



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**UN FÓSIL DE ODONTOCETO DEL MIEMBRO SAN JUAN
(OLIGOCENO SUPERIOR) DE LA FORMACIÓN EL CIEN
DE SAN JUAN DE LA COSTA, BAJA CALIFORNIA SUR,
MÉXICO**

**Que como requisito para obtener el grado de
Maestro en Ciencias**

PRESENTA

BIÓL.MAR. ARTURO CRUZ MARÍN.

La Paz, Baja California Sur, México

junio de 1997

ÍNDICE.

GLOSARIO.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	4
3. ANTECEDENTES	4
3.1. Estudios geológicos en el área de San Juan de la Costa..	4
3.2 Marco geológico y reconstrucción del área en el Oligoceno..	7
3.3. Informes iniciales.....	11
3.4. Panorama general de los cetáceos del Oligoceno	13
4. JUSTIFICACIÓN	18
5. OBJETIVOS	19
6. METODOLOGÍA	19
6.1. Trabajo de campo.....	20
6.1.1. Exploración	20
6.1.2. Recolecta y extracción.....	20
6.2. Trabajo de laboratorio.....	21
6.2.1. Preparación	21
6.2.2. Catalogación..	22
6.3. Trabajo de gabinete.....	23
6.3.1. Identificación taxonómica.....	23
7. RESULTADOS.....	23
8. DISCUSIÓN.....	42
8.1. Tafonomía del material fósil.....	42
8.2. Situación actual de la familia Agorophiidae, Abel 1913.....	43

8.3. Comparación con <i>Agorophiuspygmaeus</i> (Müller, 1849).....	46
8.4. Comparación con <i>Archaeodelphis patrius</i> Allen, 1921.....	47
8.5. Comparación con <i>Xenorophus sloanii</i> Kellogg, 1923	49
9. CONCLUSIONES.....	51
10. RECOMENDACIONES.....	52
11. BIBLIOGRAFÍA	52

GLOSARIO.

Aetiocetidae.- Familia de misticetos ya extintos que todavía presentan dientes y que vivieron durante el Oligoceno.

Agorophiidae.- Familia de odontocetos, heterodontos y muy primitivos que existieron en el Oligoceno.

Apomorfia.- Rasgo o **caracter** de un estado derivado.

Arqueocetos.- Suborden extinto que agrupa a los cetáceos mas primitivos, heterodontos y que estuvieron presentes a lo largo del Eoceno.

Cetotheriidae.- Familia de cetáceos con barbas, que vivieron desde mediados del Oligoceno hasta a fines del Plioceno.

Desmostilianos.- Orden de grandes mamíferos cuadrúpedos que existieron en las costas del Pacífico norte durante el Oligoceno y el Mioceno.

Formación.- Es una agrupación de estratos de roca el cual esta unificado con respecto a estratos adyacentes, por consistir predominantemente de un cierto tipo litológico o combinación de tipos o por poseer rasgos litológicos únicos que le permitan que sea registrado en un mapa, con límites definidos y una localidad tipo.

Fosfogénesis.- Serie de fenómenos físicos, químicos y biológicos que dan lugar a la formación de fosfato.

Friable.- Característica de las rocas de quebrarse o pulverizarse muy **facilmente**.

Holotipo.- Es el único espécimen u otro elemento designado por un autor como base de una especie nueva.

Iconofósiles.- Estructura sedimentaria fosilizada que consiste de un rastro, surco, excavación, tubo o túnel resultante de las actividades de un animal cuando estaba vivo.

- Misticetos.-** Suborden de los cetáceos que se caracterizan por presentar barbas, pero que en sus etapas primitivas también poseían dientes.
- Odontocetos.-** Suborden de los cetáceos que se distinguen por mostrar exclusivamente dientes.
- Paleocetología.-** Estudio de los cetáceos antiguos y de sus fósiles.
- Plesiomorfía.-** Rasgo o **caracter** de un estado primitivo.
- Regresión.-** Es el retiro de las aguas marinas de áreas continentales, es un cambio que da lugar a que zonas costeras ocupen lo que anteriormente habían sido zonas de aguas más profundas.
- Reliquia.-** Especie o estructura de alguna especie que ha retenido caracteres ancestrales y que ha sobrevivido junto a otras especies o estructuras más desarrolladas. Tienen un área geográfica restringida.
- Retrabajo.-** Remoción de sedimentos, rocas, fósiles u otro material geológico de su lugar original por agentes naturales, y que se incorpora en una forma reconocible a un **depósito** más joven.
- Squalodontidae.-** Familia extinta de odontocetos con dientes parecidos a los que poseen los tiburones, que vivieron de finales del Oligoceno hasta mediados del Mioceno.
- Tafonomía.-** Rama de la paleontología que se ocupa del origen y forma de enterramiento de los restos de diferentes organismos.
- Telescopización.-** Proceso en el cual los huesos del cráneo de los cetáceos encajan unos dentro de los otros, debido al movimiento de los huesos del rostro (nasal, maxilar y premaxilar) sobre los huesos del cráneo.
- Transgresión.-** Es la contraparte de la regresión. Invasión de las aguas marinas a áreas continentales.

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1.- Mesa del Tesoro.

Figura 2.- El Saladito.

Figura 3.- Área de estudio.

Figura 4.- Columna estratigráfica.

Figura 5.- Paleogeografía de Baja California Sur durante el Oligoceno.

Figura 6.- Reconstrucción propuesta para fines del Oligoceno.

Figura 7.- Localidades con fósiles de cetáceos en la península de Baja California.

Figura 8.- Sitios con afloramientos de edad Oligoceno.

Figura 9.- Principales familias de cetáceos del Oligoceno.

Figura 10.- Cráneo. Vista dorsal, posterior, anterior.

Figura 11.- Cráneo. Vista lateral derecha, vista lateral izquierda.

Figura 12.- Cráneo. Reconstrucción de la vista dorsal.

Figura 13.- Cráneo. Reconstrucción de la vista lateral.

Figura 14.- Cráneo. Bula timpánica.

Figura 15.- Detalles de los dientes, vista lingual.

Figura 16.- Mandíbula, vista lingual, vista bucal.

Figura 17.- Vértebras cervicales y torácicas.

Figura 18.- Costillas.

Figura 19.- Extremidad anterior derecha.

Figura 20.- Comparación con *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849).

Figura 21.- Comparación con *Archaeodelphis patrius* Allen, 1921.

Figura 22.- Comparación con *Xenorophus sloanii* Kellogg, 1923.

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS
BIBLIOTECA
I.P.M.
MEXICO

Un fósil de odontoceto del Miembro San Juan (Oligoceno Superior) de la Formación El Cien de San Juan de la Costa, Baja California Sur, México.

Se encontró un fósil de odontoceto primitivo en los sedimentos provenientes de la capa Humboldt Superior, Miembro San Juan (Oligoceno Superior) de la Formación El Cien, que aflora en la región de San Juan de la Costa, Baja California Sur, México. Se trata de un nuevo género y una nueva especie de la debatida familia Agorophiidae Abel (1913). Presenta como rasgos característicos: cráneo simétrico de aproximadamente 345 mm de longitud, rostro largo, con heterodoncia moderada, incisivos largos de una sola raíz, premolares y molares con coronas aserradas (tres denticulos accesorios) y ambos con dos raíces; la maxila se sobrepone casi totalmente al frontal; los parietales forman una región intertemporal moderadamente larga y sin cresta sagital; con grandes fosas temporales; mandíbulas incompletas, vértebras cervicales no fusionadas y la aleta pectoral es relativamente grande. Tiene características más derivadas que *Agorophius* (género tipo de la familia) y es de un tamaño mucho menor que éste. El espécimen confirma que los agorófidos eran organismos reliquia hacia finales del Oligoceno, con una morfología intermedia entre los arqueocetos y odontocetos como los esqualodontos. El resto fósil es alóctono y fue trasladado desde una zona costera por corrientes de retorno ocasionadas por tormentas a una cuenca de baja energía y levemente anóxica de la plataforma continental externa, en la que existió bioturbación esporádica y sedimentación de materia orgánica. Este es el primer reporte de un agorófido para el Pacífico nororiental y es, hasta el momento, el fósil de odontoceto más antiguo rescatado en México.

A fossil odontocete from the San Juan Member (Upper Oligocene) of the El Cien Formation at San Juan de la Costa, Baja California Sur, Mexico.

A fossil odontocete from the Humboldt Superior bed, in the Upper Oligocene San Juan Member of the El Cien Formation at San Juan de la Costa, Baja California Sur, Mexico, is a new genus and species in the primitive family Agorophiidae Abel 1913.

Its features include a symmetrical skull which is about 345 mm long, long rostrum, with moderate heterodonty, elongate and single-rooted incisors, two-rooted premolars and molars with serrated crowns; frontal totally covered by maxilla; moderately long intertemporal region formed by parietals, and without a sagittal crest; large temporal fossa; unfused cervical vertebrae, and a relatively large pectoral flipper. This fossil has more derived characters and is smaller than *Agorophius* (the type genus of the family). This is the first record of an agorophiid from the eastern North Pacific, and the oldest fossil odontocete reported from Mexico. The specimen confirms that the agorophiids were a relict family in Late Oligocene time, with a morphology which is intermediate between the Archeoceti and more highly evolved odontoceti such as the Squalodontidae. Geologic and paleontologic evidence suggest that the carcass was deposited into deeper regions of the shelf with oxygen-deficient and low energy conditions, and which received sediment via gradient flows from shallower near-shore environments.

1. INTRODUCCIÓN.

Hacia el noroeste de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, se ubica al campamento pesquero y minero de San Juan de la Costa, con una población de aproximadamente 400 personas. Los cerros abruptos, mesas, escarpes costeros, cañadas y arroyos que caracterizan a la zona ponen de manifiesto a cientos de metros de sedimentos de depósito marino cubiertos por rocas volcánicas (figura 1). En los alrededores de dicho lugar quedan expuestas: la Formación El Cien, del Oligoceno Superior y Mioceno Inferior con una edad de alrededor de 29-16 millones de años (Hausback 1984; Kim 1987; Schwennicke 1994; Fischer et *al.* 1995); y la Formación Comondú, del Mioceno Inferior-Medio de hace 16-10 millones de años (Hausback 1984); la primera forma una secuencia marina, la última es de origen volcánico terrestre.

El Miembro San Juan de la Formación El Cien incluye estratos de fosforita granular que contienen fósiles (como la capa Humboldt Superior, ver figura 4). Entre los restos fósiles más comunes están los de foraminíferos bentónicos y planctónicos, ostrácodos, radiolarios, diatomeas, **espículas** de equinodermos e icnofósiles, cangrejos, escamas y mandíbulas de osteoictios, dientes de **elasmobranquios**, huesos de aves y cetáceos; estos últimos, en su gran mayoría rotos. De los cetáceos se han encontrado partes esqueléticas articuladas, huesos aislados y fragmentados, dientes y cráneos que probablemente podrían ser nuevos *taxa* (Barnes et *al.* 1994).

Sobre los estratos con gran cantidad de fosfatos se ha desarrollado una actividad minera por parte de la empresa Roca Fosfórica Mexicana (**RoFoMex**). El sistema de explotación subterránea que se emplea actualmente incide únicamente sobre la llamada capa Humboldt. El material que se extrae de las minas y que no es utilizado en el proceso subsecuente ha sido apilado en distintos sitios



Figura 1.- Panorámica de San Juan de la Costa desde la Mesa del Tesoro (ver figura 3), vista al sur del afloramiento de las rocas de la Formación El Cien.

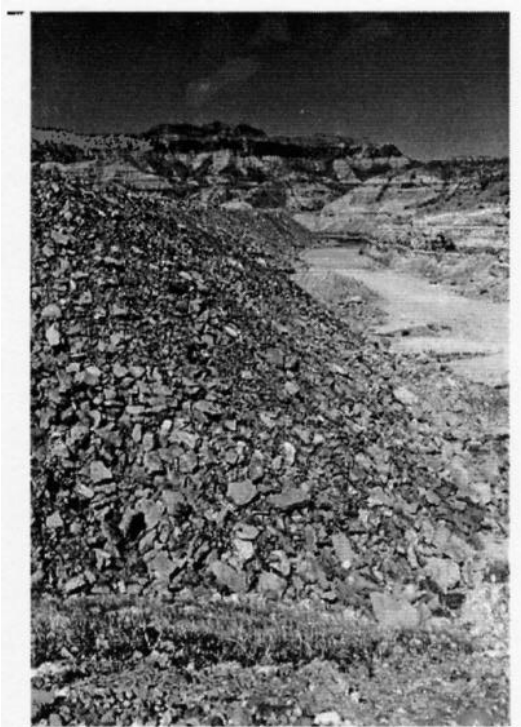


Figura 2.- Vista del terrero El Saladito (ver figura 3), donde se encontró el holotipo de la nueva especie de agorófidol en los bloques de roca fosfórica de la Formación El Cien.

conocidos como “terreros” (figura 2). En dicho material es posible observar una gran cantidad de bloques con sedimentos que presentan fósiles e icnofósiles.

El personal de la empresa RoFoMex ha recuperado en varias localidades restos fósiles de ballenas primitivas dentadas pertenecientes a la familia Aetiocetidae (identificados por L.G. Barnes). Uno de estos ejemplares, casi completo, se exhibe en las oficinas de la misma compañía.

Por otra parte, el Museo Antropológico Regional de La Paz, tiene en exhibición a un espécimen fósil bastante íntegro de un mysticeto primitivo y el esqueleto de un odontoceto en una concreción calcárea, ambos ejemplares fueron donados al Museo Antropológico Regional de La Paz por la empresa RoFoMex.

A partir del año de 1991, personal de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y del Natural History Museum of Los Angeles County (LACM) han efectuado visitas periódicas a distintas localidades del sitio para actividades de exploración y rescate del material fósil, con la finalidad de integrar una colección paleontológica de referencia del estado de Baja California Sur.

La península de Baja California se puede considerar como el territorio más importante del país dentro del campo de la paleocetología, debido a que presenta evidencias de la evolución de estos mamíferos marinos en distintas zonas como la Isla de Cedros, La Misión (ambos en el estado norte), Los Algodones y San Pedro, entre otras (figura 7). Sin embargo, San Juan de la Costa es uno de los pocos sitios y el más importante con fósiles de cetáceos de edad Oligoceno en México. Por lo anterior, el propósito de este trabajo es estudiar a un nuevo espécimen fósil de odontoceto del Oligoceno proveniente del área.

Hasta el momento, el registro fósil del Oligoceno se ha caracterizado por una **baja** diversidad de cetáceos a nivel mundial. No obstante, autores como Barnes (1976) y Fordyce (1992) lo consideran esencial porque puede contener evidencias del origen de los subórdenes de cetáceos actuales.

2. ÁREA DE ESTUDIO.

San Juan de la Costa se encuentra aproximadamente a 60 kilómetros al norte de La Paz, en la margen occidental y parte media de la Bahía de La Paz, en el municipio del mismo nombre. Se localiza entre los meridianos 110° 40' y 110° 45' long. oeste y entre los paralelos 24° 22' y 24° 29' lat. norte (figura 3). Existe acceso aéreo, marítimo y terrestre. Este último es por la carretera transpeninsular hasta el km 17.5, donde hay una desviación que va bordeando la costa de la bahía y que se sigue a lo largo de 40 km hasta el área de estudio.

La zona comprende una superficie aproximada de 30 km², de los cuales 28.5 km² corresponden al fundo minero de RoFoMex (Fonseca-Rivera 1991). Cerca del golfo destaca una alargada cadena montañosa cuya dirección es noroeste - sureste y con elevaciones hasta de 600 metros. El área forma parte de la región sureste de la sierra La Giganta.

Son notables las amplias mesetas formadas por rocas sedimentarias que se encuentran fuertemente **disectadas** por arroyos y cañadas que desembocan en el golfo. Las elevaciones máximas que presentan las mesetas son de 110 metros, los arroyos son casi paralelos y presentan orientación general este a oeste. Son de tipo intermitente y sólo tienen agua durante los fuertes aguaceros en los meses de septiembre a enero de ciertos años. Aunque escaso todo el año el régimen de lluvias es durante el verano y un poco en el invierno.

