

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

ESTRATIGRAFIA DE LOS DEPOSITOS MARINOS DEL NEOGENO EN LA REGION DE PUERTECITOS, NORESTE DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO



TESIS

QUE PARA OBTENER el Título de

OCEANOLOGO

PRESENTA

GABRIEL RENDON MARQUEZ

ENSENADA, B.C.

JUNIO DE 1992

RESUMEN

En el área de Puertecitos, B.C., afloran depósitos marinos interestratificados con rocas piroclásticas del Neógeno. La secuencia sedimentaria se divide en dos unidades: la secuencia marina inferior (Tmsi) y la secuencia marina superior (Pmss), ambas subyacen y sobreyacen respectivamente a un flujo piroclástico (Tvvc). Partes de esta secuencia afloran en tres localidades que bordean el abanico aluvial del arroyo Matomí, que son: 1) Valle Curbina-Arroyo La Cantera, 2) Arroyo El Canelo y 3) Arroyo Matomí. Tvvc y otras unidades volcánicas se utilizaron como horizontes de correlación en las tres áreas descritas.

En Tmsi se definieron tres litofacies denominadas A, B y C. La litofacies A, consiste en una lodolita de un ambiente de baja energía, de plataforma somera y condiciones salinas. La litofacies B, consiste de una arenisca lodosa, fosilífera depositada en un ambiente somero de moderada energía. La asociación faunística *Panopea sp-Encope sp.-Balanus sp.* indica un ambiente de aguas cálidas en la zona intermareal a infralitoral, similar a las condiciones actuales en el litoral del Alto Golfo de California. La litofacies C, consiste en conglomerados y areniscas de grano grueso que representa un depósito de playa de alta energía. Lateralmente estas litofacies varían de W a E a condiciones más profundas de la cuenca. La variación vertical (temporal) en la secuencia estratigráfica Tmsi además indica una regresión temporal previa a Tvvc.

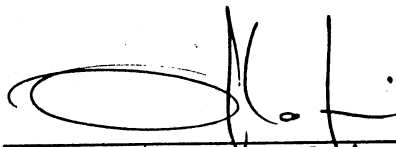
La secuencia superior Pmss, consiste de una alternancia de arenas limosas fosilíferas en la base, que gradúa a areniscas limosas y conglomerados con matriz arenosa. La asociación faunística y la alta bioturbación en la base indican que Pmss se depositó en un ambiente somero de baja energía que graduó a un ambiente de moderada a alta energía en la zona intermareal dominada por mareas. El aumento de tamaño de grano sugiere una segunda regresión de la línea de costa en el Plioceno medio o Plioceno tardío.

El fallamiento normal que afecta a la secuencia sedimentaria y volcánica sugieren que la actividad tectónica fue intensa durante y después de la depositación de los sedimentos marinos. Así mismo la actividad volcánica explosiva constituyó la principal fuente de sedimentos hacia la cuenca. La secuencia marina de Puertecitos muestra las características sedimentológicas y paleoecológicas de una cuenca desarrollada en la etapa temprana del actual Golfo de California.

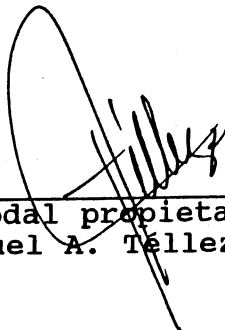
**"ESTRATIGRAFIA DE LOS DEPOSITOS MARINOS
DEL NEOGENO EN LA REGION DE PUERTECITOS,
NORESTE DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO."**

**T E S I S
QUE PRESENTA
GABRIEL RENDON MARQUEZ**

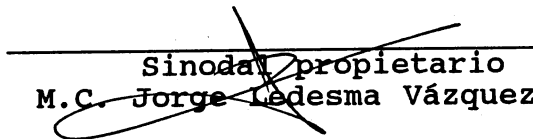
APROBADA POR



**Presidente del jurado
DR. Arturo Martín Barajas.**



**Sinodal propietario
M.C. Miguel A. Téllez Duarte**



**Sinodal propietario
M.C. Jorge Ledesma Vázquez**

DEDICATORIA

A mi Madre por su amor, comprensión y apoyo durante los años difíciles, tanto de mi vida como de mi carrera. Gracias por tu ejemplo.

A Conchis por su amor, ternura y paciencia. Gracias por alentarme.

A mis hermanos por ser parte de mi vida y motivo de inspiración.

A mi sobrino Paul por ser la chispa inocente que siempre me alienta y motiva.

A Ana Luz por el gusto de conocerla.

A mis sobrinos por que en ellos me veo reflejado

A mis amigos, en especial a los entrañables, Eric, Héctor, Mauricio y Ruben.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer término a mi director de tesis Dr. Arturo Martín Barajas porque sin su apoyo y constante motivación, éste trabajo difícilmente hubiera llegado a su fin. Gracias por saberme escuchar.

A mis sinodales, M.C. Miguel A. Tellez Duarte, gracias por tus sugerencias e importantes aportaciones a éste trabajo, y M.C. Jorge Ledesma Vázquez gracias por tus acertadas críticas.

Al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) por permitirme utilizar sus instalaciones para la realización de mi tesis.

Al Químico Salvador Ramos Solórzano y a la QFB Edith Cienfuegos Alvarado del Laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de Física de la UNAM por su apoyo en el tratamiento y procesamiento de las muestras de carbonatos para $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$.

A Victor Manuel Frías Camacho por su valiosa ayuda en la realización de algunas figuras y en la edición e impresión de ésta tesis.

Quiero agradecer en especial a la M.C. Ana Luz Quintanilla Montoya y al Ocean. Rogelio Zizumbo por permitirme compartir con ellos el vino, la música y sus charlas tan amenas. Nunca los olvidare, mil gracias.

A Delia C. Castellanos por brindarme su amistad y por las agradables charlas que siempre nos caracterizaron. Gracias.

A mis tíos y a mis primos que en todo momento me apoyaron y alentaron para seguir adelante con mis estudios, en especial a la Familia Gambóa y a la Familia Paredes, mil gracias. Los quiero.

A la Familia Castellanos Armendáriz, en especial a Malena, gracias por aceptarme y hacerme sentir como en familia.

A mis compañeros de vivienda, Arturo, Alejandro, Javier y Karla, gracias por todos los momentos agradables.

A mis compañeros de generación del área de geología: Alma, Delia, Paco y Rocío.

A todas las personas que de alguna manera me brindaron su apoyo a lo largo de mi carrera y que no menciono para no omitir a ninguna de ellas, pues son tantas...

