros mínimo para una especie fue de 25; mientras que se conservaron las clases “frecuente”, “común”, “abundante” y “prolífero”.

Tabla 3. Escala cualitativa correspondientes a la abundancia de especies de foraminíferos.

Escala I		Escala II	
Clase	Ejemplares	Clase	Ejemplares
Muy raro	0-1	No presente	0
Raro	2-4	Raro	24-75
Poco	5-24	Frecuente	76-175
Frecuente	25-99	Común	200-500
Común	100-499	Abundante	500-1250
Abundante	500-999	Prolífero	>1250
Prolífero	>1000		

La información inscrita en las Tablas 1 y 3, se utilizó como una guía para estructurar un nuevo arreglo matricial denominado “abundancia de foraminíferos” o matriz N (Anexo I), consistiendo específicamente de 165 renglones (las i especies de foraminíferos corroboradas) y 10 columnas (los j pisos reportados). La información numérica inscrita en la Tabla 3, fue la base principal con la que se contabilizaron las i especies de foraminíferos registradas en cada j piso. En el Anexo I se encuentra la matriz N mostrando los conteos obtenidos para cada interacción (i,j) .

7.3 Análisis de la matriz N

La matriz N fue analizada con la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP); distinguiendo entre dos tipos de ACP: (i) entre los j pisos (análisis Q) y (ii) entre las i especies (análisis R).

7.3.1 ACP entre los j pisos

La matriz de correlación entre los j pisos (m_corr_Q) fue estimada (Ecuación 3) y con base en esta información, una nueva ordenación de éstos se simuló vía ACP. Con el resultado de esta ordenación, se determinaron la sucesión de eventos de depositación para todas las i especies de foraminíferos durante el transcurso Mioceno-Pleistoceno inferior (Tabla 1). Para el ACP, los nCP (componentes principales) que resultaron seleccionados se consideraron como independientes

(Hair *et. al.*, 1999; Sen, 2003; Dowsett *et. al.*, 2005) y en cada uno de éstos, representó un evento completo de depositación ocurrido a lo largo de los j pisos. Cuando los nCP fueron comparados juntos gráficamente, se visualizó la sucesión de los eventos de depositación.

A continuación se describe el proceso matricial enfocado al ACP entre los j pisos:

1.- Cada interacción (i,j) incluida en la matriz N fue normalizada bajo el criterio de j , esto es:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_{ij}}{\sigma_j} \quad (1)$$

Donde

Z_{ij} es el valor normalizado de la abundancia para la i especie de foraminíferos en cada j piso.

x_{ij} es el valor de la abundancia para la i especie de foraminíferos en el j piso.

\bar{x}_{ij} es el valor medio de la abundancia de foraminíferos en cada j piso.

σ_j es la desviación estándar de la abundancia de foraminíferos en cada j piso.

A la matriz con el resultado de las interacciones normalizadas (i,j) , se le denominó matriz Z_Q .

2.- La matriz de correlación entre los j pisos aporta la relación que existe entre las especies de foraminíferos y el piso en el que fueron depositados. Fue estimada previo a la ejecución del ACP de la siguiente manera:

$$SCPC = Z_Q' * Z_Q \quad (2)$$

$$m_corr_Q = \frac{SCPC}{nR} \quad (3)$$

Donde

$SCPC$ es la matriz para la suma cuadrada de productos cruzados matriciales.

Z_Q' es la matriz transpuesta de Z_Q .

m_corr_Q es la matriz de correlación entre los j pisos.

nR es el número total de especies de foraminíferos ($i=165$).

7.3.2 ACP entre las i especies

La matriz de correlación entre las i especies (m_corr_R) fue estimada (Ecuación 5) y con base en esta información, una nueva ordenación de éstas se simuló vía ACP. Con el resultado de esta ordenación (referida como matriz de *Scores* en el programa STATISTICA ©), se identificaron y se asignaron para cada nCP (generados en el

ACP entre los j pisos), las i especies de foraminíferos depositados a lo largo de los j pisos.

Para el análisis entre las i especies, el ACP se resolvió como se indicó anteriormente, pero en la Ecuación 1, los valores promedio y de la desviación estándar se estimaron tomando como criterio la abundancia de las i especies, la SCPC se calculó mediante $Z_R * Z_R'$ (Ecuación 4) y el denominador en la Ecuación 3, cambió por nQ que es el número total de pisos ($j= 10$) (Ecuación 5).

$$SCPC = Z_R * Z_R' \quad (4)$$

$$m_corr_R = SCPC / nQ \quad (5)$$

Ambos tipos de ACP fueron desarrollados según Hair *et. al.*, (1999) y con la versión 7.0 del programa STATISTIC[®]. Los resultados del ACP fueron desplegados en forma matricial, implementando para cada caso, matrices de cargas factoriales cuyas dimensiones (j) dependieron de los nCP extraídos; pero para el análisis entre los j pisos, la dimensión i fue constante en 10 (Tabla 4) y para el análisis entre las i especies, la dimensión i fue constante en 165 (Anexo II). Ambos tipos de matrices se denominaron matrices de cargas factoriales.

En cada matriz de cargas factoriales (Tabla 4 y Anexo II), la ij carga factorial es la magnitud de correlación (positiva o negativa) que cada i especie o j piso generó con respecto al nCP en donde fue ordenado (Hair *et. al.*, 1999; Sen, 2003; Almeida *et. al.*, 2015). Para este trabajo, las ij cargas factoriales se consideraron significativas a un nivel >0.50 en cada nCP extraído. Para cada nCP se estimó un eigen-valor, que cuantificó al interior de cada uno de estos, el número de i especies o j pisos ordenados. Cuanto mayor fue el número de éstos ordenados en cada nCP , mayor fue el eigen-valor; e inverso en el caso contrario. Únicamente los nCP que resultaron con un eigen-valor >1 fueron seleccionados (Hair *et. al.*, 1999).

El eigen-valor se obtiene al sumar cada ij carga factorial elevada al cuadrado. Para cada nCP , se estimó la varianza total de ordenación, que es el resultado de dividir su eigen-valor entre el número total de i especies o j pisos ordenados (Cervantes-Hernández & Manzano-Sarabia, 2015).

Antes de tomar en cuenta como correcto al primer resultado de ordenación (referida como *Unrotated* en el programa STATISTIC[®]), se implementaron y probaron de manera exploratoria, los siguientes modelos de rotación ortogonal: *Varimax*, *Biquartimax*, *Quartimax* y *Equamax*. Estos modelos tienen la finalidad de re-ordenar simultáneamente las ij cargas factoriales en los nCP (Hair *et. al.*, 1999; Sen, 2003). Al aplicar estos modelos, no se incrementó la varianza total de ordenación; pero al

menos, se generaron diversos escenarios de ordenación, de los cuales, un único modelo se seleccionó para los ACP por j pisos e i especies.

7.4 Análisis confirmatorio del ACP entre las i especies mediante Análisis de Correspondencia (AC)

En los antecedentes está documentado (Denne & Sen, 1991; Rozo-Vera, 1992; Kuroyanagi *et. al.*, 2006; Machain-Castillo *et. al.*, 2010; Almeida *et. al.*, 2015) que para identificar y asignar a las i especies de foraminíferos a los n CP extraídos, la matriz de *Scores* fue la única herramienta a considerar. En apego a los autores, una i especie de foraminífero se incluyó en el n CP, si para esta especie, en la matriz de *Scores*, la ij carga factorial resultó la más alta en comparación con el resto de los n CP extraídos. En este trabajo, lo anterior se realizó considerando el mismo nivel de carga factorial para el ACP entre los j pisos (>0.50) (Villagrán, 2008). Los n CP son los mismos que fueron extraídos en el ACP entre los j pisos.

Cuando el ACP entre los j pisos fue resuelto y la matriz de *Scores* fue estimada (ACP entre las i especies), se observó a diferencia de otros autores, que en algunos casos particulares, las especies de foraminíferos no pudieron ser asignadas a ninguno de los n CP extraídos del ACP entre los j pisos. Esto ocurrió porque para aquellos casos, no se alcanzó el nivel >0.50 en la ij carga factorial resultante.

Para resolver lo antes mencionado, la matriz N fue sometida a un AC (Otto, 1989; Hair *et. al.*, 1999; Sen, 2003; Kender, 2009), para estructurar una nueva clasificación simultánea entre los j pisos y las i especies. El resultado del AC es parecido al generado por el ACP, con la diferencia que las correspondencias (i, j), se evaluaron con base a una magnitud de similitud y no como se realiza el ACP, a través de una magnitud de correlación.

El AC fue desarrollado con la versión 7.0 del programa STATISTIC®; pero adicionalmente, se describe el correspondiente proceso matricial:

- 1.- Se estructuró una matriz de contingencia U a partir de la matriz N .
- 2.- Para estructurar a la matriz U , la abundancia esperada (E_{ij}) por i especie de foraminíferos se estimó con:

$$E_{ij} = (F(j)) \cdot (F(i)) \cdot \frac{\sum \sum S_{ij}}{\sum S_j}$$

Dónde:

$F(j)$ es la frecuencia de la i especie en el j piso, estimada con: $F(j) = \sum S_j / \sum \sum S_{ij}$

$\sum S_j$ es la suma total de las i especies de foraminíferos en el j piso.

$F(i)$ es la frecuencia de la i especie en los j pisos, estimada con $F(i) = \sum S_i / \sum \sum S_{ij}$

$\sum S_i$ es la suma total de la i especie en los j pisos.

$\sum \sum S_{ij}$ es la suma total-total de las i especies de foraminíferos en los j pisos.

- 3.- Los residuos $E_{ij} - N_{ij}$ fueron estandarizados a valores de similitud con la distribución de Chi-cuadrada (X^2) (Hair *et. al.*, 1999). Para el AC, valores altamente

positivos de X^2 indica mayor grado de similitud entre la i especie de foraminífero y el j piso; e inverso, cuando los valores de X^2 fueron negativos.

Cuando el AC fue resuelto, los resultados obtenidos fueron comparados con la matriz de Scores y de esta comparación, se concluyó y aplicó lo siguiente:

(i) Cuando la i especie de foraminífero pudo ser asignada a cualquiera de los n CP extraídos del ACP entre los j pisos, y además, coincidió con un valor de X^2 , entonces, la i especie se incluyó confiablemente en el correspondiente n CP.

(ii) Cuando la i especie de foraminífero no pudo asignarse a cualquiera de los n CP extraídos del ACP entre los j pisos y la asignación, coincidió con un valor bajo de X^2 , entonces, la i especie no se incluyó en ningún n CP.

Una vez realizado lo antes señalado, se procedió a asociar y describir los resultados de los ACP y del AC entre los j pisos y las i especies.

7.5 Series de tiempo para los foraminíferos planctónicos y bentónicos

Para un tercer análisis (sin considerar el predominio de la abundancia), la matriz N fue modificada a una matriz de presencia-ausencia (P/A), consistiendo específicamente de 165 renglones (las i especies de foraminíferos con distinción entre planctónicas y bentónicas) y 10 columnas (los j pisos reportados) (Anexo III). Para este caso, las escalas cuantitativas usadas para estructurar a la matriz N (Tabla 3), fueron sustituidas por los valores de cero (ausencia) y uno (presencia). Cuando las i especies en cada j piso tuvieron un registro ≤ 1 el valor de cero le fue asignado y cuando el registro fue ≥ 1 , el valor de uno le fue asignado.

La matriz de P/A fue analizada con un modelo de Clasificación por Red Neuronal (mCRN) (Haykin, 1999), para separar y generar dos series de tiempo de foraminíferos planctónicos (P) y bentónicos (B). Con la versión 7.0 de programa STATISTICA®, el modelo mCRN se implementó y resolvió usando 3 capas de aprendizaje. La capa primera se activó con un modelo lineal y usando un modelo radial, se hizo la conexión con la capa segunda que se activó con un modelo exponencial; después, linealmente se hizo la conexión con la tercera capa, activada finalmente con un modelo potencial. Del mCRN se obtuvieron dos series de tiempo con valores de probabilidad identificadas como P(P) para planctónicos y P(B) para bentónicos. Con base en lo anterior, se analizaron las variaciones aproximadas de P(P) y P(B) al transcurrir el tiempo geológico entre el Mioceno y el Pleistoceno inferior.

A manera de referencia complementaria a este trabajo, se generó además, una gráfica a partir de valores correspondientes al nivel relativo del mar por debajo del nivel actual (RSL en m), temperatura superficial del mar (SST en °C) y el porcentaje promedio del isótopo de oxígeno 18 ($\delta^{18}O$ ‰) obtenidos por Waelbroeck *et. al.*, (2002).

8. RESULTADOS

8.1. Sucesión de eventos de depositación para todas las *i* especies de foraminíferos

Los resultados del ACP se encuentran resumidos en la Tabla 4. Cinco escenarios de ordenación fueron obtenidos, el primero está indicado en la matriz de factores del modelo *Unrotated* y el segundo, en los modelos de rotación ortogonal: *Varimax*, *Biquartimax*, *Quartimax* y *Equamax*.

Para el primer caso, los pisos CPC y TPGP resultaron ordenados en los CP1 y CP2. De acuerdo con Hair *et. al.*, (1999), lo anterior resulta en un error de ordenación y por esta razón, el modelo *Unrotated* no fue tomado en cuenta. Con relación a los otros modelos de rotación ortogonal del ACP, se observó la misma ordenación de cargas factoriales, pero en apego a Machain-Castillo *et. al.*, (2010) y para la mejor interpretación de resultados, se seleccionó el modelo *Quartimax* (Tabla 4).

Para el modelo *Quartimax* (Tabla 4), tres componentes principales fueron extraídos. El CP1 (eigen-valor=2.336, % de varianza de ordenación=23.36), el CP2 (eigen-valor=2.333, % de varianza de ordenación=23.33) y el CP3 (eigen-valor=1.458, % de varianza de ordenación=14.56). La varianza total de ordenación resultó de 61.25%.

Tabla 4. Matrices de factores resultantes del ACP entre los j pisos. Las cargas factoriales significativas >0.50 que están indicadas en negritas representan los eventos de depositación de foraminíferos en los pisos indicados en cada nCP. Profundidad (Z) en metros por debajo del lecho marino (mblm). Edad en millones de años (Ma). Nomenclatura (Nom.): Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piaceziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML), Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP). Evento primero de depositación (CP3), evento segundo de depositación (CP1), evento tercero de depositación (CP2).

Z	Edad	Nom.	Unrotated			Varimax			Biquartimax			Quartimax			Equamax		
			CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2
915-1,080	0.7-1.8	CPC	0.24	-0.71	-0.61	0.01	0.08	0.96									
1,100-1,360	2.5	TPGP	0.28	-0.61	-0.59	0.03	0.00	0.89									
1,380-1,800	3.6	TPTG	-0.07	-0.59	-0.38	-0.15	0.26	0.64	-0.16	0.26	0.64	-0.16	0.26	0.64	-0.16	0.26	0.63
1,820-2,380	5.3	TPTZ	-0.08	-0.75	0.14	0.13	0.65	0.39	0.13	0.65	0.39	0.12	0.65	0.39	0.12	0.65	0.39
2,400-2,680	7.2	TMTM	-0.31	-0.66	0.29	0.01	0.77	0.16	0.00	0.77	0.16	-0.01	0.77	0.16	-0.01	0.77	0.16
2,700-2,710	11.6	TMTT	-0.44	-0.51	0.41	-0.06	0.79	-0.06	-0.07	0.79	-0.06	-0.08	0.79	-0.06	-0.08	0.78	-0.06
2,720-2,880	13.8	TMMSP	0.09	-0.47	0.51	0.42	0.56	0.00	0.41	0.56	0.00	0.41	0.57	0.00	0.41	0.56	0.00
2,900-2,920	15.9	TMML	-0.09	-0.48	0.27	0.15	0.52	0.11	0.14	0.52	0.11	0.14	0.53	0.11	0.14	0.52	0.11
2,940- 3,420	20.4	TMTB	0.59	-0.29	0.43	0.76	0.15	0.07	0.76	0.16	0.07	0.76	0.17	0.07	0.75	0.17	0.07
3,440- 3,629	23	TMTAP	0.69	-0.05	0.43	0.80	-0.07	-0.06	0.80	-0.06	-0.07	0.80	-0.05	-0.07	0.80	-0.05	-0.07
		Eig-val	1.27	3.02	1.83	1.48	2.32	2.33	1.47	2.33	2.33	1.46	2.33	2.33	1.46	2.34	2.33
		% var	0.13	0.30	0.18	0.15	0.23	0.23	0.15	0.23	0.23	0.15	0.23	0.23	0.15	0.23	0.23

Un evento completo y parcial de depositación fue asignado a cada nCP extraído mediante el modelo *Quartimax* (Tabla 4). Entre el Mioceno y el Pleistoceno inferior, se observó claramente como los eventos de depositación ocurrieron de manera independiente y sin traslape entre cada nCP . A detalle, iniciando desde los j pisos más antiguos a los más recientes, se dedujo lo siguiente:

(i) El evento primero de depositación se asignó al CP3. Éste se identificó descendiendo desde el piso TMTAP (piso en el que se registró máxima carga factorial) hacia el piso TMMSP. Las ij cargas factoriales >0.50 estuvieron localizadas entre los pisos TMTAP y TMTB (entre 23-20.4 Ma) (Fig. 6).

