



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Bioestratigrafía de alta resolución de pozos
exploratorios y estratégicos de los Activos de
Pemex Exploración y Producción del Cenozoico.**

**REPORTE DE
INVESTIGACIÓN**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G A
P R E S E N T A:**

IVON LÓPEZ OLIVARES



**DIRECTOR:
DR. MARCELO AGUILAR PIÑA**

(2012)



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

Introducción.....	1
Objetivos	3
Localización	4
Actividad 1	
1.1 Historia del Instituto Mexicano del Petróleo.....	5
1.2 Micropaleontología.....	7
1.3 Fósil índice.....	7
1.4 Clasificación	8
1.5 Paleoecología	10
1.6 Bioestratigrafía.....	13
1.7 Biozonas	13
1.8 Tipo de muestras	14
Actividad 2	
2.1 Procesado de muestras	16
2.2 Descripción de metodología	16
Actividad 3	
3.1 Selección, montaje e identificación taxonómica de microfósiles	18
3.2 Frecuencia de foraminíferos bentónicos.....	18
3.3 Identificación taxonómica.....	19
3.3.1 Descripción de foraminíferos planctónicos.....	20
3.3.2 Descripción de foraminíferos bentónicos	24
Actividad 4	
4.1 Análisis bioestratigráfico	34
4.2 Determinación de biozonas	38
4.3 Análisis paleobatimétrico	41
4.3.1 Porcentaje de partículas gruesas y partículas finas.....	44
4.3.2 Porcentaje de foraminíferos planctónicos y foraminíferos bentónicos	44

Discusión y conclusiones	47
Bibliografía	55
Atlas fotográfico	60

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, la máxima casa de estudios por darme la oportunidad de poder desarrollarme profesionalmente y adquirir muchas experiencias y conocimiento para el desarrollo de la investigación.

Gracias a los miembros del jurado al Dr. Pedro García Barrera, M. en C. Itzia Eréndira Nieto López, Biól. Luis Chávez García y la M. en C. Nicté Andrea Gutiérrez Puente por el tiempo dedicado a la revisión de este escrito y por sus recomendaciones.

Al Dr. Marcelo Aguilar Piña por su apoyo como director de este trabajo para lograr culminarlo, por lo que le estoy profundamente agradecida.

Quiero expresar mi agradecimiento al área de Exploración y Producción del Instituto Mexicano del Petróleo, por las muestras proporcionadas y las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo; así como al Dr. Julio César González Lara por la oportunidad brindada.

Mi gratitud a la M. en C. Nicté Andrea Gutiérrez Puente por su infinito apoyo, consejos, confianza y amistad, quien con su entusiasmo me introdujo al estudio de los foraminíferos fósiles, muchas gracias por todo tu apoyo, el tiempo otorgado y los ánimos para poder culminar este trabajo.

Mil gracias a la Biól. Ana Laura Méndez Franco por su paciencia en la transmisión de sus conocimiento, así como la ayuda y el apoyo para la identificación taxonómica de éste grupo fósil. Gracias por tu amistad y por el entusiasmo para seguir aprendiendo cada día más sobre los foraminíferos.

Gracias al Laboratorio de análisis integral de muestras de roca del Instituto Mexicano del Petróleo y en especial al técnico Guillermo Aguilar Palma y Lester Y. Tinoco Fernández por enseñarme como se realiza el procesado de muestras de rocas deleznales. Al igual agradezco al Laboratorio de microscopía electrónica de ultra alta resolución por la toma de fotos para este trabajo.

Mi más sincero y profundo agradecimiento al grupo **MINWIYR** por el valioso apoyo que me han dado a lo largo de todos estos años, ya que sin sus buenos consejos y regaños no hubiera podido lograr culminar este trabajo y que a pesar de todas las adversidades que hemos pasado, gracias por dedicar gran parte de sus vidas conmigo y estar siempre unidos.

A mi **Madre** por que nunca has dejado de creer en nosotras y por el apoyo para lograr terminar esta carrera, a mi **Padre** quien a pesar de todos sus regaños, siempre nos alienta a seguir adelante, a mis hermanas: **Yuri** gracias por siempre estar cuando más se necesita, por esa hermosa Bebe, Gilberto gracias por todo el apoyo y esas buenas pláticas. **Wendy** muchas gracias por escucharme, apoyarme, regañarme y estar a mi lado cuando creí que la vida ya no tenía sentido, por ese hermoso y maravilloso Ángel **Irving Oliver** quien siempre llevare en mi corazón y por que a pesar de ser tan pequeño logró iluminar y alegrar mi vida. **Mishel** gracias por que tu apoyo ha sido incondicional.

Cesar Castro Vallarta **GRACIAS** por ser un integrante más de ésta familia, por tu ayuda y apoyo desinteresado a lo largo de todos estos años, por tu leal y sincera amistad, por que siempre has estado aquí para apoyarnos en las buenas, en las malas y en el peor momento de nuestra vida. Por escucharnos y por los consejos a cada uno. Gracias por recorrer este camino a nuestro lado, viendo muchas lunas pasar.

Mi querido hermano Víctor Andrés Huidobro Rivera (Levy) pese a la distancia de estos últimos tiempo, gracias por todo la amistad que me has brindado, por aceptarme como soy, por creer en mi, por reír y bailar juntos, por escucharme y ese hombro donde tantas veces lloré y ese pañuelo para secar mis lagrimas para poder ver mi camino con otra mirada, por la manera en como me apoyaste cuando creí que estaba en el fondo, ahí me demostraste los lazos tan grandes que nos une, por estar en las buenas y en las malas por esto y mucho más, mil gracias Hermano.

Jonathan Flores Chavarría amigo, primo, hermano, que te puedo decir, gracias por todos estos años de amistad, por estar aquí en mi vida, por apoyarme, por los buenos consejos, por respetar cuando he callado y por que siempre has tratado de conocer mis dificultades para ayudarme, por levantarme el ánimo, por hacerme reír para alegrarme el día, por regañarme cuando cometo errores, por tu sincera y bondadosa amistad mil gracias.

Miguel Ángel Luque Posadas un millón de gracias por tu amistad, por que sin ti el Taller no hubiera sido el mismo (tú eras el consentido que nunca se te olvide ji) gracias por escucharme, por esas largas y muy buenas pláticas y aquel silencio que lo decía todo; por tus consejos, por hacerme reír, hacerme enojar, por tu confianza, por esa mirada que me decía que siguiera adelante, por levantarme el ánimo, por esto y tantas cosas más mil gracias por ser parte de mi vida.

Víctor Hugo García Carrasquedo Primo querido, agradezco a la vida que te haya puesto nuevamente en mi camino, **gracias** por esa lección de vida que jamás olvidare, por escucharme, por alentarme todos los días para seguir adelante, por los buenos y maravillosos consejos, por las excelentes experiencias, por estar aquí en todo momento, por la confianza depositada, por ponerte contento cuando me ves feliz, por reír conmigo, por esa paz que transmites y por creer en mi. Tu amistad es la prueba evidente de que dos almas no se encuentran por casualidad.

Gracias a toda mi familia, amig@s y todas aquellas personas que han sido importante para mi, durante todo este tiempo.

Creo no tener las suficientes palabras para decir mi más profundo y sincero agradecimiento a mi Tía Myriam, por su apoyo infinito para alentarme a terminar la carrera, por que nunca dejo de creer en mi, por escucharme, por sus buenos consejos y esas buenas platicas matutinas, mil gracias por todo, todo su apoyo. Y gracias también a mi Tío Ricardo, Diana y Héctor por sus buenos deseos para seguir adelante.


Eréndira, gracias por tu amistad no importa desde cuando nos conocemos lo que realmente importa, es que, a lo largo de todo este tiempo esta amistad se ha ido fortaleciendo cada día más.

A mis amigos de la Prepa 1, gracias por todo los bellos recuerdo que tengo de esa generación, Víctor (levy), Bere gracias por escucharme y estar ahí cuando he necesitado de ustedes. Fanny, gracias por estar en las buenas y en las malas, Julio César, Liz, Max y Martha gracias por esos bellos y hermosos recuerdos, Ramiro, Kiomi, Val, Adela, Gaby, Cecy, Hugo, Julián, Sergio, Uriel, Monse Zavala, Claus Chimal gracias por los maravillosos momentos. "Los verdaderos amigos son como la sangre acude a la herida sin necesidad de llamarlos"

A los de la Facultad de Ciencias, por su infinita amistad, por que a pesar de no ir a muchas de las reuniones siempre las invitaciones estuvieron ahí, mil gracias. Mi agradecimiento a César Andrés, por esas buenas pláticas que me levantaban el ánimo y me alentaste a crecer como persona. Ixel, Pau Soberanes, A. Isabel y Yislem, gracias por escucharme y tenderme la mano cuando lo necesite. Jesús A. y Martín, por sus buenas ocurrencias para sacar una sonrisa y alegrar el día.

Miguel A. uno de los ñoños del grupo (al igual que César Andrés) siempre recordare esas platicas entre quien de los dos era más ñoño, yo les di un empate, pero bueno sigan con su discusión jiji. Nieves y Paula siempre recordare esas buenas prácticas de campo de plantas y paleo respectivamente. Oscar extraño esas pláticas en que te desahogabas o era mutuo jiji. Abigail, Wendy, Paulina Flores, Jorge y Marcela gracias por eso buenos años durante la carrera.

A toda, toda la Familia Ibarra Olivares desde mis Padrinos, primos (Lourdes, Mayela, Luis, Arturo, Víctor, Oscar y Bere) Nueras, Yernos, nietos y anexos, (espero y no me haya faltado nadie) mil gracias por todo su apoyo, por que de cada uno siempre he recibido muchas palabras de aliento y ánimos para terminar mi carrera y buenos consejos en mi vida diaria, mil gracias por estar siempre juntos en las buenas y en las malas.

En memoria de mi Jefa (Abuelita)  por ser una mujer fuerte, valiente y que siempre lucho para salir adelante, por ser un gran ejemplo a seguir. Gracias a mi Tía Norma y Familia Reyes López, Marlen y Familia Olvera Rodríguez, Tía Lupe y Familia González López, Tío Edgar y Familia Olivares Salazar, a mi Abuelita y el resto de la familia Olivares Peralta muchas gracias por su apoyo y ánimos que me han dado a lo largo de mi vida.

Muchas gracias a todos mis compañeros del Instituto. Agradezco a mis dos **Maestras** Nicté y Ana Laura toda su amistad, apoyo, confianza y ánimos que me han brindado. A la Bióloga Ma. Eugenia Gómez L. por los ánimos para poder terminar este trabajo. Erandi por que siempre tiene algo bueno que contar y hacer ameno cada momento. Edgar mil gracias por todo el apoyo desinteresado que he recibido de ti, y por tu paciencia para enseñar y ayudarme en toda la parte de informática, y por la amistad que ha ido surgiendo. A Daniel A. O. gracias por que todos los días, sabes como colocar una sonrisa en el rostro de cada persona. Gracias a Norma A. Guaypi, Hugo, Lizeth, Pedro, Luz Ma. Rodríguez S. Sr. Daniel Pérez R., Hilario y Braulio, por que gracias a cada uno de ustedes a sido maravillosa la experiencia de estar en el Instituto.

Alejandro I. e Iván gracias por los ánimos, por que a pesar de que es poco el tiempo de conocernos su amistad a sido sincera. Gracias a Luis Alberto, Gerardo, Jonathan y Gabriel, por que hubo muchas cosas divertidas durante ese tiempo.

Un agradecimiento a todas aquellas personas que me haya faltado mencionar y que de alguna manera me apoyaron y animaron para culminar con este trabajo. MIL GRACIAS a todos.

La escalera de la vida

Imagina que estás frente a una gran escalera... está junto a ti esa persona que es muy importante en tu vida... y están fuertemente tomados de la mano.

Mientras están en el mismo nivel... todo está perfecto... es disfrutable. Pero de pronto... tú subes un escalón... y esa persona no... tu compañero prefiere mantenerse en el nivel inicial... está bien... no hay problema... es fácil, aún así, estar tomados de las manos...

Tú subes un escalón más... y esa persona se niega a hacerlo... ya las manos han empezado a estirarse y no es tan cómodo como al principio... subes un escalón más... y ya el tirón es fuerte... ya no es disfrutable y empiezas a sentir que te frena en tu avance... sin embargo quieres que esa persona suba contigo para no perderla...

Desafortunadamente para esa persona no ha llegado el momento de subir de nivel... así que se mantiene en su posición inicial... tú subes un escalón más... y ya ahí sí es muy difícil mantenerte unido... te duele... y mucho... luchas entre tu deseo de que esa persona suba... de no perderla... pero tú ya no puedes ni quieres bajar de nivel...

En un nuevo movimiento hacia arriba... viene lo inevitable... y se sueltan las manos... puedes quedarte ahí, llorar y gritar tratando de convencerle de que te siga... que te acompañe... puedes incluso ir contra todo tu ser y tú mismo bajar de nivel con tal de no perderle... después de esa ruptura en el lazo... ya nada es igual... así que por más doloroso y difícil que sea... entiendes que no puedes hacer más que seguir avanzando... y esperar que algún día... vuelvan a estar al mismo nivel.

Eso pasa cuando inicias tu camino de crecimiento interior... en ese proceso... en ese avance pierdes muchas cosas: pareja, amigos, trabajo, pertenencias... todo lo que ya no coincide con quien te estás convirtiendo ni pueden estar en el nivel al que estás llegando.

Puedes pelearte con la vida entera... pero el proceso es así. El crecimiento personal es eso... personal... individual... no en grupo... puede ser que después de un tiempo esa persona decida emprender su propio camino y te alcance o suba incluso mucho más que tú... pero, es importante que estés consciente de que no se puede forzar nada en esta vida.

Llega un momento en tu escalera *"para convertirte en una mejor persona"*... en que puedes quedarte solo un tiempo... y duele... claro que duele... y mucho... luego, conforme vas avanzando... te vas encontrando en esos niveles con personas mucho más afines a ti... personas que gracias a su propio proceso... están en el mismo nivel que tú y que si sigues avanzando... ellos también.

En esos niveles de avance ya no hay dolor... ni apego... ni sufrimiento... hay amor... comprensión... respeto absoluto.

Así es nuestra vida... una infinita escalera... donde estarás con las personas que estén en tu mismo nivel... y si alguien cambia... la estructura se acomoda.

Me costó mucho soltarme... aún después de una fuerte ruptura seguía viendo para atrás... esperando un milagro... y el milagro apareció... pero no de la manera en que yo hubiera supuesto... apareció bajo otros nombres... otros cuerpos... otras actividades... perdí a una amiga... y gané a 20 más... perdí un mal trabajo y ahora tengo un excelente trabajo y con oportunidades de tener más de lo que soñé alguna vez... perdí un auto que no me gustaba y ahora manejo el auto de mis sueños... perdí a un hombre al que creí amar... para darme cuenta que ahora lo que tengo en este momento de mi vida... ni siquiera podía soñarlo hace unos cuantos meses...

Cada pérdida... cada cosa que sale... es porque así tiene que ser... déjales ir... y prepárate para todo lo bueno que viene a tu vida... sigue avanzando y confía en Dios... porque esta escalera sólo lleva a cosas buenas y si no me crees... porque no lo compruebas por ti mismo y te detienes a meditar cómo es tu escalera y hacia dónde te lleva...

Y entonces podremos entender por qué nos encontramos con diferentes personas en la vida y por qué otras se van quedando atrás. *Y tú... ¿estás avanzando en la escalera de tu vida... o eres de los rezagados?*

Autor: Anónimo.

P/ E.V.C.

Bioestratigrafía de alta resolución de pozos exploratorios y estratégicos de los Activos de Pemex Exploración y Producción del Cenozoico.

Introducción

Los hidrocarburos son recursos naturales no renovables, los trabajos de exploración petrolera han permitido evaluar el potencial petrolero de la República Mexicana, dividiendo el territorio nacional en cuencas productoras y cuencas no productoras (Stoneley, 1995; Santiago *et al.*, 1984).

Los estudios bioestratigráficos de pozos exploratorios nos permiten organizar los estratos en tiempo de manera secuencial, y en conjunto con otros estudios, hacer correlaciones estratigráficas con otros pozos, con la finalidad de identificar áreas productoras y reducir en lo posible errores en la búsqueda de hidrocarburos (Stoneley, 1995; Santiago *et al.*, 1984).