INDICE

	Página
1. Introducción	1
2. Antecedentes	5
3. Objetivo	7
4. Método de estudio	8
4.1 Metodología de campo	8
4.2 Metodología de laboratorio	8
5. Descripción y localización del área de estudio	10
6. Resultados y Discusiones	12
6.1 Estratigrafía del área Valle Curbina-Arroyo La Cantera	12
6.1.1 Litofacies A	17
6.1.2 Litofacies B	20
6.1.3 Litofacies C	21
6.2 Estratigrafía del área Arroyo El Canelo	25
6.2.1 Tmsi en el Arroyo El Canelo	29
6.2.2 Pmss en el Arroyo El Canelo	30
6.3 Estratigrafía del área Arroyo Matomí	32
6.3.1 Pmss en el Arroyo Matomí	35
6.4 Isótopos estables de oxígeno y carbón	38
7. Interpretación	41
7.1 Interpretación de la secuencia de litofacies de Tmsi	41
7.2 Interpretación de la secuencia marina Pmss	42
7.3 Correlación estratigráfica de las tres localidades	43
7.4 Condiciones paleoecológicas y evolución de la cuenca	45
7.5 Correlación con otras áreas al norte del golfo	45
8. Conclusiones	52
9. Literatura citada	54

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Composición mineralógica de los sedimentos marinos. Fracción arenosa (mayor de 4 phi)	18
II	Composición mineralógica de los sedimentos marinos. Fracción arcillosa.	23
III	Identificación preliminar de los fósiles de Tmsi, litofacies B en Arroyo La Cantera.	24
IV	Isótopos estables de oxígeno y carbón.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Plano de localización de las tres áreas de estudio. Los cuadros a, b y c corresponden a las figuras 2, 8 y 10 respectivamente, en este trabajo.	11
2	Plano geológico del área Valle Curbina-Arroyo La Cantera. Modificado de Stock et al., (1991).	13
3	Columnas estratigráficas del área Valle Curbina-Arroyo La Cantera.	14
4	Sección geológica en Valle Curbina. Tomado de Stock et al., (1991).	16
5	Patrones de difracción de rayos X de la fracción arcillosa. Litofacies A.	19
6	Patrones de difracción de rayos X de la fracción arcillosa. Litofacies B.	22
7	Distribución espacial de las facies sedimentarias previa a la irrupción del flujo piroclástico. Modificado de Walker (1984).	26
8	Plano geológico del área Arroyo El Canelo. Modificado de Stock et al., (1991).	27
9	Columnas estratigráficas del área Arroyo El Canelo.	28
10	Plano geológico del área Arroyo Matomí. Modificado de Stock et al., (1991).	33
11	Columnas estratigráficas del Arroyo Matomí	34
12	Patrones de difracción de rayos X de la fracción arcillosa de Pmss en el Arroyo Matomí.	37
13	Evolución temporal de las litofacies en el Arroyo La Cantera al tiempo de la depositación del flujo piroclástico Tvvc.	46
14	Columnas estratigráficas de correlación de las tres áreas estudiadas.	47
15	Carta de correlación de Puertecitos con otras áreas al norte del golfo. Modificado de Smith (1991).	49
16	Localización de los depósitos marinos del Mioceno Tardío-Plioceno Temprano alrededor del golfo. Tomado de Stock (1989).	50

1. INTRODUCCION

EL Golfo de California es al inicio el resultado de un proceso de extensión de la corteza durante el Mioceno medio. La subsecuente evolución a rift oceánico se desarrolló como producto de la definición del nuevo límite de placas entre el Pacífico y Norteamérica. Este cambio consistió en la formación de una serie de pequeños centros de dispersión conectados por fallas transformes durante el Plioceno temprano (Larson et al., 1968; Karig y Janski, 1972; Stock y Hodges, 1990). Este sistema de fallas transformes y centros de dispersión es considerado la actual frontera entre la placa de Norteamérica y la placa Pacífico (Mammericks y Klidgord, 1982; Curray y Moore, 1984; Lonsdale, 1989).

La apertura del golfo se explica en dos procesos extensionales: la primera fase ocurre en la parte norte del golfo con una extensión en dirección ENE-WSW (Hausback, 1984). Algunos autores sugieren que ésta primera fase de extensión corresponde a la prolongación hacia el sur del sistema de cuencas y cordilleras o "basin and range" (Dokka y Merriam, 1982; Henry, 1989). Otros atribuyen este proceso de extensión a una extensión oblicua producida por el desarrollo del nuevo límite de placas (Stock y Hodges, 1989). La segunda fase corresponde al desarrollo del rift oceánico en la parte central del golfo y debió desarrollarse durante el Plioceno (Curray y Moore, 1984).

Las primeras cuencas marinas formadas durante el Mioceno son consecuencia del proceso de extensión y subsidencia en la denominada Provincia Extensional del Golfo (Gastil et al., 1975). Los depósitos marinos más antiguos que se han reportado en esta provincia se encuentran en Isla Tiburón. Consisten de un paquete de areniscas y conglomerados fosilíferos interestratificados con rocas volcánicas de 12.9 Ma (Gastil et al., 1979; Smith et al., 1985).

Hacia la parte sur de la depresión del golfo, en la isla Maria Madre se reporta una secuencia de sedimentos marinos que consiste de una arenisca fosilífera que sobreyace a una capa laminada y masiva de diatomita con alto contenido de foraminíferos. La asociación faunística en los sedimentos permitió fechar la secuencia como Mioceno medio-tardío (McCloy et al., 1988). Otros depósitos del Mioceno han sido reportados en las costas de Sonora en el pozo P.H.B. 15 perforado por Pemex, localizado aproximadamente a 65 km de la ciudad de Hermosillo. Un estudio micropaleontológico permitió fechar como Mioceno tardío-Plioceno a un intervalo de los estratos marinos del pozo (Gómez, 1971).

Los depósitos marinos del Plioceno afloran principalmente a lo largo de la margen norte y occidental de la depresión del golfo (Ingle, 1974; Gastil et al., 1975; Boehm, 1982). Boehm (1984) describe una secuencia marina localizada a 20 km al oeste de San Felipe, B.C. El afloramiento consiste en un depósito de diatomita de edad Mioceno tardío-Plioceno que subyace a una arenisca limosa rica en foraminíferos. Ambas unidades corresponden a un ambiente hemipelágico o batial, y aparecen cubiertas por lodolitas y areniscas de ambientes más someros.

Al norte de Santa Rosalía, B.C.S. en la Formación Boleo, se reporta una secuencia sedimentaria que consiste de un conglomerado marino interestratificado con una toba volcánica y una arenisca limo-arcillosa fosilífera con capas de yeso (Wilson, 1948). La edad del depósito se determinó con base en la fauna asociada como Mioceno superior (Schmidt et al., 1977). A éste depósito le sobreyace una secuencia de areniscas y lutitas de la Formación Tirabuzón del Plioceno que representa un ambiente nerítico franco (Carreño, 1981).