(ii) El evento segundo de depositación se asignó al CP1. Éste se delimitó ocurriendo entre los pisos TMTAP (inicio) y TPGP (fin), ascendiendo y descendiendo respectivamente. La máxima señal de depositación se presentó en el piso TMTT (máxima carga factorial). Las ij cargas factoriales >0.50 estuvieron localizadas entre los pisos TMML y TPTZ (entre 15.9-5.3 Ma) (Fig. 6).

(iii) El evento tercero de depositación se asignó al CP2. Éste se identificó ascendiendo desde el piso TMTT hacia el piso CPC (máxima carga factorial). Las ij cargas factoriales >0.50 estuvieron localizadas en los pisos TPTG, TPGP y CPC (entre 3.6- 0.7 Ma) (Fig. 6).

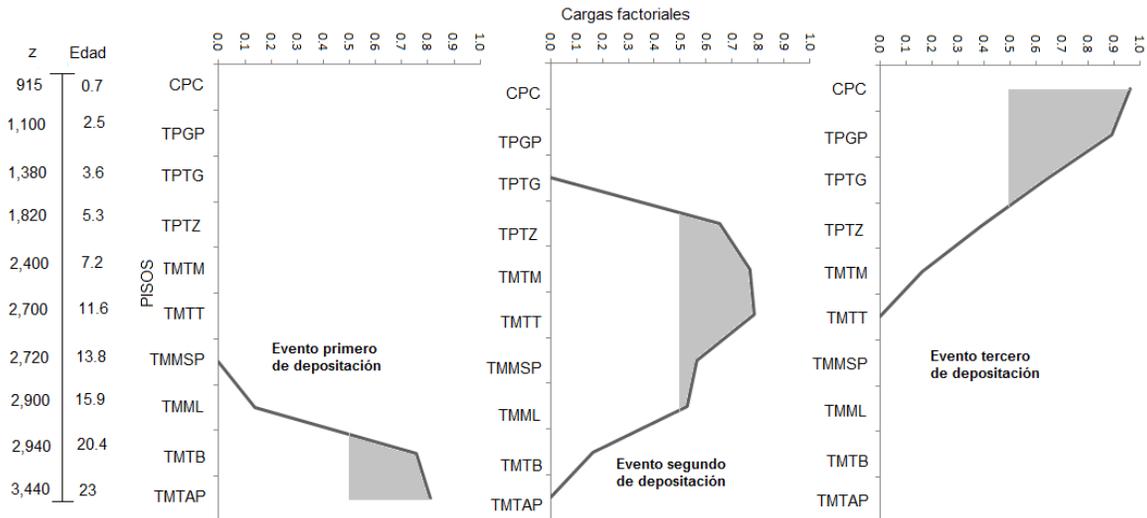


Figura 6. Sucesión biocronológica de eventos de depositación de acuerdo al registro de abundancia de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos generada con la rotación *Quartimax*. Se hace evidente tres eventos de depositación agrupando pisos con cargas factoriales >0.50 (sombreado gris). Profundidad (Z) en metros por debajo del lecho marino (mblm). Edad en millones de años (Ma). Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piacenziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML),

Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP).

8.2 Asignación para cada nCP , las i especies de foraminíferos depositados a lo largo de los j pisos

Los resultados complementarios al ACP correspondientes al modelo de rotación ortogonal *Quartimax* (Tabla 4), se muestra en el anexo II.

8.3 Análisis auxiliar del ACP entre las i especies

De acuerdo con los resultados del AC (Fig. 7) se observaron todas las especies (165) asociadas a los diferentes pisos (en negrita) las cuales no coincidieron en su totalidad con las especies ordenadas en los *factor score* generados por el ACP. Sin embargo, se pudo corroborar algunas especies seleccionadas en los *factor score* (especies con valores >0.50) para cada evento de depositación (Tabla 5) y que también estuvieron presentes en el AC (especies en rojo) (Tabla 5, Fig. 9).

Se identificaron tres asociaciones de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos. Una asociación comprendió a los pisos TMTAP y TMTB correspondientes al evento primero de depositación con 29 especies (en negro) de las cuales 16 fueron completamente validadas por ambos métodos (ACP y AC). La segunda asociación comprendió los pisos TMML, TMMSP, TMTT, TMTM y TPTZ correspondientes al evento segundo de depositación con 86 especies de foraminíferos (en negro) de las cuales se validaron 17 especies (en rojo). Una tercera asociación se representó con los pisos TPTG, TPGP y CPC correspondiendo al evento tercero de depositación con 53 especies (en negro) de las cuales 14 especies fueron validadas por ambos métodos (en rojo) (Tabla 5, Fi. 7).

También se identificaron cuatro especies que no lograron ser asociadas a ningún piso: *Nodosaria sp.*, *Cibicoides incrassatus*, *Nonionella turgida*, *Hastigerina siphonifera* (104, 22, 115 y 98 respectivamente).

El resultado obtenido por el AC fue parecido al generado por el ACP.

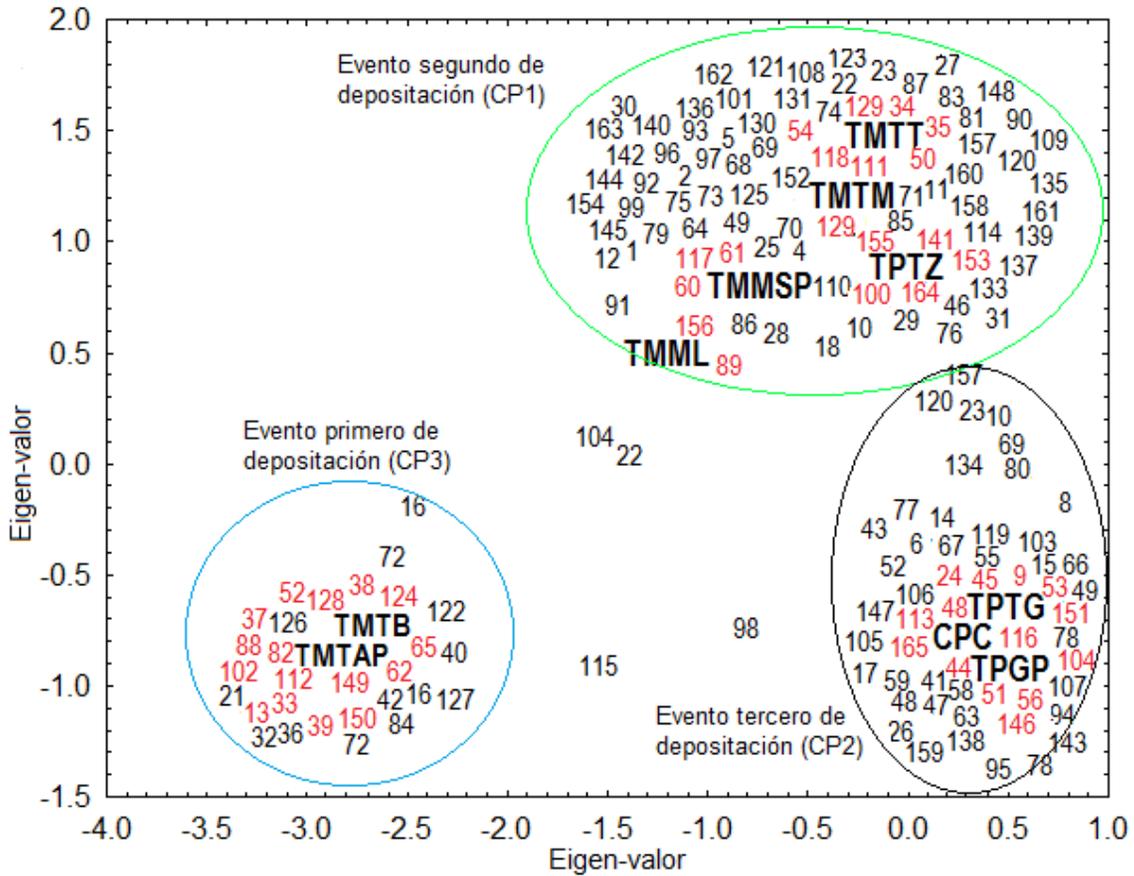


Figura 7. Resultados por clasificación con Análisis de Correspondencia (AC) para la matriz N. Con asignación numérica están representadas las *i* especies de foraminíferos similares que clasificaron en un mismo grupo de correspondencia o deposición (círculos). Evento primero de deposición (círculo azul, CP3), evento segundo de deposición (círculo verde, CP1) y evento tercero de deposición (círculo negro, CP2). La asignación numérica en rojo son las *i* especies que en el Anexo II están indicadas con cargas factoriales en negritas (>0.50), y que para este caso, se consideraron plenamente validadas en cada evento de deposición.

Al comparar los resultados inscritos en el Anexo II y Figura 7, las *i* especies de foraminíferos, que finalmente fueron validadas respecto a su presencia en los eventos de deposición se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Especies validadas con base en valores de correlación (ACP entre las i especies) y medidas de similitud (AC) en cada una de las tres depositaciones. Planctónico (P), Bentónico (B).

Evento primero de depositación			Evento segundo de depositación			Evento tercero de depositación		
Especie	ACP	AC	Especie	ACP	AC	Especie	ACP	AC
<i>Globigerina cipoensis cipoensis</i> (P)	0.84	20.94	<i>Globigerina microstoma</i> (P)	1.31	612.78	<i>Neogloboquadrina dutertrei</i> (P)	2.73	165.77
<i>Globigerina sp.</i> (P)	3.03	22.42	<i>Globigerina nepentes</i> (P)	4.41	1475.62	<i>Orbulina universa</i> (P)	2.80	90.44
<i>Globigerina tripartita</i> (P)	4.97	147.29	<i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i> (P)	3.08	174.67	<i>Globigerinoides elongatus</i> (P)	3.16	256.99
<i>Globigerina venezuelana</i> (P)	0.84	20.94	<i>Globoquadrina altispira altispira</i> (P)	0.79	420.86	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i> (P)	8.40	420.46
<i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> (P)	0.96	23.03	<i>Globorotalia cf kugleri</i> (P)	0.56	750.24	<i>Globigerinoides ruber</i> (P)	2.13	64.79
<i>Globorotalia crassaformis ronda</i> (P)	1.32	29.31	<i>Globorotalia crassaformis crassaformis</i> (P)	0.74	701.76	<i>Globigerinoides trilobus immaturus</i> (P)	0.75	57.95
<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i> (P)	3.10	118.75	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i> (P)	1.22	373.52	<i>Globigerinoides trilobus trilobus</i> (P)	3.77	33.02
<i>Globorotalia scitula</i> (P)	6.72	56.54	<i>Gyroidinoides altiformis</i> (B)	1.32	126.11	<i>Globoquadrina baroemoenensis</i> (P)	1.00	81.51
<i>Globorotaloides variabilis</i> (P)	0.50	192.85	<i>Islandiella californica</i> (B)	7.21	247.93	<i>Sphaeroidinella dehiscens</i> (P)	0.82	19.27
<i>Karreriella chilostoma</i> (B)	2.17	109.39	<i>Melonis affinis</i> (B)	2.21	279.68	<i>Lenticulina calcar</i> (B)	1.33	119.35
<i>Melonis pompilioides</i> (B)	3.66	301.45	<i>Oridorsalis umbonatus</i> (B)	0.87	328.37	<i>Siphonina sp.</i> (B)	1.00	131.92
<i>Praeglobbulimina sp</i> (B)	2.17	109.39	<i>Oridorsalis variapertura</i> (B)	0.58	726.12	<i>Uvigerina sp.</i> (B)	5.40	129.99
<i>Pullenia bulloides</i> (B)	1.96	273.69	<i>Pullenia quinqueloba</i> (B)	2.63	2946.62	<i>Bolivina thalmani</i> (B)	0.98	102.60
<i>Siphouvigerina auberiana</i> (B)	0.73	4.19	<i>Sigmoilinita tenuis</i> (B)	1.49	257.65	<i>Cibicoides pachyderma</i> (B)	0.70	31.21
<i>Sphaeroidina bulloides</i> (B)	2.82	190.23	<i>Textularia nipeensis</i> (B)	1	291.74			
<i>Bulimina jarvisi</i> (B)	2.06	12.56	<i>Textularia sp.</i> (B)	0.8	287.95			
			<i>Uvigerina rustica</i> (B)	1.66	534.02			

Con base en las especies validadas para cada uno de los eventos de depositación es posible determinar algunas características específicas.

En el evento primero de depositación (pisos TMTAP y TMTB) (Fig. 6) fueron validadas 16 especies de foraminíferos, correspondientes a 11 géneros de las cuales nueve estuvieron adaptados a hábitos planctónicos y siete especies bentónicas (Tabla 5 y 6). Todas las especies de hábitos planctónicos fueron identificadas por tener una testa de naturaleza calcárea y de forma trocoespiral. Se identificaron especies representantes de ambientes someros, intermedio y profundo. En relación a las especies bentónicas, cinco correspondieron a testa de naturaleza calcárea y dos especies con testa hialina. Las formas variaron entre elongada, triserial y trocoespiralada. Todas de hábitos infaunales y ambiente batial-batial superior, a excepción de *Praeglobobulimina sps.*, registrada para la zona nerítico externo (Tabla 6).

Tabla 6. Características morfológicas de la testa y preferencias batimétricas de la asociación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos presentes durante el primer evento de depositación.

Evento primero de depositación					
Grupo	Especie	Testa	Forma	Estructura/ Hábito	Ambiente
Planctónica	<i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i>	Calcarea	Trocoespiral	Espinoso	Somero
	<i>Globorotaloides variabilis</i>	Calcarea	Trocoespiral	Espinoso	
	<i>Globigerina ciperoensis ciperoensis</i>	Calcarea	Trocoespiral	Espinoso	Intermedio
	<i>Globigerina venezuelana</i>	Calcarea	Trocoespiral	Espinoso	
	<i>Globigerina sps.</i>	Calcarea	Trocoespiral	Espinoso	
	<i>Globigerina tripartita</i>	Calcarea	Trocoespiral	Espinoso	Profundo
	<i>Globorotalia scitula</i>	Calcarea	Trocoespiral	Sin espinas	
	<i>Globorotalia crassaformis ronda</i>	Calcarea	Trocoespiral	Sin espinas	
<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	Calcarea	Trocoespiral	Sin espinas		
Bentónica	<i>Praeglobobulimina sps</i>	Calcarea	elongada-ovoide	infaunal	Nerítico externo
	<i>Bulimina jarvisi</i>	hialina	larga triserial	infaunal	Batial
	<i>Siphouvigerina auberiana</i>	Calcarea	elongada	infaunal	Batial superior
	<i>Melonis pompilioides</i>	Calcarea	planiespiral	infaunal	Batial superior
	<i>Pullenia bulloides</i>	Calcarea	trocoespiral-esferica	infaunal	Batial superior
	<i>Karrerella chilostoma</i>	Calcarea	trocoespiral	infaunal	Batial superior
	<i>Sphaeroidina bulloides</i>	hialina	trocoespiral	infaunal	Batial superior

En el evento segundo de depositación correspondiendo a los pisos TMML, TMMS, TMTT, TMTM y TPTZ (Fig. 6) fueron validadas 17 especies de foraminíferos, correspondientes a 13 géneros de los cuales siete pertenecieron a un ambiente planctónico y 10 especies fueron bentónicas (Tabla 5 y 7). Todas las especies de foraminíferos planctónicos presentaron una testa de naturaleza calcárea y forma trocoespiral. Tres especies presentaron espinas, de las cuales una fue registrada para un ambiente somero y dos intermedio. Cuatro especies correspondieron a testa desprovista de espinas y de un ambiente profundo. Las especies bentónicas presentaron testa de naturaleza variada (aporcelanada, calcárea, hialina) así como sus formas (fusiforme, lenticular, trocoespiral biconvexo, planiespiral involuta).