La Bioestratigrafía es una rama de la Estratigrafía que estudia la distribución de los fósiles en el registro estratigráfico y rige la clasificación de los cuerpos de roca o material rocoso en unidades bioestratigráficas con base en su contenido fósil (Barragán *et al.*, 2010).

El interés de los estudios bioestratigráficos inició después de la Segunda Guerra Mundial, cuando las empresas petroleras descubrieron la importancia de la micropaleontología como una herramienta básica de la bioestratigrafía para realizar un ordenamiento de los estratos con base en fósiles de pequeño tamaño, determinar biozonas y hacer datación relativa de sedimentos (Arenillas, 1996).

Para el desarrollo de estudios bioestratigráficos, se necesita realizar metodologías y técnicas de procesado de muestras que permita, analizar e interpretar los atributos físicos de las rocas sedimentarias y así definir límites

cronoestratigráficos e inferir la paleobatimetría de áreas potencialmente petroleras (Salmerón, 2003).

La utilidad de los foraminíferos planctónicos en la bioestratigrafía radica principalmente en su abundancia, amplia distribución y su rápida evolución (o corto alcance estratigráfica), debido a que el alcance estratigráfico de algunas especies se utiliza para establecer biozonas, lo que representa una herramienta fundamental en la datación bioestratigráfica de los testigos de sondeo de la industria petrolera del Cretácico y Terciario (Arenillas, 1996).

Los foraminíferos bentónicos se han considerado como excelentes marcadores para realizar inferencias paleobatimétricas. Lo que requiere del conocimiento de la taxonomía de todo el grupo de los foraminíferos para conocer su distribución (Arenillas, 1996; Alegret, 2004).

En el 2005 se realizó el primer estudio del pozo M, (el cual se nombrará como M para fines prácticos ya que no es posible proporcionar el nombre, debido a que pertenece a informes internos y confidenciales de Petróleos Mexicanos), cuyas muestras se revisarán para este trabajo. De acuerdo con los resultados anteriores del pozo M (2005) y los que se obtengan de este trabajo (para el intervalo 1500-2500 m), se llevará a cabo una comparación con el fin de actualizar el límite de la edad bioestratigráfica.

Este trabajo forma parte del proyecto de apoyo a la investigación "Bioestratigrafía de alta resolución de pozos exploratorios y estratégicos de los Activos de Pemex Exploración y Producción", para conocer la aplicación de los foraminíferos en la industria petrolera, se realizó un estudio comparativo para actualizar el límite de la edad bioestratigráfica con foraminíferos fósiles del Cenozoico, el cual comprende las siguientes actividades: Revisión bibliográfica sobre bioestratigrafía, micropaleontología, foraminíferos; procesado de muestras de canal; identificación taxonómica de foraminíferos planctónicos y bentónicos; y

por último la interpretación cronoestratigráfica y paleobatimétrica a partir de las especies de foraminíferos del Cenozoico de un pozo exploratorio.

Cubriendo los siguientes objetivos:

- ✓ Comprender y aplicar la metodología y técnica del procesado de muestras de canal en rocas deleznales de un pozo exploratorio para estudios micropaleontológicos con base en foraminíferos del Terciario (Cenozoico).
- ✓ Identificar a nivel genérico y específico microfósiles de foraminíferos planctónicos para elaborar la columna biocronológica de un pozo exploratorio.
- ✓ Identificar los fósiles índice para determinar biozonas.
- ✓ Identificar a nivel genérico y específico microfósiles de foraminíferos bentónicos para inferir la paleobatimetría del pozo.
- ✓ Realizar una comparación del pozo M (2005) con los resultados obtenidos de este estudio (pozo M 2012).

Localización

El pozo estudiado se encuentra dentro de la cuenca de Burgos, que forma parte del geosinclinal de la costa del Golfo de México, el cual alcanza su máximo desarrollo en los estados de Texas y Louisiana. Sus límites geográficos son: al norte, el río Bravo; al oriente el Golfo de México; al sur y suroeste el río Soto la Marina y el flanco oriental de la Sierra de Cruillas (Figura 1).

La cuenca de Burgos está definida por rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico con depósitos de arenisca, evaporita, caliza y lutita, acumuladas en el margen Occidental del Golfo de México. Estos depósitos constituyen un sistema de barras, arenas de canal o frentes deltaicos; otros están asociados a la presencia de fallas de crecimiento, arenas basales o alguna línea de costa (Santiago *et al.*, 1984).



Figura 1. Cuenca de Burgos (tomado de Santiago *et al.*, 1984).

Actividades

Actividad 1) Se realizó una revisión bibliográfica para conocer la historia del Instituto Mexicano del Petróleo, así como los conceptos básicos sobre micropaleontología, foraminíferos y bioestratigrafía del Cenozoico.

1.1 Historia del Instituto Mexicano del Petróleo.

El Instituto Mexicano del Petróleo surgió en 1965 por iniciativa del entonces Director General de PEMEX, Lic. Jesús Reyes Heróles, quien reconoció que la planeación y el desarrollo de la industria petrolera debería ser congruente con las necesidades de una economía mixta, por lo que planteó al presidente Gustavo Díaz Ordaz la urgencia de fomentar la investigación petrolera. Propuso así, la creación de un organismo que apoyara a PEMEX en la solución de problemas tecnológicos, además de formar recursos humanos que impulsaran el desarrollo de tecnología propia (IMP, 1976).

El 23 de Agosto de 1965 se creó por decreto presidencial el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y se publicó en el Diario Oficial el 26 de Agosto del mismo año. Se trata de un organismo descentralizado de interés público, de carácter preponderantemente técnico, educativo y cultural, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Como objetivos del Instituto están la investigación científica y el desarrollo de disciplinas de investigación básica y aplicada para la formación de investigadores, así como la capacitación de personal que pueda desempeñar labores en el nivel profesional dentro de las áreas petroleras, petroquímica básica, petroquímica derivada y química, como también la actualización de personal profesional y postgraduados para las mismas industrias (IMP, 1976).

La misión del Instituto Mexicano del Petróleo, de acuerdo a sus propios documentos, contempla: “Generar, asimilar y aplicar el conocimiento científico y

tecnológico para apoyar el desarrollo de la Industria Petrolera Nacional y contribuir al desarrollo sostenido y sustentable del país” (IMP, 1976).

Su visión es la de un Instituto dedicado en lo fundamental a la investigación y el desarrollo tecnológico para transformar el conocimiento en realidades industriales.

El 31 de Enero de 1966 fue nombrado como primer Director General el Ing. Javier Barros Sierra. Al tomar posesión, definió como aspectos o ramas de la actividad de este centro la investigación en geología, geofísica, ingeniería petrolera, química refinación, petroquímica, diseño de equipo mecánico, maquinaria y eléctrica aplicada (IMP, 1976).

Fernando Manzanilla Sevilla en 1992, transformó la ley orgánica de PEMEX separando las tareas industriales y comerciales de la paraestatal. Con ello surgieron PEMEX Exploración y Producción; PEMEX refinación, PEMEX gas y petroquímica básica; PEMEX petroquímica, sectores con carácter técnico, comercial, personalidad jurídica y patrimonio propio (IMP, 1996).

Algunos de los avances en tecnología petrolera se han realizado en las áreas de exploración, explotación, refinación y procesamiento de gas; el área de exploración tiene como objetivo conocer con mayor amplitud las diversas regiones petroleras del país para coadyuvar en los trabajos de exploración de PEMEX y de otras empresas petroleras, por medio de la aplicación de la geología, geofísica y ciencias afines. Sus actividades principales son: realizar estudios estratigráficos básicos de cuencas sedimentarias; investigar y desarrollar nuevas técnicas exploratorias y estudiar sus aplicaciones; procesar, analizar y optimizar datos sísmológicos; efectuar estudios gravimétricos, magnetométricos, geológicos, petrográficos, paleontológicos, palinológicos y geoquímicos (IMP, 1976).

A nivel mundial, el auge de la exploración petrolera durante la década de 1920, reconoció la importancia de la bioestratigrafía y como herramienta básica a la Micropaleontología, abriéndose así una nueva etapa, durante la cual surge la figura del micropaleontólogo como un profesional dedicado plenamente a esta especialidad. Desde entonces casi todas las compañías petroleras contemplan entre su personal a geólogos y biólogos que determinan la edad de los estratos para establecer correlaciones a nivel local, regional e incluso global (Molina, 1998; 2004; Arenillas, 1996).

1.2) Micropaleontología

La Micropaleontología es la rama de la Paleontología que estudia los fósiles de pequeño tamaño (< 50 μ hasta aproximadamente 1mm), para su estudio se requiere conocer tanto principios geológicos como biológicos, y técnicas especiales de muestreo, preparación y observación con el microscopio (Meléndez,1998).

Los microfósiles más típicos son bacterias, cianofíceas, flagelados, rizoflagelados, actinópodos, ciliados, dinoflagelados, silicoflagelados, diatomeas, cocolitofóridos y foraminíferos. Los dos últimos han permitido solucionar importantes problemas paleobiológicos (evolución y extinción) así como, geológicos (bioestratigráficos y paleoecológicos) en la industria petrolera. Algunas especies de fósiles que cumplen con las características de fósil índice nos permiten inferir la edad relativa y condiciones de depósito de las rocas sedimentarias (Ayala, 1956; Molina, 2004).

1.3) Fósil índice

Como fósil índice se denomina a las especies fósiles que puedan ser utilizadas para delimitar intervalos de tiempo geológico relativamente corto y que pueda usarse como criterio de correlación estratigráfica más precisa (Ayala, 1956).

Para ser considerada como índice, una especie fósil debe de cumplir, tres condiciones principalmente (Molina, 1998):

1. Que la especie tenga una evolución relativamente rápida (o corta distribución estratigráfica).
2. Que tenga una distribución geográfica muy amplia.
3. Que sea abundante en los estratos.

1.4) Clasificación

La clasificación tiene como finalidad definir grupos en función de los caracteres taxonómicos de las especies, siendo un carácter taxonómico cualquier atributo de una especie por el cual pueda asemejarse o diferir de otras. El conocimiento taxonómico de los distintos grupos de microorganismos constituye la base y núcleo de la micropaleontología (Molina, 2004).

Los foraminíferos pertenecen al reino Protista, donde su característica principal es ser organismos unicelulares; al phylum Sarcodina, por presentar pseudópodos con función locomotora y para la captura de alimento; a la clase Rhizopoda por presentar pseudópodos filamentosos de una estructura fibrosa y granulosa que al entrecruzarse forman una red compleja y al orden Foraminifera (Figura 2) del latín *foramina* (agujeros) y *feros* (el que lleva), por la presencia de foramen en la testa (Boersma, 1998).

La clasificación que se utilizó para este proyecto es la de Loeblich y Tappan (1992), que considera la naturaleza de la pared, forma y posición de la abertura, ornamentación de las cámaras, naturaleza de las suturas y aspectos morfológicos externos para diferenciar doce subórdenes.

La determinación de especies de foraminíferos planctónicos se basó en los trabajos de Robles *et al.* (1974), Bolli and Saunders (1985) y Kennett and

Srinivasan (1983). Para la taxonomía de los foraminíferos bentónicos se utilizaron los trabajos de Sansores y Flores-Covarrubias (1972) y Van Morkhoven *et al.*(1986).

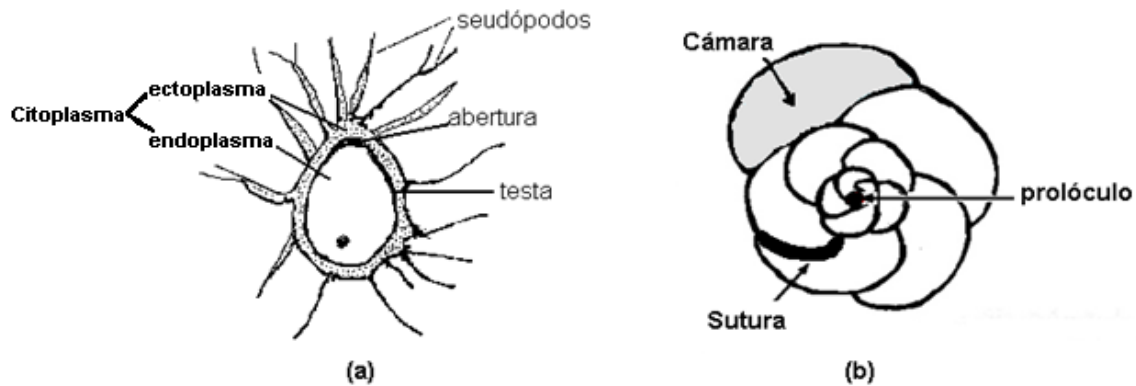


Figura 2. a) Esquema de las principales partes de un foraminífero actual; b) Esquema de una testas que muestra cámara, sutura y prolóculo (tomado de Arenillas, 2004).

Reino Protista

Phylum Sarcodina (Honigberg y Balamuth, 1963)

Clase Rhizopoda (von Siebold, 1845)

Orden Foraminifera (Eichwald, 1830)

Suborden Allogromiina (Loeblich y Tappan 1961)

Suborden Textulariina (Delage y Hérouard 1896)

Suborden Fusulinina (Wedekind 1937)

Suborden Involutinina (Hohenegger y Piller 1977)

Suborden Spirillinina (Hohenegger y Piller 1975)

Suborden Carterinina (Loeblich y Tappan 1981)

Suborden Miliolina (Delage y Hérouard 1896)

Suborden Silicoloculina (Resig, Lowenstam, Echols y Weiner 1980)

Suborden Lagenina (Delage y Hérouard 1896)

Suborden Robertinina (Loeblich y Tappan 1984)

Suborden Globigerinina (Delage y Hérouard 1896)

Suborden Rotaliina (Delage y Hérouard 1896)

1.5) Paleoecología

La paleoecología, estudia la relación entre los organismos fósiles y el ambiente en que habitaron, para tratar de establecer algunos parámetros ecológicos del pasado (Alegret, 2004).

Desde tiempos pasados los foraminíferos bentónicos se han considerado como excelentes marcadores para realizar inferencias paleobatimétricas, debido a que su distribución está controlada por la profundidad, además del sustrato, temperatura del agua, tamaño de grano, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, entre otros (Alegret, 2004).

Los foraminíferos actuales viven en medios marinos, pocas especies pueden vivir en medios salobres o en aguas dulces. La mayoría de ellos están adaptados al ambiente marino y los podemos encontrar desde el borde de la plataforma hasta el talud (Molina, 2004).

El ambiente marino puede dividirse según su profundidad (batimetría) y su distancia a la costa en transicional, nerítico, batial y abisal.

A cada nivel batimétrico le corresponde cierta población bentónica. Las formas bentónicas presentan un mayor porcentaje dentro de la plataforma continental, mientras que las formas planctónicas, muestran un mayor porcentaje en la zona batial (Figura 3).

- a. Ambiente transicional: zona de marea baja, los foraminíferos bentónicos se observan en un 100%, respecto a las formas planctónicas.
- b. El nivel nerítico se extiende desde los 0 hasta 200 m de profundidad y se subdivide en:

- Nerítico interno, que va de los 0 a 20 m de profundidad; las formas planctónicas son escasas y su frecuencia puede llegar a 20%.
 - Nerítico medio, con una variante de 20 a 100 m; el porcentaje de foraminíferos planctónicos presenta un ligero aumento hasta alcanzar de 20% a 30%.
 - Nerítico externo, de 100 a 200 m, la relación de formas planctónicas y bentónicas es del 50% para cada una.
- c. El nivel batimétrico batial va de los 200 a los 2000 m, en esta zona los foraminíferos planctónicos se observan con mayor frecuencia respecto a los bentónicos, y se subdivide en:
- ❖ Batial superior, de los 200 a los 500 m; donde es común que se presenten formas planctónicas en cerca del 60% y formas bentónicas aproximadamente con el 40%.
 - ❖ Batial medio, de 500 a 1000 m de profundidad, presenta foraminíferos planctónicos con una proporción del 80% y una disminución de los foraminíferos bentónicos.
 - ❖ Batial inferior, de 1000 a 2000 m, se observa una proporción del 90-100% de foraminíferos planctónicos.
- d. La batimetría abisal incluye todas las profundidades oceánicas mayores a 2000 m (Cramez, 1990; Gutiérrez-Puente, 2006).