3. ANTECEDENTES.

3.1. Estudios geológicos en el área de San Juan de la Costa.

En 1948, Beal (*in* Kim 1987) propuso la Formación San Gregorio basándose en secciones de rocas expuestas en el arroyo La Purísima, y puso

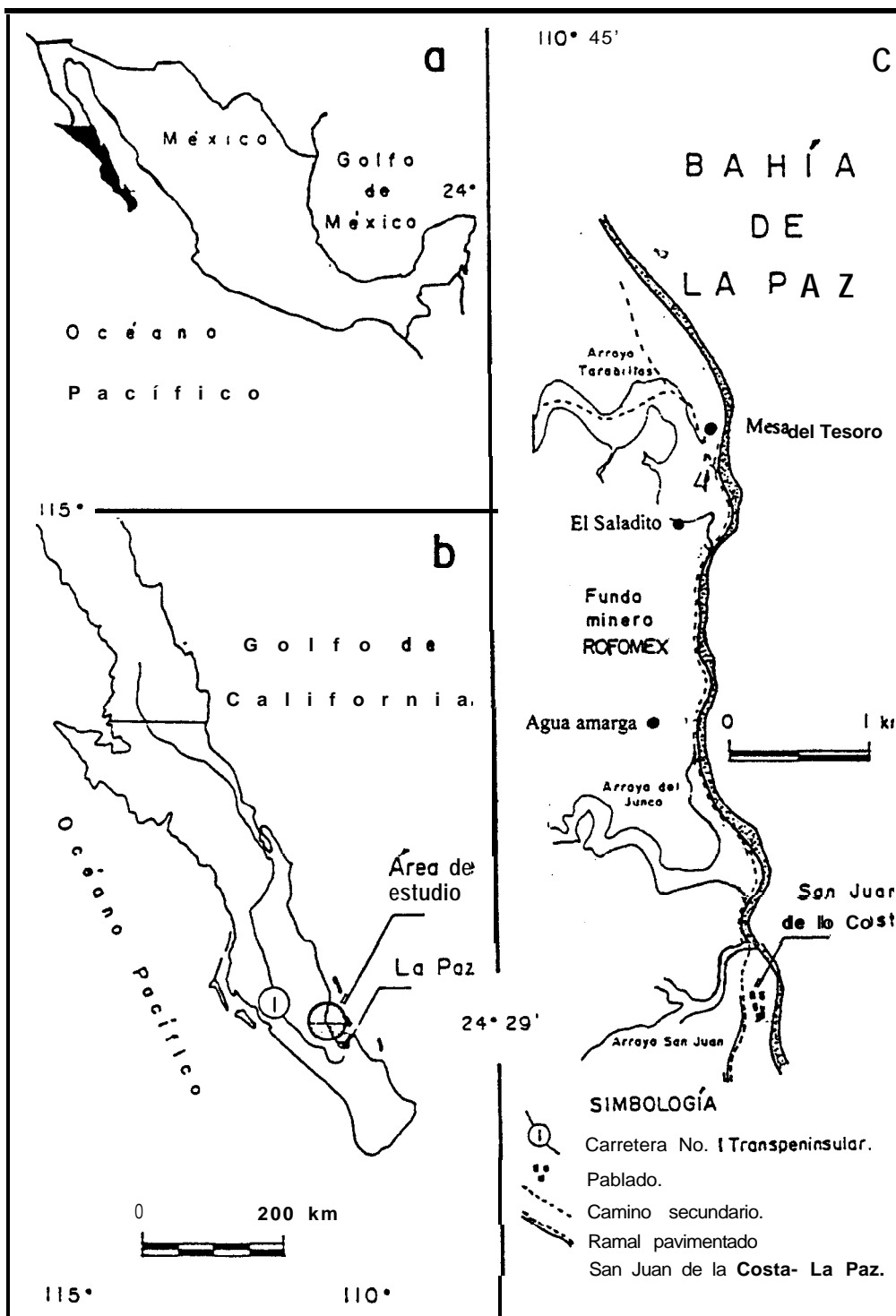


Figura 3.- Ubicación del área de estudio (De Fonseca-Rivera 1991).

en duda la correlación de esta sección con las secuencias de San Hilario.

Se cuenta a un estudio geológico inédito para RoFoMex de Escandón (1978) donde indicó los depósitos de fosforita. En 1978, Martínez-Vera y Soto-Gutiérrez (*in* Fonseca-Rivera 1991) abordaron la explotación por minado a cielo abierto en el yacimiento de San Juan.

McLean *et al.* (1984) corroboraron como Formación San Gregorio a la entonces llamada Formación Monterey. Este último nombre se debió a la similitud litológica que presentaba con una formación más reciente en California (Darton 1921, *in* Kim *op. cit.*). Hausback (1984) confirmó que la edad de la Formación San Gregorio era Oligoceno Superior, con base en el método de potasio-argón de tobas intercalares y demostró que las cenizas silíceas de la formación fueron contemporáneas con vulcanismo cálcico-alcalino voluminoso de la entonces adyacente Sierra Madre Occidental.

Applegate (1986) propuso el nombre de Formación El Cien a las rocas del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior de la localidad de Cerro Colorado, cerca de El Cien. En ella incluyó los estratos de las anteriores Formaciones San Gregorio y San Isidro en la región de El Cien y San Juan de la Costa (Fischer *et al.* 1995), dividiéndola en los Miembros Cerro Tierra Blanca, San Hilario y Cerro Colorado.

En 1987 Gamiño-Aguilera realizó estudios sobre las características litoestratigráficas del Miembro San Juan (en ese entonces conocido como Formación San Gregorio) en el arroyo Agua Amarga en San Juan de la Costa. Garduño-Hernández (1987) describió y definió las características, las texturas y otros aspectos de las partículas fosfatadas del Miembro San Juan. Kim (1987) estudió la **estratigrafía** e historia de los depósitos de la Formación El Cien (anteriormente llamada como Formaciones San Gregorio y San Isidro) con base en diatomeas y foraminíferos, concluyó que el Miembro San Juan se depositó en un

ambiente oceánico transicional entre aguas frías y cálidas durante finales del Oligoceno.

En 1988, Martínez-Camacho efectuó un estudio preliminar sobre la explotación de fosforita a cielo abierto en la Mesa del Tesoro (figura 3).

Fonseca-Rivera (1991) analizó las diferencias petrológicas y los eventos de depositación de la fosforita con respecto a su espesor. Machorro-Jiménez (1991) realizó un estudio comparativo con base en características **petrográficas** de algunas capas fosfáticas donde el Miembro San Juan aflora con mayor espesor: San Juan de la Costa, El Aguajito, San Hilario y Tembabichi (figura 7).

Schwennicke (1992) enumeró y describió a los diferentes ambientes de depósito en los que se formaron los sedimentos del Miembro San Juan. Llega a la conclusión de que el nombre más apropiado y la unidad litológica que mejor describe a las rocas que afloran en la región de San Juan de la Costa, El Cien y El Aguajito es el Miembro San Juan de la Formación El Cien y no los Miembros Cerro Tierra Blanca y San Hilario de la Formación El Cien (como lo propone Applegate 1986), así como tampoco corresponden a la Formación San Gregorio.

3.2. Marco geológico y reconstrucción del área en el Oligoceno.

Los trabajos antes mencionados arrojan entre sus múltiples resultados lo siguiente: la Formación El Cien esta integrada por el Miembro San Juan y el Miembro Cerro Colorado, el primero sobreyace mediante una discordancia la Formación Tepetate de edad Eoceno afuera de San Juan de la Costa (Heim 1922) y el Miembro San Juan subyace mediante una discordancia o concordancia al Miembro Cerro Colorado del Mioceno Inferior (Fischer et al. 1995). Con base en su litología, ver figura 4, el Miembro San Juan consta en su parte inferior de un conglomerado arenoso, limolitas, areniscas de grano fino y tobas; en su parte media presenta limolitas o lutitas fosfáticas con intercalaciones de areniscas, lechos de fosforita

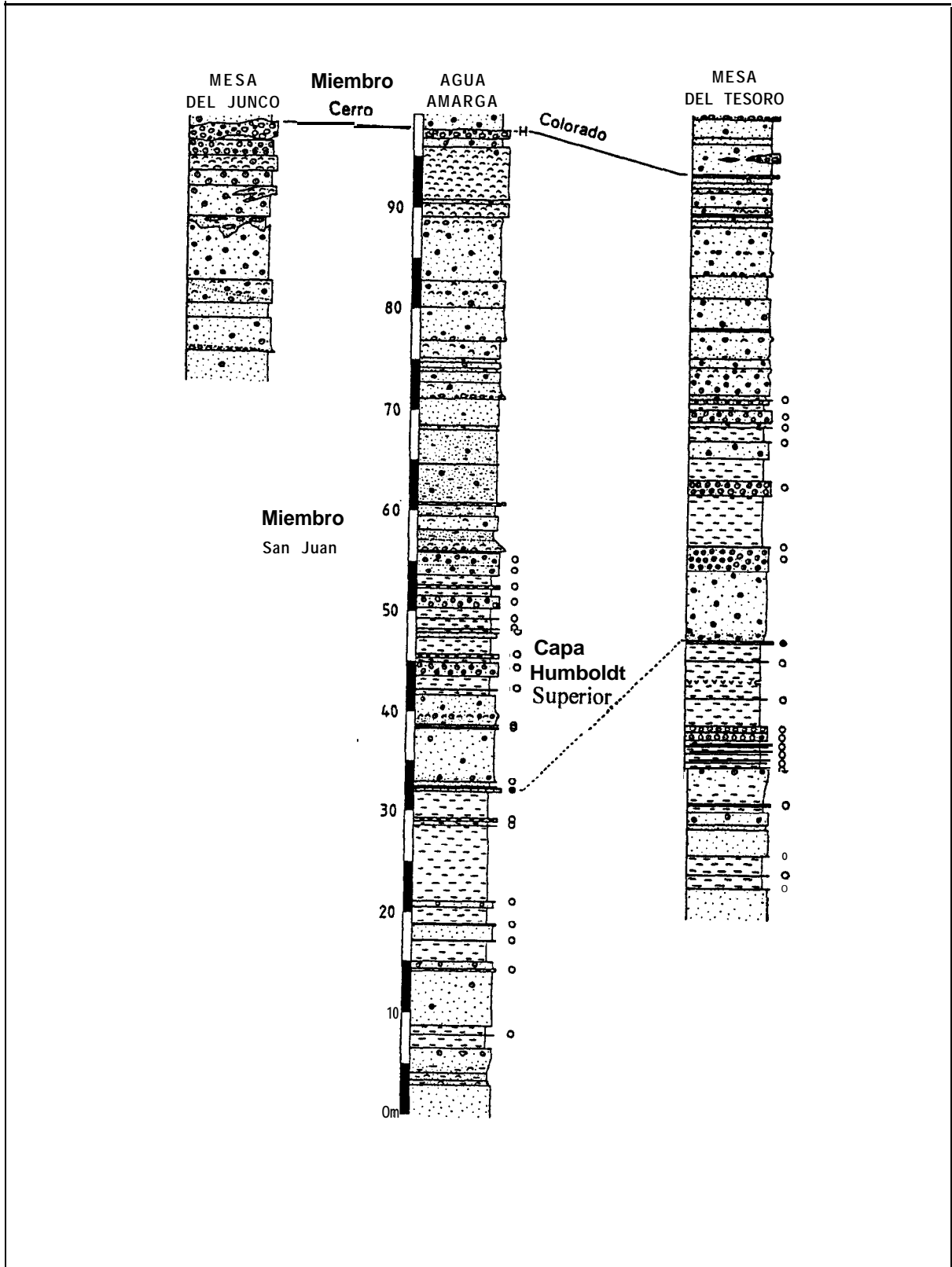


FIGURA 4. Columna estratigráfica del Miembro San Juan de la Formación El Cien (Tomada y modificada de Fisher et *al.* 1995).

granular y una prominente capa carbonatada; y en su parte superior contiene areniscas de grano **fino** y grueso, con intercalaciones de limolitas lodosas, areniscas o conglomerados, y algunas coquinas (Fischer *et al.* 1995).

Por lo tanto se considera como un ciclo sedimentario de múltiples transgresiones y regresiones de depósitos marinos fosilíferos y fosfáticos que finalizó en el límite del Oligoceno-Mioceno (Fischer *et al.* 1995), debido a lo anterior es muy probable que su depósito haya estado afectado por un levantamiento tectónico regional del occidente de México, tal vez relacionado con deformaciones intracontinentales que precedieron a la apertura del Golfo de California (Garduño-Hernández 1987).

Hausback (1984) y Smith (1991) concuerdan que a finales del Oligoceno, la península de Baja California era parte de la plataforma continental de la región occidental de México, ubicada entre el macizo mexicano y la trinchera mesoamericana, que recibió fuerte influencia volcánica de la entonces contigua Sierra Madre Occidental (Figura 5).

Hace aproximadamente 30 millones de años, una elevación global del nivel del mar provocó una transgresión de las aguas oceánicas que marcaron el comienzo de la depositación de los sedimentos del Miembro San Juan. Con el tiempo la cuenca de depositación se **hizo** más profunda (Figura 6), las surgencias causaron enriquecimientos de las aguas que combinadas a condiciones **anóxicas** dieron origen a las concreciones de fosforita (A), igualmente, en áreas de aguas someras ubicadas probablemente al noreste de San Juan de la Costa (Fischer *et al.* 1995) ocurrió la fosfogénesis (B), y durante eventos con alta energía como las tormentas se formaron flujos de sedimentos con restos organogénicos que se alejaban de dicho litoral (Schwennicke 1994). Posteriormente se inició una regresión de las aguas oceánicas que alcanzaría la línea de costa, representado por un lecho de conglomerado en el límite con el Miembro Cerro Colorado, que marca el final de la

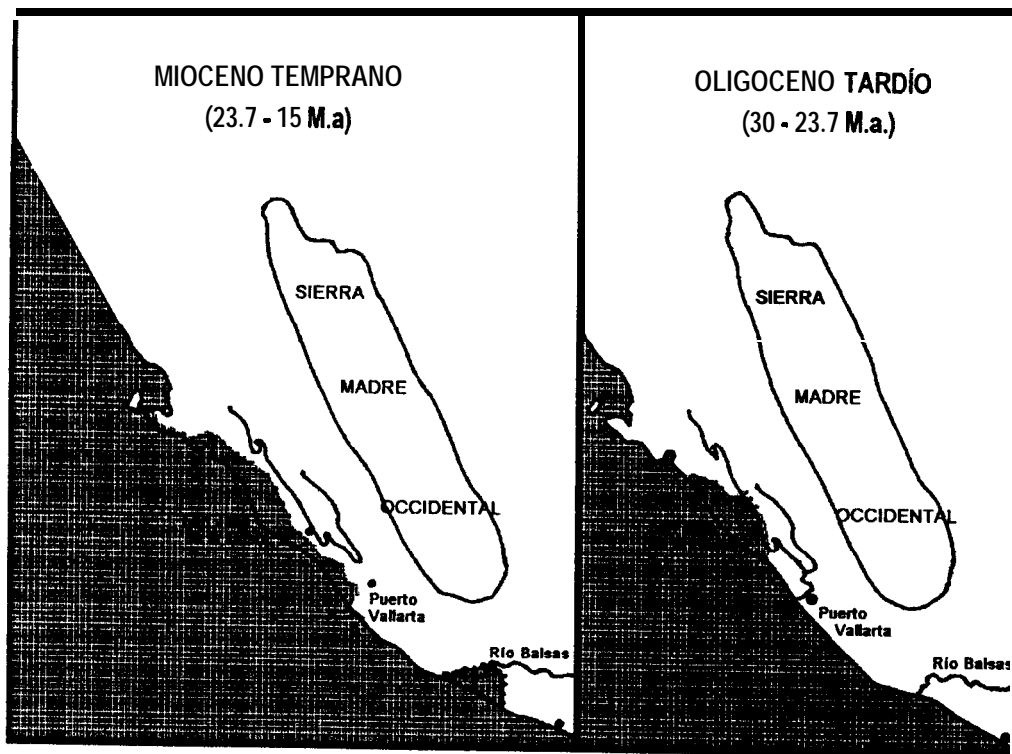


Figura 5. Paleogeografía de Baja California Sur durante el Oligoceno y Mioceno (Tomado y modificado de Smith 1991).

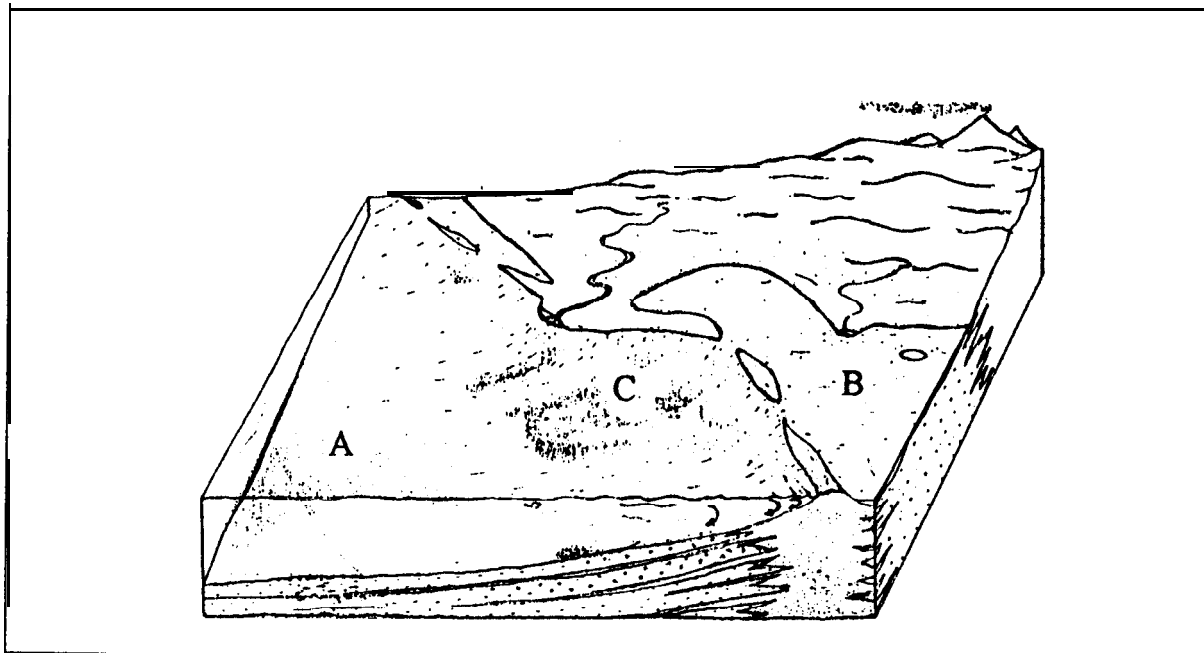


Figura 6. Reconstrucción propuesta para fines del Oligoceno (De Schwennicke 1994). A) Zona de fosfogénesis en la plataforma (fosfato concrecional), B) Áreas de fosfogénesis en ambiente somero protegido, C) Flujos de sedimentos.

deposición del Miembro San Juan.

La capa Humboldt Superior se encuentra en la parte media del Miembro San Juan y es la que presenta el material fósil alóctono de cetáceos incluidos en fosfoarenita. Kim (1987) sugiere que esta capa se depositó con material retrabajado de las aguas someras, basándose en el foraminífero bentónico *Valvulineria casitasensis* Cushman y Laining, 1926, hallado en rocas no laminares. Schwennicke (1994) propuso que las capas de fosforita granular se formaron por efecto de tormentas que provocaron las corrientes de retorno de los sedimentos, lo que significa que todo el material provino de una zona costera. Kim (1987) además determino, por la existencia del foraminífero planctónico *Globigerinita glutinata* Egger, 1884, que el ambiente oceánico era de cambio entre masas de agua con baja temperatura y tropicales, análogo al actual sistema frontal en el cual confluye la Corriente de California con la Corriente Ecuatorial del Norte. Es conveniente especificar que hacia el final del Oligoceno, aún existía influencia de las aguas tropicales del Caribe a través del paso que había en la entonces sumergida Centroamérica y que la futura península de Baja California se encontraba a 300 km al sureste de su actual ubicación (Gastil *et al.* 1981; Curray *et al.* 1982).