Correspondieron a la epifauna e infauna representando a ambientes que van de nerítico interno a batial inferior (Tabla 7).

Tabla 7. Características morfológicas de la testa y preferencias batimétricas de la asociación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos presentes durante el segundo evento de depositación.

Evento segundo de depositación					
Grupo	Especie	Testa	Forma	Estructura/Hábito	Ambiente
Planctónica	<i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	Somero
	<i>Globigerina nepentes</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	Intermedio
	<i>Globigerina microstoma</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	
	<i>Globorotalia crassaformis crassaformis</i>	Calcárea	Trocoespíral	Sin espinas	Profundo
	<i>Globorotalia cf kugleri</i>	Calcárea	Trocoespíral	Sin espinas	
	<i>Globoquadrina altispira altispira</i>	Calcárea	Trocoespíral	Sin espinas	
	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	Calcárea	Trocoespíral	Sin espinas	
Bentónica	<i>Sigmoilinita tenuis</i>	Aporcelanada	Oval-fusiforme	epifauna	Superficial
	<i>Uvigereina rustica</i>	Calcárea	Ahusado-cilíndrico	infauna	Nerítico interno
	<i>Textularia sps</i>	Aglutinado	Ahusado-cilíndrico	infauna	
	<i>Textularia nepeensis</i>	Aglutinado	Elongado	infauna	
	<i>Islandiella californica</i>	Calcárea	lenticular-subglobular	infauna	Nerítico externo
	<i>Oridorsalis variapertura</i>	Hialina	Trocoespíral-biconvexa	epifauna	
	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	Hialina	Trocoespíral-biconvexa	epifauna	
	<i>Melonis affinis</i>	Calcárea	Planiespiral involuta	infauna	Batial superior
	<i>Pullenia quinqueloba</i>	Calcárea	Planiespiral involuta	infauna	
	<i>Gyroidinoides altiformis</i>	Calcárea	Trocoespíral	epifauna	Batial inferior

En el evento tercero de depositación (pisos TPTG, TPGP y CPC) resultaron validadas 14 especies de foraminíferos, correspondientes a 10 géneros de los cuales nueve fueron de hábitos planctónicos y cinco especies bentónicas. Todas las especies planctónicas fueron representantes con testa calcárea, a excepción de una especie hialina, con forma trocoespíral y esférica. Se registraron especies representantes de ambientes somero, intermedio y profundo con y sin espinas. Las especies bentónicas presentaron una testa de naturaleza calcárea, con forma trocoespíral y lenticular. Las especies infaunales fueron características de ambiente nerítico, y en ambientes batiales, las especies correspondieron a la epifauna.

Tabla 8. Características morfológicas de la testa y preferencias batimétricas de la asociación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos presentes durante el tercer evento de depositación.

Evento tercero de depositación					
Grupo	Especies	Testa	Forma	Estructura/Hábito	Ambiente
Plantónica	<i>Globigerinoides ruber</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	Somero
	<i>Globigerinoides elongatus</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	
	<i>Globigerinoides obliquus extermus</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	
	<i>Globigerinoides trilobus immaturus</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	
	<i>Globigerinoides trilobus trilobus</i>	Calcárea	Trocoespíral	Espinoso	Intermedio
	<i>Orbulina universa</i>	Hialina	Esférica	Espinoso	
	<i>Sphaeroidinella dehiscens</i>	Calcárea	Globosa	Espinoso	
	<i>Globoquadrina baroemouensis</i>	Calcárea	Trocoespíral	Sin espinas	
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	Calcárea	Trocoespíral	Sin espinas	Profundo	
Bentónica	<i>Lenticulina calcar</i>	Calcárea	Lenticular	Infauna	Nerítico interno
	<i>Uvigerina sps</i>	Calcárea	Ahusado-cilíndrico	Infauna	Nerítico medio
	<i>Bolivina thalmani</i>	Calcárea	Ahusado-aplanado	Infauna	Nerítico externo
	<i>Siphonina sps.</i>	Calcárea	Trocoespíral	Epifauna	Nerítico externo
	<i>Cibicidoides pachyderma</i>	Calcárea	Trocoespíral biconvexa	Epifauna	Batial

Entre los eventos de depositación que ocurrieron según el ACP, las especies *Cibicidoides incrassatus*, *Hastigerina siphonifera*, *Lenticulina calcar* y *Nonionella turgida* (indicadas numéricamente como 22, 98, 104 y 115 respectivamente) no se encontraron en asociación con los nCP o grupos de correspondencia (Fig. 7).

8.4 Serie de tiempo para los foraminíferos planctónicos y bentónicos

Los foraminíferos planctónicos y bentónicos mostraron una tendencia que con relación a su presencia, durante todo el evento primero de depositación (entre los pisos TMTAP y TMTB), se registró la tendencia $P(B) > P(P)$; manteniéndose así hasta el piso TMTT, pero con una reducción gradual en la magnitud de la probabilidad hasta $P(B) = P(P)$. Durante el transcurso del evento segundo de depositación, se observaron dos cambios de tendencia. El primero fue entre los pisos TMML y TMTT con $P(B) = P(P)$; y el segundo, entre los pisos TMTT y TPTZ (transición Mioceno-Plioceno), con $P(B) > P(P)$. En el evento tercero de depositación (entre los pisos TPTG y CPC), se registró la tendencia $P(B) > P(P)$. Durante la transición Plioceno-Pleistoceno inferior, la tendencia de $P(B)$ fue casi constante y para $P(P)$ fue descendente (Fig. 8).

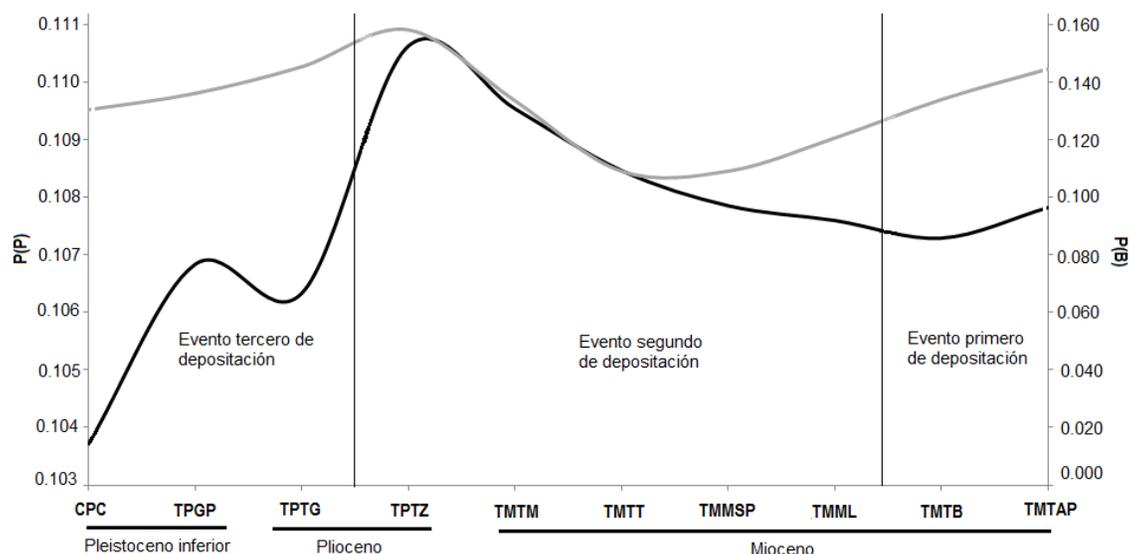


Figura 8. Variación simulada de probabilidad para la abundancia de foraminíferos planctónicos P(P) (línea negra) y foraminíferos bentónicos P(B) (línea gris) asignados a los *j* pisos en el transcurso del Mioceno-Pleistoceno inferior. Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piaceziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML), Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP).

9. DISCUSIÓN

En apego a los resultados del ACP, entre los *j* pisos, fueron identificados tres eventos de depositación de foraminíferos durante el transcurso Mioceno-Pleistoceno inferior (Tabla 4). Se consideró que cada evento de depositación debió ocurrir bajo condiciones paleoambientales específicas y en respuesta a esto, las especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos evidenciaron cambios de abundancia y presencia.

La gráfica generada a partir de los valores correspondientes al nivel relativo del mar por debajo del nivel actual (RSL en m), temperatura superficial del mar (SST en °C) y el porcentaje promedio del isótopo de oxígeno 18 ($\delta^{18}\text{O}$ ‰) obtenidos por Waelbroeck *et. al.*, (2002) (Tabla 6, Fig. 9), mostró lo siguiente:

Coincidiendo que durante el transcurso Mioceno-Pleistoceno inferior, entre los pisos TMTAP y CPC, el NRM y la TSM mostraron tendencias ascendentes, pero para el $\delta^{18}\text{O}$, la tendencia fue descendente (Fig. 9).

En el piso TMTT se identificó un punto de inflexión común para los cambios ascendentes y descendentes en todas las variables paleoceanográficas indicadas y para estas, las correlaciones que resultaron entre los pisos TMTAP-TMTT fueron:

NRM- $\delta^{18}\text{O}$ ($r=-0.96$, $p<0.05$), NRM-TSM ($r=0.96$, $p<0.05$) y TSM- $\delta^{18}\text{O}$ ($r=-0.96$, $p<0.05$) (Fig. 9).

Con el análisis de correlación se evidenció que durante el Mioceno, en el Golfo de México pudo haber ocurrido el ascenso gradual del NRM (entre los pisos TMTAP-TMML) por el incremento gradual en la TSM que ocasionó el deshielo (después del episodio de enfriamiento del Oligoceno (Oi.1) (Zachos *et. al.*, 2011) y para el $\delta^{18}\text{O}$ debió reducirse (Fig. 9). Al respecto, Bassinot (2007) y Uriarte (2010) señalaron que en los periodos glaciares, durante la formación y expansión de los casquetes de hielo, los átomos de O^{16} fueron extraídos del agua marina, enriqueciéndose con isotopo de $\delta^{18}\text{O}$ y viceversa, en periodos inter-glaciares (Fig. 9).

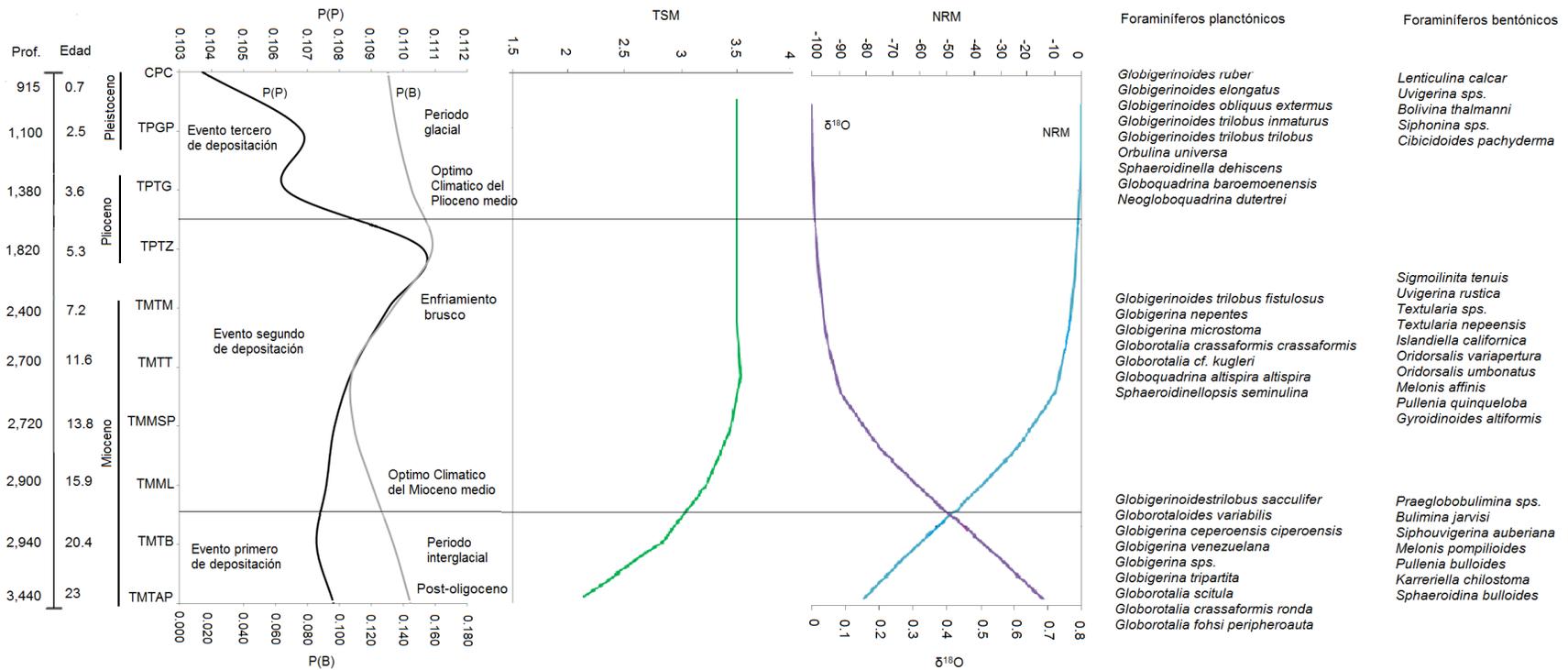


Figura 9. Tendencia de foraminíferos planctónicos y bentónicos obtenida a lo largo de los eventos de depositación así como los eventos climáticos y paleoceanográficos ocurridos en el Golfo de México durante el Mioceno-Pleistoceno inferior (Waelbroeck et. al., (2002). Notar que cada evento de depositación fue marcado por un cambio de ambiente frío a cálido. Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piacenziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML), Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP). Probabilidad de planctónicos P(P), Probabilidad de bentónicos P(B). Temperatura superficial del mar (TSM en °C). Porcentaje promedio del isótopo de O18 ($\delta^{18}O$ en ‰), aumento en el nivel relativo de mar (NRM en metros por debajo del nivel actual).

Tabla 9. Bioestratigrafía por pisos del pozo ANOMA-1 en concordancia con la paleoceanografía descrita por Waelbroeck *et. al.*, (2002). Serie: Pleistoceno inferior (Pleis. Inf.). Nomenclatura (Nom.): Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piacenziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML), Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP). Profundidad (Z) en metros por debajo del lecho marino (mblm). Edad en millones de años (Ma), temperatura superficial del mar (TSM en °C), porcentaje promedio del isótopo de oxígeno 18 ($\delta^{18}\text{O}$ en ‰), nivel relativo del mar (NRM en m por debajo del nivel actual). Nerítico (N), Batial (B) (Tomado de Waelbroeck *et. al.*, (2002) NOAA).