En la región del Valle Imperial en California, también se reportan sedimentos marinos del Mioceno tardío de la Formación Split Mountain. Estos depósitos se componen principalmente de yesos de origen primario con alto contenido de foraminíferos intercalados con areniscas y lutitas. Los depósitos marinos se interdigitizan con depósitos continentales (Woodard, 1974; Johnson et al., 1983). Dean (1988) fechó con foraminíferos los yesos de la Fm. Split Mountain en Mioceno tardío y representan la primera incursión marina en la región del Valle Imperial. Los depósitos del Valle Imperial y junto con los depósitos al NW de San Felipe marcan la configuración aproximada de la línea de costa para el Mioceno tardío-Plioceno.

En el área de Puertecitos, a 80 Km al sur de San Felipe, B.C., afloran sedimentos marinos interestratificados con rocas volcánicas de Mioceno tardío-Plioceno (Martín-Barajas et al., 1991). Estos sedimentos consisten en depósitos de baja energía (limos, arcillas y yeso) que hacia el tope gradúan a gravas y areniscas líticas fosilíferas. Los sedimentos afloran en tres localidades que bordean el abanico aluvial del arroyo Matomí: 1) Valle Curbina-Arroyo La Cantera, 2) Arroyo El Canelo y 3) Arroyo Matomi.

La importancia del estudio de la secuencia marina de Puertecitos radica en que aporta nuevos datos sobre las características sedimentológicas y paleoecológicas de las primeras cuencas marinas en el noroeste de la depresión del golfo, permitiendo definir la extensión de la incursión marina hacia el sur durante el Mioceno tardío y el Plioceno temprano.

En general, los depósitos marinos estudiados detallan la historia geológica de las primeras cuencas asociadas a la apertura del Golfo de California en forma puntual, sin embargo y debido

principalmente a que el registro estratigráfico del Neógeno marino no está suficientemente expuesto alrededor del golfo, el proceso global de evolución de las primeras cuencas dista mucho de estar completamente comprendido.

2. ANTECEDENTES

Los estudios realizados en la Provincia Volcánica de Puertecitos (PVP) se han enfocado básicamente al aspecto estructural y a la geología regional de área. Gastil et al. (1968) son los primeros en reconocer la importancia del fallamiento normal en la PVP debido a que éstas registran el desarrollo cinemático de un área adyacente al sistema de fallas de San Andrés en el norte de la península y SW de Estados Unidos.

Gastil et al. (1975) afirman que la PVP esta compuesta por una sucesión de eventos magmáticos explosivos, de composición principalmente riolítica que sobreyacen a las rocas andesíticas del antiguo arco volcánico que se extinguió hacia los 17 Ma. Las secuencias más jóvenes son coladas de riolitas y tobas vítricas formadas por coladas de cenizas (ash flow). Somer y García (1970) reportan edades de 3.1 a 5.9 Ma. para la base y el tope de la secuencia superior y de 7.5 Ma para la secuencia subyacente en la localidad de Mesa El Tábano, situada 15 km al NW de Puertecitos.

Stock y Hodges (1989) reportan una secuencia de estratos marinos al NW de Puertecitos de posible edad Plioceno, estos depósitos se encuentran cubiertos por cenizas volcánicas; la secuencia esta afectada por una serie de fallas normales, mismas que afectan depósitos sedimentarios recientes. Estos sedimentos fueron estudiados en el presente trabajo.

Ortlieb (1987) reporta una serie de terrazas marinas fosilíferas que afloran cerca de la línea de costa actual al norte de Puertecitos; él atribuye estos depósitos sedimentarios a la última transgresión marina en esa zona durante el Plioceno Superior-Pleistoceno.

El presente trabajo representa el primer estudio sedimentológico y estratigráfico de la secuencia marina de Puertecitos, hasta ahora poco conocida. Este trabajo además, forma parte de un proyecto de investigación sobre la PVP por investigadores del CICESE y la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC, en colaboración con investigadores de Caltech en Pasadena, California. Otros resultados sobre la geología del área de estudio han sido publicados por Stock et al., (1991).

3. OBJETIVOS

Los objetivos son:

- 1) Con base en la descripción de las características litológicas de los sedimentos marinos y de su fauna asociada (macrofósiles), establecer la facies de los principales ambientes de depósito.
- 2) Construir la columna estratigráfica de la secuencia marina con base en la correlación entre las unidades volcánoclasticas y las litofacies en las tres localidades estudiadas.
- 3) Reconstruir la historia depositacional de la cuenca con base en las relaciones litológicas, estratigráficas y estructurales.
- 4) Establecer la correlación tentativa de la secuencia marina de Puertecitos con otras localidades con depósitos marinos del Neógeno en la depresión del golfo.

4. METODO DE ESTUDIO

4.1 Metodología de campo.

El trabajo en el campo consistió en la cartografía geológica del área de estudio y en particular de los afloramientos de los sedimentos marinos en las localidades de Valle Curbina-Arroyo La Cantera, Arroyo El Canelo y Arroyo Matomí. Se cartografió sobre mapas base a escala 1:25,000 y se levantaron diferentes secciones estratigráficas en cada una de las localidades. Durante este trabajo de campo se recolectaron muestras de los horizontes volcánicos interestratificados con los sedimentos marinos y de los fósiles asociados.

4.2 Metodología de laboratorio.

El trabajo en el laboratorio consistió en la elaboración de planos geológicos y de las secciones estratigráficas de las tres localidades estudiadas. Se efectuó el estudio mineralógico y granulométrico tanto de la fracción arenosa como de la fracción arcillosa. La fracción gruesa se describió en un microscópio esteroscópico así como en lámina delgada utilizando microscópio petrográfico y montaje de sedimentos de las fracciones 3 y 4 phi.

La fracción arcillosa fué analizada en un difractómetro DIANO modelo XRD 8545D-F(A), en el Departamento de Geología de la Universidad Estatal de San Diego, California (SDSU), para ello la fracción arcillosa se sometió a un análisis de tamaño de grano por tubo de asentamiento según el método de Folk (1974), modificado en este trabajo. Este método consiste en:

- a) Disgregar la muestra empleando como dispersante hexametáfosfato de sodio a una concentración de 5.5 g/l.