3.3. Informes iniciales.

Este trabajo representa uno de los primeros en abordar la paleontología de los cetáceos como tema central, ya que investigaciones previas en el área de San Juan de la Costa, han tratado sobre otros asuntos y sólo en forma colateral se les ha llegado a mencionar. Estos estudios indican la existencia de material paleontológico de mamíferos marinos en zonas ubicadas al norte de la ciudad de La Paz (figura 7).

Durham (1940) participó en un crucero de estudios por el Golfo de California, organizado por el Scripps Institution of Oceanography, y realizó

UNIVERSIDAD
DE CALIFORNIA
LIBRARY
SAN JUAN DE LA COSTA
COMUNITARIO

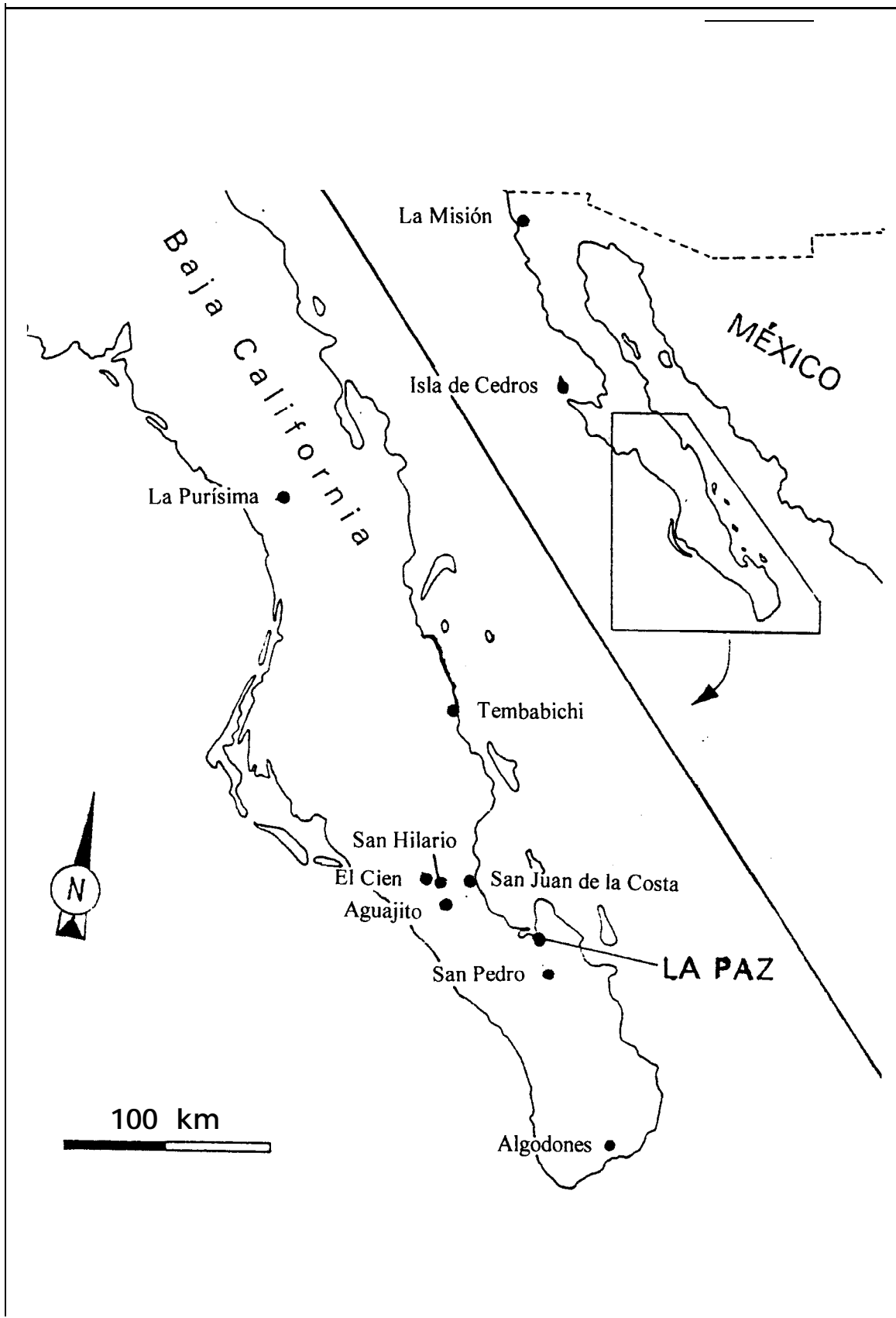


Figura 7.- Localidades con fósiles de cetáceos en la península de Baja California (Tomado y modificado de Fischer et *al.* 1995).

estudios paleontológicos en la localidad de Punta San Telmo, B.C.S., donde encontró tres fósiles de molares en un estrato rocoso de la línea de costa.

VanderHoof (1942), descubrió dos molares de *Cornwallius sookensis* Cornwall, 1922, (desmostiliano) en Punta San Telmo al norte de Tembabichi (figura 7).

En 1974, Downs (*in* Applegate 1986) ofreció una lista preliminar de ballenas (identificadas por L.G.Barnes) del área de San Hilario. Morris (1974) describió un estrato con gran cantidad de fósiles de huesos de mamíferos marinos en la localidad de El Cien, que pertenece a la misma formación presente en San Juan de la Costa.

Applegate y Wilson (1976) documentaron varios afloramientos en las áreas de Punta San Telmo-Punta San Carlos, San Hilario-El Cien y San Juan de la Costa.

Applegate (1986) mencionó que en la capa gruesa de fosfato del arroyo San Hilario, ver figura 7, (en la localidad de “Ten Minutes”) se encontraron fósiles de vértebras de ballenas, dientes de marsopas y de un cráneo de ballena que posiblemente sea una especie de la familia Aetiocetidae (determinada por L.G. Barnes), los cuales se encuentran en la colección de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Lo anteriormente dicho permitió pensar que Baja California Sur presenta algunos de los pocos afloramientos con restos fósiles de cetáceos que existen del Oligoceno a nivel mundial (figura 8).

3.4. Panorama general de los cetáceos del Oligoceno.

La época del Oligoceno abarcó un lapso de 14 millones de años, hace aproximadamente 37 a 23 millones de años. Se conocen a 20 géneros de cetáceos que vivieron durante este período, de los cuales 11 son monotípicos y seis se conocen a partir de un solo espécimen, 16 géneros se han encontrado en

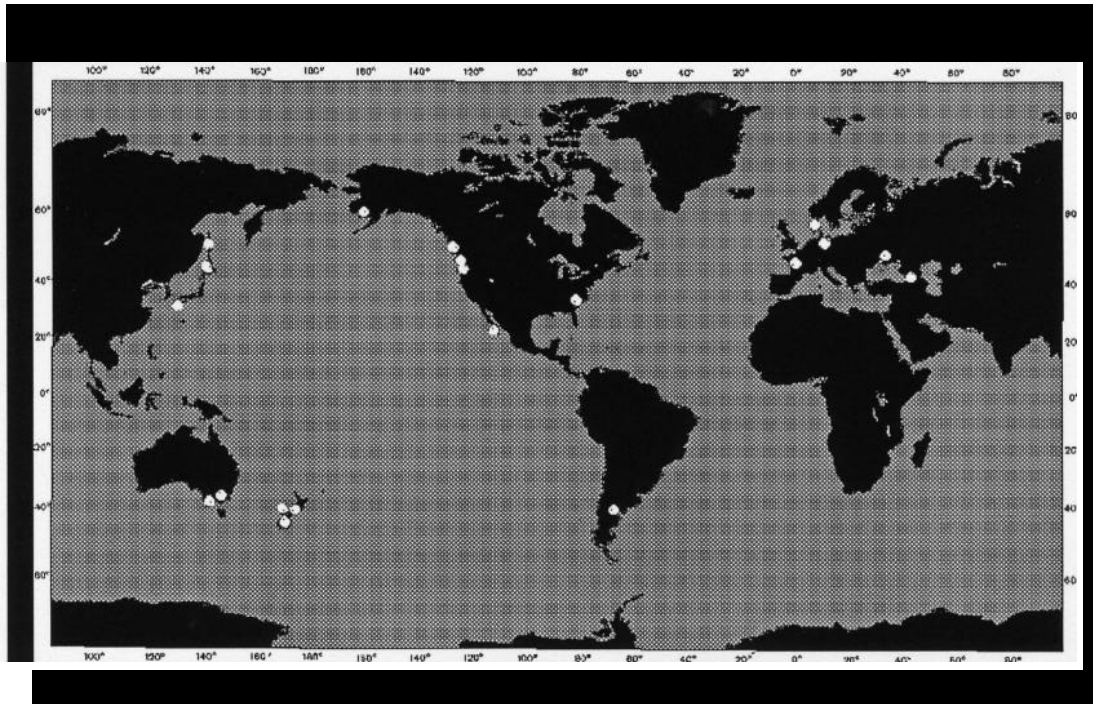


Figura 8.- Panorama global de los sitios con yacimientos de fósiles de cetáceos del Oligoceno (Tomado y modificado de Fordyce, 1992).

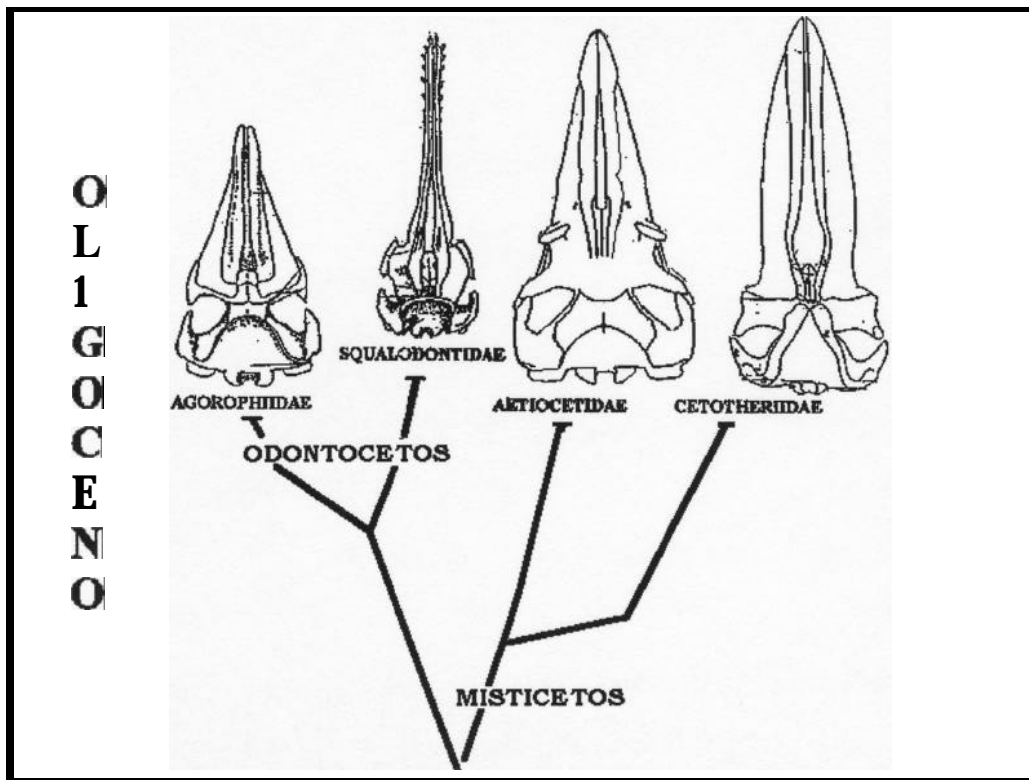


Figura 9.- Principales familias de cetáceos que vivieron durante el Oligoceno.

afloramientos correspondientes de finales del Oligoceno.

No obstante la escasez de hallazgos, estos se han detectado en partes tan distantes como Australia, Nueva Zelanda, en ambas costas de Norteamérica, en Alemania, Austria, las montañas del Cáucaso y Azerbaidjan (figura 8). Lo anterior indica la existencia de una fauna muy dispersa de cetáceos durante el Oligoceno, sin embargo es bastante inferior comparada con cualquier otra etapa de la evolución de estos mamíferos marinos, ya que es la que presenta la menor diversidad (Whitmore y Sanders 1977). Varios son los autores que han relacionado esta característica contra el tiempo geológico y obtenido resultados semejantes: con aumento a finales del Eoceno y mediados del Mioceno, y una disminución en el Oligoceno. Esto podría conllevar a la idea de que hubo una mínima evolución durante esta época, aunque la diversidad taxonómica es más alta de la que refiere la literatura (Fordyce 1992; Fordyce y Barnes 1994).

Fordyce (1984) ofreció una lista de las probables causas que varios autores consideran como responsables de esta situación:

-Existen sesgos en las altas diversidades contra las que se compara al Oligoceno.

-Las rocas del Mioceno han sido más estudiadas debido a su mayor disponibilidad.

-Se han empleado géneros sinónimos o especies de posición sistemática y edad inciertas.

-Hasta muy recientemente la exploración en rocas oligocénicas ha tenido éxito.

- Al parecer hace 29 millones de años hubo un gran descenso en el nivel del mar que provocó la erosión de sedimentos marinos próximos a los que se encontraban los fósiles de cetáceos oligocénicos (Vail y Hardenbol 1979, *in* Fordyce *op. cit.*).

- Las etapas críticas de la evolución se produjeron en ambientes oceánicos y no se preservaron (Simpson 1945).

- Los cambios faunísticos podrían ser el reflejo de un enfriamiento global (Davies 1963, *in* Fordyce 1980.), esto condujo a la reducción de las barreras térmicas (Orr y Faulhaber 1975, *in* Fordyce *op. cit.*) así como descenso en surgencias, productividad y por consiguiente en las diversidades del plancton y de cetáceos (Lipps y Mitchell 1976, *in* Fordyce *op. cit.*). Barnes (1976) considera que estos argumentos carecen de suficiente apoyo por parte de las evidencias geológicas y paleontológicas de amplia escala.

Fordyce y Barnes (1994) y Barnes (1977) concuerdan que el Oligoceno se considera como el tiempo donde se produjo la radiación de misticetos y odontocetos, por ello la aparente disminución en diversidad no pudo haberse dado.

Los cetáceos tuvieron una amplia distribución hacia el fin del Oligoceno ya que se cree que las condiciones oceánicas fueron más semejantes a las actuales, que a las de finales del Eoceno y principios del Oligoceno (Kennett 1977, 1978, *in* Fordyce 1980). Fordyce (1984) consideró que los cambios de temperatura y la circulación durante el Oligoceno provocaron una mayor variedad ambiental en el océano a un nivel global que permitió repetidas radiaciones de los cetáceos, explotación de nichos más diversos y la separación de los recursos alimenticios.

Mchedlize (1970) propuso que en el Oligoceno, los cetáceos estuvieron restringidos al Mar de Tethys y que ahí ocurrió la evolución de algunos grupos como los cetotéridos (misticetos). Fordyce (1984) sugirió que si el origen de los subórdenes recientes fue en el hemisferio sur, los antepasados de las modernas formas del hemisferio norte no sufrieron la influencia de factores ambientales (como los actuales) que los aislan y dan lugar a las distribuciones antitropicales.

Debido a la imperfección del registro fósil, solo Cetotheriidae y Aetiocetidae están registrados entre los misticetos a un nivel global, sin embargo

otras familias pudieron haber estado representadas. Los odontocetos incluían una variedad de formas con afinidad incierta entre ellos, Agorophiidae, Squalodontidae de pico largo y corto, *Patriocetus*, Waipatidae y Kentriodontidae (Fordyce 1984, Fordyce y Barnes 1994).

Es notable la “convivencia” de formas relativamente avanzadas como Squalodontidae y Cetotheriidae, con formas arcaicas como Aetiocetidae y Agorophiidae. La persistencia de estos últimos sugiere que en esta etapa las características adaptativas primarias de los odontocetos más avanzados (con localización por medio de eco) y de los mysticetos (filtradores), quizás no fueron empleadas en la totalidad de los ambientes o no eran lo suficientemente sofisticadas para excluir por competencia a animales con adaptaciones menos especializadas en la alimentación en algunos ambientes marinos (Fordyce 1992). Esta circunstancia brinda la oportunidad de conocer las características que pudieron presentar los odontocetos anteriores al Oligoceno o en sus inicios.

Ninguna de las formas reliquias parecen haber persistido en el Mioceno, y, de entre ellas, los organismos pertenecientes a la familia Agorophiidae son considerados como los odontocetos más primitivos, en una posición intermedia entre los arqueocetos y odontocetos más avanzados. De grado más arcaico que los Squalodontidae, y si bien ellos tal vez no puedan ser considerados como sus ancestros, el patrón de telescopización que presentan probablemente representa una etapa en la reorganización evolutiva de los elementos craneales de ciertos odontocetos, incluyendo a los Squalodontidae, y dan alguna idea de la probable apariencia de los primeros odontocetos (Gaskin 1982). Hasta el momento, la familia Agorophiidae es conocida estrictamente solo por el holotipo, un cráneo incompleto y extraviado, de *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849) de finales del Oligoceno, Carolina del Sur, E.U.A. (Fordyce 1981).

4. JUSTIFICACIÓN.

La época Oligoceno del período Terciario, presenta un interés especial debido a que en ese tiempo comienza la radiación que dió lugar a los dos grandes tipos de cetáceos que se conocen actualmente (Barnes *et al.* 1985, Fordyce y Barnes 1994). Durante esta época se inició la divergencia inicial de la estructura craneal básica y el desarrollo de las barbas en los mysticetos, a partir de ancestros arqueocetos, además de una serie de “experimentos” entre los odontocetos que condujo al desarrollo de una estructura craneal moderna con asimetría y placa espiracular (Gaskin 1982).