Serie	Piso	Nom.	Z	Edad	TSM	$\delta^{18}\text{O}$	NRM
Pleis.Inf.	Calabriano	CPC	915-1,080 ^N	0.7-1.8	3.5	0	0
	Gelasiano	TPGP	1,100-1,360 ^N	2.5	3.5	0.001	-0.15
Plioceno	Piacenziano	TPTG	1,380-1,800 ^N	3.6	3.5	0.010	-1.18
	Zancleano	TPTZ	1,820-2,380 ^B	5.3	3.5	0.021	-2.51
Mioceno	Messiniano	TMTM	2,400-2,680 ^B	7.2	3.5	0.041	-4.87
	Tortoniano	TMTT	2,700-2,710 ^B	11.6	3.53	0.083	-9.74
	Serravaliano	TMMSP	2,720-2,880 ^B	13.8	3.43	0.206	-24.34
	Langhiano	TMML	2,900-2,920 ^B	15.9	3.21	0.381	-44.99
	Burdigaliano	TMTB	2,940- 3,420 ^B	20.4	2.83	0.570	-67.26
	Aquitaniano	TMTAP	3,440- 3,629 ^B	23	2.13	0.754	-88.94

9.1 Evento primero de depositación

Éste se registró durante el Mioceno inferior que comprende entre 23-20 Ma (entre TMTAP-TMTB). La transición entre el Oligoceno y Mioceno quedó identificada por la finalización del episodio de glaciación (Oi-1), el cual produjo una intensa erosión. Durante el evento primero de depositación transcurrió un periodo de tipo inter-glacial (post Oligoceno) (Uriarte, 2010). Además se presentaba un aporte de sedimento el cual llegó a tener 6,000 m de espesor (Pérez, 2010) y Waelbroeck *et. al.*, (2002) encontraron valores de <3‰ de $\delta^{18}\text{O}$, por lo que se infiere el inicio del periodo interglacial. Al mismo tiempo, en las inmediaciones del pozo ANOMA-1, el aumento del nivel del mar por el deshielo, y el aporte de sedimento a la cuenca pudo provocar condiciones de turbulencia así como alta concentración de materia orgánica, dando condiciones desfavorables para los foraminíferos planctónicos y proliferación de especies bentónicas.

9.2 Evento segundo de depositación

Éste comprendió al Mioceno medio, superior y Plioceno inferior correspondiente a un intervalo de tiempo de 17-5 Ma (pisos TMML, TMMSP, TMTT, TMTM y TPTZ). El Mioceno medio, entre TMML-TMMSP, se caracterizó por un periodo denominado “Nuevo Máximo de Calor” (Óptimo Climático del Mioceno medio) que tuvo lugar hace 17-14 Ma. Como se indicó para el punto de inflexión TMTT (Waelbroeck *et.*

al., 2002), se caracterizó por una gran variabilidad climática donde el $\delta^{18}\text{O}$ fluctuó al descenso entre 1.9-0.7‰ (Zachos *et. al.*, 2011; Holbourn *et. al.*, 2014; Uriarte, 2010) (Fig. 9). Después, durante el Mioceno superior (entre TMTT-TMTM) hace 14.2-13.8 Ma, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ volvieron a aumentar >2.5‰ (Zachos *et. al.*, 2011).

Como está indicado en la Figura 9, Waelbroeck *et. al.*, (2002) no registró el nuevo enfriamiento posterior al Mioceno superior (Zachos *et. al.*, 2011); sin embargo, otros autores con base en la tasa de sedimentación, la acumulación de ópalo y alquenonas, dieron soporte a la teoría de un enfriamiento brusco en el Mioceno superior (Shevenell *et. al.*, 2004 in Uriarte, 2010; Rouselle *et. al.*, 2013 in Holbourn *et. al.*, 2014). De acuerdo con Holbourn (2005), la reducción en la temperatura ocurrió por la baja inclinación del eje terrestre, que provocó menor intensidad y duración de la insolación veraniega. En complemento a esto, Pérez, (2010) y Eguiluz de Antuñano, (2011) confirmaron un proceso de alta depositación y de regresión haciendo que los depósitos de sedimentos formaran abanicos submarinos en la parte proximal al talud, principalmente en la parte norte del Golfo de México, depositándose 4,500 m de espesor de sedimentos.

Por lo tanto, el clima cálido provocó un aumento en el nivel del mar aunado a la cantidad de sedimento depositada durante el evento segundo, la cual fue menor en comparación con la ocurrida en el evento primero de depositación (aprox. 6,000 m de espesor), probablemente propició un aumento en la columna de agua con condiciones de aguas más profundas, dando condiciones favorables para la presencia de especies planctónicas casi igualando a las bentónicas (Fig. 9).

9.3 El evento tercero de depositación

El evento tercero de depositación tuvo lugar durante el Plioceno superior (TPTG) y Pleistoceno inferior (TPGP y CPC), hace 3.5-0.7 Ma. Transcurrió de un ambiente cálido (Óptimo Climático del Plioceno Medio) a un ambiente de tipo glacial. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ aumentaron oscilando entre 3-3.5‰ (Zachos *et. al.*, 2011). A finales del Plioceno superior y durante el Pleistoceno inferior (2.5 Ma) las aguas oceánicas entraron en una fase de enfriamiento general. El Pleistoceno inferior (inicio de la “Era de Hielo”) quedó marcado por una serie de episodios glaciares (Casanova, 2010). Hay estudios que indican que el $\delta^{18}\text{O}$ llegó hasta >5‰ (0.7 Ma) (Zachos *et. al.*, 2011). El frío fue suficiente para que en latitudes altas se presentaran abundantes precipitaciones de nieve. Así mismo el continuo aporte de sedimento propició la acumulación de 3,000 m de espesor (Pérez, 2010).

9.4 Paleoecología

Para explicar la presencia de foraminíferos planctónicos y bentónicos en cada uno de los paleoambientes identificados según la literatura, se tomó en consideración lo siguiente:

Todas las especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos corroboradas con el ACP en cada evento de depositación (Tabla 5) están documentadas en zonas tropicales y subtropicales. Se caracterizan por presentar una testa de naturaleza calcárea o hialina a excepción de un género (*Textularia*) el cual tiene una testa arenácea, cementada con material calcáreo. Estos registros sugieren que durante el transcurso del Mioceno-Pleistoceno inferior, en las inmediaciones del pozo ANOMA-I (Fig. 5) predominó un ambiente de tipo marino con cambios en la depositación de foraminíferos planctónicos y bentónicos. Por lo antes señalado, la profundidad oceánica no fue mayor a la de la compensación de la calcita (4,500 m aprox.), ya que la presencia de especies profundas aglutinadas fue nula (Cardich, 2012; Chester & Jickells, 2012; Schiebel & Hemleben, 2016).

En los tres eventos de depositación, las especies bentónicas fueron infaunales, adaptadas a condiciones de poco oxígeno y en conjunto con el aporte de material orgánico al golfo favoreció la proliferación de estos durante todo el periodo en estudio.

El evento primero de depositación transcurrió en un paleoambiente predominantemente inter-glacial (post Oligoceno). La presencia dominante fue mayor para P(B) en comparación con P(P) (Figs. 8). Las especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos registradas aquí están explícitas en la Tabla 6.

La asociación de especies de foraminíferos planctónicos estuvo dominada por especies con concha de tipo trocoespiral, con pared reticulada y en ocasiones fuertemente perforada. También se distinguieron especies planctónicas con presencia de espinas (*Globigerinoides trilobus sacculifer*) así como especies desprovistas de estas (*Globorotalia scitula*, *G. crassaformis ronda* y *G. fohsi peripheroacuta*) (Anexo V) (González-Regalada, 1989; Otto, 1989; Von, 1994; Molina, 1997; Molina, 2004; Figueroa *et. al.*, 2005; Schiebel & Hemleben, 2016).

Se lograron identificar especies representantes de diferentes profundidades en la columna de agua. Especies de aguas superficiales como *G. trilobus sacculifer* y *Globigerina ciperoensis ciperoensis* representaron a ambientes correspondientes a los 200 m de profundidad y las especies más profundas registradas en esta depositación fueron *G. crassaformis ronda*, *Globigerina venezuelana* y *Globorotalia scitula*, características de los 300-400 m de profundidad, esta última especie asociada a profundidades por debajo de la termoclina, además que se considera como un aproximador de la profundidad de la capa de mezcla (Schiebel & Hemleben, 2016). Algunas de estas especies se han documentado para ambientes oligotróficos como *Globigerina sp.*, los cuales están asociados a eventos de inundación (Armstrong & Brasier, 2005; Isik & Hakyemez, 2011; Beldean *et. al.*, 2012). Esto podría indicar ya un ambiente pelágico de aguas superficiales cálidas durante el Mioceno temprano en el Golfo de México.

La asociación de especies de foraminíferos bentónicos estuvo caracterizada por especies de ambiente batial superior (*Siphouvigerina auberiana*, *Melonis*

pompilioides, *Pullenia bulloides*, *Karreriella chilostoma*, *Sphaeroidina bulloides* y *Bullimina jarvisi*), únicamente se identificó una especie de ambiente nerítico externo (*Praeglobobulimina* sp.). Las especies fueron características de testa espiral a trocoespiral, con pared lisa y perforada (Anexo VII) (González-Regalado, 1989; Klistensen & Sejrup, 1996; Sharma & Mazumdar, 1996; Otto, 1989; Figueróa *et. al.*, 2005; Fenero *et. al.*, 2008; Barolini & Román, 2009; Corbí, 2010).

La asociación de foraminíferos planctónicos y bentónicos registradas y corroboradas para el evento primero de depositación mostraron adaptaciones características de ambientes pelágicos asociadas a la zona fótica; al mismo tiempo que en el fondo se desarrollaban especies bentónicas profundas (batiales). Especies como *S. auberiana*, *M. pompilioides* y *Pullenia bulloides* han sido documentadas para ambientes de depósito que variaron de un ambiente batial superior a nerítico externo (Gutiérrez, 2010). De acuerdo con el comportamiento del $\delta^{18}\text{O}$, SST y el RSL, durante la primera depositación (Mioceno temprano), existía aún un clima frío (fin del enfriamiento del Oligoceno) en el piso TMTAP, sin embargo para el piso TMTB el clima mostró un cambio, registrando así aumento de la temperatura y por ende derretimiento de casquetes polares lo que indica un aumento en el nivel del mar y un incremento en la profundidad de la columna de agua; esto correspondió con la presencia de especies de ambientes batiales (Tabla 6, Anexo V) (Shevenell *et. al.*, 2004; Holbourn *et. al.*, 2005; Armstrong & Brasier, 2005; Uriarte, 2010).

Cabe mencionar que durante el evento primero de depositación el aporte de sedimento al golfo no fue considerable debido al levantamiento de la Cordillera Mexica que obstaculizó el desplazamiento de dicho sedimento a la cuenca (Padilla, 2007; Perez, 2010) contribuyendo así con el aumento de la profundidad.

El evento segundo de depositación transcurrió inicialmente con un ambiente cálido (Óptimo Climático del Mioceno medio). Para este caso, no se registró presencia dominante entre foraminíferos planctónicos y bentónicos. El conjunto de foraminíferos planctónicos identificados en esta depositación presentaron una testa trocoespiralada, pared delgada, lisa y perforada con poros pequeños. Se pudieron distinguir especies provistas de espinas en la testa, (*Globigerinoides trilobus fistulosus*) típicas de ambientes no mayores a 100 m de profundidad así como especies desprovistas de estas a profundidades no mayores a los 200 m (Anexo VI) (Benot *et. al.*, 1979; Bolli, 1957 *in* Loeblich *et. al.*, s/a; Otto, 1989; Wright & Robinson, 1993; Chaisson & Ravelo, 1997; Armstrong & Brasier, 2005; Coloma *et. al.*, 2005; Bartolini & Roman, 2010; Marchant, 2011; Ajayi & Okosun, 2014). En esta asociación se incluyó a *Globigerinoides trilobus fistulosus*, especie característica de la capa de mezcla superficial a aproximadamente 75 m de profundidad (Chaisson & Ravelo, 1997).

Esta asociación de foraminíferos planctónicos estuvieron adaptados a condiciones un poco más someras (superficial a 200 m de profundidad) en comparación con la

asociación descrita para el evento primero de depositación. La asociación del evento primero de depositación son especies con preferencia a ambientes un poco más profundo (>200 m- 400 m de profundidad).

En relación a la asociación de especies de foraminíferos bentónicos representantes del segundo evento de depositación predominaron aquellas con afinidad por la zona nerítica (*Sigmoilinita tenuis*, *Uvigerina rustica*, *Islandiella californica* y *Oridorsalis variapertura*). Especies como *Melonis affinis* o *Pullenia quinqueloba* fueron los dos representantes de la zona batial superior pudiendo dar casi por terminado un ambiente batial e iniciando condiciones un poco más someras, característica de la zona nerítica (Otto, 1989; Armstrong & Brasier, 2005; Bartolini & Román, 2010; Gutiérrez, 2010; Marchant, 2011).

La asociación de especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos correspondientes al evento segundo de depositación mostraron tendencia hacia ambientes superficiales (los primeros 200 m de profundidad) lo que indica una posible disminución en el nivel del mar haciendo la zona un poco más somera y de esta manera desapareciendo especies de ambientes por debajo de los 200 m. Al mismo tiempo que en el fondo se desarrollaban especies no más profundas que el nerítico (500 m). De acuerdo con lo anterior se infiere que durante este periodo las temperaturas fueron menos elevadas que las ocurridas durante el evento primero de depositación haciendo el mar más somero. Esto concuerda con los valores de $\delta^{18}\text{O}$, SST y RSL (Waelbroeck *et. al.*, 2002). Por otra parte, durante este tiempo (TMML a TPTZ) se han reportado aportes de considerables cantidades de sedimento propiciando ambientes someros, aunado a esto, durante los pisos TMMSP a TPTZ las condiciones ambientales cambiaron de un ambiente cálido a frío (Fig. 8) (Shevenell *et. al.*, 2004; Holbourn *et. al.*, 2005; Armstrong & Brasier, 2005; Padilla, 2007; Perez, 2010).

El evento tercero de depositación transcurrió de un ambiente cálido (Óptimo Climático del Plioceno medio) a uno de tipo glacial (inicio de la Era de Hielo). La presencia dominante persistió para P(B) en comparación con P(P) (Fig. 8). Esta depositación estuvo representada por especies planctónicas con preferencias a ambientes someros (primeros 200 m de profundidad) (*e.g.* *Globigerinoides ruber*, *G. elongatus* y *Orbulina universa*). Se registró a la especie *Globoquadrina baroemoenensis* con presencia en profundidades mayor a 500 m (Chaisson & Ravelo, 1997; Barolini & Román, 2009; Corbí, 2010; Aurahs *et. al.*, 2011). La asociación presentó testas de tipo trocoespiral, esférica y globosa, áspera y con poros. La mayoría de las especies están provistas de espinas de ambientes superficiales (Anexo VII).

La asociación de foraminíferos planctónicos y bentónicos correspondientes a esta depositación mostraron tendencias hacia ambientes someros. Durante el piso TPTG se registró lo que científicos llaman “Óptimo climático del Plioceno medio” el cual consistió en el aumento de la temperatura por varios grados sobre el actual, sin embargo durante los pisos TPGP y CPC las condiciones volvieron a cambiar

acumulando grandes cantidades de hielo haciendo la columna de agua somera (Fig. 8). Entre las especies bentónicas validadas se encuentra el género *Bolivina*, indicadora de un alto flujo de materia orgánica al piso oceánico y ligera concentración de oxígeno (Almeida *et. al.*, 2015).

10. Conclusión

Se lograron identificar tres eventos posibles de depositación entre el Mioceno-Pleistoceno inferior.

Las especies seleccionadas y corroboradas coinciden con los eventos climáticos ocurridos durante el tiempo en estudio.

Se infiere que durante el evento primero de depositación, pasando de un ambiente frío (Oi) a un ambiente cálido (post Oligoceno) dominó un ambiente cálido. Condiciones profundas se pudieron haber dado, generando así una posible asociación de especies constituida por especies planctónicas de testa calcárea, espinosos y bentónicos calcáreos-hialinos de ambientes batiales e infaunales.

Durante el evento segundo de depositación, la temperatura siguió en aumento predominando un ambiente cálido (Óptimo Climático del Mioceno medio), sin embargo, al final de dicho evento se presentó un enfriamiento brusco, pasando a condiciones de ambiente frío. Se propició un medio más somero que en el evento primero, generando una asociación especies planctónicas y bentónicas con testa calcárea mayormente adaptadas a ambientes neríticos.

El evento tercero de depositación transcurrió en un clima de tipo cálido (Óptimo Climático del Plioceno medio) seguido de un nuevo enfriamiento (inicio de la Era de Hielo). Se validaron especies planctónicas y bentónicas de testa calcárea, bentónicas de hábitos infaunales asociadas a la zona nerítica evidenciando posibles condiciones someras coincidiendo con el enfriamiento.