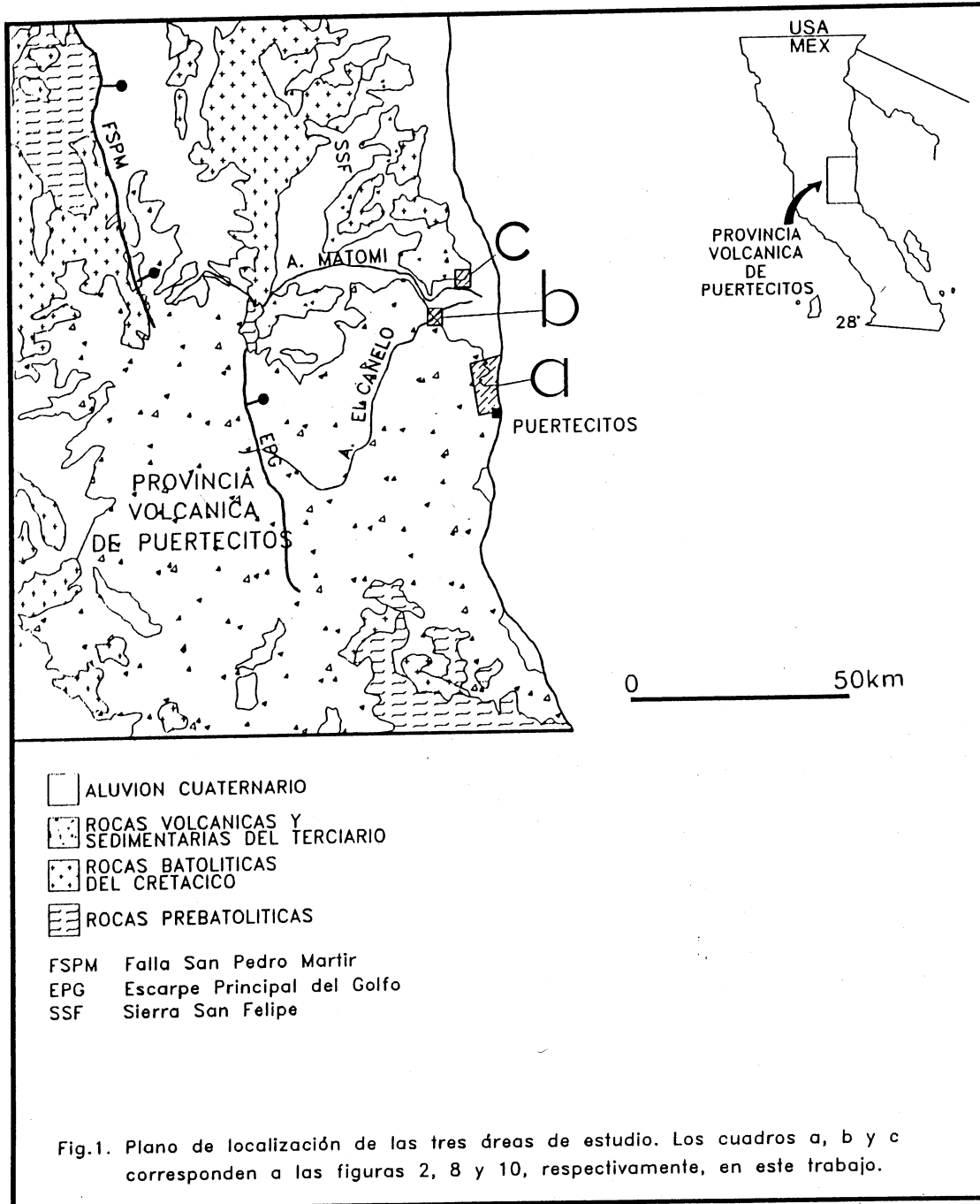
- b) Colocar 15 g de muestra en la columna de asentamiento empleando un tamiz de 4 phi y tamizando en húmedo.
- c) Agitar la columna perfectamente bien durante unos segundos. Tomar el tiempo de la siguiente manera:
- Fracción < 4 phi----- 1 h 51 min.
- Fracción < 2 phi----- 7 h 24 min.
- d) Tomar una alícuota a 10 cm. de profundidad y colocarla en un vaso de precipitados. Tener cuidado de no perturbar la suspensión.
- e) Centrifugar la alícuota, desechar el líquido y retener el residuo.
- f) Frotar el residuo de arcilla de cada muestra en tres portaobjetos petrográficos, uno para muestra natural, otro para tratamiento con glicol y una última para quemar a 500° C.
- g) Proceder con el análisis de rayos X. En este caso las muestras se corrieron de 2.0 a 30.0 grados de 2 teta, con una energía de 40 KV y 20 MA, monocromador de cobre y una velocidad de 0.03 grados por paso.

Se realizó también la descripción y en algunos casos la clasificación de la fauna asociada a los sedimentos marinos.

Se realizó un análisis de isótopos estables de oxígeno y carbón $\delta^{18}O - \delta^{13}C$ en las conchas de bivalvos y gasterópodos para la determinación de paleotemperatura. Este análisis se efectuó en el espectrómetro de masas del laboratorio de isótopos estables en el Instituto de Física de la UNAM.

5. DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la esquina nororiental de la PVP a 80 km al sur de San Felipe y dentro de la llamada Provincia Extensional del Golfo (Gastil et al., 1975). Comprende tres localidades situadas al NW del pequeño poblado de Puertecitos (Fig. 1). Los tres sitios se localizan al pie de los altos topográficos que bordean al abanico aluvial del Arroyo Matomi, el cual tiene más de 30 km de extensión en su parte más cercana a la costa. Las localidades de Valle Curbina-Arroyo La Cantera y Arroyo El Canelo se encuentran en la parte sureste y suroeste del área de estudio respectivamente, mientras que la localidad Arroyo Matomí se sitúa en la parte norte y constituye la terminación hacia el sur de la Sierra de San Fermín. Al NW, la PVP esta delimitada por la Sierra de San Pedro Mártir y por la Sierra de San Felipe. Hacia el sur la extensión de los afloramientos de las rocas volcánicas es de aproximadamente 30 km y disminuye sobre el basamento granítico-metamórfico. Hacia el oriente se encuentra limitada por la línea de costa.