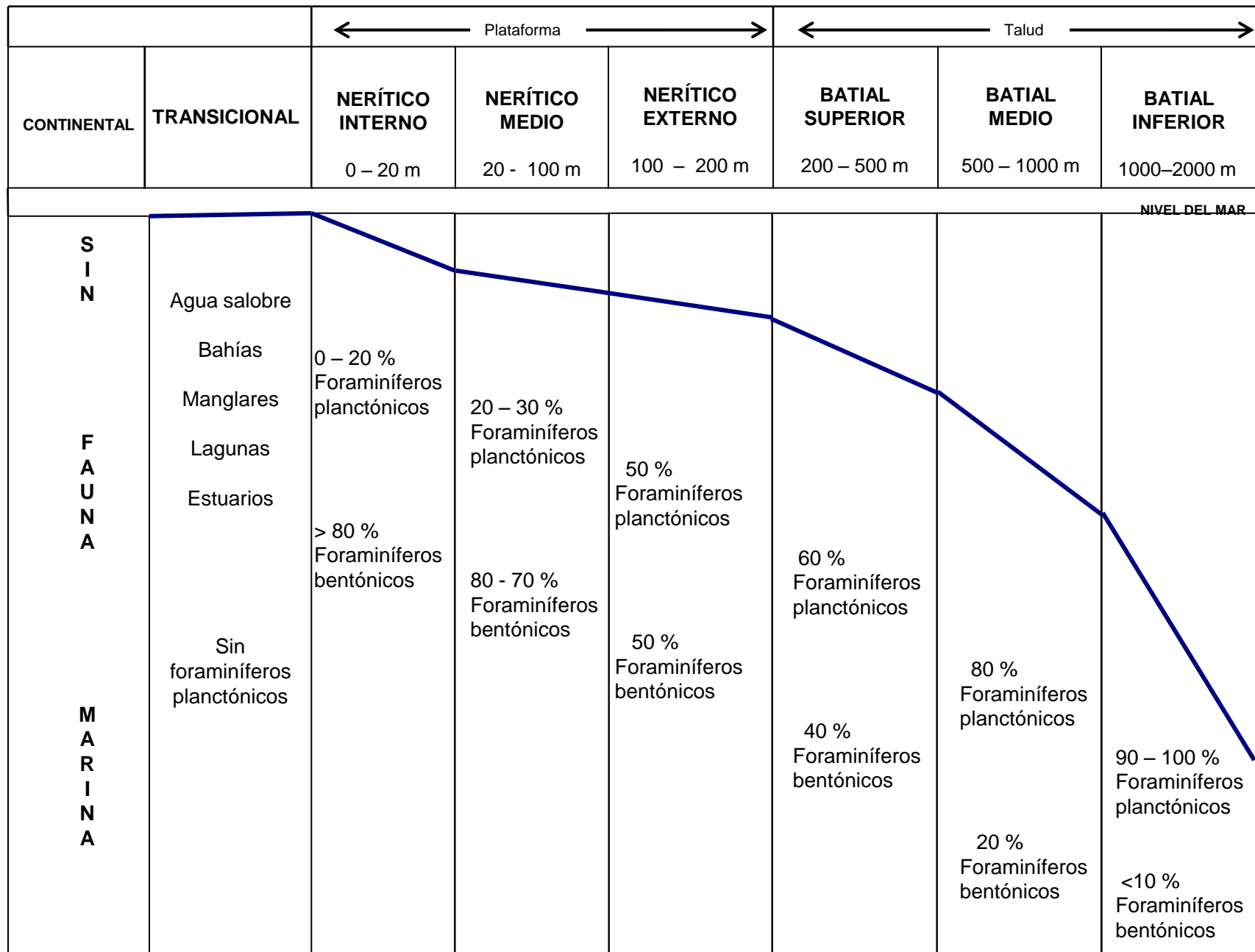


Figura 3. Esquema del perfil batimétrico, donde se muestra la proporción de foraminíferos planctónicos y bentónicos en la columna de agua (modificado de Gutiérrez-Puente, 2006).

1.6) Bioestratigrafía

La estratigrafía estudia la distribución de las rocas estratificadas, de acuerdo a su composición litológica y su contenido fósil. La bioestratigrafía, como parte de la estratigrafía, se ocupa del estudio y ordenamiento de los estratos con base en los fósiles que contienen, a fin de establecer unidades bioestratigráficas o biozonas; así como del estudio e interpretación del medio sedimentario con base en el conocimiento de los factores paleoecológicos (Vera-Torres, 1994).

La Bioestratigrafía, al ser una herramienta clave para establecer la escala cronoestratigráfica, proporciona mucha información cuando se utilizan los fósiles o microfósiles para determinar la edad relativa de las rocas, y cada fósil corresponde a una época determinada; por lo tanto, los microfósiles proporcionan gran precisión cuando se utilizan para determinar la edad relativa de las rocas sedimentarias (Meléndez, 1998).

1.7) Biozonas

La unidad fundamental de la bioestratigrafía es la biozona, la cual se define como un cuerpo o conjunto de estratos caracterizados por su contenido fósil. El registro estratigráfico en su conjunto contiene una secuencia no repetida de taxa fósiles que pueden ser utilizados para determinar la edad relativa de los estratos que los contienen (Arenillas, 2004).

La Guía Estratigráfica Internacional (Murphy *et al.* 1994) establece diferentes tipos de biozonas, que puede definirse por la presencia de un taxón o por un conjunto de ellos. Las biozonaciones basadas en foraminíferos planctónicos nos permiten realizar correlaciones a largas distancias entre los diferentes cuerpos de rocas y de esta forma establecer equivalencias temporales o unidades cronológicas (Pérez-Castillo, 2005).

El nombre formal de una biozona debe combinar el término que designa el tipo de biozona, modificado si es necesario para expresar su rango, y los nombres de uno o más fósiles apropiados. Otro procedimiento para abreviar los nombres de las biozonaciones es mediante una nomenclatura numérica utilizando letras, números o la combinación de ambas (por ejemplo, P5 para designar la biozona de *Morozovella velascoensis*) que indican automáticamente el orden y la posición relativa de las biozonas. Blow and Berggren (1969) desarrollaron el esquema zonal N/P, sencillo método nomenclatural que consiste en representar las biozonas con una letra (N=Neógeno, P=Paléogeno) y un número. Se han usado 22 biozonas basadas en foraminíferos planctónicos (codificadas desde la más antigua a la más moderna en P1 hasta P22) para el Paleógeno y 23 para el Neógeno (N1 hasta N23); muchas de ellas se han dividido en subzonas (Arenillas, 1996; 2004; Toumarkine and Luterbacher, 1985).

La utilización de las biozonas permiten establecer divisiones de orden de tiempo y disponer de criterios de correlación entre secciones estratigráficas con una alta precisión (Arenillas, 2004).

1.8) Tipo de muestras

Para realizar estudios micropaleontológicos, la industria petrolera utiliza principalmente tres métodos de recolección de muestras. En el laboratorio, para su estudio, debe pasar por un proceso según su composición (Cacho, 1980):

- A) Deleznable (lavado con agua a corriente o frotis)
- B) Duras (impresiones en acetatos o láminas delgadas)

1. Muestras superficiales: Este tipo de muestra se utiliza generalmente en rocas sedimentarias marinas recolectadas sobre la superficie de la Tierra.

2. Muestras de canal de pozo: En la perforación de un pozo con sistema rotatorio, se requiere que haya circulación de lodo para contrarrestar las presiones de las paredes de la perforación, así como para lubricar la barrena y sacar el material que se va triturando. El material triturado sale a la superficie por el empuje del lodo de circulación, y es el que se utiliza para estudios micropaleontológicos.

Los estudios basados en este tipo de muestra deben ser analizados con cautela, debido a que se llegan a generar derrumbes en las paredes del pozo, que pueden contaminar estratos adyacentes.

3. Muestras de núcleo: Este tipo de muestra se obtiene de los pozos con una herramienta especial llamada nucleadora, que a diferencia de las muestras de canal, permite conocer de manera muy exacta la profundidad de donde se obtuvo.

Actividad 2) Se analizaron 40 muestras de canal que fueron proporcionadas por Pemex Exploración y Producción (PEP). El procesamiento se realizó en el laboratorio de análisis integral de muestras de roca del Instituto Mexicano del Petróleo.

2.1) Procesado de muestras.

Las muestras analizadas son las siguientes:

1500	1550	1600	1650	1720	1810	2270	2340
1510	1560	1610	1660	1730	1830	2290	2440
1520	1570	1620	1670	1740	1850	2300	2460
1530	1580	1630	1680	1760	1930	2310	2490
1540	1590	1640	1710	1790	2030	2330	2500

2.2) Descripción de la metodología

Se aplicó la metodología sedimentológica propuesta por Salmerón (2003) a cada una de las muestras, lo cual permite generar, analizar e interpretar datos biosedimentológicos (fósiles y minerales) para determinar con mayor precisión la secuencia cronoestratigráfica y paleobatimétrica del pozo en estudio.

A continuación se describen los pasos de la metodología:

A) Antes de ser lavadas las muestras

Se pesó cada una de las muestras a estudiar, para tener un control del peso inicial antes del lavado (**P**), esto, nos permitió hacer diversos análisis estadísticos confiables, necesarios para el control de la fracción fósil y la fracción mineral, la frecuencia y el porcentaje de foraminíferos.

B) Lavado de muestras

Las muestras de roca suave se remojarón con agua y jabón biodegradable en una charola de latón; las muestras de material consolidado, se trituraron en un mortero de bronce para que pudieran ser lavadas con más facilidad, se dejaron remojoando aproximadamente 24 horas para eliminar el sedimento o aceites utilizados durante la perforación del pozo.

Se emplearon tamices del número 100 (abertura de malla 0.149 mm) y 200 (abertura de malla 0.074 mm), los cuales son colocados en forma creciente de arriba hacia abajo. Estos tamices se utilizan con la finalidad de recuperar el mayor número posible de testas de foraminíferos.

El sedimento se colocó en los tamices y se lavó al chorro de agua; con la yema de los dedos, protegidos con un protector de polietileno (dedal), se frotó ligeramente el sedimento a manera de evitar que se rompan las testas. El lavado se terminó cuando se observó que el agua sobrante salió limpia.

Para evitar contaminación entre muestra y muestra, se lavaron los tamices y se sumergieron en una solución al 5% de azul de metileno, con la finalidad de teñir las partículas fósiles y mineralógicas aprisionadas entre las mallas. Esto permitirá identificar las partículas que corresponden a muestras lavadas con anterioridad, de tal manera que al observarlas, no se les considere para el análisis bioestratigráfico.

C) Después de lavar las muestras.

El residuo del lavado recuperado se secó a temperatura ambiente, después se colocó en unas bolsas de plástico, las cuales se etiquetaron con los datos del pozo. Posteriormente se pesó el residuo de lavado (**p**), material que representa la fracción gruesa de las muestras.

La diferencia de peso antes y después de lavar la muestra (**P-p**) representa la cantidad de partículas finas menores de 0.074 mm que fueron eliminadas por el chorro de agua; esta diferencia, en la columna del pozo evidenciará las condiciones de energía en que se depositaron las partículas en el medio sedimentario.

Actividad 3)

3.1) Selección, montaje e identificación taxonómica de microfósiles

El residuo de cada muestra se colocó en una serie de tamices con diferentes aberturas de malla de manera creciente de arriba hacia abajo: No. 20 (0.84 mm), No. 40 (0.42 mm), No. 60 (0.250 mm), No. 80 (0.117 mm), No. 100 (0.149 mm) para facilitar la observación y seleccionar los foraminíferos bajo el microscopio estereoscópico (con objetivos de 2X, 2.5X, 3.2X y 4X).

Con ayuda de un pincel de cerdas finas del número 00, los foraminíferos se seleccionaron por profundidad en planctónicos y bentónicos; el montaje se realizó sobre una placa micropaleontológica de cuatro orificios la cual se le agregó goma de tragacanto, que sirvió como pegamento, para fijar los microfósiles y así facilitar la observación de sus caracteres morfológicos.

3.2) Frecuencia de foraminíferos bentónicos.

Para el control de la frecuencia relativa de foraminíferos bentónicos se utilizó el siguiente criterio (González *et al.*, 2004):

V: muy raro	1
R: Raro	2-3
F: Poco	4-9
X : Frecuente	10-16

C: Común	17-50
A: Abundante	51-500
P: Prolífero	501 en adelante

El orden de importancia sistemática de los caracteres estructurales externos de la testa para realizar el estudio fue el siguiente:

1. Tipo de testa
2. Posición y forma de la abertura
3. Modificación de la abertura
4. Tipo de cámara
5. Modificación de la testa
6. Ornamentación

3.3) Identificación Taxonómica

A partir de las muestras plaqueadas se realizó la determinación taxonómica de los microfósiles con base en la clasificación de Loeblich y Tappan (1992), con la finalidad de llegar hasta el nivel taxonómico de especie. La determinación de especies de foraminíferos planctónicos se basó en los trabajos de Robles *et al.* (1974), Bolli and Saunders (1985) y Kennett and Srinivasan (1983). Para la taxonomía de los foraminíferos bentónicos se utilizaron los trabajos de Sansores y Flores-Covarrubias (1972) y Van Morkhoven *et al.* (1986).

Del análisis de las 40 muestras de canal estudiadas, se identificaron 6 subórdenes: Globigerinina, Textulariina, Miliolina, Lagenina, Rotaliina y Robertinina; con un total de 20 Superfamilias, 23 Familias, 25 Subfamilias, 77 Géneros, 93 especies (61 son especies bentónicas y 32 son planctónicas). A continuación se describen las especies índice encontradas.

3.3.1) Descripción de Foraminíferos planctónicos

Orden FORAMINIFERA Eichwald, 1830

Suborden Globigerinina Delage y Hérouard, 1896

Superfamilia Globigerinacea Carpenter, Parker y Jones, 1862

Familia Globigerinidae Carpenter, Parker y Jones, 1862

Subfamilia Globigerininae Carpenter, Parker y Jones, 1862

Género *Globigerina* d'Orbigny, 1826

Globigerina nepenthes Todd, 1957

Lámina I, Figura 1.

Testa de trocospira ligeramente baja con cuatro cámaras en la última vuelta. La forma de la testa es ovalada. Cámaras semiovaladas y la última es más alargada e inflada. Pared calcárea hialina. Lado dorsal ligeramente convexo y el lado ventral casi plano. Periferia ecuatorial ovalada y la periferia axial redondeada. Suturas por ambos lados radiales y hundidas. Ombligo ancho y profundo. Abertura umbilical, interiomarginal con un arco alto y la presencia de un labio grueso.

Alcance stratigráfico: Mioceno Medio al Plioceno Inferior.

Género *Globigerina* d'Orbigny, 1826

Globigerina picassiana Perconig, 1968

Lámina I, Figura 2.

Testa de trocospira elevada con cuatro cámaras que crecen gradualmente en la última vuelta. Cámaras de globosas a semiovaladas. Pared calcárea hialina. Lado dorsal ligeramente convexo y el lado ventral casi plano. Periferia ecuatorial un poco lobulada y la periferia axial casi redondeada. Suturas del lado dorsal radial y del lado ventral curvas y ligeramente hundidas. Ombligo estrecho y profundo. Abertura umbilical pequeña, interiomarginal con un arco alto y la presencia de un labio.

Alcance estratigráfico: Mioceno Superior al Plioceno Inferior.

Género *Globigerinoides* Cushman, 1927

Globigerinoides obliquus extremus Bolli and Bermúdez, 1965

Lámina I, Figura 3.

Testa con trocospira ligeramente alta, todas las cámaras de la última vuelta son distintamente comprimidas, con cuatro cámaras en la última Evuelta que incrementan regularmente de tamaño, a medida que se van añadiendo, pero la última cámara puede estar algo reducida a ligeramente aplanada. Pared calcárea hialina. Suturas en ambos lados son radiales a ligeramente curvadas y deprimidas. Abertura primaria umbilical, interiomarginal con un arco de mediana altura; el lado dorsal presenta aberturas suplementarias sobre las suturas.

Alcance estratigráfico: Mioceno Superior al Plioceno Medio

Género *Globigerinoides* Cushman, 1927

Globigerinoides ruber d'Orbigny, 1839

Testa de trocospira de baja a alta, cámaras subesféricas, con tres cámaras en la última vuelta, incrementan moderadamente de tamaño. Pared calcárea hialina. Sutura radiales, distintamente deprimidas. Abertura primaria umbilical, interiomarginal en arco alto, bordeado por un labio. Con dos aberturas secundarias suturales en las cámaras opuestas a la abertura primaria.

Alcance estratigráfico: Plioceno Inferior al Holoceno.