La región de San Juan de la Costa y El Cien es la única localidad con estratos marinos con fósiles de cetáceos de edad Oligoceno en México. El salvamento del registro paleontológico del área es fundamental debido a que los especímenes de esta localidad son el registro más al sur de Norteamérica, son únicos en México, no son renovables y aportarían conocimientos sobre la evolución de las distintas especies ahí preservadas.

A pesar de existir especímenes ya extraídos del área de estudio, algunos hasta en exhibición, éstos no han sido estudiados e incluso no se tiene el acceso o permiso para examinarlos en forma apropiada.

Quizás esta investigación ayude de cierta forma a cambiar ese punto de vista, y también a interesar a más personas en la indagación sobre el origen e historia evolutiva de los cetáceos y en la preservación y cuidado de sus fósiles, que legislativamente son considerados como patrimonio de todos los mexicanos.

5. OBJETIVOS.

Con el propósito de que este trabajo contribuya a incrementar el panorama global del desarrollo evolutivo de los cetáceos durante el final del Oligoceno, se plantean los siguientes fines:

Objetivo General.

Profundizar en el conocimiento del registro paleontológico de los cetáceos a través del estudio de un cráneo de odontoceto muy primitivo recuperado en el área de San Juan de la Costa, B.C.S.

Objetivos Particulares.

- 1.- Efectuar una adecuada preparación del espécimen.
- 2.- Ubicar taxonómicamente al ejemplar.
- 3.- Hacer la descripción formal si resulta ser una nueva especie.

6. METODOLOGÍA.

En términos generales el estudio comprendió: trabajo de campo. gabinete y laboratorio. El Museo de Historia Natural de la UABCS brindó las facilidades necesarias en lo referente a disponibilidad de un lugar de trabajo y acceso al equipo, materiales y reactivos necesarios para la limpieza y extracción del material fósil.

La metodología que se siguió fue la propuesta por Hernández-Rivera (1980) que consta de los siguientes pasos: exploración, preparación y conservación, catalogación, determinación taxonómica y descripción.

6.1. Trabajo de Campo.

6.1.1. Exploración.

El primer paso consistió de la recopilación de la información generada por investigaciones anteriores. Para conocer acerca de la topografía y geología estructural de la zona, se utilizó el mapa geológico del área, que permitió una visión panorámica que muestra la distribución de las unidades de roca así como la información para hacer relaciones estratigráficas. En el campo se efectuó una búsqueda del material fósil que se encontraba incluido en los bloques de sedimento del terrero denominado El Saladito (ver área de estudio, figura 3).

Para obtener un buen trabajo de exploración, se requirió de tener en cuenta lo siguiente: a) información sobre la tafonomía del yacimiento; b) el estrato que contiene a los fósiles; c) cuáles son las características finas del sedimento, como la angularidad y clasificación del mismo, las rocas y concreciones presentes; d) el estado de conservación que presentaba el fósil, si se encontraba o no fracturado, tratar de identificar que elemento esquelético es, su forma exacta y tamaño, si estaba o no articulado a otros elementos, si existían otras piezas junto a él que correspondían al mismo ejemplar o a otro, si era posible encontrar o no dientes, a que animal pertenecía, que fauna estaba asociada y la forma en la que fue depositado.

Cada ejemplar requirió que se anotaran sus características más notables en la libreta de campo, con la finalidad de que no se perdiera información relevante para los estudios posteriores.

6.1.2. Recolecta y extracción.

Se rescataron los bloques extraídos de las minas que contenían al material fósil y debido a que parte del material era friable se requirió del empleo de una sustancia como aglutinante para el endurecimiento de los fósiles, en este caso fue el

gliptol en una solución al 10%, con la intención de que penetrara totalmente por el interior del espécimen, consolidara todas sus partes y que se reforzaran.

En la recolecta se extrae sin destrozarse a los fósiles para transportarlos al laboratorio sin que se dañen. Normalmente, es necesario cuadrangular el área y fotografiar el avance de la colecta, pero en este caso solo se tomaron los bloques con fósiles y se les fabricó una cubierta de yeso (“jacket”). Esta se hace cubriendo al ejemplar previamente con papel para evitar que se le adhiera el yeso, a continuación se colocaron longitudinalmente tiras de yute empapadas con yeso, cuidando de sobreponerlas en cada uno de sus márgenes. Se repitió esta última operación pero en forma transversal para reforzar. Finalmente se aplicó con el yeso restante una última capa para engrosar la cubierta.

A cada resto fósil se les anexaron los datos mínimos de recolecta como son: fecha, número de muestra, localidad, municipio, estado, nombre y observaciones, haciendo también las anotaciones necesarias en la libreta de notas de campo.

6.2. Trabajo de Laboratorio.

6.2.1. Preparación y conservación.

En esta etapa el material se deja en condiciones que permitan el estudio para la descripción y su inclusión posterior en la colección científica de la UABCS en el Museo de Historia Natural. La limpieza consiste en librar a los fósiles de todos los remanentes de sedimento que los cubren, con el fin de precisar las características más importantes sobre la anatomía, tamaño y forma para poder hacer la identificación del material y su descripción.

Primero se retiró la cubierta de yeso en la que se transportaron los fósiles al laboratorio, con la ayuda de ceguetas y cinceles. Para quitar gran parte de la roca circundante a las partes esqueléticas se utilizaron martillos y cinceles. Para las zonas cercanas al material fósil se empleó una herramienta de mano con fresa de

carburo (pluma neumática) con la que se limpió gran parte del material. Para las áreas de difícil acceso para este instrumento, se hizo necesario el cepillar y raspar el sedimento sobrepuesto con excavadores de dentista auxiliado además con el uso de una lupa estereoscópica. Lo anterior es conocido como limpieza mecánica y para ella se guardaron las normas de seguridad necesarias como fue la utilización de lentes de seguridad, protectores auditivos y filtro nasal.

Conforme se fue limpiando la superficie de los fósiles, se les cubrió con una solución de gliptol al 10 % para su consolidación.

Como aún permanecían restos del sedimento, sobre este se añadió ácido fórmico al 10 % con un gotero y se raspó con un excavador para que se disolviera, con el fin de descubrir los detalles más finos de la anatomía del espécimen. Posteriormente se unieron con resina epóxica las partes fracturadas en su lugar correspondiente para que adquiriera el ejemplar su forma y tamaño original.

6.2.2. Catalogación.

El material fósil fue colocado en una colección con los datos: número del ejemplar, número de la localidad y nombre del nivel en el que fueron encontrados y en la libreta de registro se anotó además clase, orden, familia, género y especie, elemento esquelético, fecha, formación litológica, edad, colocación, colectores y observaciones. Conforme cada ejemplar va incorporándose a la colección, se le asigna un número y se le aloja en un estante con otros fósiles de una misma área en la sección de Paleobiología de vertebrados del Museo de Historia Natural de la UABCS.

A cada espécimen se le anotó su número de catálogo con tinta permanente en zonas que carecen de relevancia para la identificación y determinación. Con pintura blanca se hace una mancha circular y cuando seca se escribieron los datos y al final se cubrieron con gliptol para evitar que se borre.

6.3. Trabajo de Gabinete.

6.3.1. Identificación taxonómica.

Esta etapa consistió en una revisión de la morfología y la comparación con otras especies. La comparación cubre aspectos muy amplios de morfología, homología, función y relaciones cladísticas. Fue necesario determinar la craneometría del espécimen como ayuda para esta actividad.

7. RESULTADOS.

Los cetáceos heterodontos de la familia Agorophiidae, provenientes de rocas del Oligoceno, tienen un papel clave en la interpretación de la evolución temprana del Suborden Odontoceti. Resulta lógico esperar que en las primeras fases de una radiación evolutiva, como ocurrió en el Oligoceno, haya existido una cantidad de organismos arcaicos con una baja diversidad pero con alto rango taxonómico (Fordyce y Barnes 1994). Este nuevo ejemplar proporciona nuevas evidencias para volver a definir a la, hasta ahora considerada como monotípica, familia Agorophiidae.

SISTEMÁTICA.

Orden Cetacea Risson, 1762.

Suborden Odontoceti Flower, 1867.

Superfamilia No definida.

Familia Agorophiidae Abel, 1913.

Género tipo.- *Agorophius* Cope, 1895.

Géneros incluidos.- *Agorophius Cope, 1895* (Oligoceno Superior, Carolina del Sur, E.U.A.) y el nuevo género, 1997 (Oligoceno Superior, Baja California Sur, México).

Diagnosis de Familia.-. Cráneo simétrico y con una telescopización incompleta. Rostro largo con una porción posterior robusta, profunda y con un surco mesorrostral amplio y profundo. El extremo posterior de la premaxila esta separado por la maxila. La maxila alcanza el límite posterior del frontal en la fosa temporal y solo presenta un forámen mandibular posterior. Los dos nasales son cortos. Los parietales son grandes y forman a una región intertemporal larga y amplia entre el supraoccipital y el frontal. Las fosas temporales son grandes. La dentición es heterodonta, con dientes anteriores grandes y procumbentes, y dientes posteriores con dos raíces y tres dentículos anteriores y posteriores.

Comentario.- La familia sólo incluye, hasta el momento, a los géneros *Agorophius Cope, 1895*, y el nuevo género de San Juan de la Costa.

Género nuevo.

Especie Tipo.- Únicamente la nueva especie.

Diagnosis.- Odontoceto de tamaño pequeño (Figura 10) rostro alargado, dentición heterodonta y difiere de *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849) por tener la región posterior del cráneo más derivada y una talla menor. Colocado en la Familia Agorophiidae por presentar una constricción intertemporal plana, formada por los parietales, grandes fosas temporales, dentición heterodonta, forámen maxilar posterior y un proceso ascendente de la maxila que se extiende sobre el proceso supraorbital de los frontales.

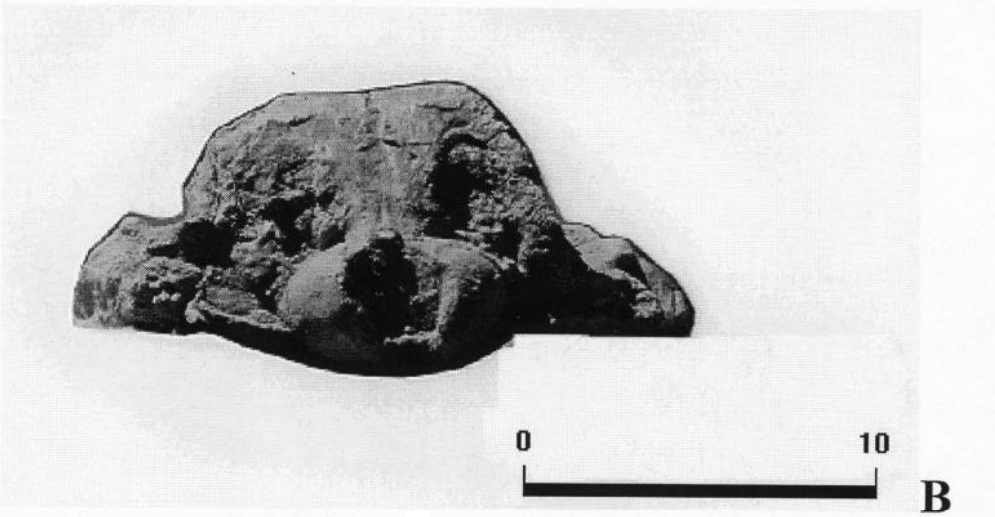


Figura 10 .- Cráneo holotipo, MHNUABCS 0101. Escala 100 mm. A) Vista dorsal; B) Vista posterior; C) Vista anterior.

Nueva especie.

Holotipo.- Únicamente el espécimen, MHNUABCS 010 1: las partes esqueléticas de las cuales consta el espécimen son la mayor parte del cráneo con dientes en su lugar, parte de ambas mandíbulas, bula timpánica derecha, atlas, axis, y otras vértebras cervicales y torácicas, húmero, parte del radio y ulna de la extremidad derecha y costillas. La mandíbula izquierda y las vértebras cervicales fueron encontradas por Gerardo González-Barba el 12 de febrero de 1993 y el cráneo por Miguel Ángel Meza-Ortega el 2 de octubre de 1993. La recolecta fue efectuada por Gerardo González-Barba, Andreas Knieth y Lawrence G. Barnes el 13 de febrero y del 2 al 3 de octubre de 1993.

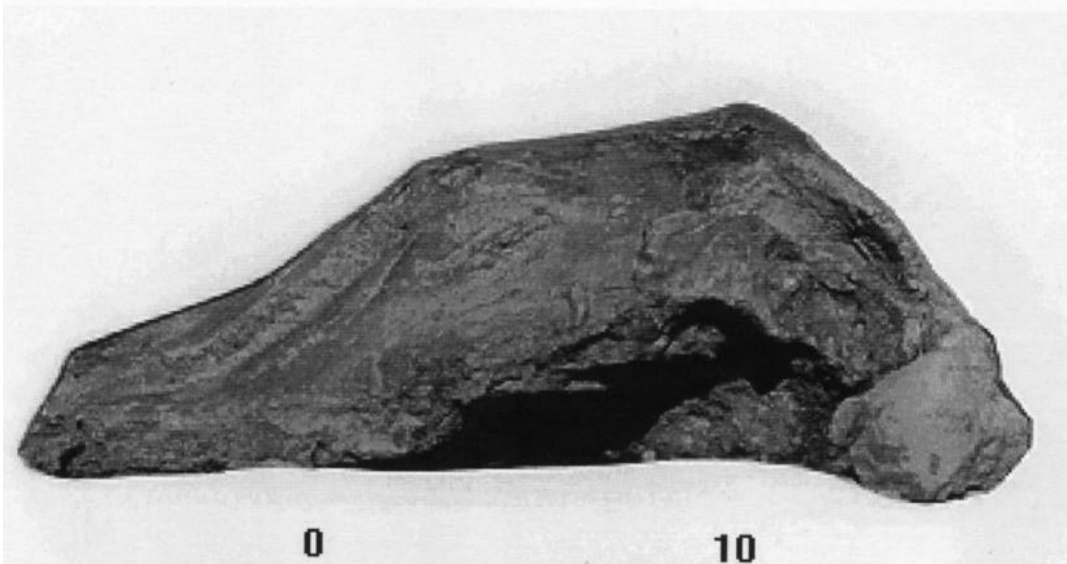
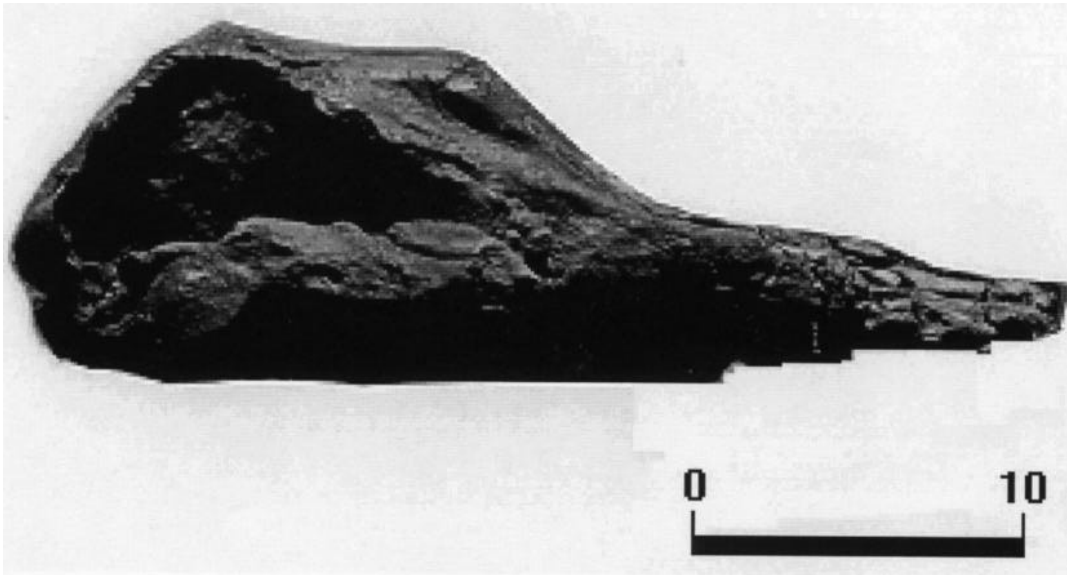
Localidad Tipo.- Lado norte del terrero “El Saladito”, aproximadamente 4.5 km al norte del poblado de San Juan de la Costa (Figura 3, C), cerca de la longitud 110°49' oeste, latitud 24°26' norte.

Horizonte y edad.- Capa Humboldt Superior de fosfoarenita con gran cantidad de microfósiles, en la parte media del Miembro San Juan de la Formación El Cien (Figura 8). Hausback, en 1984, estableció por fechado radiométrico una edad de finales del Oligoceno a principios del Mioceno. Kim (1987) reconoció tres zonas bioestratigráficas de diatomeas (*Rocella vigilans*, *Bogorovia veniamini* y *Rocella gelida*) que son asignables a fines del Oligoceno, y que las especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos son correlacionables con la zona del Zemorriano (Oligoceno Superior) de California, E.U.A.

Diagnosis.- Igual al del género tipo incluido.

Descripción general.- El cráneo es muy pequeño comparado con *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849), está bastante completo, carece del ápice del rostro y de los márgenes de los procesos supraorbitales. No parece presentar una gran distorsión diagenética. Es muy notable la simetría presente tanto en los nasales,

A



B

Figura II.- Cráneo holotipo, MHNUABCS 0101. Escala 100 mm. A) Vista lateral derecha; B) Vista lateral izquierda.

frontales y base del rostro. El cráneo fue encontrado boca arriba, con una porción de la mandíbula derecha unida al lado derecho y a la región ventral del cráneo. La mandíbula izquierda, vértebras, costillas y la extremidad anterior se hallaron en otro bloque de fosfoarenita en el mismo sitio donde posteriormente se encontró al cráneo. Hasta el momento falta concluir la limpieza de la superficie ventral.