Durante el periodo Mioceno-Pleistoceno inferior, se presentó mayor presencia de foraminíferos bentónicos en comparación con especies planctónicas.

11. Bibliografía

- Aharon P. 2003. Meltwater flooding events in the Gulf of Mexico revisited: Implications for rapid climate changes during the last deglaciation. *Paleoceanography*. 18(4):14 pp.
- Ajayi E. & Okosun E. 2014. Planktic foraminiferal biostratigraphy of A, B, C, D Wells, offshore Niger delta, Nigeria. *American International Journal of Contemporary research*. 4(6):108-120 pp.
- Almeida F., R. de Mello, K. Costa & F. Toledo. 2015. The response of Deep-water benthic foraminiferal assemblages to changes in paleoproductivity during the Pleistocene (last 769.2 kyr), western South Atlantic Ocean. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*. 440:201-212 pp.
- Alves M., J. Hohenegger, F. Frintalini, P. Mirandda, M. Da Conceicao & J. Alveirinho. 2016. Comparison between the dead and living benthic foraminifera assemblages in Aveiron lagoon (Portugal). *Paleogeography*. 455:16-32 pp.
- Arenillas I., Alegret L., Arz J. & E. Molina. 2000. El uso didáctico de los foraminíferos en la enseñanza de ciencias de la Tierra: su distribución paleoceanográfica en el tránsito Cretácico-Terciario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 8:108-118 pp.
- Aurahs R., Y. Treis, K. Darling & M. Kucera. 2011. A revised taxonomic and phylogenetic concept for the planktonic foraminifer species *Globigerinoides ruber* based on molecular and morphometric evidence. *Marine Micropaleontology*. 79:1-14 pp.
- Ayala-Castañares A. 1966. Investigaciones sobre foraminíferos recientes de México. *Nat*. 27:7-21 pp.
- Bandy O. 1956. Ecology of foraminifera in northeastern Gulf of Mexico. U.S. Department of the interior. United States government printing. Washington. 179-203 pp.
- Bartolini C. & R. Román. 2010. Petroleum systems in the southern Gulf of Mexico. AAPG. 200 pp.
- Bassinot F. 2007. Oxygen isotope stratigraphy of the oceans. Elsevier. 1740-1748 pp.
- Bhaumik A., A. Gupta, S. Clemens & R. Mazumder. Functional morphology of *Melonis barleeanum* and *Hoegludina elegans*: a proxy for water-mass characteristic. *Current Science*. 106(8): 1133-1140 pp.
- Beldean C., S. Filipescu & R. Balci. 2012. Paleoenvironmental and biostratigraphic data for the early Miocene of the North Western Transylvanian basin based on planktonic foraminifera. *Carpathian Journal of earth and environmental sciences*. 7(1):177-184 pp.
- Belford D., Burger D., Skwarko S. & B. Kummel. 1974. Foraminifera from the olaga valley nassau range, Irian jaya. Bulletin 150. Department of minerals and energy. 213 pp.
- Benot C., A. Parra & M. Díaz. 1979. Contribución mediante foraminíferos al estudio de la problemática del Neógeno Andaluz. Universidad de Sevilla. 22(22): 122 pp.
- Berry W. 1968. Growth of a prehistoric time scale. San Francisco. 158 pp.

- Betancur M. & I. Martínez. 2003. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos de fondo de la cuenca de Panamá (Pacífico colombiano) como indicadores de productividad y oxígeno. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 32:93-123 pp.
- Bhaumik A., A. Gupta, S. Clemens & R. Mazumder. 2014. Functional morphology of *Melonis barleeianum* and *Hoeglundina elegans*: a proxy for water-mass characteristics. *Current Science.* 106(8):1133-1140 pp.
- Bolli H. 1957. Planktonic foraminifera from the Oligocene-Miocene and lengua formation of Trinidad. *Bulletin United States National Museum.* 1(225):877-971 pp.
- Bornmalm L. 1997. Taxonomy and paleoecology of late Neogene benthic foraminifera from the Caribbean Sea and eastern equatorial Pacific Ocean. Scandinavian University Press. 100 pp.
- Bryant W., J. Antoine, M. Ewing & B. Jones. 1968. Structure of mexican continental shelf and slope, Gulf of Mexico. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin.* 52:1204-1228 pp.
- Calonge A., E. Caus, & J. García. 2001. Los foraminíferos: presente y pasado. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.* 9(2):144-150 pp.
- Cantú A. 2009. Rocas de interés petrolero del Paleógeno en la Cuenca de Burgos, NE de México. *Rev. PetroQuiMex.* 13-18 pp.
- Cantú A. 2010. Estudios insuficientes en exploración petrolera. *PetroQuiMex.* Instituto Politécnico Nacional. 12-18 pp.
- Canudo J. & E. Molina. 1992. Bioestratigrafía y evolución de los foraminíferos planctónicos del límite Cretácico/Terciario en Osinaga (Pirineo de Navarra). III congreso geológico de España y VIII congreso latinoamericano de geología. Salamanca, simposios tomo 2:54-62 pp.
- Cardich J. 2012. Especies de foraminíferos bentónicos indicadores del estado de óxido-reducción del sedimento superficial en el margen continental central del Perú. Escuela de Postgrado Víctor Alzamora Castro. Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias de Mar. 176 pp.
- Casanova J. 2010. Las faunas frías del Pleistoceno. *Paleontología de Vertebrados y Humana.* 27 pp. <http://personal.iesvegadelturia.es/jvaltuena/Evolucion>. Consultado el 09 de mayo de 2017.
- Caso M., Pisantry I. & E. Ezcurra. 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. 626 pp.
- Cervantes-Hernández & Manzano-Sarabia 2015. Procesamiento y análisis satelital. Universidad Autónoma de Sinaloa. 37 pp.
- Chaisson W. & A. Ravelo. 1997. Changes in upper water column structure at site 925, late Miocene-Pleistocene: Planktonic foraminifer assemblage and isotopic evidence. *Scientific results.* 154:255-268 pp.
- Chester R. & T. Jickells. 2012 The components of marine sediments. *Marine Geochemistry.* 321-351 pp.
- Coloma C., M. Marchant & D. Hebblen. 2005. Foraminíferos planctónicos durante el niño 1997-98 de área de Coquimbo (30°S; 73°W), Chile. *Gayana.* 69(1):48-77 pp.
- Corbí H. 2010. Los foraminíferos de la cuenca neógena del bajo segura (sureste de España): bioestratigrafía y cambios paleoambientales en relación con la crisis de salinidad del mediterráneo. 289 pp.

- Culver S. 1988. New foraminiferal depth zonation of the northwestern Gulf of Mexico. *PALAIOS*. 3:69-85 pp.
- Daners G. & M. Verde. 2008. Fósiles microscópicos. Daniel Perea editor. DIRAC, facultad de ciencias. 47 pp.
- De la Lanza-Espino G. 1991. Oceanografía de mares mexicanos. AGT Editor. Universidad de Texas. 569 pp.
- De la Lanza G., M. Ortiz & J. Carbajal. 2013. Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. (81):33-50 pp.
- Denne R. & B. Sen. 1991. Association of bathyal foraminifera with water masses in the northwestern Gulf of Mexico. *Marine Micropaleontology*. 17:173-193 pp.
- Denne R. & B. Sen. 2005. The benthic foraminiferal record from the bathyal Gulf of Mexico during the last glacial-postglacial transition. *SEPM*. 75:63-79 pp.
- Dowsett H., S. Verardo & R. Poore. 2005. Gulf of Mexico planktic foraminifer transfer function GOM2: preliminary report. USGS. 17 pp.
- Eguiluz de Antuñano S. 2011. Sinopsis geológica de la cuenca de burgos, noreste de México: producción y recursos petroleros. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62(2): 323-332 pp.
- Estrada J. 2007. Trans-Boundary oil and gas fields between Mexico and the USA. Developing & delivering affordable energy in the 21st century. Houston, Texas. <http://www.usaee.org/usaee2007/submissions/OnlineProceedings/>. Consultado el 04 de diciembre de 2016.
- Fenero R., L. Alegret, L. Cruz, E. Molina & S. Ortiz. 2008. Asociación de foraminíferos bentónicos en la sección oligocena de Fuente Caldera (Granada). *GeoTemas*. 10:1281-1284 pp.
- Figueroa S., M. Marchant, S. Giglio & M. Ramírez. 2005. Foraminíferos bentónicos rotalinidos del centro sur de Chile (36° S-44° S). *Gayana*. 69(2):329-363 pp.
- Flower B. & P. Kennett. 1990. The Younger Dryas cool episode in the Gulf of Mexico. *Paleoceanography*. 5(6):949-961 pp.
- Flower B., D. Hastings, H. Hill & T. Quinn. 2004. Phasing of deglacial warming and Laurentide ice sheet meltwater in the Gulf of México. *Geology*. 32(7):597-600 pp.
- Galloway W. Ganey-Curry P. & T. Whiteaker. 2009. Regional controls from temporal an spatial distribution of continental slope and abyssal plain reservoir systems of the Gulf of Mexico basin. *In* Núñez-Useche F., Barragán R. & C. Canet. s/a. Sedimentación carbonatada, silícica y otros sedimentos químicos en los ambientes marinos profundos. *La Frontera Final: el océano profundo*. 27 pp.
- Gamper M. 1977. Bioestratigrafía del paleoceno y eoceno de la cuenca Tampico-Misantla basada en los foraminíferos planctónicos. *Univ. Nal. Autón.* 2(1): 117-128 pp.
- Goldhammer R. 1999. Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast México. *Geological Society of America Special Paper*. 1-58 pp.
- González R. & Holguin N. 1992. Las rocas generadoras de México. *Bol. AMGP*. 42(1):16-30 pp.

- Gonzalvo C. 1997. Correlación paleoceanográfica mediante foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno medio–Eoceno superior entre la Cordillera Bética y el Pirineo. *Rev. Soc. Geol.* 10 (1):29-38 pp.
- Hair J., W. Black, B. Babin & R. Anderson. 1999. *Multivariate data analysis*. 7 ed. Kindle. 758 pp.
- Holbourn A., W. Kuhnt, M. Schulz & H. Erlenkeuser. 2005. Impacts of orbital forcing and atmospheric carbon dioxide on Miocene ice-sheet expansion. *Nature*. 438:483-488 pp.
- Holbourn A., W. Kuhnt, M. Lyle, L. Schneider, O. Romero & N. Andersen. 2014. Middle Miocene climate cooling linked to intensification of Eastern equatorial Pacific upwelling. *Geology*. 42(1):19-22 pp.
- Isik U. & A. Hakyemez. 2011. Integrated Oligocene-lower Miocene larger and planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Kahraman Basin (south Anatolia, Turkey). *Tübitak*. 20:185-212 pp.
- Jean-Pierre B., R. Mathieu & B. Granier. 2010. *Short treatise on foraminifer ecology: essential on modern and fossil foraminifera*. 106 pp.
- Kender S., M. Kaminski & R. Jones. 2009. Early to middle Miocene foraminifera from the deep-sea Congo Fan, offshore Angola. *Micropaleontology*. 54(6): 477-568 pp.
- Kuroyanagi A., H. Kawahata, H. Narita, K. Ohkushi & T. Aramaki. 2006. Reconstruction of paleoenvironmental changes based on the planktonic foraminiferal assemblages of Shimokita (Japan) in the northwestern North Pacific. *Global and planetary change*. 53:92-107 pp.
- Lajous A. 2009. El caso de Catarell. NEXOS. <http://www.nexos.com.mx/?p=13321>.
- Lanza G., M. Ortiz & J. Carbajal. 2013. Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del mar Caribe. *Investigaciones geográficas*. UNAM. (81):33-50 pp.
- Leckie M., C. Farnham & M. Schmidt. 1993. Oligocene planktonic foraminifer biostratigraphy of hole 803D (ontong java plateau) and hole 628A (little Bahama bank), and comparison with the southern high latitudes. *Proceedings of the Ocean drilling program, Scientific results*. 130:113-136 pp.
- Loubere P. & W. Austin. 2007. Benthic foraminifera. *Paleocenography, biological proxies*. 1,618-1,627 pp.
- Machain-Castillo M., F. Gío-Argáez & E. Escobar-Briones. 2008. Foraminíferos y ostrácodos recientes de la zona batial y abisal del sur del Golfo de México. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. 153-173 pp.
- Machain-Castillo L., Gío-Argáez F., Cuesta-Castillo L., Alcalá-Herrera J. & Sen B. 2010. Last Glacial Maximum deep water masses in southwestern Gulf of Mexico: Clues from benthic foraminifera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62(3):453-467 pp.
- Manzano-Sarabia M. & C. Salinas-Zavala. 2008. Variabilidad estacional e interanual de la concentración de clorofila a y temperatura superficial del mar en la región occidental del Golfo de México. *Inerciencia* 33(9):628-634 pp.
- Marchant M. 2011. Paleoecología mediante foraminíferos del paleógeno del área Dorado Sur, de la cuenca de Magallanes, Chile. *Anales Instituto Patagonia*. 39(2):5-16 pp.

- Mojtahid M., C. Griveaud, C. Fontanier. P. Anschutz & F. Jorissen. 2010. Live benthic foraminiferal faunas along a bathymetrical transect (140-4800 m) in the Bay of Biscay (NE Atlantic). *Revue de micropaléontologie*. 24 pp.
- Molina E. 1997. Oligoceno-Mioceno inferior por medio de foraminíferos planctónicos en el sector central de las cordilleras Béticas (España). Tesis para obtener el título de doctor. Publicación Universidades de Granada y Zaragoza. 399 pp.
- Molina E. 2004. *Micropaleontología*. 2 ed. Prensa Universitaria de Zaragoza. 704 pp.
- Monreal M. & D. Salas de León. 2004. Golfo de México: circulación y productividad. *Ciencias*. 76:24-33 pp.
- Morales C., A. Escalera, G. Mora, M. Millán & M. Terán. 2013. Provincia petrolera Golfo de México profundo. PEMEX, Exploración y Producción. 26 pp.
- Murray J. 1991. Ecology and distribution of planktonic foraminifera *in* *Biology of Foraminifera*. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich Publishers, Londres. 221-284 pp.
- Murray J. 2006. Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge University Press. 426 pp.
- Narváez-Rodríguez J., Helenes-Escamilla J., Moral-Domínguez J., Martínez-Morales V., Macías-Ojeda., Castillejos-Zurita O. & M. Sánchez-Ríos. 2008. Bioestratigrafía de secuencias del Mioceno-Plioceno de la cuenca Macuspana, sureste del Golfo de México. *Rev.Mex. Cien.Geol.* 25(2):217-224 pp.
- Nava A. 2009. Respuesta de los foraminíferos planctónicos a cambios estacionales del periodo febrero-julio de 2006 en el noroeste del Golfo de Tehuantepec. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F. México. 69 pp.
- Núñez-Useche F., R. Barragán & C. Canet. 2014. Sedimentación carbonatada, silícica y otros sedimentos químicos en los ambientes marinos profundos. Instituto de Geología, UNAM Coyoacan. México, D.F. 57-83 pp.
- Oil & Gas 360. 2016. Did a White house appointee just kill deepwater drilling in the Gul of Mexico?. Consultado el 11 de febrero de 2017. <http://www.oilandgas360.com/white-house-appointee-just-kill-deepwater-drilling-gulf-mexico/>.
- Otto J. 1989. Pliocene benthic foraminifera from the Ontong-Java plateau (western equatorial pacific ocean): faunal response to changing paleoenvironments. *Cushman Foundation Special Publication*. 26:1-143 pp.
- Oviedo A. 2006. Deepwater exploration in Mexico. Pemex Exploración y Producción. 20 pp.
- Padilla R. 2007. Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del golfo de México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*. 59(1):19-42 pp.
- Palacios L. 2008. Catálogo de foraminíferos del Cretácico en México: un caso de estudio de la región de Aguililla, Michoacán. Tesis para obtener el título de Licenciado Biólogo. Universidad michoacana de San Nicolas de Hidalgo. 116 pp.
- Pérez A. 2005. Manual para el control geológico en la perforación de pozos productores de gas y petróleo mediante el uso de micropaleontología y