Género *Globoquadrina* Finlay, 1947

Globoquadrina altispira altispira Cushman and Jarvis, 1936

Lámina I, Figura 4.

Testa de trocospira alta de cuatro a seis cámaras en la última espira. Cámaras globosas que aumentan rápidamente de tamaño. Pared calcárea hialina. Lado

dorsal muy convexo y el lado ventral ligeramente plano. Periferia ecuatorial casi circular y la periferia axial redondeada. Suturas del lado dorsal y ventral radiales y hundidas. Ombligo muy ancho y profundo. Abertura umbilical; presenta dientes, los cuales pocas veces llegan a conservarse.

Alcance estratigráfico: Mioceno Inferior al Plioceno Inferior.

Género *Sphaeroidinellopsis* Banner y Blow, 1957

Sphaeroidinellopsis seminulina Schwager, 1866

Lámina II, Figura 1.

Testa de trocospira baja. De tres a cuatro cámaras en la última vuelta. Cámaras subglobulares. Pared calcárea hialina muy vítrea. Periferia ecuatorial semiovalada o trilobulada, periferia axial redondeada. Suturas del lado dorsal y ventral radiales a nivel de la testa. Ombligo ancho. Abertura umbilical con un margen de bordes crenulados.

Alcance estratigráfico: Mioceno Superior al Plioceno Medio

Familia Globorotaliidae Cushman, 1927

Subfamilia Globorotaliinae Cushman, 1927

Género Globorotalia Cushman, 1927

Globorotalia miocenica Palmer, 1945

Lámina II, Figura 2.

Testa de trocospira baja, planconvexa de seis a siete cámaras en la última vuelta. Cámaras ligeramente cónicas. Pared calcárea hialina. El lado dorsal es completamente plano y el lado ventral convexo. Periferia ecuatorial circular y la periferia axial con una ligera quilla. Suturas del lado dorsal curvas y limbadas, del lado ventral ligeramente hundidas. Ombligo pequeño y profundo. Abertura umbilical-extraumbilical.

Alcance estratigráfico: Plioceno Inferior al Plioceno Medio.

Género Globorotalia Cushman, 1927
Globorotalia pseudomiocenica Bolli and Bermúdez, 1965

Lámina II, Figura 3.

Testa de trocospira baja, ligeramente biconvexa de seis a siete cámaras en la última vuelta. Cámaras ligeramente cónicas. Pared calcárea hialina. El lado dorsal menos convexo que el lado ventral. Periferia ecuatorial circular y la periferia axial con una ligera quilla. Suturas del lado dorsal curvas y limbadas, del lado ventral ligeramente hundidas. Ombligo pequeño y profundo. Abertura umbilical-extraumbilical.

Alcance stratigráfico: Mioceno Superior al Plioceno Medio

Género Globorotalia Cushman, 1927
Globorotalia margaritae evoluta Cita, 1973

Lámina II, Figura 4.

Testa con trocospira baja, de cinco cámaras en la última vuelta, cámaras comprimidas, la última cámara ocupa más de la mitad de la testa. Pared calcárea hialina. Lado dorsal convexo y el ventral ligeramente plano; periferia ecuatorial lobulada y la periferia axial aguda con una ligera quilla. Suturas del lado ventral curvas y limbadas mientras que del lado dorsal son curvas y hundidas. Ombligo estrecho. Abertura umbilical-extraumbilical con un arco bajo.

Alcance stratigráfico: Plioceno Inferior.

Género Globorotalia Cushman, 1927
Globorotalia exilis Blow, 1969

Lámina II, Figura 5.

Testa con trocospira baja, de seis a siete cámaras en la última vuelta. Pared calcárea hialina. Lado dorsal casi plano y el ventral ligeramente convexo. Periferia ecuatorial lobulada y la periferia axial aguda con una delgada quilla. Suturas del

lado dorsal curvas, limbadas a nivel de la quilla, del lado ventral, las suturas radiales y deprimidas. Ombligo ancho y hundido. Abertura umbilical-extraumbilical. Alcance estratigráfico: Plioceno Inferior al Plioceno Medio.

3.3.2) Descripción de Foraminíferos bentónicos

Suborden Rotaliina (Delage y Hérouard, 1896)

Superfamilia Bolivinaea Glaessner, 1937

Familia Bolivinidae Glaessner, 1937

Género *Bolivina* d'Orbigny, 1839

Bolivina plicatella (Cushman, 1930)

Lámina III, Figura 1.

Testa biserial. Pared lisa. Cámaras infladas. Presenta dos costillas longitudinales bien definidas que se unen en la intersección con costillas transversales que coinciden con las suturas de cada cámara, por lo que da un aspecto de una superficie dividida en una serie de depresiones irregulares. La testa tiene una forma de cuña. Abertura en forma de ojal, alargada que se encuentra en la base de la última cámara.

Batimetría: Nerítico externo

Género *Brizalina* Costa, 1856

Brizalina subaenariensis (Cushman, 1922)

Lámina III, Figura 2.

Testa biserial, comprimida, dos veces más larga que ancha; más ancha hacia el extremo apertural, el extremo inicial presenta una espina corta. De siete a nueve pares de cámaras en el adulto, angostas, curvas, incrementando gradualmente el tamaño, ligeramente infladas. Pared calcárea hialina, finamente perforada. Suturas claras, un poco hundidas, muy curvas. Testa ornamentada con dos o más costillas

centrales, de las cuales, las que se encuentran cerca de la periferia se extienden desde el extremo inicial hasta dos terceras partes de la longitud total de la testa. Abertura elongada, estrecha, rodeada por un borde y con un diente angosto. e
Batimetría: Nerítico medio

Superfamilia Cassidulinacea d'Orbigny 1839

Familia Cassidulinidae d'Orbigny, 1839

Subfamilia Cassidulininae d'Orbigny, 1839

Género *Globocassidulina* (Voloshinova, 1960)

Globocassidulina subglobosa (Brady), 1881

(Brady), 1881

Lámina III, Figura 3.

Testa globular. Pared calcárea finamente granulada de superficie lisa y pulida. Suturas claras, de curvas a oblicuas ligeramente hundidas. Abertura oval en la base de la última cámara con un ligero labio.

Batimetría: Nerítico medio

Superfamilia Buliminacea Jones, 1875

Familia Buliminidae Jones, 1875

Género *Rectuvigerina* Mathews, 1945

Rectuvigerina senni Cushman, 1941

Lámina III, Figura 4.

Testa triserial en el primer estadio y posteriormente uniserial, alargada casi cilíndrica. Cámaras ligeramente infladas. Pared calcárea finamente perforada. La superficie ornamentada con costillas longitudinales gruesas y continuas desde el extremo inicial hasta la base de la sutura en la última cámara. Suturas ligeramente deprimidas. Abertura circular y terminal sobre un cuello.

Batimetría: Nerítico externo.

Género Bulimina (d'Orbigny, 1826)

Bulimina marginata (d'Orbigny, 1826)

Lámina III, Figura 5.

Testa triserial. Cámaras globosas. Testa de forma cónica. Pared calcárea, finamente perforada, superficie ligeramente tersa. En el borde de cada cámara presenta una serie de pequeñas espinas. Suturas claras y hundidas. Abertura en forma de una ranura que se extiende desde la base de la última cámara hacia arriba con un ligero borde.

Batimetría: Nerítico externo.

Género Bulimina (d'Orbigny, 1826)

Bulimina striata (d'Orbigny, 1843)

Lámina IV, Figura 1.

Testa triserial de forma cónica. Cámaras infladas. Pared calcárea finamente perforada de superficie ligeramente tersa, cámaras globosas que aumentan rápidamente de tamaño, ornamentada con costillas longitudinales que se interrumpen en las suturas. Abertura en forma de ranura desde la base de la última cámara hacia arriba, presenta un ligero borde.

Batimetría: Nerítico medio

Género Uvigerina (d'Orbigny, 1826)

Uvigerina peregrina Cushman, 1923

Lámina IV, Figura 2.

Testa triserial, alargada de sección transversal circular. Cámara inflada. Pared calcárea y ornamentada con costillas limbadas discontinuas. Suturas profundas. Abertura redonda en la terminación de un cuello en la última cámara.

Batimetría: Nerítico medio

Género *Uvigerina* (d'Orbigny, 1826)

Uvigerina hispida (Schwager) Galloway and Morrey, 1929

Lámina IV, Figura 3.

Testa triserial, dos veces más larga que ancha de sección transversal lobulada de forma cónica. Cámaras infladas. Pared calcárea ornamentada con espinas cortas y gruesas. Suturas hundidas. Abertura circular, terminal al final de un cuello corto.

Batimetría: Batial superior.

Género *Uvigerina* (d'Orbigny, 1826)

Uvigerina hispidocostata (Cushman y Todd, 1945)

Lámina IV, Figura 4 .

Testa de inicio triserial a biserial, dos veces más alargada que ancha, de sección transversal circular. Cámaras ligeramente infladas. Las primeras cámaras están ornamentadas con costillas continuas y las últimas cámaras presentan pústulas. Abertura redonda, al final de un cuello que se ubica en la última cámara.

Batimetría: Batial superior.

Familia Sphaeroidinidae (Cushman, 1927)

Género *Sphaeroidina* (d'Orbigny, 1826)

Sphaeroidina bulloides (d'Orbigny, 1826)

Testa subglobular de enrollamiento variable. Cámaras hemisféricas. Pared calcárea de superficie tersa. Lado dorsal se observan tres cámaras en la última vuelta, aproximadamente del mismo tamaño. Lado ventral se observa la abertura que se encuentra en la parte central, aproximadamente entre la unión de las tres

cámaras. Suturas claras a nivel de la testa. La abertura es un arco pequeño que se encuentra sobre las suturas de la penúltima y antipenúltima cámara.

Batimetría: Batial superior.

Superfamilia Planorbulinacea Schwager, 1877

Familia Planulinidae Bermudez, 1952

Género *Planulina* d'Orbigny, 1826

Planulina ariminensis d'Orbigny, 1826

Testa trocospiral muy baja, la cual asemeja un desarrollo como si fuera planispiral. Aproximadamente diez cámaras. Pared calcárea hialina con poros grandes dispersos. Ambos lados son planos. Periferia ecuatorial semilobulada y la periferia axial truncada con una quilla gruesa. Suturas curvas, gruesas, limbadas ligeramente elevadas en ambos lados. Ombligo pequeño. Abertura en forma de arco que se extiende al lado dorsal hacia las penúltimas cámaras.

Batimetría: Nerítico externo.

Género *Planulina* d'Orbigny, 1826

Planulina mantaensis Galloway and Morrey, 1929

Testa trocospiral baja, planoconvexa. Pared calcárea hialina. Aproximadamente diez cámaras en la última vuelta. Lado dorsal plano y el lado ventral convexo. Periferia ecuatorial circular y la periferia axial aguda. Suturas en ambos lados curvas, limbadas y ligeramente elevadas de material transparente. Ombligo estrecho y profundo. Abertura casi ecuatorial, la cual se extiende hacia las penúltimas cámaras del lado dorsal.

Batimetría: Batial superior.

Familia Cibicididae (Cushman, 1927)

Subfamilia Cibicidinae (Cushman, 1927)

Género *Cibicoides* (Thalman, 1939)

Cibicoides pseudoungeriana (Cushman) Cole and Gillespie, 1930

Testa trocospiral, biconvexa a planoconvexa. De 9 a 11 cámaras en la última vuelta. Pared toscamente perforada en la cara espiral, con finas y pocas perforaciones en la cara umbilical, que faltan en la mayoría de los casos. Lado dorsal ligeramente plano y el lado ventral ligeramente convexo. Periferia ecuatorial casi circular, periferia axial subaguda a ligeramente redondeada. Suturas del lado dorsal claras, curvas casi siempre limbadas y algo elevadas; casi radiales en el lado ventral, en el que puede presentar un botón umbilical. Es muy característica la posición no radial de sus dos últimas suturas en el lado ventral. Abertura en un arco ecuatorial, bajo, con un labio ligeramente proyectado.

Batimetría: Nerítico medio.

Subfamilia Pulleniinae (Schwager, 1877)

Género *Melonis* de Montfort, 1808

Melonis affinis (Reuss) Parker, 1964

Lámina IV, Figura 5.

Testa planispiral. Consta de diez a catorce cámaras. Pared con perforaciones finas y muy abundantes. Periferia ecuatorial circular y periferia axial redondeada. Suturas curvas y limbadas ligeramente elevada imperforadas. Ombligo ancho y profundo que se observa por ambos lados. Abertura ecuatorial en forma de media luna que se extiende de un ombligo hacia el otro extremo.

Batimetría: Batial superior.

Pullenia bulloides (d'Orbigny, 1846)

Lámina V, Figura 1.

Testa planispiral globular. De cuatro a cinco cámaras en la última vuelta. Cámaras infladas. Pared calcárea finamente perforada de superficie tersa. Periferia ecuatorial circular. Periferia axial redonda. Suturas radiales ligeramente hundidas y claras. Ombligo pequeño. Abertura en una ranura de media luna estrecha, que se extiende desde un lado hacia otro.

Batimetría: Batial superior.

Superfamilia Chilostomellacea Brady, 1881

Familia Chillostomellidae Brady, 1881

Subfamilia Chillostomellinae Brady, 1881

Género *Chilostomella* Reuss, 1849

Chilostomella czizeki (Reuss, 1850)

Lámina V, Figura 2.

Testa ovalada inflada. Últimas cámaras muy envolventes. Pared calcárea finamente perforada de aspecto terso. Suturas ligeramente hundidas. Abertura en forma de una ranura en media luna, alargada que abarca cerca de $\frac{1}{4}$ de la circunferencia de la testa.

Batimetría: Nerítico externo.

Familia Gavelinellidae Hofker, 1956

Subfamilia Gyroidinoidinae Saidova, 1981

Género *Gyroidinoides* Brotzen, 1942

Gyroidinoides altiformis (Roscoe y Stewart) Renz, 1948

Testa trocospiral, planoconvexa. De diez a once cámaras en la última vuelta. Pared calcárea hialina, tersa. Lado dorsal plano a acanalado y el lado ventral muy convexo. Periferia ecuatorial circular y la periferia axial aguda. Suturas del lado dorsal curvas y hundidas, del lado ventral las suturas son radiadas y ligeramente

deprimidas. Ombligo estrecho y muy profundo. Abertura umbilical-extraumbilical en un ranura baja.

Batimetría: Nerítico externo.

Suborden Lagenina Delage y Hérouard, 1896

Género *Pseudonodosaria* Boomgaard, 1949

Pseudonodosaria comatula, (Cushman, 1923)

Testa uniserial, cámaras que conforme se van añadiendo se van haciendo más infladas. Pared calcárea finamente perforada de superficie ligeramente tersa, ornamentada con numerosas costillas longitudinales finas que van desde el extremo inicial hasta el extremo medio de la última cámara. Suturas horizontales claras a nivel de la testa. Abertura radiada, central en la base de la última cámara.

Batimetría: Batial superior.

Subfamilia Plectofrondiculariinae Cushman, 1927

Género *Plectofrondicularia* Liebus, 1902

Plectofrondicularia californica (Cushman and Stewart, 1926)

Lámina V, Figura 3.

Testa biserial en la primera porción y se hace uniserial, alargada comprimida. Pared calcárea lisa, ornamentada sólo la primera porción por costillas centrales, cortas. Numerosas cámaras. Suturas en media luna en posición horizontal a nivel de la testa. En los extremos, los bordes presentan tres quillas, una central y dos laterales. Abertura circular, pequeña; central en la base de la última cámara.

Batimetría: Nerítico externo.

Subfamilia Lenticulininae Chapman, Parr y Collins, 1934

Género *Lenticulina* Lamarck, 1804
Lenticulina americana (Cushman), Renz 1948)

Testa planispiral con enrollamiento apretado y una ligera quilla, biconvexa. Compuesta de seis a siete cámaras en la última vuelta. Suturas elevadas que terminan en un botón elevado, pared calcárea finamente perforada, superficie lisa. Abertura radial. Batimetría: Nerítico medio.

Género *Lenticulina* Lamarck, 1804
Lenticulina thalmani (Hessland) Barker, 1960

Testa planispiral biconvexa. Pared lisa ligeramente tersa. Numerosas cámaras de igual tamaño. Periferia ecuatorial circular y la periferia axial aguda. Suturas claras ligeramente radiadas a nivel de la concha. Abertura radiada en la parte superior de la última cámara; las aberturas de todas las cámaras son visibles a través de la testa.