Cráneo.- Presenta el nivel de telescopización característico de los odontocetos primitivos de la familia Agorophiidae y es simétrico. Aunque no se encontró entero, el rostro es largo (aproximadamente 179 mm), tiene una base que corresponde a la amplitud máxima craneal (176 mm). La premaxila exhibe un forámen como ocurre en todos los odontocetos. Hay un surco mesorrostral alargado y con una posición anterior a las órbitas, esta presenta una placa espiracular. La parte posterior del cráneo tiene mayor longitud y amplitud que altura. La constricción intertemporal es relativamente amplia (52.8 mm), tiene crestas temporales y a los parietales expuestos a ambos lados de ella. Las fosas temporales son grandes, triangulares y se abren dorsalmente. El supraoccipital es hiperbólico en vista dorsal, con una cresta nugal baja y muestra cóndilos redondeados ampliamente separados uno del otro. El proceso cigomático está ligeramente curvado y es de tamaño intermedio entre arqueocetos y escualodontos.

Rostro.- Tiene una longitud de casi 179 mm, de forma triangular, se va angostando gradual y uniformemente hacia el frente (figuras 10 y 13). La base del rostro presenta la máxima amplitud del cráneo con aproximadamente 176 mm. Está fracturado y carece de las zonas donde estuvieron los surcos anteorbitales y las zonas supraorbitales. El rostro muestra una pendiente con una suave inclinación hacia la región posterior, que se incrementa bruscamente después del forámen premaxilar. La superficie ventral es bastante plana. En vista dorsal, la abertura del surco mesorrostral es moderadamente amplia y se angosta hacia la región posterior.

Premaxila.- La premaxila se engrosa ligeramente hacia la zona posterior del rostro,

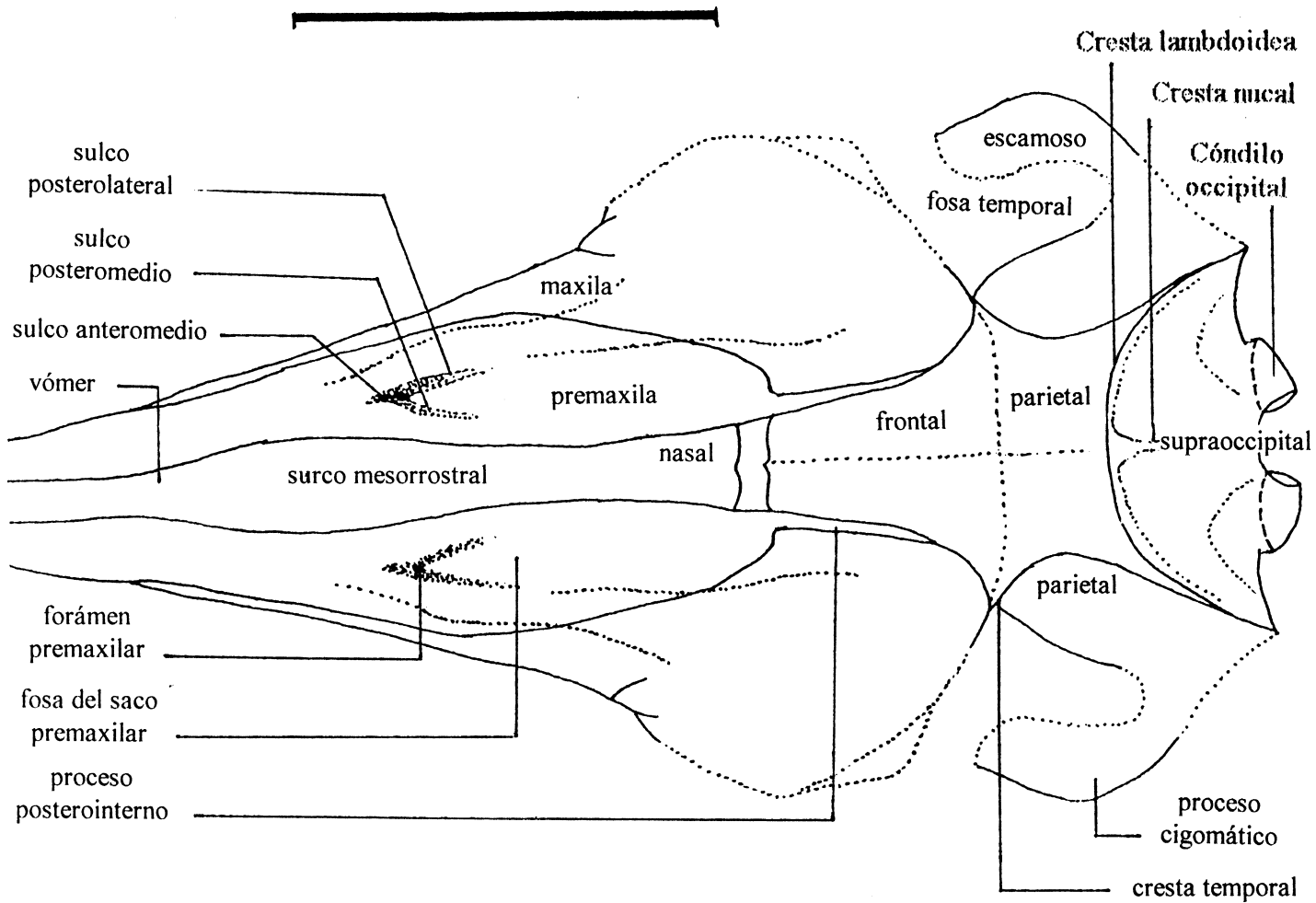


Figura 12.- Cráneo. Reconstrucción de la vista dorsal. Escala 100 mm.

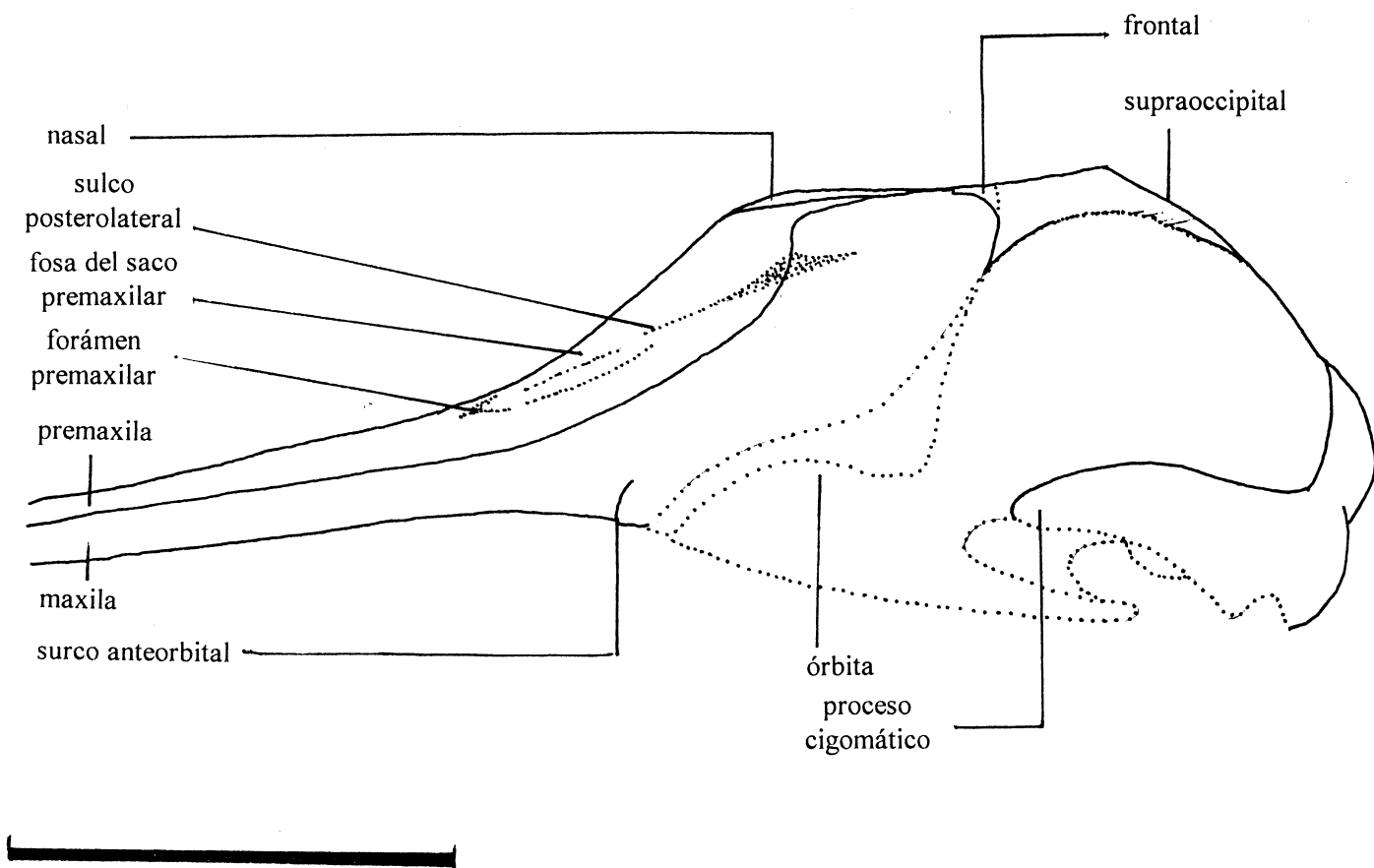


Figura 13.- Cráneo. Reconstrucción de la vista lateral. Escala 100 mm.

la sutura dorsal con la maxila no es muy prominente y parece presentar un forámen premaxilar único y alargado en cada lado, en la superficie dorsal al inicio de la fosa del saco premaxilar. Con él están asociados los sulcos anteromedio, posteromedio y posterolateral, todo ello es un carácter diagnóstico de los odontocetos. El sulco posterolateral es el más notorio y marca el límite externo de la fosa del saco premaxilar. La fosa es alargada, angosta, de forma triangular, plana hacia el frente y elevada posteriormente. La región externa de la placa posteroexterna integra junto con la maxila una zona supraorbital al parecer convexa y plana. En la parte posterior del saco premaxilar, la premaxila se bifurca formando un proceso posterointerno muy delgado, entre la maxila y el nasal, que no alcanza a la cresta temporal.

Maxila.- Presenta una pendiente muy pronunciada hacia el frente del cráneo que se va suavizando posteriormente. En esta zona posterior, no se encuentra una evidencia muy clara de la existencia de forámina maxilares anteriores. Ambas maxilas están incompletas en su parte posterior por lo que se desconocen las relaciones existentes con el lagrimal y gran parte del frontal. Pero forma con la premaxila una zona convexa y plana en la región supraorbital, en ella se torna más amplia y asciende contactando y sobreponiéndose al frontal. Aunque no muy claramente en esta zona, existió un forámen posterior infraorbital y una muesca anteorbital, como ocurre en todos los odontocetos.

Nasal.- Parecen ser simétricos, cortos anteroposteriormente (139 mm) y planos, angostos y burdamente rectangulares en la superficie dorsal, con un margen posterior cóncavo y una sutura nasofrontal no muy notoria. Lateralmente contactan con el proceso posterointerno de la premaxila.

Frontal.- Muy incompleto ya que se carece del proceso supraorbital, pero se conserva la parte central alrededor del vértice. Son simétricos, con una longitud de 46.8 mm en el vértice detrás de los nasales hasta la sutura con los parietales, y una

amplitud de 32 mm de maxila a maxila. Estas últimas se sobreponen dorsalmente al frontal hacia los márgenes laterales del cráneo. Es muy posible que el frontal formara parte del borde de la fosa temporal, y también a los bordes del complejo facial y a un proceso postorbital, igualmente se desconoce su relación con el lagrimal.

Parietal.- Se caracterizan por formar una región intertemporal dorsal de 52.8 mm de amplitud que puede considerarse intermedia, es tabular y sin cresta sagital, con una longitud anteroposterior de 37.1 mm, y tal vez con un par de pequeños foramina posterolaterales. El vértice de esta constricción está separado de la fosa temporal por las crestas parasagiales en ambos lados, formadas estas últimas por los mismos parietales. En la parte media de la fosa temporal, los parietales son ligeramente convexos en la unión con el escamoso, pero son cóncavos por debajo de la cresta temporal. La sutura que divide al parietal y al frontal es casi recta.

Escamoso.- Forma un proceso cigomático intermedio a los que presentan los arqueocetos y esqualodontos, relativamente grueso y ligeramente curvado, que corre paralelo al eje craneal en vista dorsal, y que alcanza anteriormente el nivel de la sutura del frontal y el parietal, tiene faltante la parte del proceso postglenoide. El meato auditorio externo está delimitado por la región del mastoideo. Entre el proceso cigomático y el parietal, la superficie dorsal del escamoso forma una depresión amplia y somera, constituyendo el piso de la fosa temporal.

Bula timpánica derecha.- Es rectangular, con proceso estiliforme, un surco bien marcado en su superficie ventral y se encuentra fracturada (figura 14).

Supraoccipital.- Forma un casco con una amplitud de 105.4 mm por arriba de los cóndilos. Se curva, en su parte central, hacia el frente hasta formar la cresta lamboidea en su unión con los parietales. Es aproximadamente simétrico y se vé hiperbólico en vista dorsal. Presenta una cresta nugal baja en su eje, y a cada lado de ésta, hay una depresión anterolateral. Los cóndilos son redondos y ubicados en

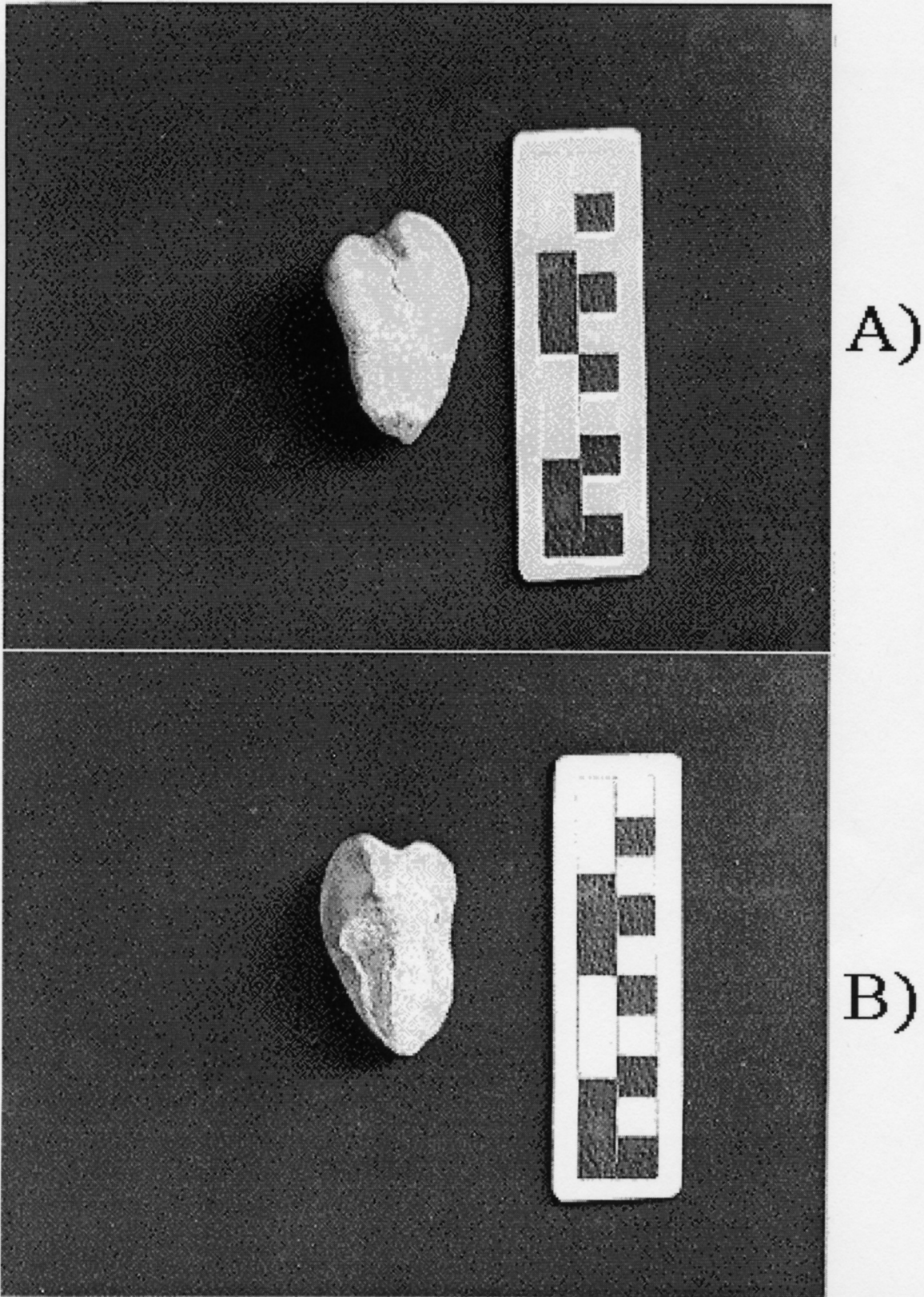


Figura 14.- Cráneo. Bula timpánica derecha del agorórido de San Juan de la Costa, holotipo MHNUABCS 0101. A) Vista ventral. B) Vista Dorsal.



Figura 15.- Dientes del holotipo, MHNUABCS 0101. Escala 100 mm. A) Vista lingual de incisivo y premolares del dentario; B) Vista lingual de molares del dentario.