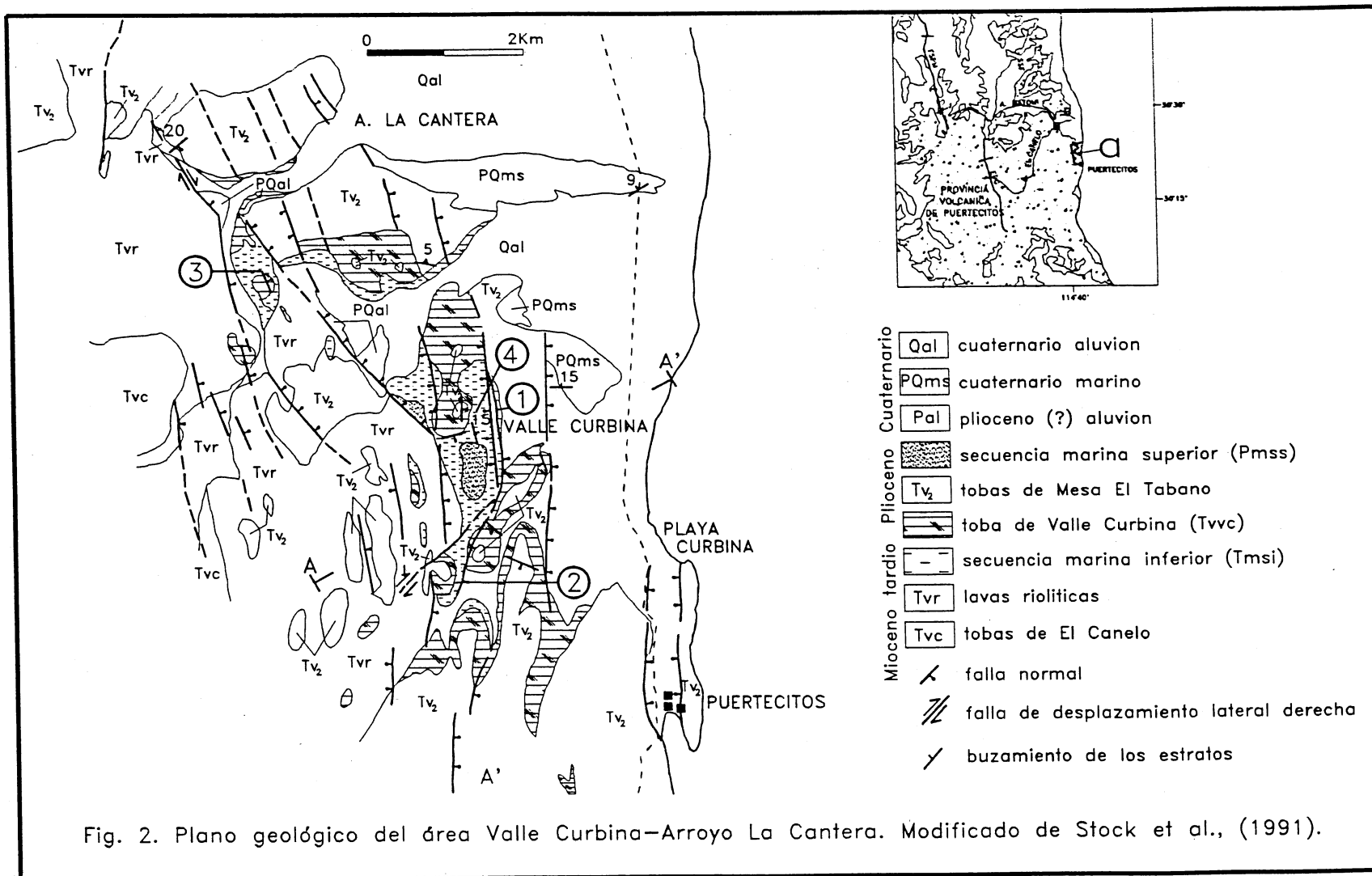
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

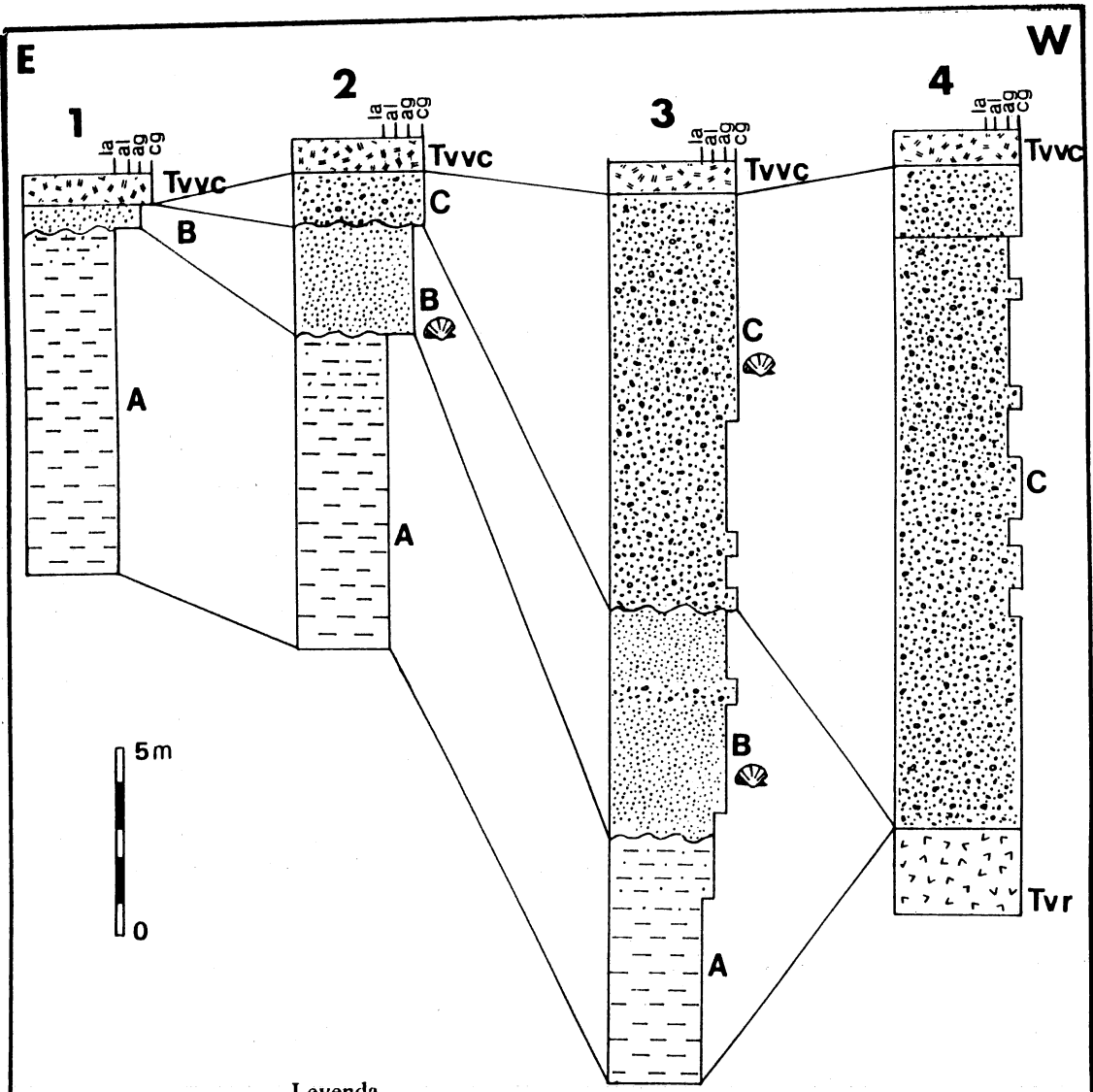
Estratigrafía de la secuencia marina de Puertecitos.

La secuencia marina de Puertecitos se divide en dos unidades: 1) secuencia marina inferior (Tmsi) y 2) secuencia marina superior (Pmss). Estas unidades subyacen y sobreyacen respectivamente a una toba pumítica de referencia denominada toba de Valle Curbina (Tvc). La unidad inferior (Tmsi) se encuentra mejor expuesta en Valle Curbina y en el Arroyo La Cantera, mientras que Pmss aflora en el arroyo El Canelo y el arroyo Matomí. Ambas unidades se describen a continuación en sus áreas respectivas.