Batimetría: Nerítico medio.

Género *Marginulinopsis* (Silvestri, 1904)
Marginulinopsis marginulinoides (Göes, 1896)

Testa con el primer estadio enrollado y posteriormente se va desenrollando en forma rectilínea, con la pared calcárea lisa, finamente perforada; las primeras cámaras ligeramente comprimidas y las últimas infladas, las primeras suturas están ornamentadas por una serie de botones gruesos, mientras que las últimas ya no presentan esos botones. Contorno periférico con una pequeña quilla con espinas en la terminación de cada cámara. Abertura radial sobre un cuello corto en la parte superior de la última cámara.

Batimetría: Nerítico externo.

Subfamilia Marginulininae Wedekind, 1937

Género *Astacolus* de Montfort, 1808
Astacolus vaughani (Cushman, 1933)
Lámina V, Figura 4.

Testa planispiral con un enrollamiento muy comprimido que tiende ligeramente a desenrollarse hacia las últimas cámaras. Aproximadamente nueve cámaras, con una pared calcárea finamente perforada y suturas curvas, ornamentada con una serie de botones que se extienden del ombligo hacia la periferia. Abertura radiada en la terminación de un cuello corto situado en la parte superior de la última cámara.

Batimetría: Nerítico medio.

Actividad 4)

4.1) Análisis bioestratigráfico

La aplicación de la bioestratigrafía en la exploración petrolera consiste en utilizar la sucesión de los fósiles en los estratos, para definir la cronoestratigrafía, establecer edades relativas e inferir la paleobatimetría (Salmerón, 2002).

Una vez llevada a cabo la ubicación taxonómica, se generaron cuadros de concentración de datos. A partir de esta información se determinaron los límites cronoestratigráficos, las biozonas y paleobatimetrías de la columna del pozo. Los límites se establecieron con base en las primeras apariciones en sentido de perforación de los fósiles índice identificados (que en sentido evolutivo equivale a las últimas apariciones -LAD's por sus siglas en inglés: last appearance datum-); además se utilizaron los alcances estratigráficos, de acuerdo con los criterios de Bolli and Saunders (1985) y Blow (1979)(Figura 4).

Los datos generados del análisis de las muestras se ilustran en el Cuadro 1, 2 y 3. En el cuadro 1 se observan las 39 especies identificadas, de las cuales 10 se consideraron fósiles índice; éstos nos permitieron inferir los límites cronoestratigráficos de la columna.

La edad de la columna se determinó de la siguiente manera:

En la muestra 1500 m se infiere que corresponde a la serie Pleistoceno-Plioceno, por la presencia de *Globorotalia tosaensis tenuithecata*. No fue posible delimitar bien la edad, debido a que la asociación observada no proporcionó más información.

El siguiente intervalo 1510-1920 m corresponde al Plioceno Medio, tomando en consideración la primera aparición en sentido de perforación de

Globigerioides obliquus extremus y *Globorotalia miocenica*; la posterior aparición de *Globorotalia exilis* (1550 m), *Globorotalia pseudomiocenica* (1600 m) y *Sphaeroidinellopsis seminulina* (1710 m) confirmó esta interpretación.

A partir de 1930 y hasta los 2500 m se infirió el Plioceno Inferior, al registrarse la primera aparición en sentido de perforación de *Globorotalia margaritae evoluta*; posteriormente la primera aparición de *Globigerina picassiana* (2290 m) *Globigerina nepenthes* (2340 m) y *Globoquadrina altispira altispira* (2460 m), permitió definir esta edad.

ERA		PERIODO		BIOZONACIÓN Bolli and Saunders (1985)		ZONAS BLOW (1979)	<i>Globigerina</i> sp. <i>Orbulina universa</i> <i>Orbulina suturalis</i> <i>Hastigerina siphonifera</i> <i>Neoglobobulidina dutertrei</i> s. l. <i>Globorotalia crassaformis ronda</i> <i>Globorotalia humerosa humerosa</i> <i>Globigerinoides conglobatus</i> <i>Globigerinoides trilobus immaturus</i> <i>Globigerinoides trilobus trilobus</i> <i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> <i>Globigerinoides ruber</i> <i>Pulleniatina primalis</i> <i>Globorotalia crassaformis crassaformis</i> <i>Globigerinoides</i> sp. <i>Globigerinoides trilobus</i> s. l. <i>Sphaeroidinella dehiscens</i> <i>Hastigerina aequilateralis</i> <i>Globorotalia truncatulinoides</i> s. l. <i>Globorotalia tosaensis</i> s. l. <i>Globorotalia tosaensis tenuitheca</i> <i>Globorotalia crassaformis</i> s. l. <i>Globorotalia miocenica</i> <i>Globorotalia exilis</i> <i>Globigerinoides obliquus</i> s. l. <i>Globigerinoides obliquus extremus</i> <i>Globoquadrina altispira</i> s. l. <i>Globorotalia pseudomiocenica</i> <i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i> <i>Globorotalia menardii</i> s. l. <i>Globorotalia margaritae evoluta</i> <i>Globorotalia margaritae aff. margaritae</i> <i>Globigerina picassiana</i> <i>Globigerina nepenthes</i> <i>Globoquadrina altispira altispira</i>
ÉPOCA	ZONAS	SUBZONAS	ESPECIE				
CENOZOICO	NEÓGENO	HOLOCENO		<i>Globorotalia fimbriata</i>	N23		
		PLEISTOCENO	<i>Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides</i>	<i>Globigerina bermudezi</i>			
				<i>Globigerina calida calida</i>			
				<i>Globorotalia crassaformis hessi</i>	N22		
				<i>Globorotalia crassaformis viola</i>			
PLIOCENO	tardío	<i>Globorotalia tosaensis tosaensis</i>		N21			
	medio	<i>Globorotalia miocenica</i>	<i>Globorotalia exilis</i>				
			<i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i>	N20			
	temprano	<i>Globorotalia margaritae</i>	<i>Globorotalia margaritae evoluta</i>	N19			
<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>			N18				

Figura 4. Alcance estratigráfico de foraminíferos planctónicos empleados para la asignación de edad (tomado de Bolli and Saunders, 1985).

4.2) Determinación de Biozonas

Para identificar las biozonas de la columna estudiada, se utilizaron los límites que están situados en las últimas apariciones (U.A.) de los fósiles índice identificados, basadas en las biozonificación propuesta en los trabajos de Bolli and Saunders (1985) y Blow and Berggreen (1979)(Figura 4) debido a que son las más aplicadas para las cuencas de México por ser biozonificaciones para bajas latitudes (tropical a subtropical).

Para facilitar la interpretación biozonal, se generó el Cuadro 2, considerando sólo los fósiles índice que permitieron delimitar los contactos cronoestratigráficos.

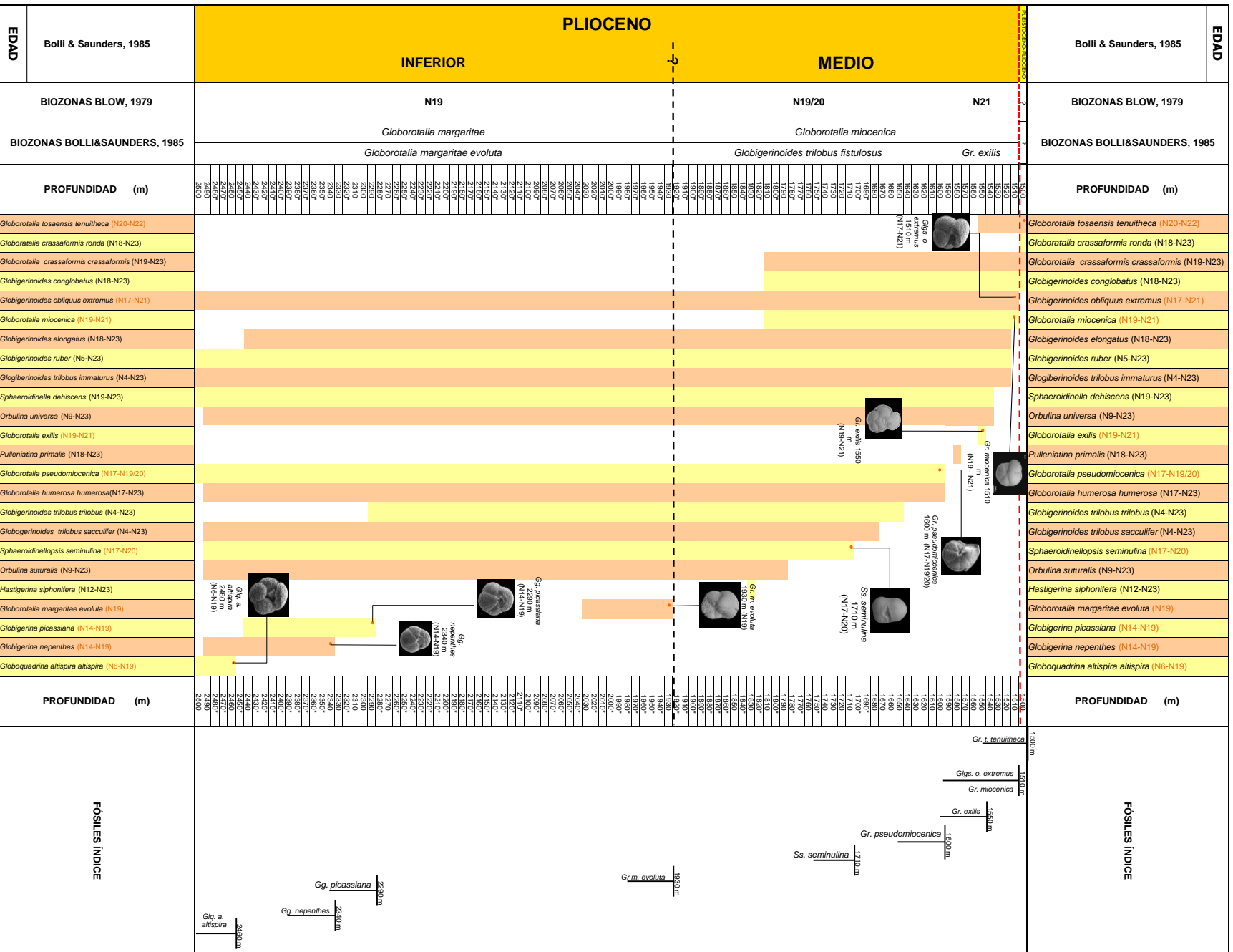
De acuerdo con los datos obtenidos, se determinaron las siguientes biozonas:

En la muestra 1500 m no se determinó una biozona, debido a que no se contaba con fósiles índice suficientes para proponerla.

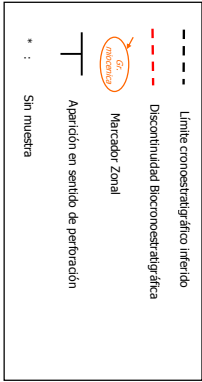
En el intervalo 1510- 1590 m se determinó la biozona **N-21** (Biozona *Globorotalia miocenica*) y la Subzona *Globorotalia exilis* de la parte superior del Plioceno Medio, por la primera aparición en sentido de perforación de *Globogerinoides obliquus extremus*, *Globorotalia miocenica* y *Globorotalia exilis*.

La Biozona **N19/20** (Biozona *Globorotalia miocenica*) y la subzona *Globigerinoides trilobus fistulosus*, de la parte inferior del Plioceno Medio, se infirió para el intervalo 1600-1830 m por la presencia de *Globorotalia pseudomiocenica* y *Sphaeriodinellopsis seminulina*. Sin embargo, la siguiente muestra estudiada fue de la profundidad 1930 m, donde se observan fósiles índice correspondientes a la siguiente biozona, por lo tanto, el intervalo de 1830-1920 m podría pertenecer aún a la biozona N19/20.

Posteriormente, de 1930 a 2500 m se determinó la biozona **N19** (Biozona *Globorotalia margaritae*) del Plioceno Inferior por la asociación de: *Globorotalia margaritae evoluta*, *Globigerina picassiana*, *Globigerina nepenthes* y *Globoquadrina altispira altispira*; la presencia de estas especies permitió corroborar el rango biozonal.



Cuadro 2. Análisis bioestratigráfico de foraminíferos planctónicos del pozo estudiado.



4.3) Análisis paleobatimétrico

Para la determinación paleobatimétrica se utilizó el Cuadro 3 y la asociación de foraminíferos bentónicos predominante, de acuerdo a la Tabla Paleobatimétrica General de las Áreas Petroleras de México (Figura 5).

Para inferir el ambiente de depósito es importante tomar en cuenta la asociación de organismos que presenten la mayor profundidad, esto se justifica por el hecho de que el deslizamiento de sedimentos por la acción de la pendiente de la plataforma, de las corrientes de fondo o de turbidez, traen como consecuencia el arrastre de fauna de ambientes más someros hacia el fondo marino, formándose una mezcla de especies de aguas someras y profundas; de ahí la conveniencia de utilizar el límite batimétrico más profundo del conjunto de fósiles, con el propósito de excluir cualquier tipo de contaminación (Bandy, 1961).

La asociación bentónica predominante de *Astacolus vaughani*, *Bulimina striata*, *Cassidulina laevigata*, *Eponides umbonata*, *Globocassidulina subglobosa*, *Lenticulina* sp. observada en el intervalo 1500-1700 m, permitió establecer un nivel paleobatimétrico de **Nerítico medio**; se encontraron en menor proporción diversas especies asociadas al Nerítico interno (como *Astacolus vaughani*, *Hanzawaia concentrica*, *Florilus* sp., y *Textularia* sp.) y Nerítico externo (*Plectofrondicularia californica* y *Gyroidinoides altiformis*). De acuerdo a la columna litológica, se observó un mayor porcentaje de lutita.

En el intervalo 1710-2260 m se estimó **Nerítico externo** con base en las especies representativas como: *Plectofrondicularia californica*, *Bolivina plicatella*, *Planulina ariminensis*, *Höeglundina elegans* y *Chilostomella czizeki*. Con respecto a la litología, continuó observándose un mayor proporción de lutita.

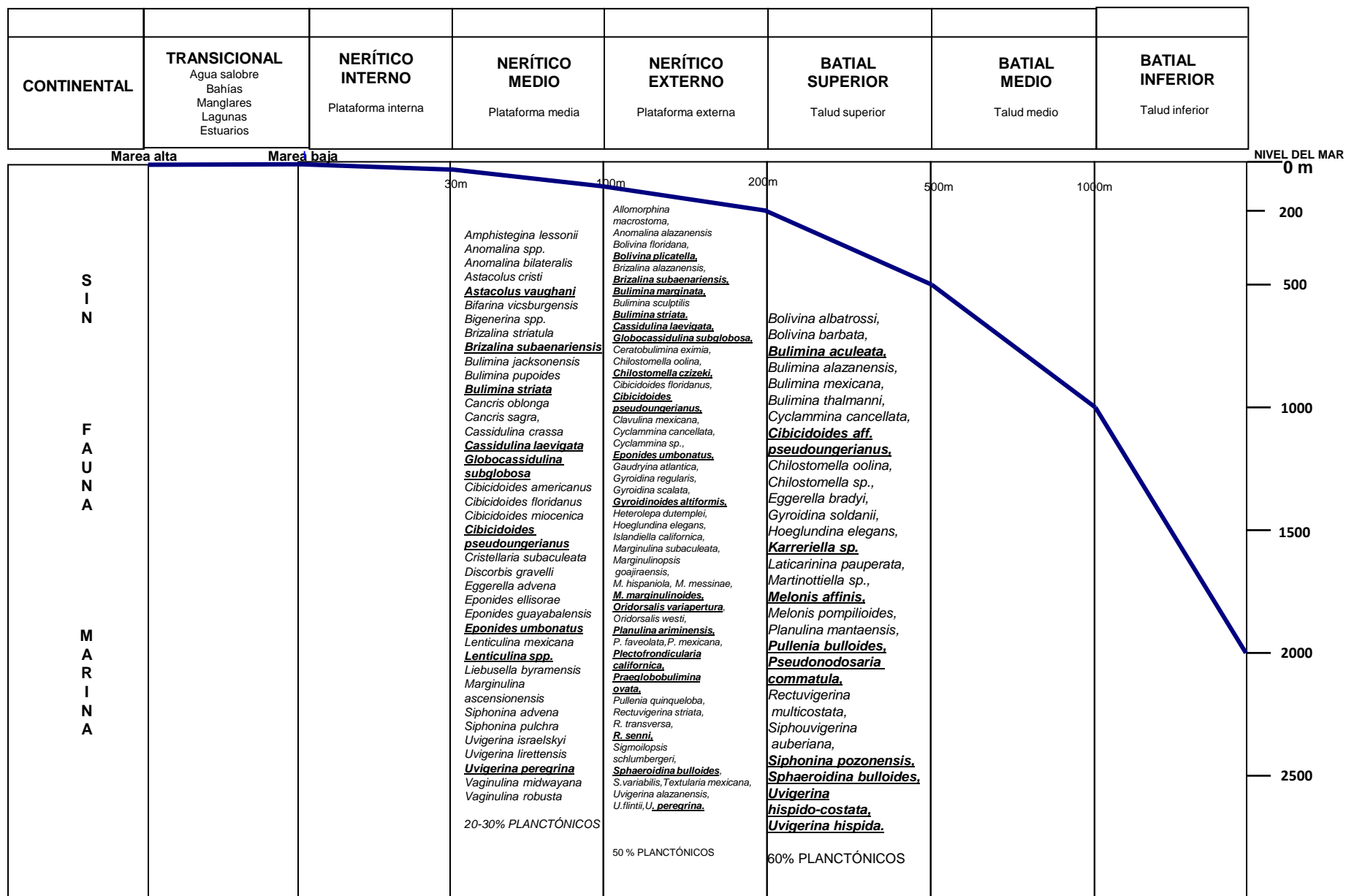


Figura 5. Tabla Paleobatimétrica General de las Áreas Petroleras de México (PEMEX-IMP, 2000)

En el intervalo 2270-2500 m se infiere una paleobatimetría **Batial superior**, con base en la asociación bentónica de: *Bulimina aculeata*, *Melonis affinis*, *Pullenia bulloides*, *Uvigerina hispida* y *Planulina mantaensis*. En este intervalo la litología presentó un mayor porcentaje de lutita calcárea.