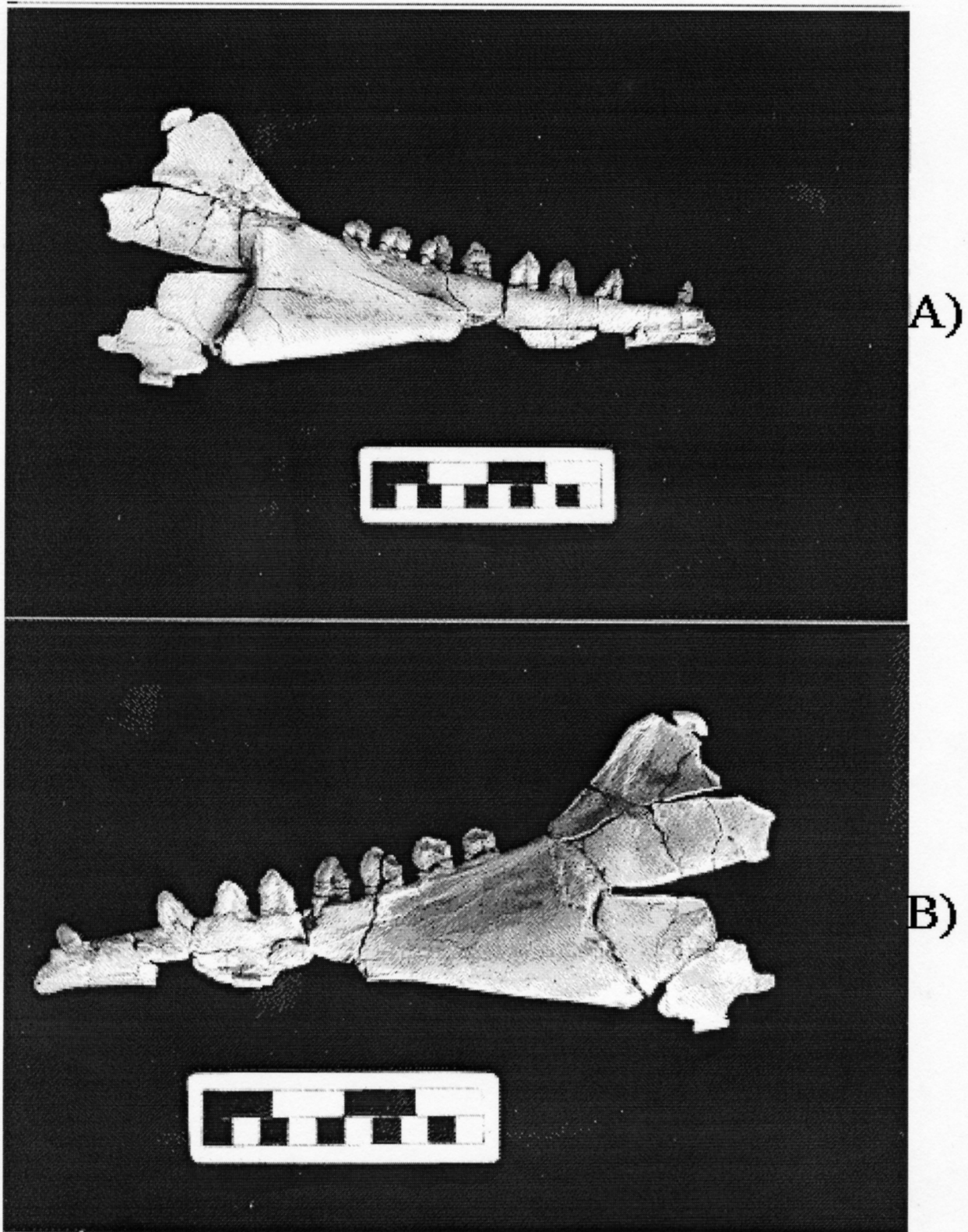


Figura 16.- Mandíbula izquierda y dientes del agorórido de San Juan de la Costa, holotipo MHNUABCS 0101. A) Vista lingual. B) Vista bucal. La escala corresponde en ambos a 10 cm.

pedículos, encontrándose ampliamente separados uno del otro. La cresta lambdoidea se encuentra erosionada, pero se puede asumir que se extendía posteroexternamente siguiendo la sutura con los parietales.

Mandíbula.- Se tiene a partes de ambos dentarios, la parte izquierda es la más completa (figura 16). La sínfisis no se preservó, el extremo anterior es angosto y se vá engrosando suavemente en una dirección anteroposterior. El *ramus* horizontal es muy plano transversalmente. Los márgenes dorsal y ventral del *ramus* son casi paralelos en su inicio, pero después del primer premolar se separan y profundizan. Aunque esta zona está muy incompleta, se puede apreciar que el margen ventral se curva posteriormente al nivel del forámen mandibular, en una forma muy típica de los odontocetos de finales del Oligoceno. La pared externa del forámen mandibular se engrosa progresivamente a partir del primer molar. Si bien la región del forámen mandibular no está completa, se estima que fue grande y que se extendía dorsalmente. El proceso coronoide es de un tamaño intermedio entre arqueocetos y esqualodontos con una cresta coronoide plana. Falta la región posterior de la mandíbula donde se halla el cóndilo. El dentario izquierdo presenta ocho dientes en su sitio y a un alvéolo, pero su forma indica pudo contener 2 ó 3 dientes más.

Dientes.- El ejemplar muestra una etapa de heterodoncia que se puede considerar intermedia entre arqueocetos y esqualodontos (figura 15). La maxila derecha tiene 4 dientes en su lugar, mientras que la mandíbula izquierda exhibe 8 dientes y un alvéolo, pudiendo haber poseído 2 ó 3 dientes más. Lo arriba mencionado sugiere la existencia de 11 dientes con una fórmula dental de I3, C 1, Pm 4 y M3 que corresponde al arreglo de los euterios primitivos y de los arqueocetos primitivos.

Los incisivos están curvados, tienen una corona lisa y alta, en sección cruzada son subcirculares y casi sin filo, la raíz es la responsable de gran parte de la altura dental y es más gruesa en su parte media.

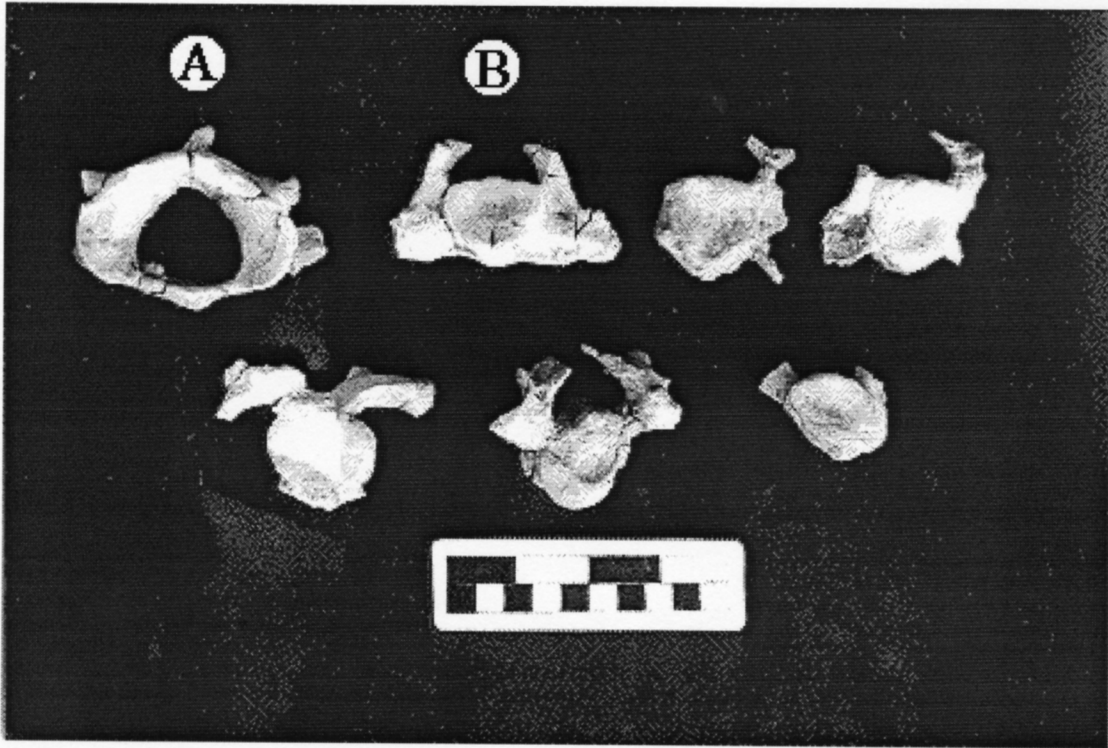


Figura 17.- Vértebras cervicales y torácicas, holotipo MHNUABCS 0101.
Escala 100 mm. A) Atlas. B) axis.



Figura 18.- Costillas holotipo MHNUABCS 0101. Escala 100 mm.

No se encontró al canino en su lugar, el alveolo presenta un diámetro de 6.9 mm. Hay cuatro premolares, parecen ser simétricos y tienen dos raíces (figura 16). Presentan una corona alta, triangular y moderadamente aplanada, que es atravesada por un prominente sulco vertical. Los tres últimos premolares están fracturados en el margen posterior de la corona. No hay curvatura tanto en la cara lingual como bucal. Existen tres dentículos en la parte anterior del dentículo principal, que además están poco elevados de la corona. Las dos raíces de cada diente se fusionan en un istmo y parecen tener la misma amplitud.

Los molares son menos altos y ligeramente más amplios que los premolares. Presentan coronas muy semejantes pero son más pequeñas y anchas que las de los molares. Se encuentran fracturadas del lado bucal y están más completas en el lingual. El tamaño de las coronas y la longitud de los molares se reducen en una dirección anteroposterior. Presentan tres dentículos accesorios anteriores y posteriores que no tienen mucha elevación sobre la quilla de la corona.

Vértebras.- El atlas se encuentra distorsionado y con algunas zonas superficiales erosionadas. Se caracteriza por no estar fusionado con el axis lo cual es una condición primitiva entre los odontocetos. Posee un proceso dorsal o neural pequeño, dos procesos transversos a cada lado que se pueden considerar primitivos y una hipapófisis muy larga (15.8 mm) con una base alargada y que se extiende hacia la región posterior (7 mm detrás del cuerpo de la vértebra). La superficie articular anterior del atlas es somera y no muy profunda. Las facetas anteriores y posteriores divergen suavemente en vista lateral. Las posteriores son pequeñas pero bien definidas.

El axis exhibe un gran canal neural con un forámen transversal muy reducido, una tuberosidad ventral grande y un solo proceso transversal a cada lado. Las otras vértebras cervicales (3 a 7) no se encuentran fusionadas, pero están moderadamente comprimidas anteroposteriormente, sugiriendo la existencia de un

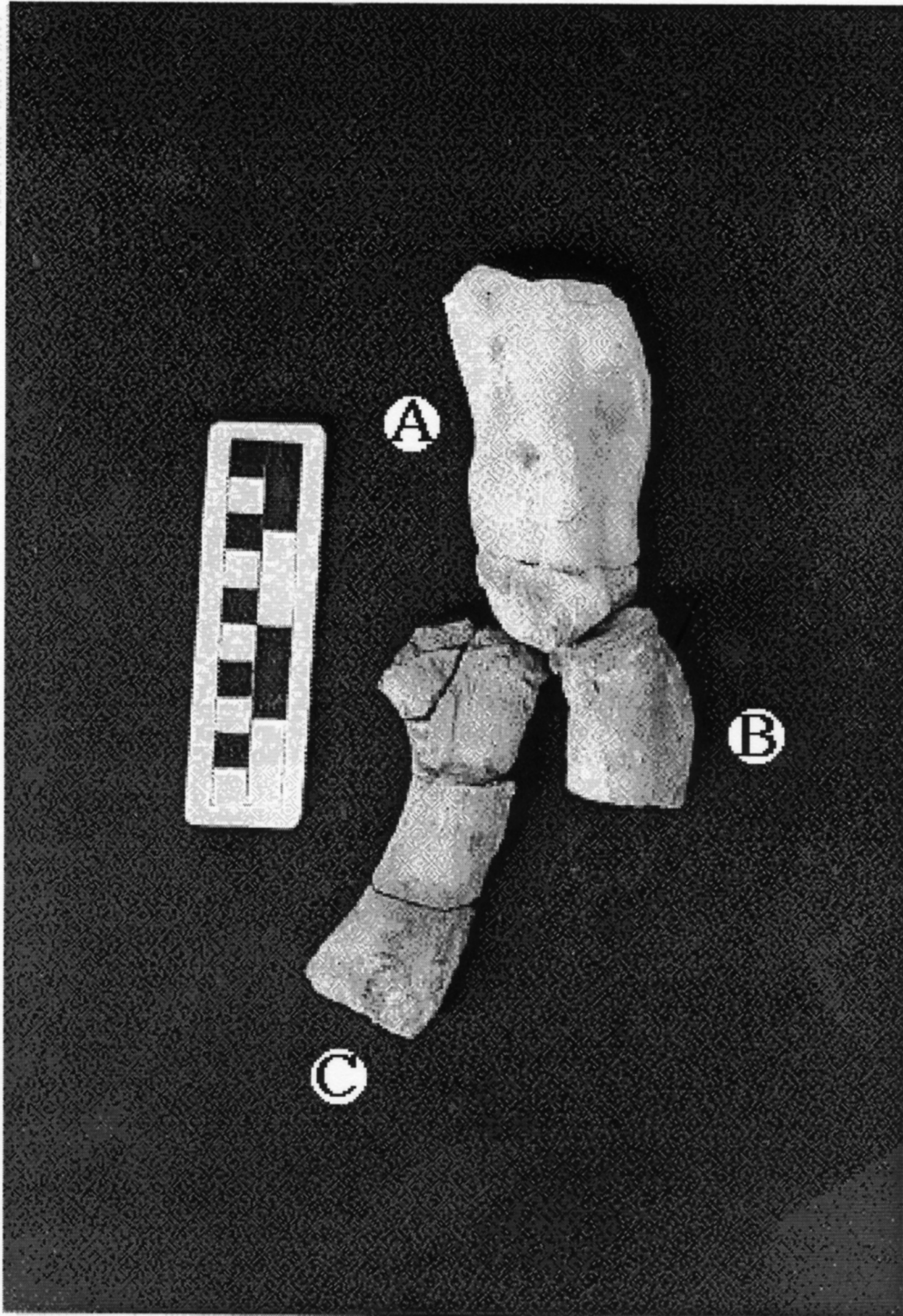


Figura 19.- Extremidad anterior derecha del agorófidio de San Juan de la Costa, holotipo MHNUABCS 0101, A) Húmero. B) Radio. C) Ulna.

cuello relativamente flexible. Algunas de las vértebras pueden ser torácicas (figura 17).

Costillas.- El ejemplar presenta partes proximales de algunas costillas (figura 18) con características que se consideran primitivas, como el capítulo y el tubérculo grandes y planos, separados por un cuello corto. El cuerpo de cada costilla es relativamente amplio, comprimido anteroposteriormente y curvado en su extremo proximal.

Extremidad anterior.- Se preservaron el húmero, la ulna y parte del radio de la extremidad anterior derecha (figura 19). La aleta es relativamente grande para el tamaño del cráneo ya que lo igualaría o superaría en longitud, si estuviera completa, lo cual resulta típico en los cetáceos primitivos; mientras que en géneros recientes como *Tursiops*, la aleta corresponde al 60% de longitud del cráneo. El húmero es relativamente largo, grande (101.9 mm), aplanado y ligeramente curvo. El borde anterior es convexo y el posterior cóncavo. El extremo superior se encuentra fracturado y se carece de la parte de la cabeza. El extremo inferior está erosionado pero muestra una faceta de inserción con el radio y dos con la ulna. La cresta del deltoides es grande lo que se considera como un rasgo primitivo.

Solo se tiene la parte superior del radio, la cual sugiere que éste es levemente más grueso que la ulna y presenta el borde anterior curvado (carácter primitivo). El radio es transversalmente oval (sección cruzada) y junto con la ulna se articula al húmero formando un ángulo obtuso.

La ulna está completa y exhibe un borde anterior muy recto, esto permite que el espacio interóseo con el radio sea grande. El borde posterior es cóncavo y forma un proceso olécranon grande para un odontoceto. La ulna tiende a ser plana y con los extremos redondeados.

Ambiente de depósito.- Schäfer (1972) describe a cinco tipos de biofacies marinas, combinando criterios tales como: la estructura microscópica de cada

objeto constituyente de una roca sedimentaria, su forma y su relación espacial con los demás objetos componentes. La biofacie 5 (*Lethal-pantostrate*) se caracteriza por: sedimentación en aguas quietas y anóxicas, donde no existe biocenosis en el fondo, los sedimentos provienen de la columna de agua y de la atmósfera, y son de grano fino. La tafocenosis que se forma en este ambiente puede consistir de restos de plantas y animales completos o fragmentados que pertenecen al nectón y al plancton. La biofacie produce un registro del material completo, con buena preservación de partes estructurales duras (esqueletos completos), heces y de sustancias orgánicas en los sedimentos.

El paleoambiente que existió en San Juan de la Costa a fines del Oligoceno corresponde en varios puntos a lo anterior ya que ocurrió en una cuenca de baja energía de la plataforma continental externa, compuesta por lodos y arcillas, ligeramente anóxico, con bioturbación ocasional y con gran cantidad de materia orgánica en ciertos horizontes (Fonseca-Rivera 1991). Hay indicios de una lenta depositación de material en suspensión y de productividad orgánica (Gamiño-Aguilera 1987), una baja tasa de aporte de terrígenos hacia la plataforma externa (Fonseca-Rivera 1991) y de cercanía a actividad volcánica (Hausback 1984). Eventualmente sobrevinieron acontecimientos de alta energía que fueron acumulando en flujos a material alóctono perteneciente a zonas más someras (Gamiño-Aguilera 1987) y junto con este material se transportó también a una fauna bentónica que se estableció momentáneamente en este ambiente debido a condiciones propicias pasajeras (Fonseca-Rivera 1991).

8.DISCUSIÓN.