- sedimentología. Tesis para obtener el título de ingeniero geólogo. Universidad Nacional Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 83 pp.
- Pérez G. 2010. Análisis sismo-estratigráfico y estructural del área Tamil-Nab, sureste del Golfo de México profundo. Tesis para obtener el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional Autónoma de México. 160 pp.
- Pielou E. (1984). The interpretation of ecological data. Wiley & Sons. 264 pp.
- Rebotim A., A. Voelker, L. Jonkers, J. Waniek, H. Meggers, R. Schiebel, I. Fraile, M. Schulz & M. Kucera. 2016. Factors controlling the depth hábitat of planktonic foraminifera in the subtropical Eastern North Atlantic. Biogeosciences Discuss. 48 pp.
- Rosa del Río M., G. Ávila, M. Téllez-Duarte, O. Gonzalez-Yajimovich & L. Cupul. 2011. Distribución y abundancia de tanatocenosis de foraminíferos bentónicos submareles en el delta del río Colorado. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 63(3):445-458 pp.
- Rousselle G., C. Beltran, M. Sicre, I. Raffi & M. De Rafélis. 2013. Changes in sea-surface conditions in the Equatorial Pacific during the middle Miocene-Pliocene as inferred from coccolith geochemistry. Earth and planetary sciences letters. 361:412-421 pp.
- Rozo-Vera G. 1992. Implicaciones paleoceanográficas de los foraminíferos bentónicos cuaternarios de la boca del Golfo de California. Univ. Nal. Autón. Méx. 2(9):177-194 pp.
- Saldaña J. & D. Shield. 2010. Identificando los yacimientos fronterizos del Golfo de México. Enlace: <http://energiaadebate.com/identificando-los-yacimientos-fronterizos-del-golfo-de-mexico>.
- Sánchez M., J. González, A. Del Valle, M. Ayala, P. Padilla, J. Sánchez, J. Rico, L. Aguirre, G. Quintanilla, D. García, C. Pérez, P. Fuentes, A. Reyes & B. Reyna. 2006. Bioestratigrafía de alta resolución en sedimentos del Neógeno de dos pozos del occidente del Golfo de México. Asociación de geólogos petroleros. PEMEX. 80-9 pp.
- Schiebel R., B. Schmuker, M. Alves & C. Hemleben. 2002. Tracking the recent and late Pleistocene Azore front by the distribution of planktic foraminifers. Journal of Marine Systems. 31:213-227 pp.
- Schiebel R. & C. Hemleben. 2005. Modern planktic foraminifera. Paläontologische Zeitschrift. 79(1):135-148 p.
- Schiebel R. & C. Hemleben. 2016. Planktic foraminifers in the modern ocean: ecology, biogeochemistry and application. Springer. 333 pp.
- Schröder-Adams C. 2006. Estuaries of the past and present: A biofacies perspective. Sedimentary Geology. 190:289-298 pp.
- Segura L. 2009. El desarrollo de los yacimientos transfronterizos de petróleo en México. Tesis para obtener el grado de M. en C. en Geociencias y Administracion de Recursos Naturales. Instituto Politécnico Nacional. 147 pp.
- Sen B. 2003. Modern foraminifera. Kluwer Academic Publishers. New York. 367 pp.
- Sharma V. & D. Mazumdar. 1996. *Melonis pompilioides* (Fichtel and moll) in the late Neogene of Andaman-Nicobar islands, northern Indian Ocean: paleoceanographic significance. Journal of the palaeontological society of India. 41: 21-28 pp.

- Shevenell A., J. Kennett & L. Dw. 2004. Middle Miocene southern ocean cooling Antarctic cryosphere expansion, *Science*. 305:1,766-1,770 pp.
- Trask P., J. Phleger & H. Stetson. 1947. Recent changes in sedimentation in the Gulf of Mexico *In* Núñez-Useche F., Barragán R. & C. Canet. s/a. Sedimentación carbonatada, silícica y otros sedimentos químicos en los ambientes marinos profundos. *La Frontera Final: el océano profundo*. 27 pp.
- Uriarte A. 2010. Historia del clima en la Tierra. *Paleoceanografía*. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco. 452 pp.
- Valle S. 2011. Perfiles sísmicos de alta resolución y magnéticos del lecho marino dentro del polígono oriental del Golfo de México. Tesis para obtener el título de Ingeniero geofísico. Universidad Nacional Autónoma de México. 70 pp.
- Vargas M. 2011. Foraminíferos del Golfo de Urabá y su potencial como paleoindicadores y bioindicadores de cambios ecológicos. Tesis para obtener el título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 122 pp.
- Villagrán G. 2008. Los radiolarios policistinos en los sedimentos laminados de la cuenca del Carmen, Golfo de California: su significado paleoceanográfico. Tesis para obtener el título de licenciada en Biología Marina. UMAR, Puerto Ángel. 94 pp.
- Von F. 1994. *Globigerina ciperoensis* (Foraminiferida) in the Oligocene and Miocene of the Central Paratethys. *Ann. Naturhist. Mus.* 133-159 pp.
- Waelbroeck C., L. Labeyrie, E. Michel, J. Duplessy, J. McManus, K. Lambeck, E. Balbon & M. Labracherie. 2002. Sea-level and deep water temperature changes derives from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Reviews*. 21:295-305 p.
- Wright R. & E. Robinson. 1993. *Biostratigraphy of Jamaica*. Geological Society of America. 492 pp.
- Zachos J., M. Pagani, L. Sloan, E. Thomas & K. Billups. 2011. Trends, rhythms and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*. 292:686-693 pp.
- Zavala J. & A. Fernández. 2004. Propuesta para la regionalización de los mares mexicanos desde el punto de vista de los procesos físicos: el caso del Golfo de México. *Taller de ordenamiento ecológico costero*. 12 pp.

Páginas Web

- 1) <http://taxonconcept.stratigraphy.net>.
- 2) http://www-odp.tamu.edu/publications/194_IR/chap_02/c2_t4.htm
- 3) <http://www.foraminifera.eu/uvigerina-sp1-faroe.html>
- 4) http://www.actiweb.es/paleontologia_avila/oligoceno.html
- 5) <http://eol.org/pages/595427/data>
- 6) <https://www.researchgate.net>.
- 7) <http://www.marinespecies.org>
- 8) <http://www.jamstec.go.jp>
- 9) <http://species-identification.org>.
- 10) <http://mikrotax.org>.
- 11) <http://gsi.ir>.

Anexo I

Matriz de datos de abundancia de foraminíferos o matriz *N*. Número de identificación asignado a cada especie (Num.). Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piaceziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML), Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP).

Num.	Especie	CPC	TPGP	TPTG	TPTZ	TMTM	TMTT	TMMSP	TMML	TMTB	TMTAP
1	<i>Alvarezina cyclostomata</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
2	<i>Alvarezina mexicana</i>	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0
3	<i>Ammonia beccarii</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	<i>Anomalina flinti</i>	0	0	0	50	0	0	0	25	0	0
5	<i>Anomalinoides umbonatus</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
6	<i>Astacolus cristi</i>	25	0	650	0	0	0	0	0	0	0
7	<i>Astacolus vaughani</i>	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
8	<i>Bolivina plicatella</i>	0	0	175	50	0	0	0	0	0	0
9	<i>Bolivina thalmani</i>	50	125	1050	0	0	0	0	0	0	0
10	<i>Brizalina alata</i>	0	0	175	175	0	0	0	0	0	0
11	<i>Brizalina marginata</i>	0	0	0	100	25	0	0	0	0	0
12	<i>Brizalina subaenariensis</i>	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	<i>Bulimina jarvisi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100
14	<i>Bulimina marginata</i>	0	0	425	200	50	0	0	0	25	0
15	<i>Bulimina mexicana</i>	0	0	625	150	0	0	0	0	0	0
16	<i>Bulimina semicostata</i>	0	0	0	0	0	0	0	25	25	0
17	<i>Bulimina sp.</i>	25	0	100	0	0	0	0	0	0	0
18	<i>Bulimina striata</i>	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0
19	<i>Cancris sagra</i>	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
20	<i>Cassidulina laevigata</i>	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
21	<i>Catapsydrax stainforthi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0

22	<i>Cibicoides incrassatus</i>	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
23	<i>Cibicoides miocenica</i>	100	0	25	175	0	0	0	0	0	0
24	<i>Cibicoides pachyderma</i>	0	0	1175	325	25	0	0	0	0	0
25	<i>Cibicoides robertsonianus</i>	0	0	25	0	0	0	100	0	0	0
26	<i>Cibicoides sp.</i>	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0
27	<i>Criboelphidium advenum</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	<i>Cyclammina cancellata</i>	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0
29	<i>Elphidium advenum</i>	0	0	75	75	0	0	75	0	0	0
30	<i>Eponides antillarum</i>	0	125	0	0	0	0	0	0	0	0
31	<i>Florilus scaphrum</i>	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0
32	<i>Globigerina ciperoensis angustiumbilicata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
33	<i>Globigerina ciperoensis ciperoensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0
34	<i>Globigerina microstoma</i>	0	0	0	100	275	25	0	0	0	0
35	<i>Globigerina nepentes</i>	0	0	0	175	475	100	0	0	0	0
36	<i>Globigerina ouachitaensis ouachitaensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
37	<i>Globigerina sp.</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	250	100
38	<i>Globigerina tripartita</i>	0	0	0	0	225	0	50	0	1075	0
39	<i>Globigerina venezuelana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0
40	<i>Globigerina yeguaensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
41	<i>Globigerinoides altiapertura</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
42	<i>Globigerinoides bisphericus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0
43	<i>Globigerinoides conglobatus</i>	50	50	550	50	0	0	0	0	0	0
44	<i>Globigerinoides elongatus</i>	2175	100	1475	200	0	0	0	0	0	0
45	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	4025	1500	525	300	0	0	0	0	0	0
46	<i>Globigerinoides obliquus obliquus</i>	100	0	225	575	150	0	0	0	0	0
47	<i>Globigerinoides primordius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
48	<i>Globigerinoides ruber</i>	1175	200	825	600	25	0	0	0	0	0
49	<i>Globigerinoides sp.</i>	100	0	550	0	0	0	0	0	0	0

50	<i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i>	0	0	650	1050	425	25	0	25	100	0
51	<i>Globigerinoides trilobus immaturus</i>	475	25	700	275	0	0	25	25	100	0
52	<i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	275	0
53	<i>Globigerinoides trilobus trilobus</i>	2050	600	850	1475	475	25	100	25	225	0
54	<i>Globoquadrina altispira altispira</i>	0	0	0	0	75	0	25	25	0	0
55	<i>Globoquadrina altispira conica</i>	0	0	225	50	0	0	0	0	0	0
56	<i>Globoquadrina baroemoenensis</i>	875	100	250	75	0	0	0	0	0	0
57	<i>Globoquadrina praedehiscens</i>	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
58	<i>Globoquadrina sp.</i>	200	0	150	0	0	0	0	0	0	0
59	<i>Globorotalia acostaensis acostaensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
60	<i>Globorotalia cf kugleri</i>	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0
61	<i>Globorotalia crassaformis crassaformis</i>	0	0	0	0	0	0	50	25	0	0
62	<i>Globorotalia crassaformis ronda</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0
63	<i>Globorotalia crassaformis viola</i>	175	0	100	0	0	0	0	0	0	0
64	<i>Globorotalia fohsi fohsi</i>	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
65	<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	0	0	0	0	0	0	25	25	200	100
66	<i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i>	0	0	275	25	0	0	0	0	0	0
67	<i>Globorotalia humerosa humerosa</i>	75	0	75	50	0	0	0	0	0	0
68	<i>Globorotalia humerosa praehumerosa</i>	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
69	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	0	0	150	125	0	0	0	0	0	0
70	<i>Globorotalia mayeri</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
71	<i>Globorotalia menardii cultrata</i>	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
72	<i>Globorotalia menardii menardii</i>	0	0	0	0	0	0	0	25	50	0
73	<i>Globorotalia miocenica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0
74	<i>Globorotalia multicamerata</i>	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
75	<i>Globorotalia obesa</i>	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0
76	<i>Globorotalia opima nana</i>	0	0	50	100	0	0	0	0	0	0
77	<i>Globorotalia opima opima</i>	50	0	25	0	0	0	0	0	0	0

78	<i>Globorotalia pertenuis</i>	0	25	525	50	0	0	0	0	0	0
79	<i>Globorotalia plesiotumida</i>	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
80	<i>Globorotalia pseudomiocenica</i>	0	0	125	100	0	0	0	0	0	0
81	<i>Globorotalia pseudopima</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
82	<i>Globorotalia scitula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	450	225
83	<i>Globorotalia truncatulinoidea excelsa</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	<i>Globorotalia truncatulinoidea truncatulinoidea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0
85	<i>Globorotalia tumida flexuosa</i>	0	0	0	625	0	0	75	0	25	0
86	<i>Globorotalia tumida tumida</i>	0	0	0	125	25	0	25	0	50	0
87	<i>Globorotaloides suteri</i>	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0
88	<i>Globorotaloides variabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	25	150	0
89	<i>Gyroidinoides altiformis</i>	0	0	125	325	25	0	100	25	125	0
90	<i>Gyroidinoides broeckhiana</i>	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0
91	<i>Gyroidinoides soldanii</i>	0	0	0	100	25	0	0	0	25	25
92	<i>Gyroidinoides sp.</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
93	<i>Hanzawaia americana</i>	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	<i>Hanzawaia concéntrica</i>	0	25	24	0	0	0	0	0	0	0
95	<i>Hanzawaia isidroensis</i>	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
96	<i>Hanzawaia sp.</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	<i>Hastigerina aequilateralis</i>	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
98	<i>Hastigerina siphonifera</i>	75	0	75	0	0	0	0	0	75	0
99	<i>Heterolepa dutemplei</i>	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
100	<i>Islandiella californica</i>	0	0	950	2300	450	100	150	25	175	25
101	<i>Karreriella bradyi</i>	0	0	0	125	0	0	0	0	0	0
102	<i>Karreriella chilostoma</i>	75	0	0	75	0	0	75	0	75	75
103	<i>Lenticulina americana spinosa</i>	0	0	600	200	25	0	0	0	0	0
104	<i>Lenticulina calcar</i>	275	200	950	0	0	0	0	0	0	0
105	<i>Lenticulina sp.</i>	375	0	25	25	0	0	25	0	25	0

106	<i>Lenticulina thalmani</i>	75	0	75	0	0	0	0	0	0	0
107	<i>Marginulinopsis goajiraensis</i>	25	25	100	0	0	0	0	0	0	0
108	<i>Marginulinopsis marginulinoidea</i>	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0
109	<i>Martinottiella communis</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
110	<i>Martinottiella gallowayi</i>	0	0	25	75	0	0	25	0	0	0
111	<i>Melonis affinis</i>	0	0	0	200	125	25	75	25	0	0
112	<i>Melonis pompilioides</i>	0	0	0	0	0	0	125	0	200	100
113	<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	1525	100	1600	425	0	0	0	0	0	0
114	<i>Nodosaria sp.</i>	0	0	25	200	0	0	25	0	0	0
115	<i>Nonionella turgida</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	0	75
116	<i>Orbulina universa</i>	1500	200	1725	725	200	25	25	0	0	0
117	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	0	0	0	25	25	25	50	0	25	0
118	<i>Oridorsalis variapertura</i>	0	0	0	25	25	0	125	0	0	0
119	<i>Planulina ariminensis</i>	125	0	750	275	0	0	100	0	0	0
120	<i>Planulina sp.</i>	50	25	50	75	50	0	25	0	0	0
121	<i>Plectofrondicularia californica</i>	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
122	<i>Praeglobobulimina ovata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
123	<i>Praeglobobulimina pupoides</i>	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
124	<i>Praeglobobulimina sp.</i>	75	0	0	75	0	0	75	0	75	75
125	<i>Praeorbulina glomerosa curva</i>	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
126	<i>Praeorbulina glomerosa glomerosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
127	<i>Praeorbulina transitoria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
128	<i>Pullenia bulloides</i>	0	0	150	1575	50	0	50	0	75	75
129	<i>Pullenia quinqueloba</i>	25	0	25	0	1000	0	0	0	0	0
130	<i>Pulleniatina finalis</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
131	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	<i>Pyrgo bulloides</i>	75	0	0	75	0	0	0	0	0	0
133	<i>Pyrgo depressa</i>	75	0	0	75	0	0	0	0	0	0