4.3.1) Porcentaje de partículas gruesas y partículas finas.

La diferencia de peso antes y después de lavar las muestras (P-p) representa la cantidad de partículas finas que fueron eliminadas durante el lavado; la variación de la cantidad de partículas finas (P-p) en la columna, evidenciará condiciones de energía del medio sedimentario; se sabe que las partículas finas se depositan en condiciones de baja energía, mientras que las partículas gruesas caracterizan condiciones sedimentarias de alta energía (Salmerón, 2003).

Como se puede ver en la Figura 6, en el intervalo de 1500 a 1600 m, las partículas gruesas presentan un porcentaje del 5%; en los intervalos 1600-1680 m y de 1710 a 1740 m las partículas gruesas presentan un aumento aproximadamente del 5 al 10 % con respecto a las partículas finas. En las siguientes muestras, se nota una disminución de las partículas gruesas, llegando a menos del 5%, y se observa un aumento de las partículas finas.

4.3.2) Porcentaje de foraminíferos planctónicos y foraminíferos bentónicos.

En la Figura 6 se puede observar que la proporción de los foraminíferos planctónicos se mantuvo constante, el porcentaje fluctuó entre un 5% y máximo un 20%, a lo largo de toda la columna. En la paleobatimetría de Nerítico medio la relación bentónicos y planctónicos fue aproximadamente 80/20 respectivamente. Para el Nerítico externo el porcentaje que se esperaba (de acuerdo con la Figura 3) era del 50-50% de foraminíferos bentónicos y planctónicos respectivamente; para el Batial superior se esperaba una dominancia de foraminíferos planctónicos cerca del 60%.

Por otro lado, la proporción de las formas bentónicas también se mantuvo constante (cerca de un 80%) sobre toda la columna. De igual forma, se esperaba que hubiera un cambio en el porcentaje, que fueran disminuyendo los foraminíferos bentónicos conforme el ambiente se hacía más profundo.

Sin embargo, se puede apreciar que en el caso de las partículas gruesas hay una disminución conforme el ambiente es cada vez más profundo. Esto implica una disminución de la energía, permitiendo el depósito de mayor porcentaje de partículas finas en las zonas más profundas (Salmerón, 2003).

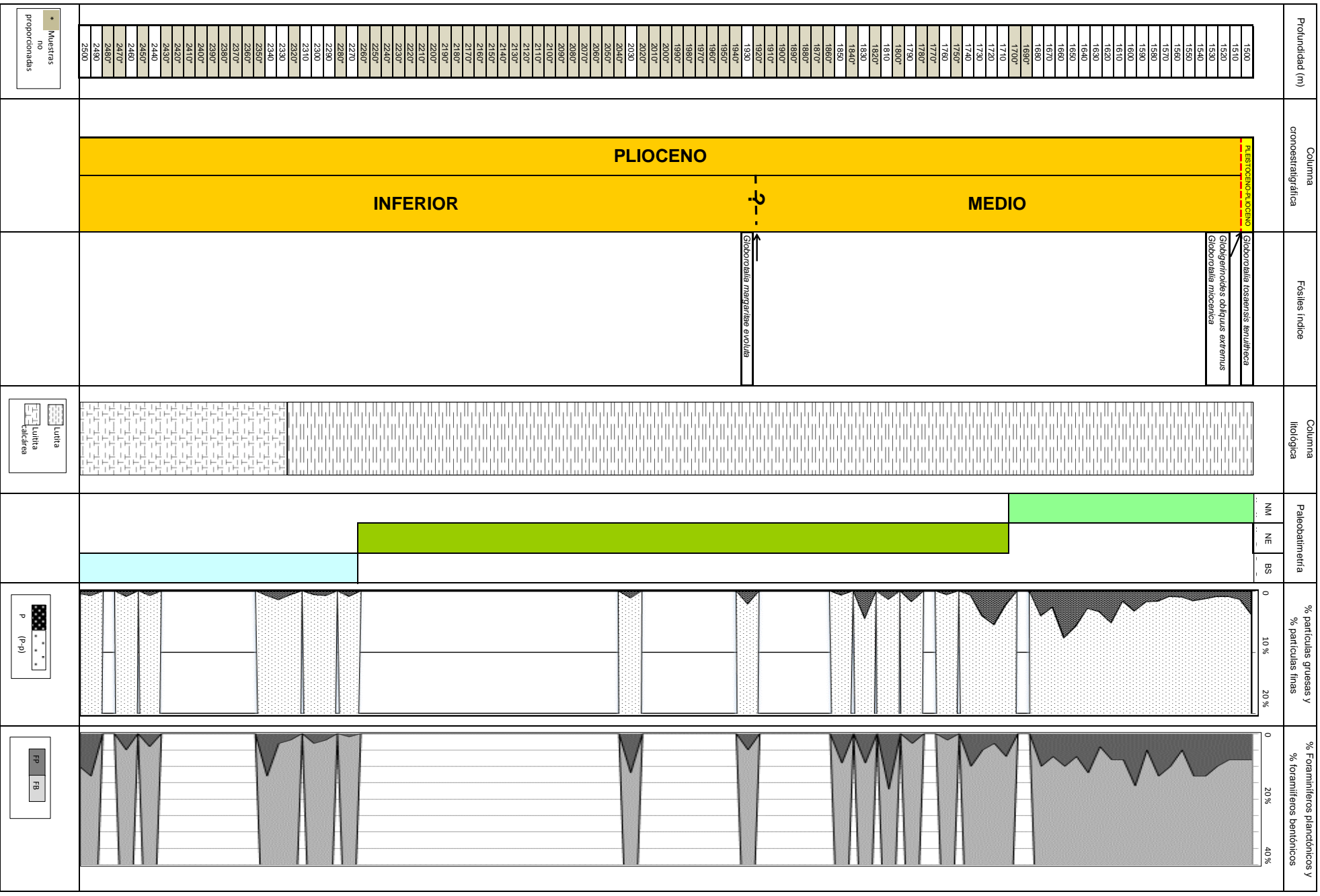


Figura 6. Gráficas de columna cronostratigráfica, columna litológica, porcentaje partícula gruesa y fina, y paleobatimetría.

Discusión y conclusiones

Las actividades realizadas para este trabajo representan una aplicación de la Bioestratigrafía en la industria petrolera, específicamente en estudios exploratorios, y que aunado con otras disciplinas, se pueda contribuir para localizar yacimientos que aumenten las reservas de hidrocarburos de mayor importancia económico-petrolera.

Los estudios bioestratigráficos, que tienen como objetivo ordenar los estratos del subsuelo de lo más antiguo a lo más reciente, esto se realiza analizando los grupos de foraminíferos fósiles que contienen las rocas. Por lo tanto la participación de un biólogo es primordial, debido a que se requiere reconocer estructuras y caracteres morfológicos que permiten diferenciar géneros, especies e incluso subespecies de foraminíferos fósiles, con base en criterios taxonómicos.

En las muestras analizadas se lograron identificar 6 subórdenes: Globigerinina, Textulariina, Miliolina, Lagenina, Rotaliina y Robertinina; con un total de 20 Superfamilias, 23 Familias, 25 Subfamilias, 77 Géneros y 93 Especies (61 corresponden a especies bentónicas y 32 a especies planctónicas).

Una vez determinadas las especies de foraminíferos planctónicos, fue necesario reconocer aquéllas que presentan características de fósil índice, así como su distribución en la columna estratigráfica para establecer los biohorizontes de primera y última aparición. Esto nos permitió observar cómo la ocurrencia de las especies, se suceden unas a otras en un orden definido como lo establece el principio de Sucesión faunística.

De acuerdo con este principio y los fósiles índice identificados, se determinó la edad relativa de los estratos de la siguiente manera:

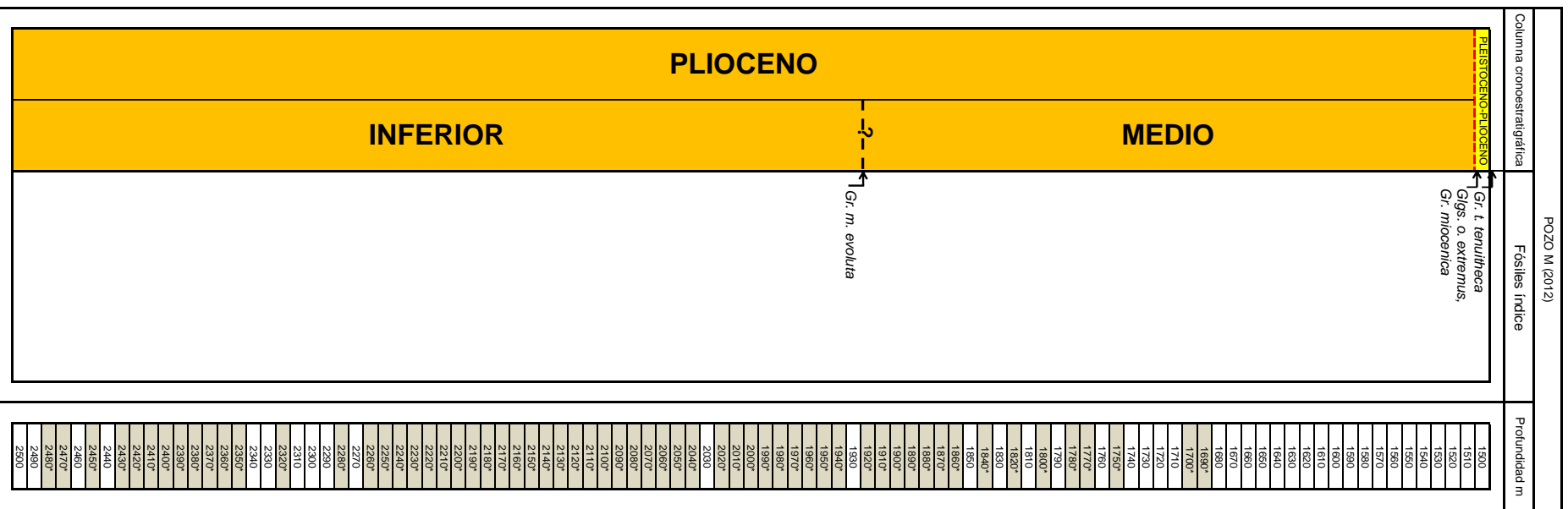
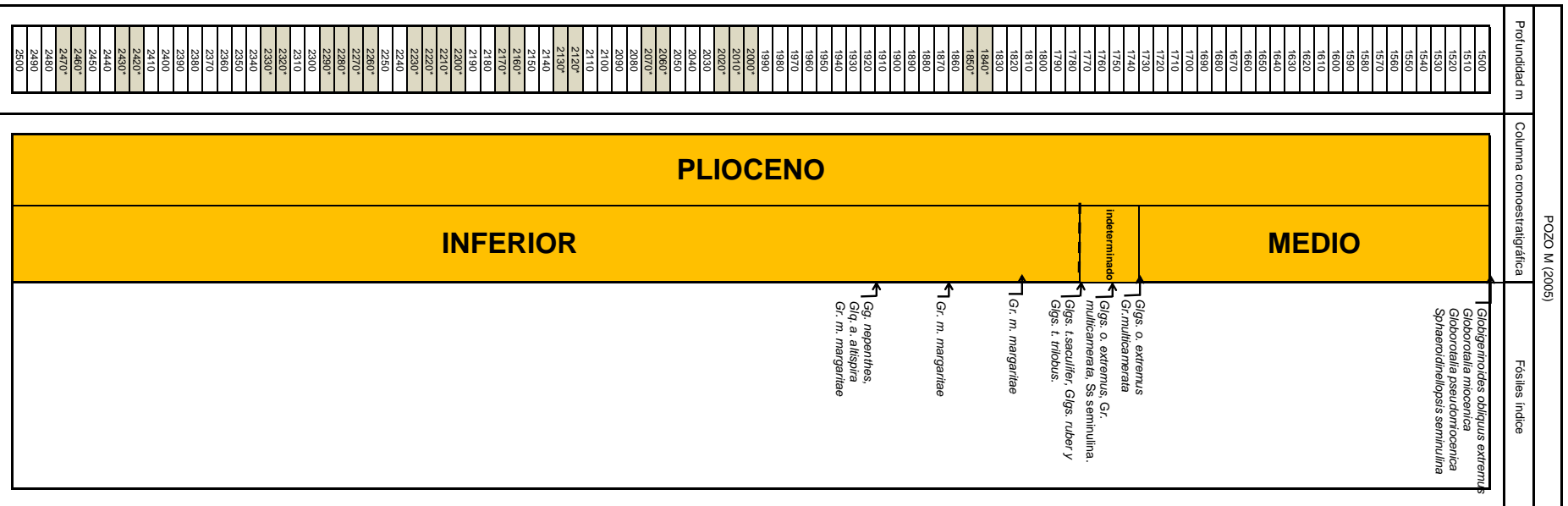
Pleistoceno-Plioceno a los 1500 m, por la presencia de *Globorotalia tosaensis tenuitheca*; Plioceno Medio de 1510 m a 1920 m, por la presencia de *Globigerioides obliquus extremus*, *Globorotalia miocenica*, *Globorotalia exilis*, *Globorotalia pseudomiocenica* y *Sphaeroidinellopsis seminulina*. El Plioceno Inferior de 1930 m a 2500 m, por la presencia de las siguientes especies: *Globorotalia margaritae evoluta*, *Globigerina picassiana*, *Globigerina nepenthes* y *Globoquadrina altispira altispira*.

Una vez que se obtuvieron los límites de las edades bioestratigráficas de este trabajo, se procedió a realizar la comparación con los datos obtenidos del estudio previo del pozo M (2005)(Figura 7).

En el pozo M (2005) utilizando el mismo intervalo de 1500-2500 m, la edad relativa se determinó de la siguiente manera: el Plioceno Medio va de 1500 m a 1740 m con la presencia de *Globigerinoides obliquus extremus*, *Globorotalia miocenica*, *Globorotalia pseudomiocenica* y *Sphaeroidinellopsis seminulina*; para las muestras de 1740 m a 1770 m, la edad se consideró indeterminada, sin embargo, se tienen especies como *Globigerinoides obliquus extremus*, *Globorotalia multicamerata*, *Globorotalia miocenica* y *Sphaeriodinellopsis seminulina* (Figura 7a), las cuales son fósiles representativos del Plioceno Medio.

Por otro lado, las especies que se utilizaron para determinar el Plioceno Inferior (Pozo M 2005) como: *Globigerinoides trilobus sacculifer*, *Globigerinoides trilobus trilobus* y *Globigerinoides ruber*, presentan un alcance estratigráfico amplio. Por consiguiente, se esperaba que el Plioceno Inferior se hubiera determinado hasta la profundidad de 1820 m, con la primera aparición en sentido de perforación de *Globorotalia margaritae margaritae*, y no en la profundidad de 1780 m en donde se propuso el contacto.