8.1. Tafonomía del material fósil.

Schäfer (1972) define a la actuopaleontología como el estudio de las fases físicas de depositación, erosión, retrabajo de los sedimentos y de los procesos de transporte que afectan a los sedimentos inorgánicos y restos organogénicos. Igualmente hace una recapitulación de lo que se ha llegado a observar en la transformación que ocurre con los cadáveres de los mamíferos marinos. Al morir por causas naturales y dependiendo del contenido de grasas presentes en los cetáceos, pueden mantenerse a flote (si es que el contenido es alto) o hundirse hasta el fondo (cuando es relativamente bajo) como suele ocurrir en la mayoría de las ocasiones. En este último caso, sólo después de que se han generado gases por la descomposición en la cavidad del cuerpo, es cuando vuelven a salir a la superficie.

Si no se varan en alguna playa, pueden derivar así por semanas y conforme pasa el tiempo la piel se rasga, las partes esqueléticas tienden a separarse por la descomposición y van cayendo al fondo una por una, de esta forma se pueden esparcir por varios kilómetros a la redonda.

Si los cadáveres se hunden dentro de aguas anaeróbicas, en el seno de aguas protegidas, no se producen los suficientes gases para que puedan flotar o emerger ya que en estos ambientes las condiciones son desfavorables para la actividad bacteriana. Por lo tanto, tales restos permanecen en el fondo y los esqueletos son enterrados usualmente en su posición original.

Lo anterior permite inferir que durante el Oligoceno, al morir los cetáceos presentes en las zonas de aguas someras adyacentes entonces al macizo mexicano (figura 6, B), sus cuerpos quedaban a la deriva por un corto tiempo y caían hasta el fondo, donde luego eran cubiertos por sedimentos. Cuando ocurría alguna tormenta se daban flujos de sedimentación y los sedimentos con restos organogénicos eran

transportados lejos de la playa (figura 6, C) dentro de regiones más profundas de la plataforma (lo que es hoy San Juan de la Costa) en la zona de mínimo oxígeno (Schwennicke 1994), lugares en los cuales se favorecía al proceso de fosilización. Los cetáceos eran sepultados por dichos sedimentos y posteriormente fueron fosfatizados.

Al parecer dichas corrientes de retorno por tormentas no desmembraron totalmente los cadáveres de los cetáceos. Se puede apreciar en restos mortales actuales que presentan una gran resistencia mecánica a la desarticulación, tanto en las etapas iniciales, como en etapas muy avanzadas (López-Martínez y Truyols-Santonja 1994). El ejemplar bajo estudio no parece haber sido transportado a gran distancia puesto que presenta asociados al cráneo, mandíbulas, dientes, vértebras y aleta pectoral, cosa que no ocurriría en caso contrario. Actualmente en San Juan de la Costa es posible encontrar esqueletos completos en su mayor parte, huesos aislados y partes de esqueletos articulados, lo que podría sugerir un ambiente final de depósito muy tranquilo. Sin embargo, existe una pérdida de información con respecto al ambiente de depósito debido a que muchos de estos ejemplares se encuentran en bloques de roca que han sido removidos de su sitio original en las minas y apilados en los terreros.

Con base a las características osteológicas del cráneo de este ejemplar, se puede asumir que no poseía una localización a través de eco tan desarrollada como en escualodontos contemporáneos a él, lo que lo pudo restringir a vivir en regiones someras y costeras donde no “competía” con organismos más derivados.

8.2. Situación actual de la familia Agorophiidae, Abel 1913.

Abel en 1913, basándose en el género *Agorophius* Cope (1895), propuso a la familia Agorophiidae (Whitmore y Sanders 1977). La cual se llegó a considerar como la más primitiva de los verdaderos odontocetos y la familia ancestral de los

Squalodontidae Brand, 1872. Winge (1921) incluyó a *Agorophius* dentro de la familia Squalodontidae (Messenger 1994). Miller (1923) consideró en la familia Agorophiidae a *Archaeodelphis patrius* Allen, 1921, y a *Xenorophus sloanii* Kellogg, 1923, debido a que ambos presentaban una constricción intertemporal (Whitmore y Sanders 1977). Kellogg (1928) excluyó a *A. patrius* y lo ubicó como *incertae sedis* (Whitmore y Sanders 1977). Slijper (1936) los consideró como un grupo hermano primitivo de los Squalodontidae (Muizon 1994).

Rothausen (1968) volvió a introducir a *A. patrius*, agregando también a *Microzeuglodon* aff. *M. caucasicum* Lydekker, 1922, y conceptuó a la familia Agorophiidae como intermedia estructural y temporalmente entre los arqueocetos y la familia Squalodontidae (Whitmore y Sanders 1977). Whitmore y Sanders (1977) propusieron que tanto *A. patrius*, *X. sloanii* y *Agorophius pygmaeus* debían ser colocados como *incertae sedis*. Fordyce (1981) restringió a la familia Agorophiidae a *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849) y no la incluyó en la familia Squalodontidae.

Messenger (1994) consideró que la familia Agorophiidae ha sido definida estableciendo solamente a sus características primitivas. Descritos frecuentemente como odontocetos primitivos, unidos por plesiomorfías tales como la dentición heterodonta y cráneos con una telescopización incompleta. Igualmente mencionó que, hasta la fecha, no se ha intentado la diagnosis de Agorophiidae con base, en el establecimiento de sus características derivadas.

En la actualidad, hay dos puntos de vista generales sobre los agorófididos: uno amplio, como un grupo de odontocetos arcaicos del Oligoceno, que incluye también a *Archaeodelphis*, *Xenorophus*, *Atropatenocetus* y a *Mirocetus*, y otro restringido, como una familia monotípica que solo contiene a una especie: *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849), (Fordyce y Bames 1993).

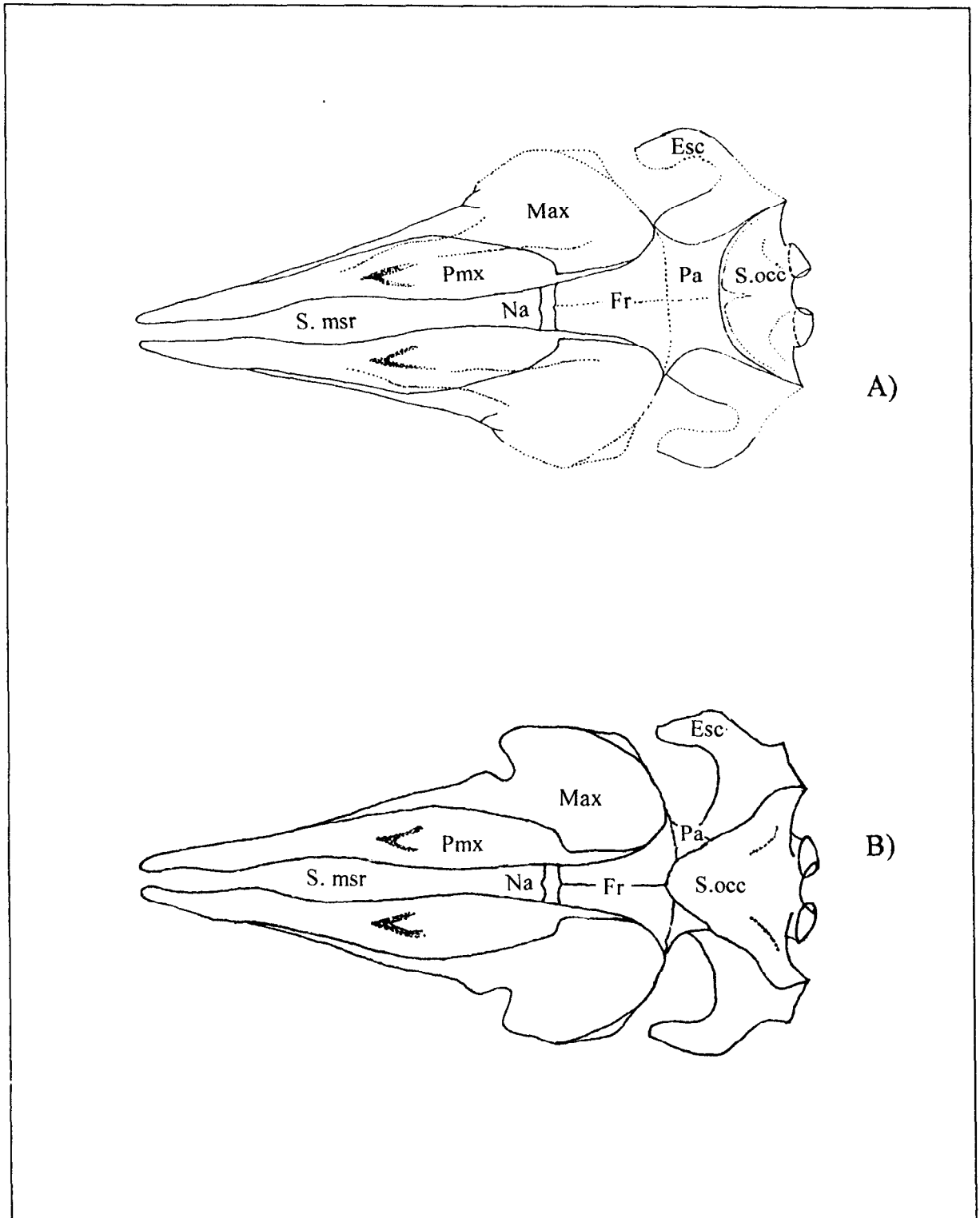


Figura 20.- Comparación con *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849). Tomado y modificado de Fordyce, 1981. Nomenclatura: Pmx, premaxila; Max, maxila; S. msr, surco mesorrostral; Na, nasal; Fr, Frontal; Pa, parietal; Esc, escamoso; La, lagrimal; S. occ, supraoccipital.

8.3. Comparación con *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849).

El espécimen tipo de la familia Agorophiidae fue asignado al género *Zeuglodon* por Tuomey y posteriormente clasificado como *Basilosaurus* por Gibbes, ambos en 1847 (Whitmore y Sanders 1977). Actualmente *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849) es la única especie del género *Agorophius* Cope, 1885, y se describió a partir de un cráneo incompleto encontrado en Carolina del Sur y que ahora se encuentra extraviado (Fordyce 1981). Con base en lo anterior, se puede afirmar que el ejemplar de San Juan de la Costa es un agorófido (figura 20) debido a que presenta: Cráneo simétrico y con una telescopización incompleta. Rostro largo con una porción posterior robusta y profunda, y con un surco mesorrostral amplio y profundo. El extremo posterior de la premaxila se halla separado por la maxila. La maxila alcanza el límite posterior del frontal en la fosa temporal y solo presenta un forámen mandibular posterior. Los dos nasales son cortos. Los parietales son grandes y forman a una región intertemporal larga y amplia entre el supraoccipital y el frontal. Las fosas temporales son grandes. La dentición es heterodonta, con dientes anteriores grandes y procumbentes, y dientes posteriores con dos raíces y tres denticulos anteriores y posteriores.

Por lo general, la discriminación entre especies suele basarse en criterios tales como: distribución geográfica, distribución en el tiempo, discontinuidades morfológicas (en tamaño y forma), conducta y ontogénesis. Todo esto con el fin de inferir el aislamiento reproductivo, aunque no obsta de que ello pueda resultar arbitrario y subjetivo. En Paleontología se aplican los tres primeros criterios, en este caso:

Ambos especímenes son pequeños y reliquias, probablemente confinados a una región costera y a las zonas adyacentes de la plataforma continental, la separación geográfica existente entre ellos puede considerarse como suficiente para haber provocado especiación. Los dos existieron en el Oligoceno.

El agorófido de San Juan de la Costa difiere morfológicamente de *Agorophius pygmeus* en las siguientes características: *A. pygmeus* presenta una proporción en tamaño de casi 2:1 con respecto a la nueva especie. Esta última presenta una elevación más acentuada de los nasales y del proceso posterointerno de la premaxila. La región intertemporal es más larga y amplia. El supraoccipital está colocado más posteriormente, su ápice es más redondeado, con la región de la cresta nual más inflada o convexa y las depresiones anterolaterales más profundas. Estos últimos pueden considerarse como rasgos pedomórficos.

8.4. Comparación con *Archaeodelphis patrius* Allen, 1921.

Aunque en 1923 Miller consideró a este espécimen como un agorófido, Kellogg en 1928 lo colocó como *incertae sedis* y Rothausen lo introdujo nuevamente en Agorophiidae en 1968 (Whitmore y Sanders 1977). Whitmore y Sanders (1977) lo consideraron *incertae sedis*. Este problemático ejemplar consiste de un cráneo incompleto (figura 21) que carece de la mayor parte del rostro y que tal vez proviene de la Formación Ashley (Oligoceno Superior) del sudeste de los Estados Unidos (Barnes, comunicación personal), quizás Alabáma. Lo más notable de él es la existencia de un alargamiento del lagrimal, intermedio entre arqueocetos y *Xenorophus sloanii* Kellogg, 1928. Con este último comparte un forámen posterior infraorbital muy similar. El proceso ascendente de la premaxila adyacente a los orificios nasales es profundo dorsoventralmente y comprimido transversalmente y no presenta evidencia de placa posteroexterna o sulco premaxilar. El basicráneo es semejante al de cualquier otro odontoceto arcaico, y difiere de ellos en que las coanas internas se encuentran cubiertas por extensiones dorsointernas de las placas internas de los pterigoides que se reúnen en la línea media. *Archaeodelphis patrius* tiene la telescopización posterior de la maxila y premaxila más primitiva de cualquier odontoceto (figura 21). En este aspecto, los

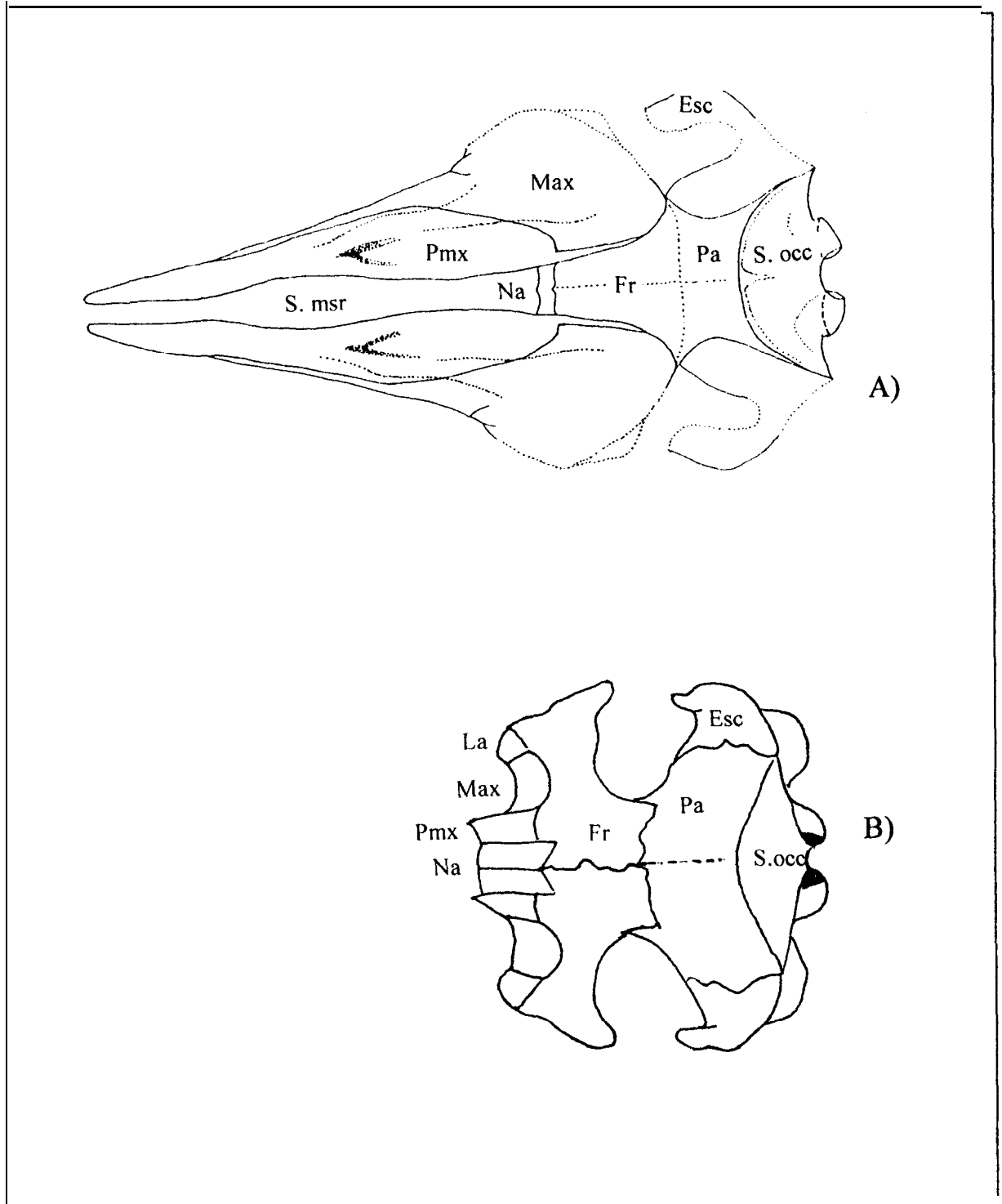


Figura 21.- Comparación con *Archaeodelphis patrius* Allen, 1921 (B). Tomado y modificado de de Muizon, 1994. Para la nomenclatura ver figura 20.

agorófidos son más derivados debido a que la telescopización de sus elementos faciales es ya más posterior (Fordyce 1981).

El agorófido de San Juan de la Costa presenta una mayor extensión posterior de la premaxila y la maxila. Esta última cubre casi totalmente al frontal, exceptuando el vértice de la región cefálica. Mientras que en *Archaeodelphis patrius* el frontal ocupa gran parte del proceso supraorbital.

No obstante que el ejemplar de *Archaeodelphis patrius* carece de gran parte del supraoccipital, este parece ser más vertical y posterior que el del nuevo agorófido, por lo que se puede considerar más primitivo al primero. Ambos muestran una región cefálica muy convexa, con los parietales separando al frontal del supraoccipital y siendo visibles en el vértice dorsal.