6.1 Estratigrafía del área Valle Curbina -Arroyo La Cantera.

Valle Curbina se encuentra a 3 km al NW de Puertecitos, justo a la altura de Playa Curbina (Fig. 2). En esta localidad se levantaron tres secciones estratigráficas para determinar el espesor y las variaciones litológicas de los sedimentos (Fig. 3). En esta zona, Tmsi descansa hacia el W sobre una serie de flujos riolíticos denominada Tvr y que forma una estructura en domo. Una edad radiométrica, según el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en roca entera, indicó 5.8 ± 0.4 Ma. (Paul Layer, com. escrita), lo que constituiría una edad máxima para Tmsi. En la parte central del valle, Tmsi está en contacto con Tvr por una falla normal de rumbo N-S, que buza hacia el Este. Esta secuencia de sedimentos está cubierta por un flujo piroclástico (Tvc) esencialmente pumítico, de color amarillo ocre y de aspecto masivo, el cual representa un horizonte de correlación estratigráfica por estar ampliamente distribuido en toda el área. En este sitio, por encima de los sedimentos y de la toba de referencia, se localiza una serie de ignimbritas denominadas Tv2, que está formada por flujos de cenizas soldadas de alta temperatura, (Martín-Barajas, et al., 1991). Las cuatro ignimbritas de





Leyenda

- flujo piroclástico, (Tvvc)
 - conglomerados marinos, litofacies C
 - areniscas fosilíferas, litofacies B.
 - iodolita, litofacies A
 - lavas riolíticas, (Tvr)
 - fósiles
- } Tmsi (secuencia marina inferior)

Figura 3 Columnas estratigráficas de Valle Curbina-Arroyo La Cantera.
 la = limo arcilla; al = arena limosa; ag = arena gruesa y cg = conglomerado.

Tv2, aunque texturalmente variables, se caracterizan por su contenido de clinopiroxenos, ortopiroxeno y trazas de olivino. Esta secuencia se correlaciona con la secuencia de tobas de Mesa El Tábano, situada 15 km al W y que fueron fechadas por Somer y García (1970).

Valle Curbina consiste en una estructura tipo graben delimitada por dos fallas normales con orientación N-S. La falla en el flanco occidental tiene un desplazamiento vertical de 40 a 50 m, que es la diferencia de nivel de un horizonte volcánico interstratificado en Tmsi (Fig. 4). En la parte central del graben Pmss cubre en forma discordante a Tmsi con un ángulo aproximado de 15°. Este basculamiento debió ocurrir posteriormente al depósito de Tvvc y de Tv2, los cuales fueron erosionados antes de la nueva incursión marina. Esto indica que el graben, y en especial la falla oriental del graben fueron activos durante y después de la depositación de los sedimentos marinos y de Tvvc.

En el Arroyo La Cantera, que se ubica a 8 km al NW de Puertecitos (Fig. 2), Tmsi aflora sobre el flanco oriental del arroyo y cerca de la desembocadura del arroyo hacia el abanico aluvial del Matomí. En esta zona aflora una secuencia completa de Tmsi, con un espesor total de 35 m (Fig. 3). El paquete sedimentario se encuentra cortado por una falla normal con dirección N-S buzando 10 grados al W y con 8 a 10 m de desplazamiento vertical. La falla no afecta a las ignimbritas sobreyacentes.

Al igual que en Valle Curbina, la secuencia subyace a la toba pumítica Tvvc, la cual presenta un espesor aproximado de 20 m en este sitio, y está cubierta por las tobas soldadas de Tv2. Hacia el sur Tmsi descansa y se acuña sobre los flujos riolíticos de 5.8 Ma (Fig. 2 y 3).

Con base en las características litológicas, texturales y el tipo de fauna asociada, se definieron tres litofacies denominadas A, B y C, cuya descripción sigue a continuación.

6.1.1 Litofacies A.

Esta litofacies está compuesta principalmente de material limo-arcilloso, de color amarillo-ocre y textura físil cuando está intemperizada. El yeso se presenta rellenando fracturas y también se observa un alto contenido de halita en la matriz. Lo anterior sugiere que los minerales evaporíticos son de origen primario, no obstante estos pudieron haber sido posteriormente removilizados, sin embargo no existen evidencias que apoyen esta hipótesis.

La fracción tamaño arenas (> 4 phi) se compone principalmente de cuarzo, plagioclasa, abundante biotita, vidrio volcánico fresco y trazas de piroxeno y hornblenda (Tabla I).

Un análisis por difracción de rayos-X de la fracción arcillosa, indica la presencia dominante de esmectita en todas las muestras. La illita se presenta como componente menor pero de manera sistemática. La pirofilita fué detectada en algunas de las muestras como componente traza y solamente en una de las muestras analizadas se detectó clorita (Fig. 5). Esto sugiere que en algunos niveles de la litofacies la clorita puede estar presente posiblemente como producto de la alteración local de rocas más básicas. No obstante, su presencia en otra muestra al mismo nivel estratigráfico no fué detectada lo que hace más difícil su interpretación.

Hacia la base, se observaron escasos foraminíferos bentónicos retrabajados que fueron identificados como *Bulimina sp.* y *Bolivina sp. cf. B. plicata (?)*, que es muy común en el Plioceno en la costa sur de California y su rango batimétrico es de 66-2100 m; es extremadamente rara por

arriba de los 150 m, pero muy abundante entre los 270 a 1000 m (Natland, 1950). En la parte superior se observaron moldes de bivalvos, principalmente pectínidos y bioturbación caracterizada por tubos de menos de 5 mm de espesor rellenos con material ferruginoso.

TABLA I.- Composición mineralógica de los sedimentos marinos. Fracción arenosa.

Secuencia marina	Localidad	Litofacies	v.v. alt.	v.v. fres	qz	pl	fld	bi	px	hbl	op
Pmss	A. Matomi	-	xx	xx	xx	xx	x	x	t	x	t
Pmss	A. El Canelo	-	xx	xx	xx	x	x	x	x	t	t
Tmsi	A. El Canelo	B-A	xx	xx	xx	x	-	x	-	x	t
Tmsi	Valle Curbina	B	xx	xx	xx	x	-	t	t	x	t
Tmsi	Valle Curbina	A	xx	xx	x	xx	t	xx	t	t	t