En el presente trabajo el Plioceno Inferior se propuso a la profundidad de 1930 m (Figura 7b), el contacto se consideró con interrogante debido a que no



a) Pozo M (2005)

b) Pozo M (2012)

* Muestrario proporcionadas

fueron proporcionadas ciertas muestras suprayacentes. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo un reestudio del intervalo de 1730 a 2030 m para definir con certeza la profundidad en donde está el contacto para el Plioceno Inferior.

El estudio biozonal se realizó analizando ciertas especies de foraminíferos planctónicos, que al presentar alcances estratigráficos cortos, permiten subdividir las unidades cronoestratigráficas en biozonas. En este trabajo se determinaron dos biozonas y tres subzonas:

Para la parte superior del Plioceno Medio se identificó la Biozona *Globorotalia miocenica*, específicamente la subzona *Globorotalia exilis*, y la subzona *Globigerinoides trilobus fistulosus*, de la parte baja del Plioceno Medio. Por último, para la parte superior del Plioceno Inferior se identificó la Biozona *Globorotalia margaritae*, subzona *Globorotalia margaritae evoluta*.

El estudio de la asociación y comportamiento de los foraminíferos bentónicos actuales nos permitió extrapolar esta información hacia los fósiles depositados, logrando inferir las condiciones que prevalecieron durante el depósito de los sedimentos.

De acuerdo a la asociación de foraminíferos bentónicos y considerando la litología predominante, así como el porcentaje de partículas gruesas y finas, se determinó que el Plioceno Medio fue depositado en batimetrías de Nerítico medio a Nerítico externo y el Plioceno Inferior se depositó en un ambiente de Nerítico externo a Batial superior.

En la Figura 6 se puede observar que la proporción de foraminíferos planctónicos fluctuó entre un 5 y máximo hasta un 20%, mientras que los foraminíferos bentónicos tuvieron una dominancia de más del 80%, esto quizás se deba a que las corrientes de fondo o las de turbidez pudieron transportar a los fósiles a otros ambientes (Salmerón, 2003), sin embargo, se puede apreciar el

cambio de las partículas gruesas, que van disminuyendo conforme el ambiente se vuelve más profundo.

En el análisis del pozo M (2005)(Figura 8a), para el intervalo de 1500-2500 m se determinaron tres paleobatimetrías de la siguiente manera:

1. De los 1500 a los 1630 m por la asociación de *Amphistegina lessonii*, *Astacolus vaughani*, *Cibicoides ungerianus*, *Brizalina subaenariensis* y *Lenticulina americana*, se infirió un nivel paleobatimétrico de **Nerítico medio**.
2. De los 1640 a los 2030 m se determinó **Nerítico externo** con la asociación de *Bulimina marginata*, *Bolivina floridana* y *Planulina exorna*.
3. De los 2040 a los 2500 m se determinó una paleobatimetría de **Batial medio**, con las siguientes especies: *Chilostomella oolina*, *Gyroidinoides soldanii soldanii*, *Uvigerina hispido-costata*, *Bulimina aculeata*, *Melonis affinis*; sin embargo, esta asociación se considera más representativa de la paleobatimetría del Batial superior que del Batial medio, de acuerdo con la Figura 5.

Por lo tanto, complementando la información de los dos estudios, la paleobatimetría para el pozo M, se propone de la siguiente manera: el **Nerítico medio** para el intervalo de 1500 a 1630 m, **el Nerítico externo** de 1640- 2260 m y **Batial superior** para el último intervalo de 2270- 2500 m (Figura 9).

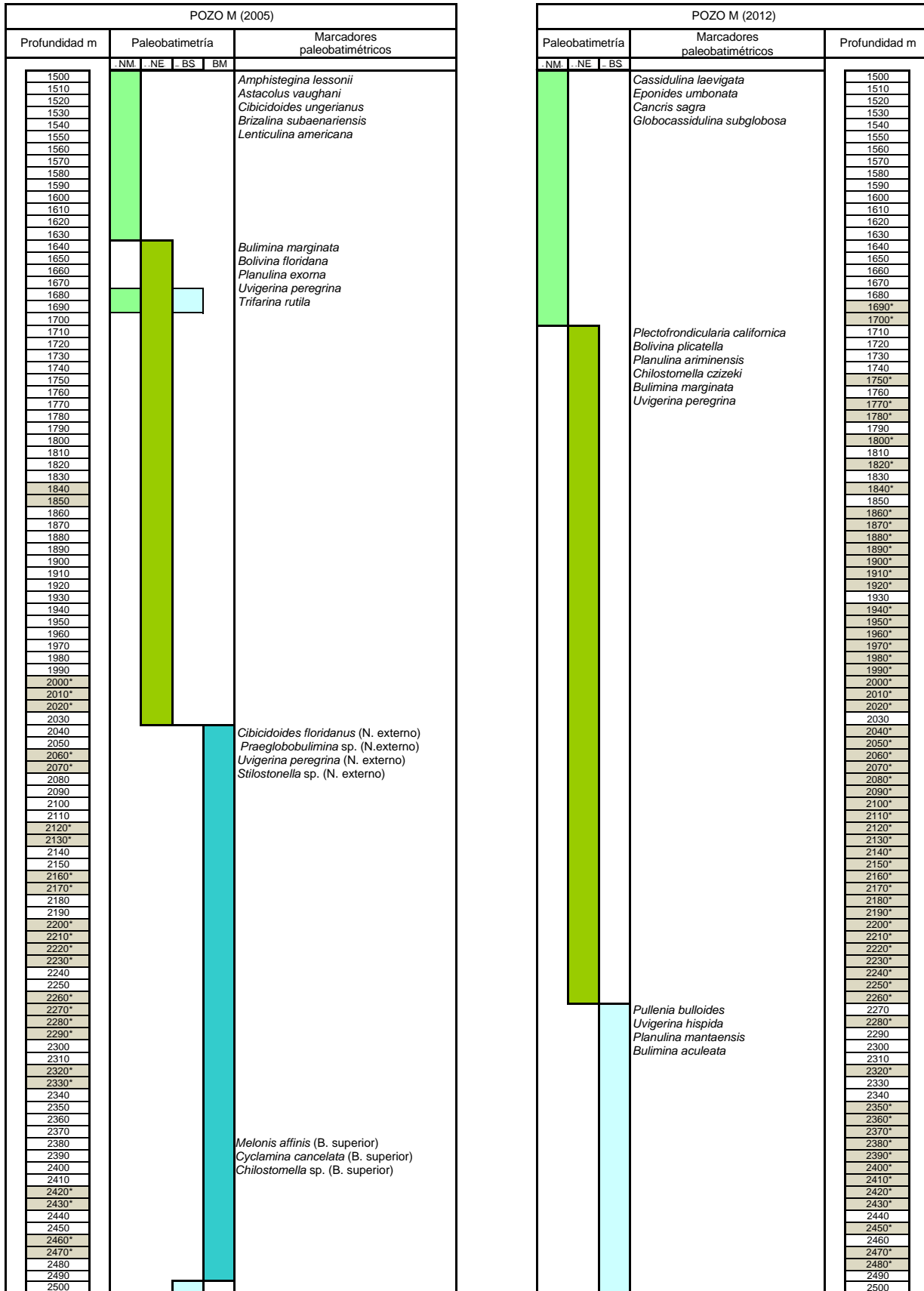


Figura 8. Comparación de paleobatimetrías del pozo de M (2005) y el pozo M (2012).

* Muestras no proporcionadas

POZO M (2012)				
Profundidad m	Paleobatimetría			Marcadores paleobatimétricos
	NM	NE	BS	
1500	█			<i>Cassidulina laevigata</i> <i>Eponides umbonata</i> <i>Cancris sagra</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>
1510				
1520				
1530				
1540				
1550				
1560				
1570				
1580				
1590				
1600				
1610				
1620				
1630				
1640	█			<i>Plectofrondicularia californica</i> <i>Bolivina plicatella</i> <i>Planulina ariminensis</i> <i>Chilostomella czizeki</i> <i>Bulimina marginata</i> <i>Uvigerina peregrina</i>
1650				
1660				
1670				
1680				
1690				
1700				
1710				
1720				
1730				
1740				
1750				
1760				
1770				
1780				
1790				
1800				
1810				
1820				
1830				
1840				
1850				
1860				
1870				
1880				
1890				
1900				
1910				
1920				
1930				
1940				
1950				
1960				
1970				
1980				
1990				
2000				
2010				
2020				
2030				
2040				
2050				
2060				
2070				
2080				
2090				
2100				
2110				
2120				
2130				
2140				
2150				
2160				
2170				
2180				
2190				
2200				
2210				
2220				
2230				
2240				
2250				
2260				
2270	█			<i>Melonis affinis</i> <i>Pullenia bulloides</i> <i>Uvigerina hispida</i> <i>Planulina mantaensis</i> <i>Bulimina aculeata</i>
2280				
2290				
2300				
2310				
2320				
2330				
2340				
2350				
2360				
2370				
2380				
2390				
2400				
2410				
2420				
2430				
2440				
2450				
2460				
2470				
2480				
2490				
2500				

Figura 9. Paleobatimetrías propuesta para el pozo M (2012).

Se considera importante resaltar que para obtener resultados con mayor precisión, es importante seguir una serie de pasos como los siguientes:

- a) Realizar un buen manejo del material durante el lavado de la muestra, para evitar que restos de fracción mineral queden adheridos a las testas de foraminíferos, esto ayudara a observar sus caracteres morfológicos con más claridad, y así lograr una correcta determinación taxonómica a nivel de género y especie; para ello es necesario conocer y reconocer correctamente los caracteres morfológicos de este grupo, con base en bibliografía especializada.
- b) Se tiene que analizar la información para discriminar datos que podrían causar confusión o interpretaciones erróneas, como son los elementos caídos o retrabajados.
- c) Por último, llevar a cabo correctamente tanto el procesado como el análisis de datos micropaleontológicos y bioestratigráficos nos permitirá utilizar la información para correlacionar las columnas estratigráficas de pozos cercanos.

Bibliografía

- 1 Arenillas, S.I., 1996, **Los foraminíferos planctónicos del Paleoceno-Eoceno inferior: sistemática, bioestratigrafía, cronoestratigrafía y paleoceanografía**: Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Tesis Doctoral, 513 pp.
- 2 Arenillas, S.I., 2004, **Bioestratigrafía: limitaciones y ventajas de los microfósiles**, in Molina, E., 2004, **Micropaleontología**, Prensas Universitarias de Zaragoza, España, (27) 571 -577.
- 3 Alegret, L. 2004. **Paleoecología y reconstrucción paleoambiental con microfósiles**, in Molina, E., 2004, **Micropaleontología**, Prensas Universitarias de Zaragoza, España, (25) 523- 551.
- 4 Ayala, C.A. 1956, **Consideraciones sobre micropaleontología de foraminíferos**. Boletín de la Asociación Mexicana de Geología Petrolera. 7(3) 109-118.
- 5 Bandy, O.L., 1961, **Distribution of foraminifera, radiolaria and diatoms in sediments of Gulf of California**. *Micropaleontology*, (7)1: 1-26.
- 6 Barragán, R., Campos-Madrigal, E., Ferrusquía-Villafranca, I., López-Palomino, I. y Tolson, G., 2010, **Código Estratigráfico Norteamericano**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Instituto de Geología. Boletín 117.
- 7 Blow, W.H. and Berggren. 1969, **Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy**, in Brönnimann, P., and Renz, H., (eds.), *Proceedings First International Conference on Planktonic Microfossils*, 1, 199-422.

- 8 Blow, W.H., 1979, **The Cenozoic Globigerinida: A Study of the Morphology, Taxonomy, Evolutionary Relationships and the Stratigraphical distribution of Some Globigerinida (mainly Globigerinacea)**: Leiden, E.J. Brill. 3: 1462.
- 9 Bolli, H.M. and Saunders, J.B. 1985, **Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera**, in Bolli, H. M., Saunders, J.B. and Perch-Nielsen, K., (eds.), *Plankton Stratigraphy*: Cambridge, Cambridge University Press, (6) 155-262.
- 10 Boersma, A., 1998, **Introduction to marine micropaleontology**, U.S.A. Elsevier Science, 186.
- 11 Cacho-Gutiérrez, R.M., 1980. **Estudio bioestratigráfico de seis pozos petroleros en el área de huimanguillo/Comalcalco, Tabasco**. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ciencias, Tesis de Licenciatura. 87 pp.
- 12 Cramez, C., 1990., **Glossaire de stratigraphie de sequentielle**, Revue de L'Institut Francais du Pétrole, 45(3) 435,439 pp.
- 13 González-Lara, J.C., Rosales, D.M.C., Hernández, R.G. y Fragoso, C.J., 2004, **Estudio bioestratigráfico de alta resolución de pozos de reciente perforación en la región marina noroeste**, Dirección de Exploración y Producción, Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto F. 30225 (inédito).
- 14 Gutiérrez-Puente, N. A., 2006, **Estudio micropaleontológico y bioestratigráfico de la columna del pozo Cupelado-10 (Cuenca Tampico-Misantla)**. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ciencias. Tesis de Licenciatura, 98 pp.

- 15 Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 1976, **Diez años del Instituto Mexicano del Petróleo**: Instituto Mexicano del Petróleo. 54 pp.
- 16 Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 1996, **Treinta años del Instituto Mexicano del Petróleo**: Instituto Mexicano del Petróleo. 48 pp.
- 17 Kennett, J.P. and Srinivasan, S., 1983, **Neogene planktonic foraminifera: A phylogenetic atlas**. Stroudsburg, PA: Hutchinson, Ross. 265 pp.
- 18 Loeblich, A.R. Jr. and Tappan, H.N., 1992, **Present status of foraminiferal classification**. *In* Takayanagi, Y. and Saito, T. (eds) Studies in Benthic foraminifera BENTHOS'90 Sendai. Tokai Univ. Press, 93-102.
- 19 Meléndez, B., 1998, **Tratado de paleontología**, Consejo superior de investigaciones científicas. 3ª ed., Madrid, (6), 189-206.
- 20 Molina, E. 1998, **Micropaleontología**. *In* Meléndez, B., 1998, **Tratado de paleontología**, Consejo superior de investigaciones científicas, 3ª ed. Madrid, (10) 295 -327.
- 21 Molina, E., 2004, **Micropaleontología, concepto, historia y estado actual**, *in* Molina, E.,2004, **Micropaleontología**, Prensas Universitarias de Zaragoza, España 1ª ed. (1) 11-26.
- 22 Murphy, M. G. and Salvador, A. (eds.), 1994, **International Stratigraphic Guide**, Segunda edición. (22) 4: 261-264.
- 23 Pérez-Castillo, C., 2005, **Micropaleontología de foraminíferos planctónicos en series terrígenas terciarias del SE de México: Implicaciones biocronológicas**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ciencias, Tesis de Licenciatura, 193 pp.

- 24 Pemex-IMP. 2000, **Tabla paleobatimétrica general de las áreas petroleras de México.** (trabajo inédito).
- 25 Robles, R. M. L., Flores–Covarrubias, C. y Gómez P. M., 1974, **Catálogo Ilustrado de la Superfamilia Globigerinacea**, Laboratorio de Micropaleontología del Cenozoico, México, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
- 26 Salmerón, U.P. 2002, **Apuntes sobre temas selectos de bioestratigrafía**, México, Instituto Politécnico Nacional, Ciencias de la Tierra, Unidad Ticomán, Apuntes (inédito).
- 27 Salmerón-Ureña, P., 2003, **Uso de datos biosedimentológicos para determinar la columna cronoestratigráfica y paleobatimétrica del Terciario en los pozos Tixán-1 y Chem-1A, de la Sonda de Campeche, México.** *In:* Agustín Ayala-Castañares: universitario, impulsor de la investigación científica (L.A. Soto, Ed.) Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 251-265.
- 28 Santiago, A.J., Carrillo, B.J., and Martell, A.B., 1984, **Geología petrolera en México.** *En:* Marmissolle-Daguerre, (ed.), Schlumberger, Evaluación de formaciones en México: 1-36
- 29 Sansores, J.C. and Flores-Covarrubias, C., 1972, **Foraminíferos bentónicos del terciario superior de la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec, México**, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) 1, 2, 534 pp.
- 30 Stoneley, R., 1995, **Introduction to petroleum exploration for non-geologists.** Oxford University Press, 1-27.