8.5. Comparación con *Xenorophus sloanii* Kellogg, 1923.

Kellogg lo describió y nombró en 1923, y Miller lo circunscribió a la familia Agorophiidae en 1923 (Whitmore y Sanders 1977). Whitmore y Sanders lo designaron como *incertae sedis* en 1977. Esta especie está basada en un cráneo incompleto proveniente de la Formación Ashley de Carolina del Sur, Estados Unidos, del Oligoceno Superior (figura 22). Muestra un grado de telescopización de los elementos del rostro muy avanzado. Es muy notable la extraordinaria amplitud del extremo proximal del premaxilar y la cobertura del lagrimal sobre la superficie dorsal del proceso supraorbital. Los parietales se unen en la parte media del cráneo produciendo una acentuada cresta sagital. La placa supraoccipital es casi vertical y tiene una cresta nuca1 que se proyecta hacia el frente. *Xenorophus sloanii* muestra al proceso ascendente de la maxila formando al borde temporal de la región supraorbital, cubriendo totalmente al frontal, y a un lagrimal muy largo.

Xenorophus sloanii resulta ser más derivado en estos rasgos que Agorophiidae (Sanders 1996). Por su parte, estos últimos tienen al forámen

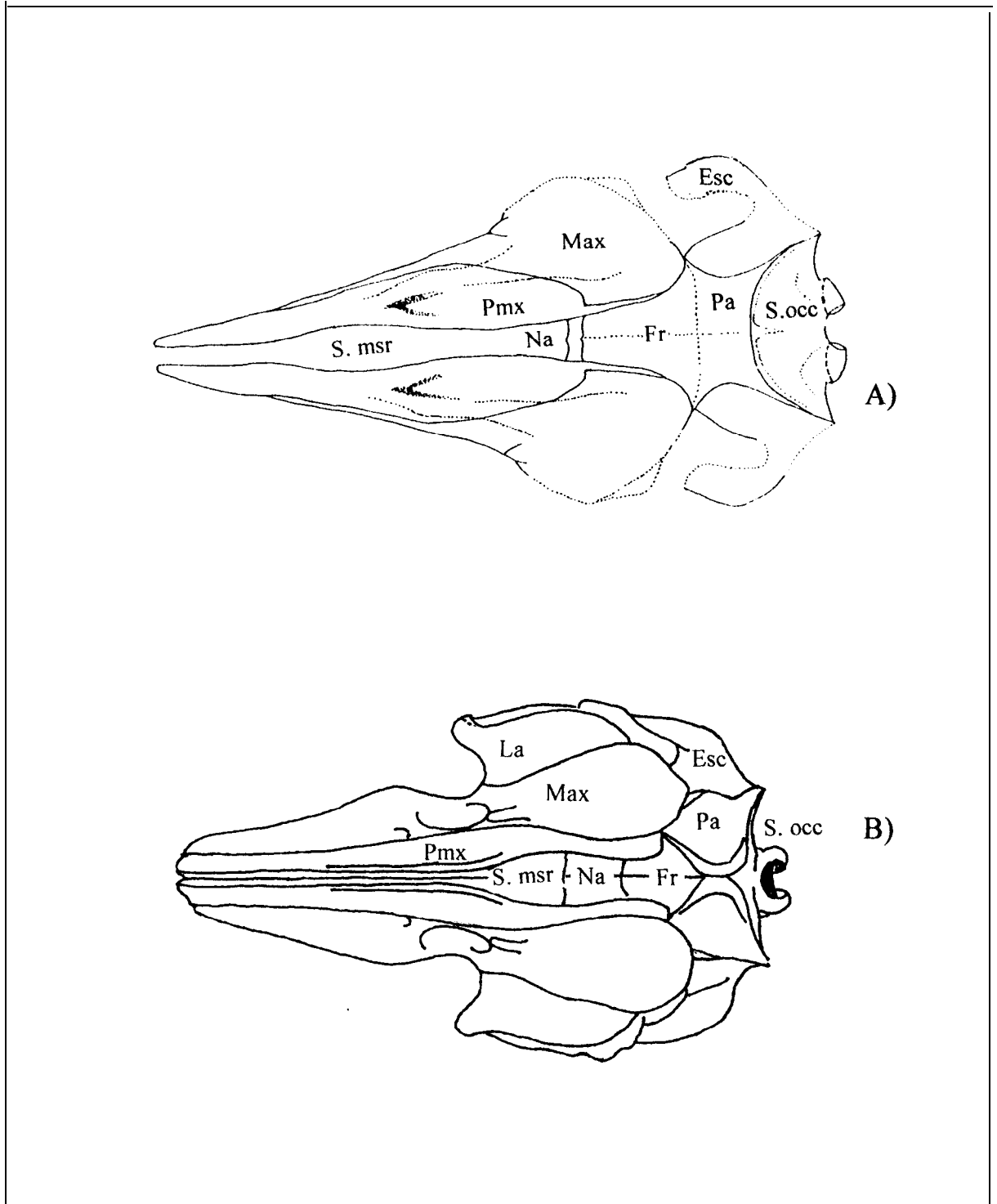


Figura 22.- Comparación con *Xenorophus sloanii* Kellogg, 1928 (B). Tomado y modificado de Whitmore y Sanders, 1977. Para las abreviaturas ver figura 20.

infraorbita! posterior más desplazado hacia atrás, es más amplia la fosa del saco premaxilar y es más anterior el ápice de encaje de! supraoccipital (Fordyce 1981). Los parietales de *Xenorophus sloanii* forman parte de un cráneo transversalmente curvo, mientras que en los agorófidos constituyen a la prominente constricción intertemporal (Whitmore y Sanders 1977).

Aunque tienen un rostro simétrico y los parietales están expuestos en el dorso de la región cefálica tanto en los agorófidos como en *Xenorophus sloanii*, los primeros presentan una región posterior del cráneo más derivada que *Xenorophus sloanii*, pero su rostro tiene una telescopización menos completa que este último.

9.CONCLUSIONES.

Este trabajo es el primer informe de un miembro de la familia Agorophiidae en la región del Pacífico. El agorófido de San Juan de la Costa presenta bastantes características primitivas de los odontocetos que permiten ubicarlo en la familia Agorophiidae, como son: un cráneo simétrico y con una telescopización incompleta. Rostro largo con una porción posterior robusta y profunda, con un surco mesorrostra! amplio y profundo. El extremo posterior de la premaxila esta separado por la maxila. La maxila alcanza el límite posterior del frontal en la fosa temporal y solo presenta un forámen mandibular posterior. Los dos nasales son cortos. Los parietales son grandes y forman a una región intertemporal larga y amplia entre el supraoccipita! y el frontal. Las fosas temporales son grandes. La dentición es heterodonta, con dientes anteriores grandes y procumbentes, y dientes posteriores con dos raíces y tres dentículos anteriores y posteriores.

El ejemplar es sin duda un género y especie nuevos. Difiere por presentar una región postcraneal más derivada y una talla mucho menor (rasgos pedomórficos) que *Agorophius pygmaeus* (Müller, 1849).

Debido a lo anterior, la familia Agorophiidae comprende a los géneros *Agorophius* y al nuevo género de San Juan de la Costa, hasta el momento. Esta familia de odontocetos es intermedia entre los cetáceos primitivos (arqueocetos) y odontocetos más derivados (escualodontos). Eran organismos pequeños y reliquias, que coexistieron con formas más avanzadas durante el Oligoceno. Se corrobora una edad de finales del Oligoceno para algunos agorófidos y sólo han sido encontrados en ambas costas de América del norte.

El resto fósil representa a un organismo que vivió en aguas costeras someras y de la plataforma continental, y fue enterrado por las corrientes de retorno ocasionadas por tormentas en una cuenca de baja energía y levemente anóxica de la plataforma externa, donde existió bioturbación esporádica y sedimentación de materia orgánica.

10. RECOMENDACIONES.

Se requiere de terminar la limpieza química de la parte ventral del cráneo y del ápice del rostro, con soluciones de ácido fórmico diluidas 1: 10, para concluir la descripción. Esto es importante debido a que existen muy pocos especímenes conocidos de esta familia que presenten dichas regiones craneales completas, por lo que no se tiene información sobre su morfología.

II. BIBLIOGRAFÍA.

Applegate, S.P. 1986. The El Cien Formation, strata of Oligocene and Early Miocene age in Baja California Sur, México. *Revista del Instituto de Geología, UNAM.* 5(2), 145-162.

Applegate, S.P. y E.C. Wilson. 1976. Correlation of fossiliferous Upper Oligocene or Lower Miocene sections at San Telmo Point and Arroyo Guadalupe, Baja

- California Sur, México, and a possible new phosphate source. In: Resúmenes del III Congreso Latinoamericano de Geología. Acapulco, Guerrero, p. 6.
- Barnes, L.G. 1976. Outline of eastern North Pacific fossil cetacean assemblages. *Systematic Zoology*, 25, 32 1-343.
- Barnes, L.G. 1984a. Fossil odontocetes (Mammalia: Cetacea) from the Almejas Formation, Isla Cedros, México. *PaleoBios*, Museum of Paleontology, University of California, Berkeley, 42, 1-46.
- Barnes, L.G. 1984b. Search for the first whale: retracing the ancestry of cetaceans. *Oceans*, 17, 20-23.
- Barnes, L.G. 1984c. Whales, dolphins and porpoises: Origin and evolution of the Cetacea. **In:** T.W. Brodhead (ed), *Mammals, Notes for a short course* University of Tennessee Department of Geological Sciences. *Studies in Geology*, 8: 1 -iv. 1-234.
- Barnes, L.G.; D.P. Domning y C.E. Ray. 1985. Status of studies on fossil marine mammals. *Marine Mammal Science* 1 (1), 15-53.
- Barnes, L.G.; M. Kimura; H. Furusawa y H. Sawamura. 1994. Classification and distribution of oligocene Aetiocetidae (Mammalia; Cetacea, Mysticeti) from western North America and Japan. *The Island Arc*, 3, 392-43 1.
- Bates R.L. y J.A. Jackson. 1980. *Glossary of Geology*. 2a. edición. American Geological Institute, Virginia, E.U.A. 75 1 pp.
- Carroll, R.L. 1988. *Vertebrate Paleontology and Evolution*. W.H. Freeman y Co. E.U.A. 698 pp.
- Cruz-Marín A.; L.G. Barnes y G. Gonzalez-Barba, 1995. Un odontoceto fósil del Oligoceno Tardío proveniente de San Juan de la Costa, B.C.S., México. **In:** Resúmenes de la XX Reunión internacional para el estudio de los mamíferos marinos. La Paz, México. p. 68.

- Curry, R.J.; D.G. Moore y G. Einsele. 1982. Tectonics and geological history of the passive continental margin at the tip of Baja California. In: Blakeslee J.; L.W. Platt y L.N. Stout (eds.), Init. Repts. Deep Sea Drilling Project, National Science Foundation, California. 64 (2), 1089- 1116.
- Durham, J.W. 1940. E.W. Scripps Cruise to the Gulf of California. Part 2. Megascopic Paleontology and Marine Stratigraphy. Mem. 43, Geological Society of America, Tulsa, Oklahoma, 43: VII, 1-216.
- Escandón, F.J. 1978. Bosque-jo geológico de los depósitos de fosforita de San Juan de la Costa, B.C.S. Informe técnico de Roca Fosfórica Mexicana, La Paz, B.C.S., p. 22.
- Fischer R.; C. Galli-Olivier; A. Gidde y T. Schwennicke. 1995. The El Cien Formation of southern Baja California, Mexico: Stratigraphic precisions. Newsl. Stratigr. 32 (3), 137- 161.
- Fonseca-Rivera C. 1991. Variaciones petrológicas en la fosforita de la Capa Humboldt, con respecto a su espesor, Formación San Gregorio, San Juan de la Costa, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, 126 pp.
- Fordyce, R.E. 1980. Whale evolution and Oligocene southern ocean environments. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 31, 319-336.
- Fordyce, R.E. 1981. Systematics of the odontocete whale *Agorophius pygmaeus* and the Family Agorophiidae (Mammalia: Cetacea). Journal of Paleontology, 5 (5), 1028-1045.
- Fordyce, R.E. 1982. Dental anomaly in a fossil squalodont dolphin from New Zealand, and evolution of polydonty in whales. New Zealand Journal of Zoology, 9, 419-426.

- Fordyce, R.E. 1984. Evolution and zoogeography of cetaceans in Australia. In: Archer, M. y G. Clayton (eds.), Vertebrate zoogeography and evolution in Australasia. Hesperion, Perth, Australia, 929-948.
- Fordyce, R.E. 1989. Problematic early Oligocene toothed whale (Cetacea, ?Mysticeti) from Waikari, North Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 32, 395-400.
- Fordyce, R.E. 1992. Cetacean evolution and Eocene/Oligocene environments. In: Prothero, D. y W. Berggren (eds.), Eocene-Oligocene climatic and biotic evolution. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 368-381.
- Fordyce, R.E. & L.G. Barnes. 1994. The evolutionary history of whales and dolphins, *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 22, 419-55.
- Galli-Olivier C.; G. Garduño y J. Gamiño. 1986. Storm beds and mudrock layers of the phosphorite bearing San Gregorio Formation, San Juan de la Costa, Baja California Sur. Mexico. In: 12th International Sedimentological Congress, Canberra, Australia, 113-114.
- Gamiño-Aguilera, J. 1987. Petrología sedimentaria y estratigrafía de las litofacies de fangolita fosfática de la Formación San Gregorio, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México. 101 pp.
- Garduño-Hernández, G. 1987. Petrología y estratigrafía de las litofacies de fosforita y arenisca feldespática de la Formación San Gregorio, San Juan de la Costa, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México. 205 pp.
- Gaskin, D.E. 1982. The ecology of whales and dolphins. Heinemann Educational Books. London and Portsmouth, New Hampshire, E.U.A, 459 pp.

- Gastil, G.R.; D. Krummenacker y G. Morgan. 1981. The tectonic history of peninsular California and adjacent Mexico. *In:* Ernst, W.G. (ed.), The tectonic development of California, Prentice-Hall, New Jersey, 285-306.
- Grimm, K.A., K.B. Föllmi; M. Ledesma y T. Schwennicke. 1988. Role of explosive volcanism event deposition and bioturbation in the genesis of stratification sequences in phosphatic and associated sediments, Oligocene San Gregorio Fm., Baja California Sur, Mexico. University of California, Santa Cruz.
- Hausback, B.P. 1981. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico: *In:* Frizzell, V.A. Jr. (ed.), Geology of the Baja California Peninsula, Pacific Section, Society of Economic Paleontology and Mineralogy, 39, Los Angeles, California, E.U.A., 219-236.
- Heim, A., 1922, The Tertiary of southern Lower California. *Geological Magazine*, 59: 529-547.
- Hernández-Rivera, R. 1980. Técnicas en Paleontología de vertebrados (prospección, preparación, duplicado y catálogo). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 114 pp.
- Kim, W.H. 1987. Biostratigraphy and depositional history of the San Gregorio and Isidro Formations, Baja California Sur, Mexico. Tesis doctoral, Univ. Stanford. 206 pp.
- López-Martínez N. y J. Truyols-Santonja 1994. Paleontología, conceptos y métodos. Síntesis. España. 333 pp.
- Machorro-Jiménez, M. 1991. Comparación petrológica de algunas capas de fosforita de la Formación San Gregorio en San Juan de la Costa. El Aguajito, San Hilario y Tembabichi, Baja California Sur. Tesis de

- Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 122 pp.
- Martínez-Camacho, M.J. 1988. Geología de la Mesa del Tesoro, estudio preliminar sobre la explotación de fosforita a cielo abierto en San Juan de la Costa, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 68 pp.
- Mchedlize, G.A. 1984. General features of the paleobiological evolution of Cetacea. Amerind Publishing, Nueva Delhi, India. 205 pp.
- McLean, H., J.A. Barron and B.P. Hausback. 1984. The San Gregorio Formation of Baja California Sur, Mexico, is Late Oligocene. Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Abstracts with Programs, p. 99.
- Messinger, S.L. 1994. Phylogenetic relationships of platanistoid river dolphins: assessing the significance of fossil taxa. **In** A. Berta and T.A. Deméré (eds.) Contributions in Marine Mammal Paleontology Honoring Frank C. Whitmore, Jr. Proc. San Diego Soc. Nat. Hist. 29: 125-133.
- Muizon, C. de. 1994. Are the Squalodonts related to the Platanistoides? **In** A. Berta and T.A. Deméré (eds.) Contributions in Marine Mammal Paleontology Honoring Frank C. Whitmore, Jr. Proc. San Diego Soc. Nat. Hist. 29: 135-146.
- Rixon, A.E. 1976. Fossil animal remains; their preparation and conservation. The Athlone Press University of London. Gran Bretaña. 304 pp.
- Sanders, A.E. 1996. The systematic position of the primitive odontocete *Xenorophus sloanii* (Mammalia, Cetacea) and two new taxa from the Late Oligocene of South Carolina, U.S.A., Sixth North American Paleontological Convention, Washington, D.C., E.U.A., Abstracts of papers, p. 338.

- Schäfer, W. 1972. Ecology and paleoecology of marine environments. The University of Chicago Press, E.U.A., 568 pp.
- Schwennicke, T. 1994. Deep and shallow water phosphorite-bearing strata of the Upper Oligocene of Baja California, Mexico (San Juan Member, El Cien Formation). *Zbl. Geologist Paläontology Teil 1*. 1993: 567-580.
- Simpson, G.G. 1945. Principles of classification and a classification of mammals. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 85: 1-350.
- Smith, J.T. 1991. Cenozoic marine mollusks and paleogeography of the Gulf of California. *In: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit (eds). The Gulf and Peninsular province of the Californias, AAPG Mem. 47: 637-666.*
- Whitmore, F.C. y A.E. Sanders. 1977. Review of the Oligocene Cetacea. *Systematic Zoology*, 25: 304-320.