Pmss = secuencia marina superior

Tmsi = secuencia marina inferior

v.v. alt. = vidrio volcánico alterado

v.v. fres. = vidrio volcánico fresco

qz = cuarzo

pl = plagioclasa

fld = feldespato

bi = biotita

px = piroxeno

hbl = hornblenda

op = opácos

xx = abundante

x = presente

t = trazas

- = ausente

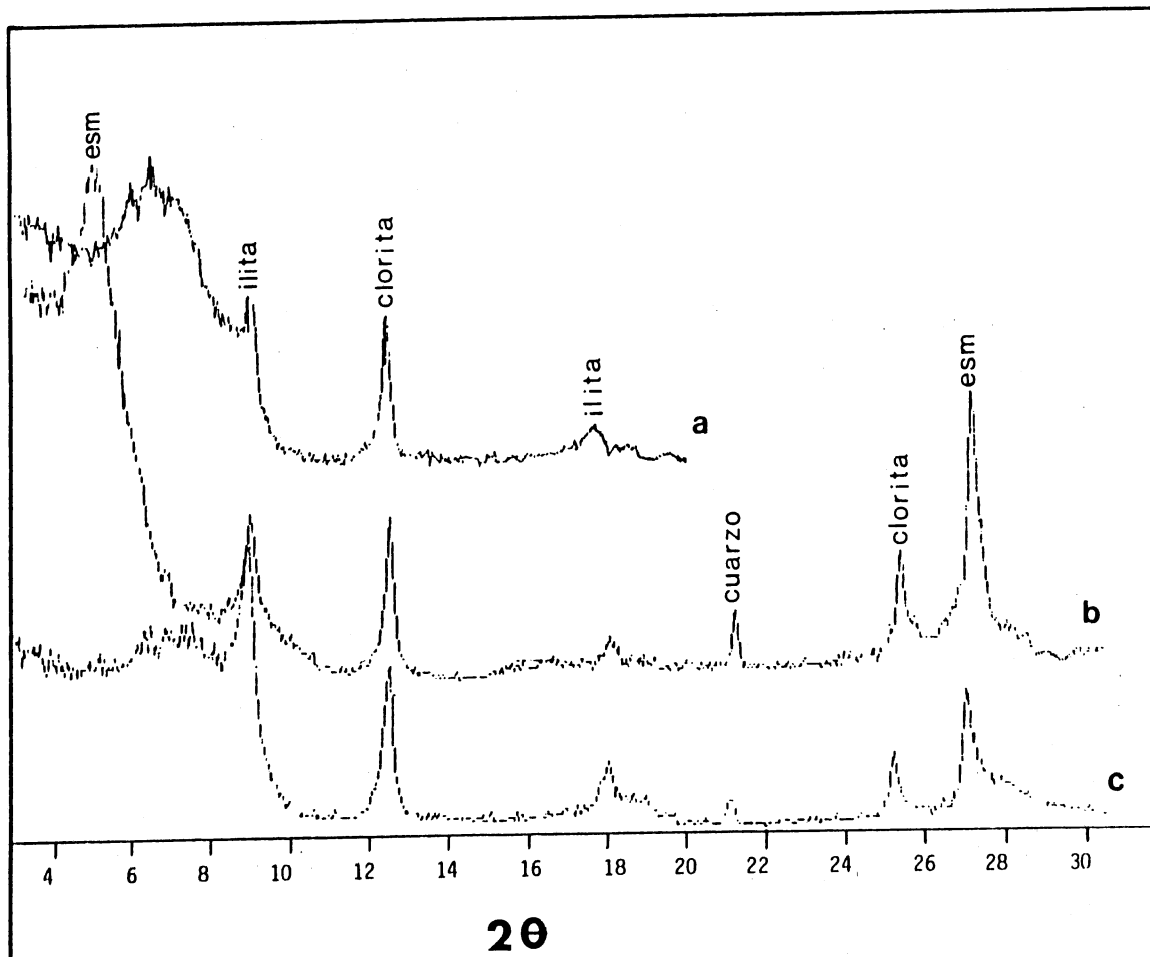


Figura 5 Patrones de difracción de la fracción arcillosa. Litofacies A. a) Normal, b) Glicol, c) 500°C.

El desarrollo de bioturbación únicamente hacia el tope de la litofacie, sugieren una circulación restringida y una rápida depositación del sedimento fino en suspensión, por debajo de la influencia del oleaje. El sedimento es basicamente de origen volcánico y sus productos de alteración.

Esta litofacies se depositó en un ambiente de baja energía, posiblemente de plataforma somera en la zona nerítica.

6.1.2 Litofacies B.

De la base hacia el tope, ésta litofacies consiste en una litoarenita color beige de grano medio con matriz arcillosa. Presenta estratificación masiva y fragmentos de organismos calcáreos. Presenta un espesor de 12 m, sin embargo en Arroyo La Cantera donde se observa la secuencia más completa de Tmsi, la base de la litofacies no aflora. Hacia el alto gradúa a areniscas fosilíferas de grano medio, con estratificación masiva y escasa estratificación cruzada de bajo ángulo. Localmente, ésta litofacies contiene estratos de 20 a 30 cm de espesor de conglomerados fosilíferos tamaño gravilla, con clastos de hasta 15 cm de diámetro en una matriz arenosa. El material arcilloso y los minerales evaporíticos decrecen hacia el tope, mientras que el tamaño de grano aumenta en la misma dirección, lo que sugiere un aumento en la energía del ambiente de depósito y/o condiciones más someras.

Mineralógicamente las areniscas se componen principalmente de abundante vidrio volcánico, feldespato y fragmentos líticos. Presenta además cuarzo, hornblenda, piroxeno y son comunes los fragmentos biogénicos (Tabla I)

El análisis por difracción de rayos X de la fracción arcillosa en tres niveles de la litofacies indica que la esmectita y la illita son los componentes principales, mientras que la pirofilita se observó como componente traza (Fig. 6), (Tabla II). La composición mineralógica indica que el sedimento es exclusivamente de origen volcánico.

Los fósiles son abundantes y variados. Esta asociación faunística incluye ostreas, gasterópodos, bivalvos, braquiópodos, artrópodos y equinodermos (Tabla III). La bioturbación es intensa, principalmente se observaron huellas de madrigueras cilíndricas, lo que puede ser la causa de la falta de estratificación en algunos niveles de la litofacies. La asociación faunística, indica una profundidad máxima de 30 m. Esto último evidenciado por los bivalvos *Panopea sp.* y *Encope sp.* que son buenos indicadores batimétricos por vivir en la zona intermareal hasta una profundidad de 20 y 30 m respectivamente, (Tellez-Duarte, com. pers. 1992).

6.1.3 Litofacies C.

Esta compuesta de un paquete de 15 m de espesor de conglomerados marinos formados de guijarros, cantos de rocas volcánicas y matriz arenosa de grano grueso. Presenta estratificación cruzada de bajo ángulo. Un estrato de arenisca de aproximadamente 3.0 m de espesor se encuentra interestratificado entre dos capas de conglomerados localizados tanto en la base como en el tope de esta unidad. Las capas de conglomerados presentan clastos de hasta 60 cm de diámetro en una matriz arenosa. Los fragmentos de roca son principalmente riolita y material pumítico en menor cantidad. La arenisca se compone principalmente de fragmentos líticos, con menor cantidad de vidrio volcánico, cuarzo y plagioclasas (Tabla I); son comunes los fragmentos de conchas y calcita como cementante. El material arcilloso está prácticamente ausente.