134	<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	100	0	175	100	100	0	0	0	0	0
135	<i>Rectuvigerina sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
136	<i>Rectuvigerina transversa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0
137	<i>Reussella atlántica</i>	75	0	0	75	0	0	0	0	0	0
138	<i>Reussella spinulosa</i>	150	25	25	0	0	0	0	0	0	0
139	<i>Saracenaria sp.</i>	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	<i>Saracenaria toddae</i>	0	0	0	1000	0	0	0	0	0	0
141	<i>Sigmoilinita tenuis</i>	0	0	175	1375	125	25	0	0	0	0
142	<i>Sigmoilopsis schlumbergeri</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
143	<i>Siphonina advena</i>	50	0	25	0	0	0	0	0	0	0
144	<i>Siphonina pozonensis</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	<i>Siphonina reticulata</i>	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
146	<i>Siphonina sp.</i>	525	0	1025	0	0	0	0	0	0	25
147	<i>Siphonina tenuicarinata</i>	25	0	100	0	0	0	0	0	0	0
148	<i>Siphonodosaria abyssorum</i>	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0
149	<i>Siphouvigerina auberiana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
150	<i>Sphaeroidina bulloides</i>	0	0	150	1475	200	25	150	0	200	75
151	<i>Sphaeroidinella dehiscens</i>	150	200	375	350	0	0	0	0	0	0
152	<i>Sphaeroidinellopsis disjuncta</i>	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0
153	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	25	0	375	2175	175	0	0	0	0	0
154	<i>Textularia bermudezi</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
155	<i>Textularia nipeensis</i>	0	0	25	1325	75	0	75	0	0	0
156	<i>Textularia sp.</i>	0	0	0	1025	0	0	100	0	0	0
157	<i>Trifarina rutila</i>	100	0	25	225	0	0	0	0	0	0
158	<i>Trochamminoides deformata</i>	0	0	0	1025	100	0	0	0	0	0
159	<i>Uvigerina bermudezi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
160	<i>Uvigerina hispida</i>	0	0	0	50	25	0	0	0	0	0
161	<i>Uvigerina laviculata</i>	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0

162	<i>Uvigerina mexicana</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
163	<i>Uvigerina peregrina</i>	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
164	<i>Uvigerina rustica</i>	0	0	0	2150	50	0	125	0	0	0
165	<i>Uvigerina sp.</i>	3150	500	875	4450	500	0	50	25	275	0

Anexo II

Matriz de cargas factoriales (*Scores*) para asignar las *i* especies de foraminíferos en cada evento de depositación en la solución del modelo de rotación ortogonal *Quartimax*. Las cargas factoriales asignadas >0.50 que están en negrita indican la asignación de la *i* especies en el *n*CP señalado. Número de identificación asignado a cada especie (Num.). Validación de signación (V), no validación de asignación (N).

Num.	Especie	Evento primero de depositación (CP3)	Evento segundo de depositación (CP1)	Evento tercero de depositación (CP2)	
1	<i>Alvarezina cyclostomata</i>	-0.35009	-0.34113	-0.27855	N
2	<i>Alvarezina mexicana</i>	-0.34171	-0.24719	-0.24134	N
3	<i>Ammonia beccarii</i>	-0.35005	-0.40180	-0.23100	N
4	<i>Anomalina flinti</i>	-0.21037	0.40691	-0.33392	N
5	<i>Anomalinoides umbonatus</i>	-0.35009	-0.34113	-0.27855	N
6	<i>Astacolus cristi</i>	-0.60168	-0.27544	0.24992	V
7	<i>Astacolus vaughani</i>	-0.37342	-0.37909	-0.25676	N
8	<i>Bolivina plicatella</i>	-0.41918	-0.33306	-0.14649	N
9	<i>Bolivina thalmani</i>	-0.70554	-0.32321	0.98188	V
10	<i>Brizalina alata</i>	-0.41393	-0.27434	-0.12324	N
11	<i>Brizalina marginata</i>	-0.36993	-0.26579	-0.28473	N
12	<i>Brizalina subaenariensis</i>	-0.31474	-0.51591	0.32024	V
13	<i>Bulimina jarvisi</i>	2.06362	-0.81225	-0.26500	V
14	<i>Bulimina marginata</i>	-0.42856	-0.07081	0.07904	N
15	<i>Bulimina mexicana</i>	-0.58724	-0.20493	0.23558	V
16	<i>Bulimina semicostata</i>	-0.09277	0.37945	-0.33516	N
17	<i>Bulimina sp.</i>	-0.39115	-0.37463	-0.19432	N
18	<i>Bulimina striata</i>	-0.37307	-0.30102	-0.29868	N
19	<i>Cancris sagra</i>	-0.36385	-0.38360	-0.27695	N
20	<i>Cassidulina laevigata</i>	-0.36385	-0.38360	-0.27695	N
21	<i>Catapsydrax stainforthi</i>	-0.11489	-0.39606	-0.28102	N
22	<i>Cibicidoides incrassatus</i>	-0.37412	-0.31277	-0.30333	N
23	<i>Cibicidoides miocenica</i>	-0.35087	-0.31965	-0.15620	N
24	<i>Cibicidoides pachyderma</i>	-0.81027	0.05180	0.70620	V
25	<i>Cibicidoides robertsonianus</i>	0.33592	0.32226	-0.47241	N
26	<i>Cibicidoides sp.</i>	-0.36244	-0.38816	-0.25490	N
27	<i>Criboelphidium advenum</i>	-0.35005	-0.40180	-0.23100	N
28	<i>Cyclammina cancellata</i>	-0.17829	-0.19990	-0.34136	N
29	<i>Elphidium advenum</i>	0.14498	0.19004	-0.36921	N
30	<i>Eponides antillarum</i>	-0.30643	-0.50344	0.08967	V
31	<i>Florilus scaphrum</i>	-0.38691	-0.38833	-0.12818	N
32	<i>Globigerina ciperoensis angustiumbilicata</i>	-0.23458	-0.39208	-0.28908	N
33	<i>Globigerina ciperoensis ciperoensis</i>	0.84271	-0.42787	-0.21653	V
34	<i>Globigerina microstoma</i>	-0.87705	1.30728	-0.62682	V

35	<i>Globigerina nepentes</i>	-1.95884	4.40429	-1.50315	V
36	<i>Globigerina ouachitaensis ouachitaensis</i>	-0.23458	-0.39208	-0.28908	N
37	<i>Globigerina sp</i>	3.02226	-0.83232	-0.19585	V
38	<i>Globigerina tripartita</i>	4.96413	0.47185	-0.10385	V
39	<i>Globigerina venezuelana</i>	0.84271	-0.42787	-0.21653	V
40	<i>Globigerina yeguaensis</i>	-0.23458	-0.39208	-0.28908	N
41	<i>Globigerinoides altiapertura</i>	0.19034	-0.49215	-0.29314	N
42	<i>Globigerinoides bisphericus</i>	0.00481	-0.40003	-0.27296	N
43	<i>Globigerinoides conglobatus</i>	-0.54076	-0.32069	0.35523	V
44	<i>Globigerinoides elongatus</i>	-0.74937	-0.51754	3.15922	V
45	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	0.25890	-2.27148	8.37450	V
46	<i>Globigerinoides obliquus obliquus</i>	-0.52968	0.35633	0.04265	V
47	<i>Globigerinoides primordius</i>	0.19034	-0.49215	-0.29314	N
48	<i>Globigerinoides ruber</i>	-0.52183	-0.28123	2.12989	V
49	<i>Globigerinoides sp</i>	-0.55917	-0.30717	0.23530	V
50	<i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i>	-0.58444	3.07838	0.02399	V
51	<i>Globigerinoides trilobus immaturus</i>	0.22125	0.68960	0.75303	V
52	<i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i>	0.96241	-0.43185	-0.20846	V
53	<i>Globigerinoides trilobus trilobus</i>	0.96090	3.22280	3.76186	V
54	<i>Globoquadrina altispira altispira</i>	-0.09704	0.78590	-0.41063	V
55	<i>Globoquadrina altispira conica</i>	-0.43831	-0.32404	-0.10611	N
56	<i>Globoquadrina baroemoenensis</i>	-0.35913	-0.55982	0.99992	V
57	<i>Globoquadrina praedehiscens</i>	-0.35219	-0.36462	-0.28785	N
58	<i>Globoquadrina sp</i>	-0.40040	-0.39757	0.00041	N
59	<i>Globorotalia acostaensis acostaensis</i>	0.19034	-0.49215	-0.29314	N
60	<i>Globorotalia cf kugleri</i>	-0.03752	0.55989	-0.39209	V
61	<i>Globorotalia crassaformis crassaformis</i>	0.13742	0.73635	-0.44095	V
62	<i>Globorotalia crassaformis ronda</i>	1.32151	-0.44378	-0.18428	N
63	<i>Globorotalia crassaformis viola</i>	-0.38268	-0.40202	-0.06203	N
64	<i>Globorotalia fohsi fohsi</i>	-0.39256	-0.37007	-0.21637	N
65	<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	3.09857	0.11188	-0.31156	V
66	<i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i>	-0.45850	-0.32677	-0.07037	N
67	<i>Globorotalia humerosa humerosa</i>	-0.37666	-0.36479	-0.16112	N
68	<i>Globorotalia humerosa praeumerosa</i>	-0.35219	-0.36462	-0.28785	N
69	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	-0.40646	-0.30234	-0.15274	N
70	<i>Globorotalia mayeri</i>	-0.35324	-0.37636	-0.29250	N
71	<i>Globorotalia menardii cultrata</i>	-0.17934	-0.21164	-0.34601	N
72	<i>Globorotalia menardii menardii</i>	0.02693	0.37547	-0.32710	N
73	<i>Globorotalia miocenica</i>	0.36391	-0.41197	-0.24877	N
74	<i>Globorotalia multicamerata</i>	-0.35219	-0.36462	-0.28785	N
75	<i>Globorotalia obesa</i>	-0.34799	-0.31765	-0.26925	N
76	<i>Globorotalia opima nana</i>	-0.36923	-0.33211	-0.23816	N
77	<i>Globorotalia opima opima</i>	-0.36103	-0.39272	-0.23285	N

78	<i>Globorotalia pertenuis</i>	-0.54358	-0.29300	0.21357	V
79	<i>Globorotalia plesiotumida</i>	-0.37342	-0.37909	-0.25676	N
80	<i>Globorotalia pseudomiocenica</i>	-0.39794	-0.31859	-0.17758	N
81	<i>Globorotalia pseudopima</i>	-0.35324	-0.37636	-0.29250	N
82	<i>Globorotalia scitula</i>	6.70193	-1.39612	-0.11597	V
83	<i>Globorotalia truncatulinoidea excelsa</i>	-0.35005	-0.40180	-0.23100	N
84	<i>Globorotalia truncatulinoidea truncatulinoidea</i>	-0.11489	-0.39606	-0.28102	N
85	<i>Globorotalia tumida flexuosa</i>	0.31645	0.43088	-0.31943	N
86	<i>Globorotalia tumida tumida</i>	0.04546	-0.08554	-0.31282	N
87	<i>Globorotaloides suteri</i>	-0.17829	-0.19990	-0.34136	N
88	<i>Globorotaloides variabilis</i>	0.50573	0.35956	-0.29485	V
89	<i>Gyroidinoides altiformis</i>	1.03174	1.31993	-0.34314	V
90	<i>Gyroidinoides broeckhiana</i>	-0.00440	-0.03518	-0.39488	N
91	<i>Gyroidinoides soldanii</i>	0.29440	-0.37382	-0.27266	N
92	<i>Gyroidinoides sp</i>	-0.35324	-0.37636	-0.29250	N
93	<i>Hanzawaia americana</i>	-0.35287	-0.39267	-0.27510	N
94	<i>Hanzawaia concéntrica</i>	-0.35390	-0.40684	-0.20040	N
95	<i>Hanzawaia isidroensis</i>	-0.31600	-0.48038	0.01231	N
96	<i>Hanzawaia sp.</i>	-0.35005	-0.40180	-0.23100	N
97	<i>Hastigerina aequilateralis</i>	-0.36385	-0.38360	-0.27695	N
98	<i>Hastigerina siphonifera</i>	-0.01966	-0.40020	-0.14623	N
99	<i>Heterolepa dutemplei</i>	-0.39256	-0.37007	-0.21637	N
100	<i>Islandiella californica</i>	0.36045	7.19686	-0.61319	V
101	<i>Karrerella bradyi</i>	-0.34904	-0.32939	-0.27390	N
102	<i>Karrerella chilostoma</i>	2.17090	-0.16125	-0.32744	V
103	<i>Lenticulina americana spinosa</i>	-0.59541	-0.11061	0.21851	V
104	<i>Lenticulina calcar</i>	-0.62584	-0.45153	1.33165	V
105	<i>Lenticulina sp.</i>	-0.04698	-0.26783	0.01764	N
106	<i>Lenticulina thalmani</i>	-0.37876	-0.38827	-0.17042	N
107	<i>Marginulinopsis goajiraensis</i>	-0.38158	-0.39770	-0.11696	N
108	<i>Marginulinopsis marginulinoidea</i>	-0.41170	-0.36105	-0.17599	N
109	<i>Martinottiella communis</i>	-0.35009	-0.34113	-0.27855	N
110	<i>Martinottiella gallowayi</i>	-0.18577	-0.17190	-0.31187	N
111	<i>Melonis affinis</i>	-0.08718	2.20314	-0.76380	V
112	<i>Melonis pompilioides</i>	3.65653	0.04620	-0.46095	V
113	<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	-0.82450	-0.27063	2.72874	V
114	<i>Nodosaria sp.</i>	-0.18052	-0.11319	-0.28862	N
115	<i>Nonionella turgida</i>	1.28383	-0.71394	-0.21898	V
116	<i>Orbulina universa</i>	-1.11541	1.40398	2.79432	V
117	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	-0.21223	0.86762	-0.66862	V
118	<i>Oridorsalis variapertura</i>	0.50164	0.58129	-0.54300	V
119	<i>Planulina ariminensis</i>	0.07699	0.55936	0.27459	V
120	<i>Planulina sp</i>	-0.22262	-0.04892	-0.18258	N