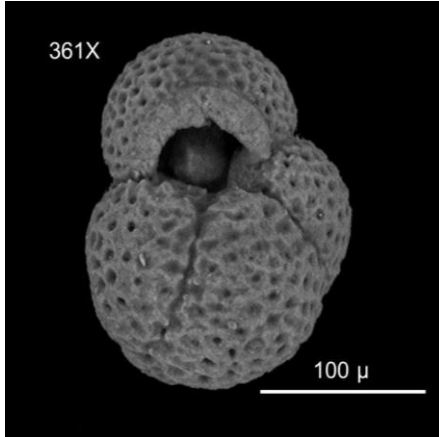
- 31 Toumarkine, M. and Luterbacher, H.P., 1985, **Paleocene and Eocene planktic foraminifera**, In Bolli H. M. Saunders J. and Perch-Nielsen K., (eds.) ***Plankton stratigraphy***: Cambridge, Cambridge University Press. (5) 87-91.
- 32 Van Morkhoven, F.P.C.M., Berggren, W.A. and Edwards, A., 1986, **Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic foraminifera**. Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine Mem. 11.
- 33 Vera-Torres, J.A., 1994, **Estratigrafía. Principios y métodos**, Ed. Rueda, Madrid, 804 pp.

ATLAS FOTOGRAFÍCO DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS Y BENTÓNICOS

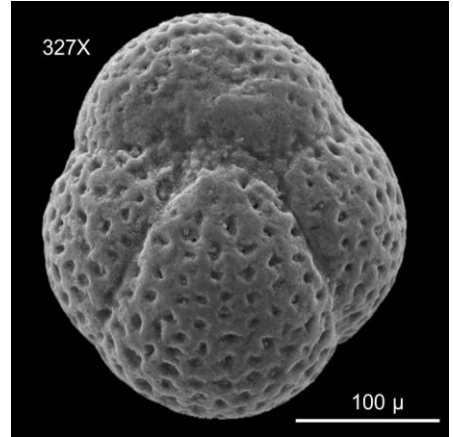
Lámina I

1. *Globigerina nepenthes* Todd, 1957; 2440 m. Vista umbilical (361X). Plioceno Inferior.
2. *Globigerina picassiana* Perconig, 1968; 2290 m. Vista umbilical (327X). Plioceno Inferior.
3. *Globigerinoides obliquus extremus* Bolli and Bermúdez, 1965; 1510 m. Vista umbilical (248X). Plioceno Medio.
4. *Globoquadrina altispira altispira* Cushman and Jarvis, 1936; 2490 m. Vista umbilical (247X). Plioceno Inferior.

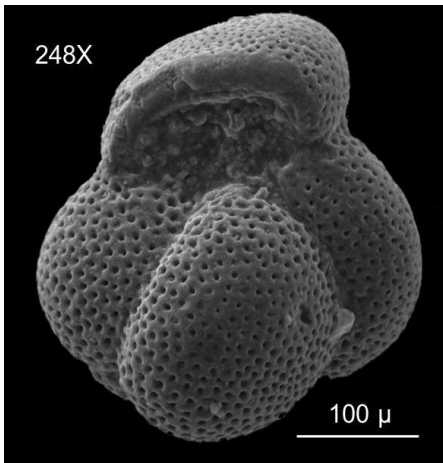
Lámina I



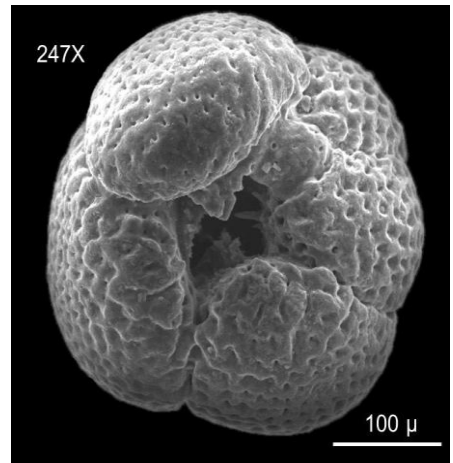
1



2



3



4

Lámina II

1. *Sphaeroidinellopsis seminulina* Schwager, 1866; 1850 m. Vista umbilical (268X). Plioceno Medio.
2. *Globorotalia miocenica* Palmer, 1945; 1510 m. Vista umbilical (224X). Plioceno Medio.
3. *Globorotalia pseudomiocenica* Bolli and Bermúdez, 1965; 1620 m. Vista umbilical (257X). Plioceno Medio.
4. *Globorotalia margaritae evoluta* Cita, 1973; 1930 m. Vista umbilical (284X). Plioceno Inferior.
5. *Globorotalia exilis* Blow 1969; 1550 m. Vista umbilical (147X). Plioceno Medio.

Lámina II

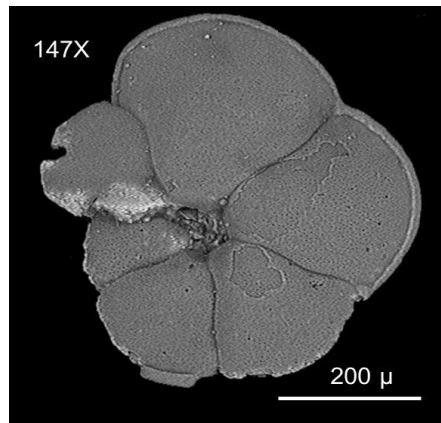
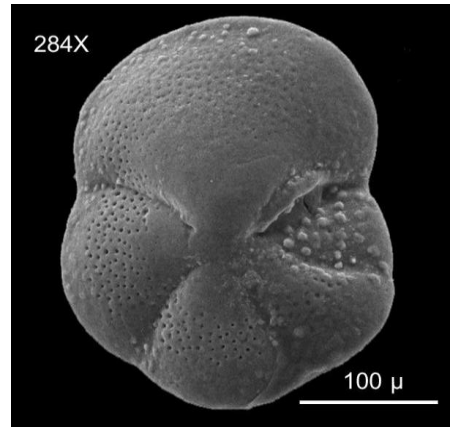
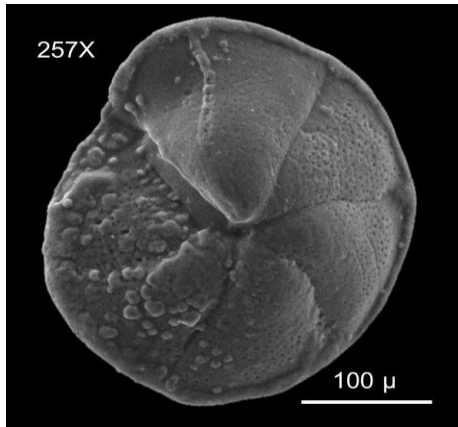
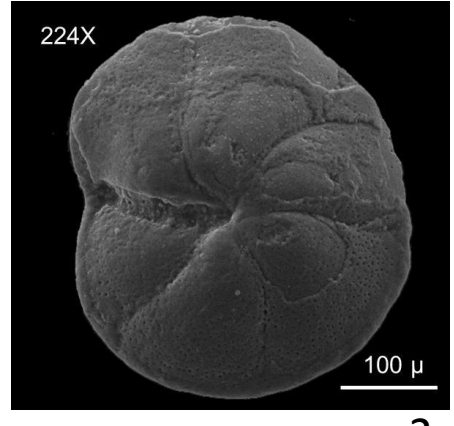
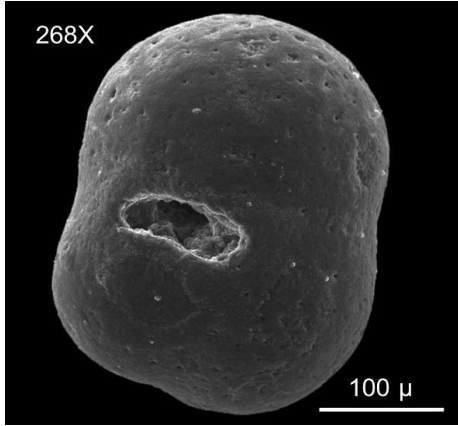
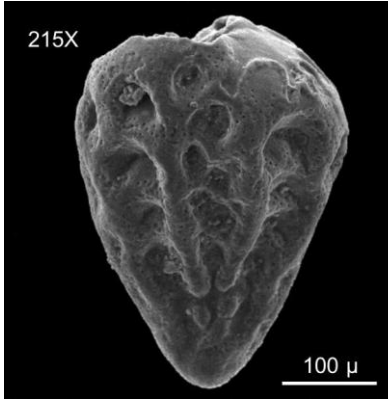


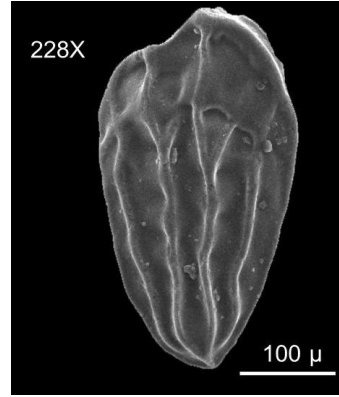
Lámina III

1. *Bolivina plicatella* (Cushman, 1930); 1720 m Vista lateral (215X). Nerítico externo.
2. *Brizalina subaenariensis* (Cushman, 1922). 1680 m. Vista lateral (228X). Nerítico medio.
3. *Globocassidulina subglobosa* (Brady), 1881 1560 m. Vista apertural (160X). Nerítico medio.
4. *Rectuvigerina senni* (Cushman). 1941; 1810 m. Vista lateral;(168X). Nerítico externo.
5. *Bulimina marginata* (d'Orbigny, 1826); 1790 m. Vista apertural;(292X). Nerítico externo.

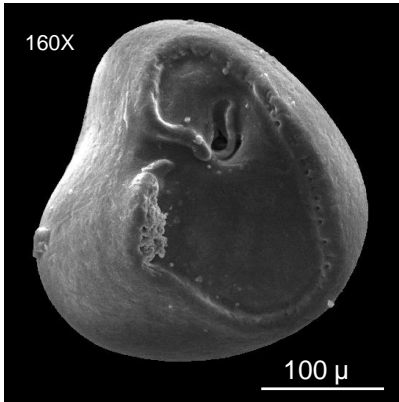
Lámina III



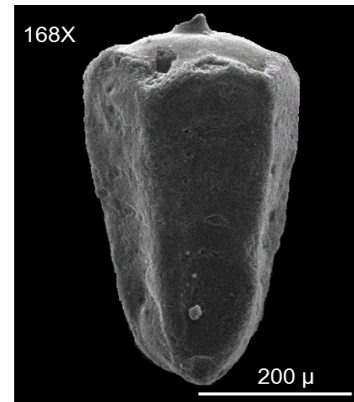
1



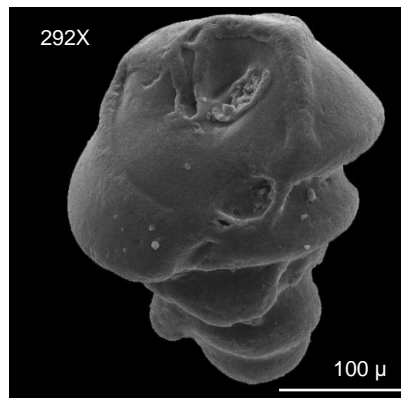
2



3



4

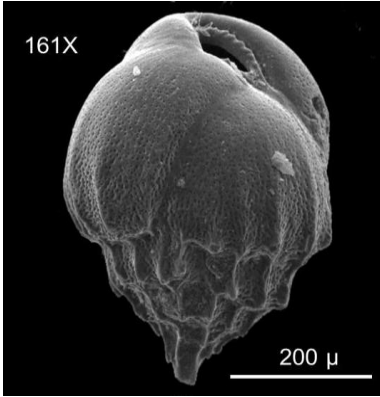


5

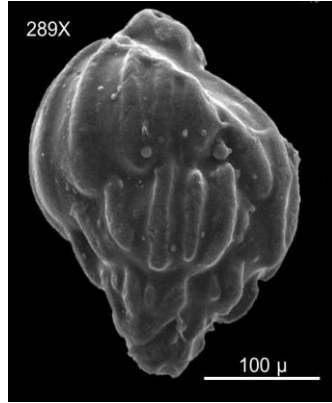
Lámina IV

1. *Bulimina strata* (d'Orbigny, 1843); 1730 m. Vista lateral. (161X). Nerítico medio.
2. *Uvigerina peregrina* (Cushman, 1923); 1720 m. Vista lateral. (289X). Nerítico medio.
3. *Uvigerina hispida* (Schwager) Gallaway and Morrey, 1929; 2460 m. Vista lateral; (93X). Batial superior.
4. *Uvigerina hispido-costata* Cushman and Todd, 1945; Vista lateral; 2440 m. (118X). Batial superior.
5. *Melonis affinis* (Reus) Parker, 1964; 2440 m. Vista dorsal; (303X). Batial superior.

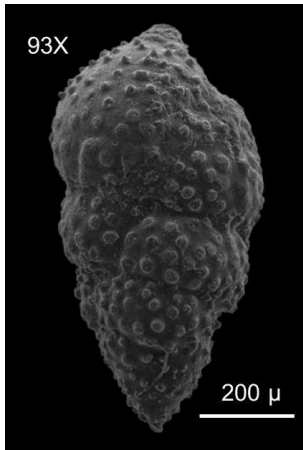
Lámina IV



1



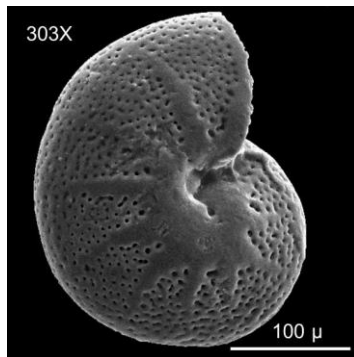
2



3



4

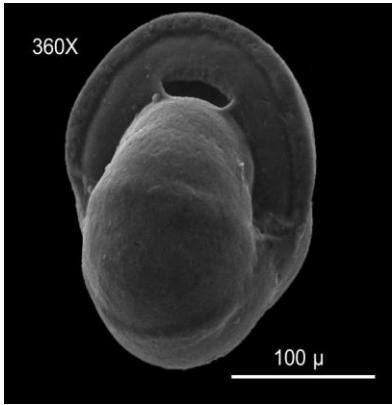


5

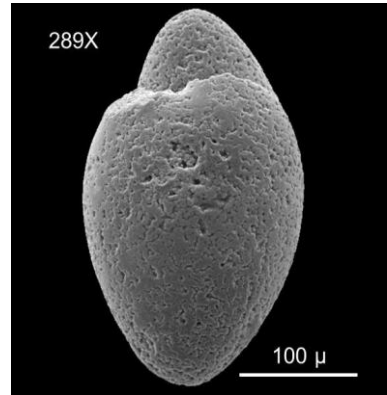
Lámina V

1. *Pullenia bulloides* (d'Orbigny, 1846); 2340 m. Vista apertural;(360X); Batial superior.
2. *Chilostomella czizeki* (Reuss, 1850); 1830 m. Vista lateral; (289X). Nerítico externo.
3. *Plectofrondicularia californica* (Cushman and Stewart, 1926); 1730 m. Vista lateral; (163X). Nerítico externo.
4. *Astacolus vaughani* (Cushman, 1933); 1540 m Vista lateral (179X). Nerítico medio.

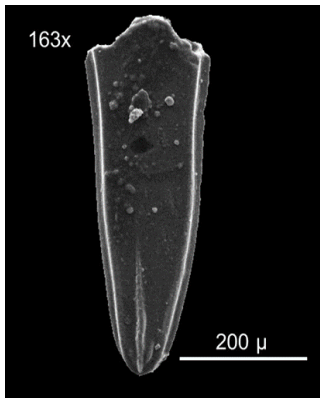
Lámina V



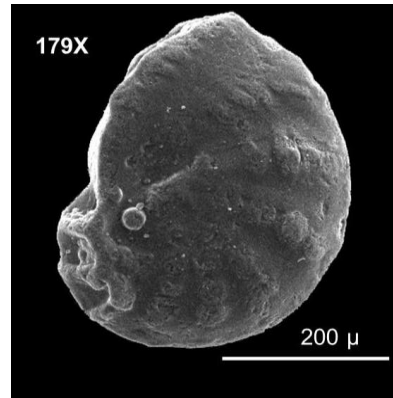
1



2



3



4