121	<i>Plectofrondicularia californica</i>	-0.35219	-0.36462	-0.28785	N
122	<i>Praeglobobulimina ovata</i>	-0.23458	-0.39208	-0.28908	N
123	<i>Praeglobobulimina pupoides</i>	-0.36385	-0.38360	-0.27695	N
124	<i>Praeglobobulimina sp</i>	2.17090	-0.16125	-0.32744	V
125	<i>Praeorbulina glomerosa curva</i>	-0.17934	-0.21164	-0.34601	N
126	<i>Praeorbulina glomerosa glomerosa</i>	-0.23458	-0.39208	-0.28908	N
127	<i>Praeorbulina transitoria</i>	-0.23458	-0.39208	-0.28908	N
128	<i>Pullenia bulloides</i>	1.95752	0.55828	0.04308	V
129	<i>Pullenia quinqueloba</i>	-1.15595	2.62533	-0.50219	V
130	<i>Pulleniatina finalis</i>	-0.35324	-0.37636	-0.29250	N
131	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	-0.35005	-0.40180	-0.23100	N
132	<i>Pyrgo bulloides</i>	-0.34690	-0.36657	-0.21705	N
133	<i>Pyrgo depressa</i>	-0.34690	-0.36657	-0.21705	N
134	<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	-0.49078	-0.02648	-0.07372	N
135	<i>Rectuvigerina sp</i>	-0.23458	-0.39208	-0.28908	N
136	<i>Rectuvigerina transversa</i>	0.24421	-0.40799	-0.25684	N
137	<i>Reussella atlántica</i>	-0.34690	-0.36657	-0.21705	N
138	<i>Reussella spinulosa</i>	-0.34581	-0.43405	-0.06729	N
139	<i>Saracenaria sp.</i>	-0.35287	-0.39267	-0.27510	N
140	<i>Saracenaria toddae</i>	-0.31236	0.08162	-0.11114	N
141	<i>Sigmoilinita tenuis</i>	-0.77155	1.48570	-0.21122	V
142	<i>Sigmoilopsis schlumbergeri</i>	-0.35324	-0.37636	-0.29250	N
143	<i>Siphonina advena</i>	-0.36103	-0.39272	-0.23285	N
144	<i>Siphonina pozonensis</i>	-0.35005	-0.40180	-0.23100	N
145	<i>Siphonina reticulata</i>	-0.39256	-0.37007	-0.21637	N
146	<i>Siphonina sp</i>	-0.17236	-0.40315	0.99782	V
147	<i>Siphonina tenuicarinata</i>	-0.39115	-0.37463	-0.19432	N
148	<i>Siphonodosaria abyssorum</i>	-0.17829	-0.19990	-0.34136	N
149	<i>Siphouvigerina auberiana</i>	0.73497	-0.59620	-0.28913	V
150	<i>Sphaeroidina bulloides</i>	2.82383	2.46900	-0.44803	V
151	<i>Sphaeroidinella dehiscens</i>	-0.39812	-0.36800	0.82206	V
152	<i>Sphaeroidinellopsis disjuncta</i>	-0.45347	-0.01142	-0.32806	N
153	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	-0.54409	1.22396	0.38909	V
154	<i>Textularia bermudezi</i>	-0.35009	-0.34113	-0.27855	N
155	<i>Textularia nipeensis</i>	0.15702	0.99418	-0.19564	V
156	<i>Textularia sp.</i>	0.38847	0.79921	-0.30195	V
157	<i>Trifarina rutila</i>	-0.34877	-0.29617	-0.14690	N
158	<i>Trochamminoides deformata</i>	-0.39066	0.39471	-0.13122	N
159	<i>Uvigerina bermudezi</i>	0.19034	-0.49215	-0.29314	N
160	<i>Uvigerina hispida</i>	-0.37203	-0.28928	-0.29403	N
161	<i>Uvigerina laviculata</i>	-0.36385	-0.38360	-0.27695	N
162	<i>Uvigerina mexicana</i>	-0.35324	-0.37636	-0.29250	N
163	<i>Uvigerina peregrina</i>	-0.36385	-0.38360	-0.27695	N

164	<i>Uvigerina rustica</i>	0.57090	1.65478	-0.15392	V
165	<i>Uvigerina sp.</i>	1.27834	3.41091	5.38409	V

Anexo III

Matriz de presencia-ausencia (P/A) de foraminíferos planctónicos y bentónicos. Número de identificación asignado a cada especie (Num.). Planctónico (P), Bentónico (B). Cuaternario Pleistoceno Calabriano (CPC), Terciario Plioceno Gelasiano Probable (TPGP), Terciario Plioceno Tardío Piacenziano (TPTG), Terciario Plioceno Temprano Zancleano (TPTZ), Terciario Mioceno Tardío Tortoniano (TMTT), Terciario Mioceno Tardío Messiniano (TMTM), Terciario Mioceno Medio Serravaliano Probable (TMMSP), Terciario Mioceno Medio Langhiano (TMML), Terciario Mioceno Temprano Burdigaliano (TMTB) y Terciario Mioceno Temprano Aquitaniano Probable (TMTAP).

Num.	Grupo	CPC	TPGP	TPTG	TPTZ	TMTM	TMTT	TMMSP	TMML	TMTB	TMTAP
1	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	B	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
5	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	B	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
9	B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	B	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
11	B	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
12	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
14	B	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0
15	B	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
16	B	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
17	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
18	B	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
19	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
21	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
22	B	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
23	B	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
24	B	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
25	B	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
26	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
27	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	B	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
29	B	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
30	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
31	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
32	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
33	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
34	P	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

35	P	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
36	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
37	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
38	P	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
39	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
40	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
41	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
42	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
43	P	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
44	P	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
45	P	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
46	P	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
47	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
48	P	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
49	P	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
50	P	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0
51	P	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
52	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
53	P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
54	P	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
55	P	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
56	P	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
57	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
58	P	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
59	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
60	P	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
61	P	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
62	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
63	P	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
64	P	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
65	P	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
66	P	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
67	P	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
68	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
69	P	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
70	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
71	P	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
72	P	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
73	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
74	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
75	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
76	P	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
77	P	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0

78	P	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
79	P	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
80	P	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
81	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
82	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
83	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
85	P	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
86	P	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0
87	P	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
88	P	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
89	B	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
90	B	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
91	B	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
92	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
93	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	B	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
95	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
96	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	P	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
98	P	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
99	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
100	B	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
101	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
102	B	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
103	B	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
104	B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
105	B	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
106	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
107	B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
108	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
109	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
110	B	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
111	B	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
112	B	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
113	P	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
114	B	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
115	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
116	P	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
117	B	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
118	B	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
119	B	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
120	B	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0

121	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
122	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
123	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
124	B	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
125	P	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
126	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
127	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
128	B	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1
129	B	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
130	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
131	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	B	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
133	B	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
134	B	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
135	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
136	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
137	B	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
138	B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
139	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
141	B	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
142	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
143	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
144	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
146	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
147	B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
148	B	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
149	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
150	B	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
151	P	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
152	P	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
153	P	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
154	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
155	B	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
156	B	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
157	B	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
158	B	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
159	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
160	B	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
161	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
162	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
163	B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

164	B	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
165	B	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0

Anexo IV

Todo lo relacionado con las actividades de campo y el procesado de las muestras durante el desarrollo de la exploración petrolera ANOMA-1, lo realizó enteramente el personal técnico adscrito a PEMEX e integrado al reporte técnico de SB. De entre las actividades realizadas por éstos últimos, fueron las siguientes:

Lavado de material

Cada una de las muestras de sedimentos fue triturada y se tamizó con un tamiz de 150 μm de apertura; posteriormente se tomaron en promedio 80 gr, se colocaron en charolas con agua corriente y se agregaron aproximadamente 40 gr de detergente en polvo común para lograr una mejor limpieza del material orgánico. Las muestras tamizadas se dejaron reposar hasta que todos los fragmentos compactados se desintegraron. Este procedimiento se repitió las veces necesarias a manera de eliminar la mayor cantidad de sedimentos y lodos en la muestra.

Posteriormente el sedimento de cada una de las muestras fue lavado con agua corriente en una malla del #200 con aberturas milimétricas de 0.074 mm. Entre cada muestra la malla se limpió perfectamente y se sopleteó con aire comprimido por medio de una compresora, esto para evitar la contaminación entre muestras con partículas orgánicas e inorgánicas. Una vez realizado el lavado del sedimento con la malla, cada una de ellas se dejó deshidratar a temperatura ambiente en charolas de latón.

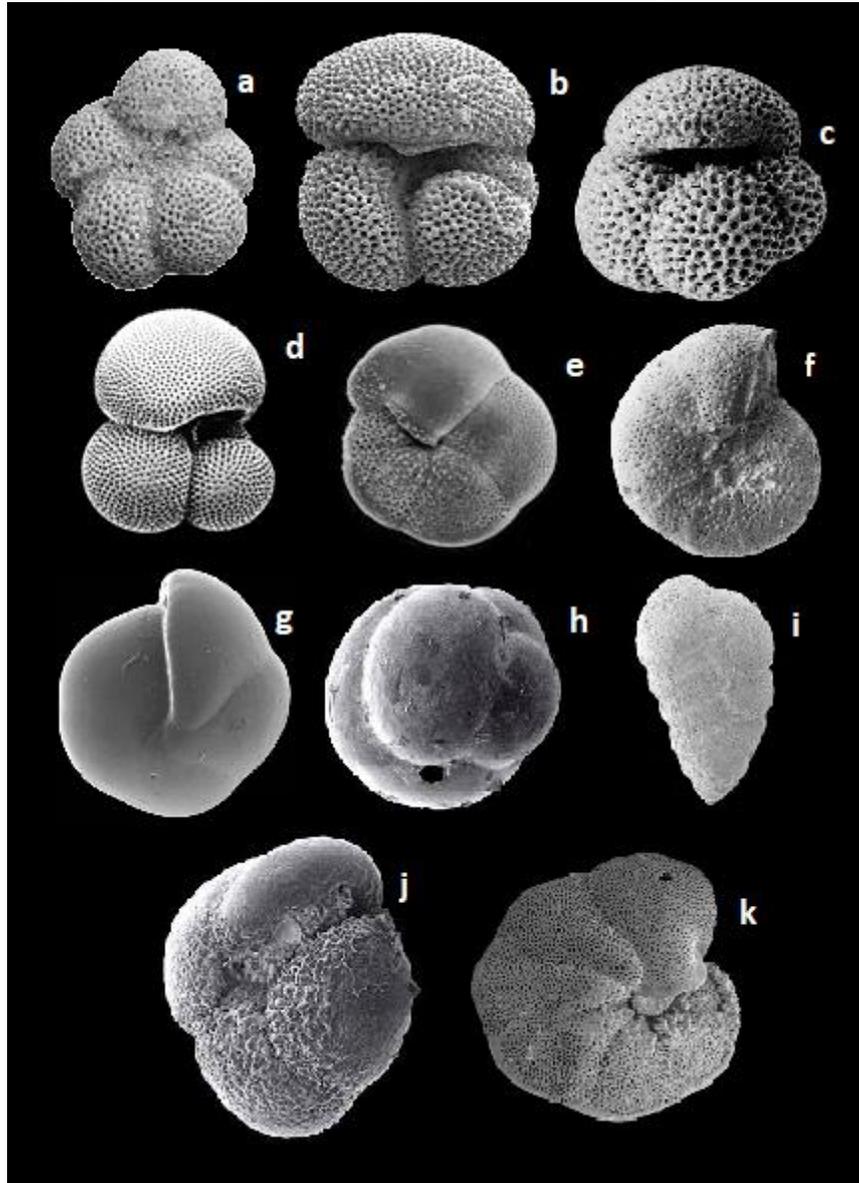
El residuo deshidratado perfectamente fue colocado en bolsas de plástico con cierre hermético; por último se etiquetaron con su respectivo número de muestra e iniciales del pozo hasta su posterior identificación.

Montaje de la muestra

Una vez lavada la muestra se llevó al microscopio para la realización de la selección, montaje y clasificación de la microfauna existente. Como material de apoyo se utilizó una charola graduada, cinco tamices (#20/abertura de 0.84 mm, #40/abertura de 0.42 mm, #60/abertura de 0.250 mm, #80/abertura de 0.177 mm y del #100/abertura de 0.149 mm), pinceles, aguja de disección, placas de cuatro orificios y de 60 casilleros y goma tragacanto.

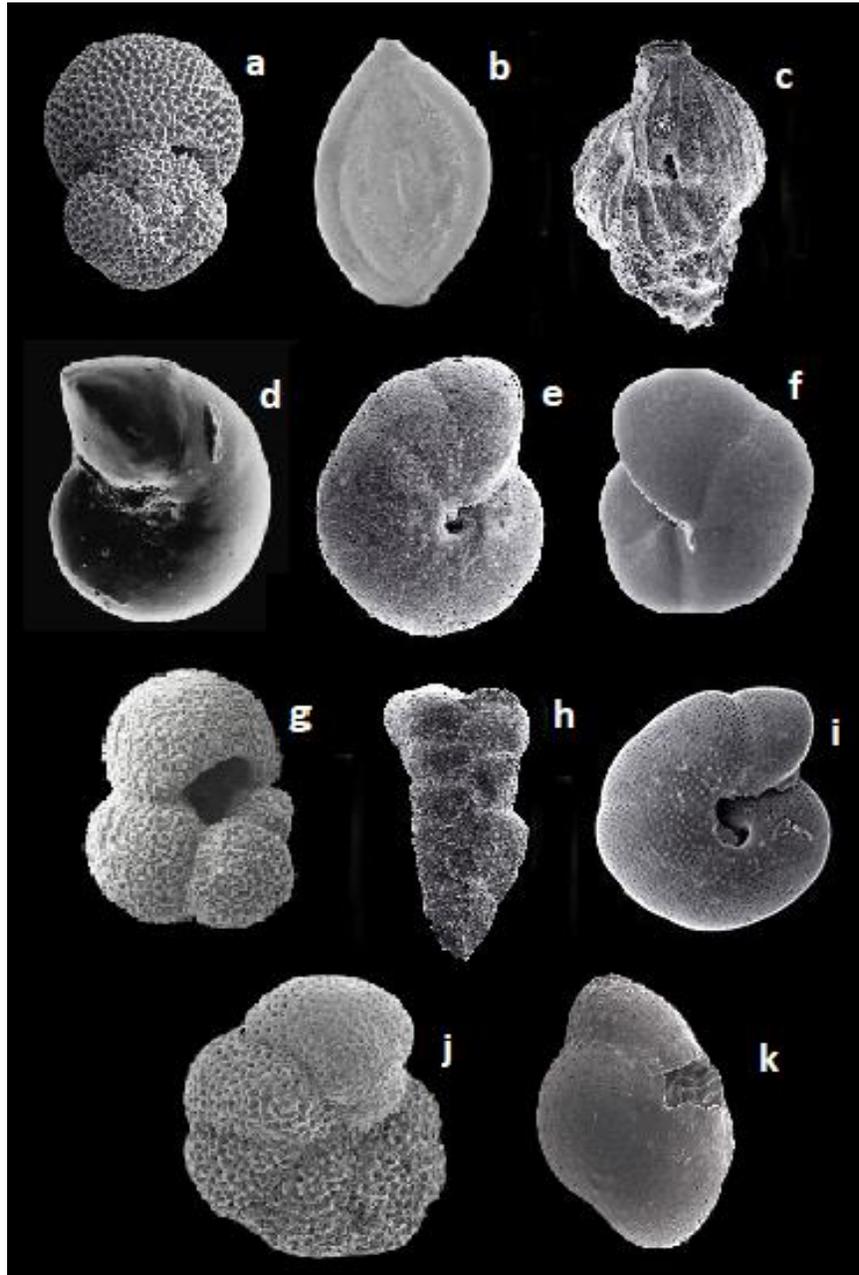
Anexo V

Especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos validados para el evento primero de depositación. a) *Globigerina ciperoensis ciperoensis* (tomado de Vonn 1994), b) *Globigerina tripartita* (tomado de Leckie & Schmidt 1993), c) *Globigerina venezuelana* (tomado de Belford *et. al.* 1974), d) *Globigerinoides trilobus sacculifer* (tomado de <http://species-identification.org>), e) *Globorotalia scitula* (tomado de <http://www.mikrotax.org>), f) *Melonis pompilioides*, g) *Pullenia bulloides* (tomado de <http://www.foraminifera.eu>), h) *Bulimina jarvisi* (tomado de <http://www.mikrotax.org>), i) *Karreriella chilostoma*, j) *Globorotalia crassaformis ronda* (tomado de <http://www.foraminifera.eu>), k) *Globorotalia fohsi peripheroacuta* (tomado de <http://www.mikrotax.org>).



Anexo VI

Especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos validados para el evento segundo de depositación. a) *Globigerinoides trilobus fistulosus* b) *Sigmoilinita tenuis*, c) *Uvigerina rustica*, d) *Oridorsalis variapertura*, e) *Melonis affinis*, f) *Pullenia quinqueloba*, g) *Globigerina microstoma*, h) *Textularia* sp. i) *Melonis affinis* (tomado de <http://www.foraminifera.eu>), j) *Globorotalia* cf. *kugleri* (tomado de [rin.hiroba.org](http://www.hiroba.org)), k) *Sphaeroidinellopsis seminulina* (tomado de <http://www.foraminifera.eu>).



Anexo VII

Especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos validados para el evento tercero de depositación. a) *Globigerinoides ruber* (tomado de <http://www.mikrotax.org>), b) *G. elongatus*, c) *Orbulina universa*, d) *Lenticulina calcar*, e) *Uvigerina* sp., f) *Bolivina* sp, g) *Cibicidoides pachyderma*, h) *Neogloboquadrina dutertrei* (tomado de www.foraminifera.org).