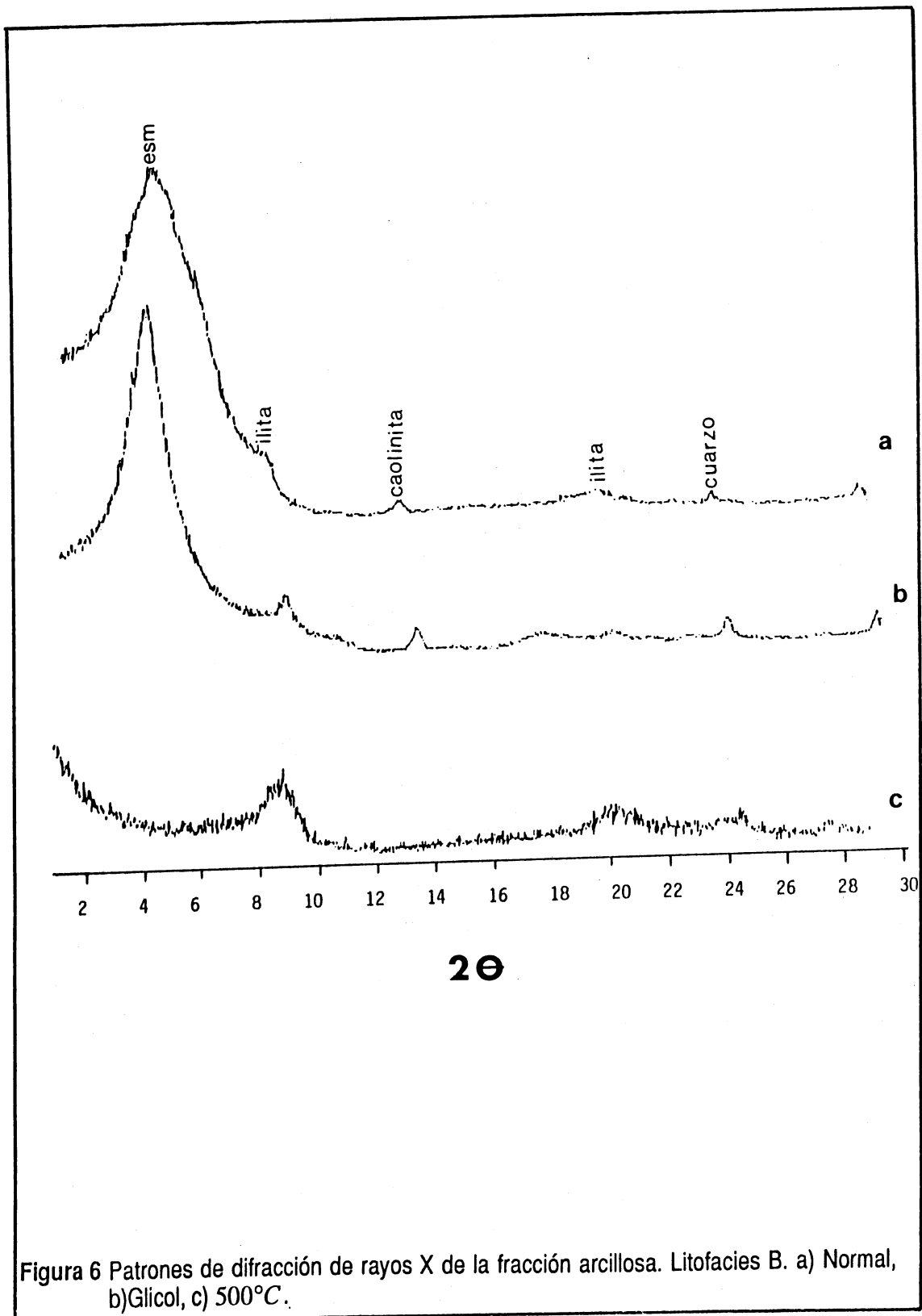


TABLA II.- Composición mineralógica de los sedimentos marinos. Fracción arcillosa.

Secuencia marina	Localidad	Litofacies	esm	il	k	cl
Pmss	A. Matomí	-	x	x	x	-
Pmss	A. El Canelo	-	xx	x	t	-
Tmsi	A. El Canelo	B-A	xx	x	-	-
Tmsi	Valle Curbina	B	xx	x	-	-
Tmsi	Valle Curbina	A	xx	x	-	x

Pmss = secuencia marina superior

Tmsi = secuencia marina inferior

esm = esmectita

il = illita

k = caolinita

cl = clorita

xx = abundante

x = presente

t = trazas

- = ausente

TABLA III.- Identificación preliminar de los fósiles de Tmsl. Litofacies B en Arroyo La Cantera.

Bivalvia	<i>Agropecten sp</i> <i>Chione sp.</i> <i>Dosinia sp.</i> <i>Flabellipecten sp.</i> <i>Leopecten sp. cf. L. bakeri</i> <i>Ostrea sp. cf. Ostrea angelica</i> <i>Panopea sp.</i> <i>Pecten sp.</i> <i>Solen sp.</i>
Gasterópoda	<i>Conus sp.</i> <i>Oliva sp.</i> <i>Thais sp.</i> <i>Turritela sp.</i>
Brachiópoda	<i>Eogryphus sp.</i>
Equinodermata	<i>Encope sp.</i>
Arthrópoda	<i>Balanus sp.</i>

Esta litofacie representa una línea de costa con alta energía dominada por oleaje. El depósito de conglomerados o paleolitoral se acuña contra el domo riolítico, que debió constituir una barrera topográfica que delimitaba la cuenca en esta zona.

La distribución de litofacies justo en el momento de la depositación del flujo piroclástico se representa en la figura 7.

6.2 Estratigrafía del área Arroyo El Canelo.

Esta localidad se encuentra a 15 km al NW de Puertecitos, cerca de la desembocadura del Arroyo El Canelo hacia el abanico aluvial del Arroyo Matomí (Fig. 8). En este sitio se levantaron cuatro secciones estratigráficas: dos en la parte norte del arroyo cerca de la desembocadura; una hacia el flanco Este del arroyo y otra en la parte Oeste (Fig. 9). En esta zona los sedimentos marinos están afectados por fallas normales de orientación N-NW y los estratos buzan 8° a 10 grados hacia el NE.

En el arroyo El Canelo, los afloramientos de Tmsi son mas escasos. En los sitios mejor expuestos, Tmsi tienen un espesor de afloramiento de menos de 7.0 m, y aparece por debajo de la toba de referencia Tvvc. En este sitio Tvvc fué previamente denominada como Pth por Stock et al (1991), y este flujo piroclástico se correlacionó posteriormente con Tvvc que aflora en Valle Curbina y Arroyo La Cantera. Descansando sobre Tvvc, aflora una secuencia completa de Pmss con un espesor de 10 m. En esta secuencia se localizan dos depósitos piroclásticos interestratificados denominados Ptg y Ptf, los cuales presentan espesores de 1 m y 2.5 m respectivamente. Estas unidades volcánicas representan horizontes estratigráficos de referencia que han sido utilizados como niveles de correlación entre las secciones medidas en esta localidad y con otras secciones

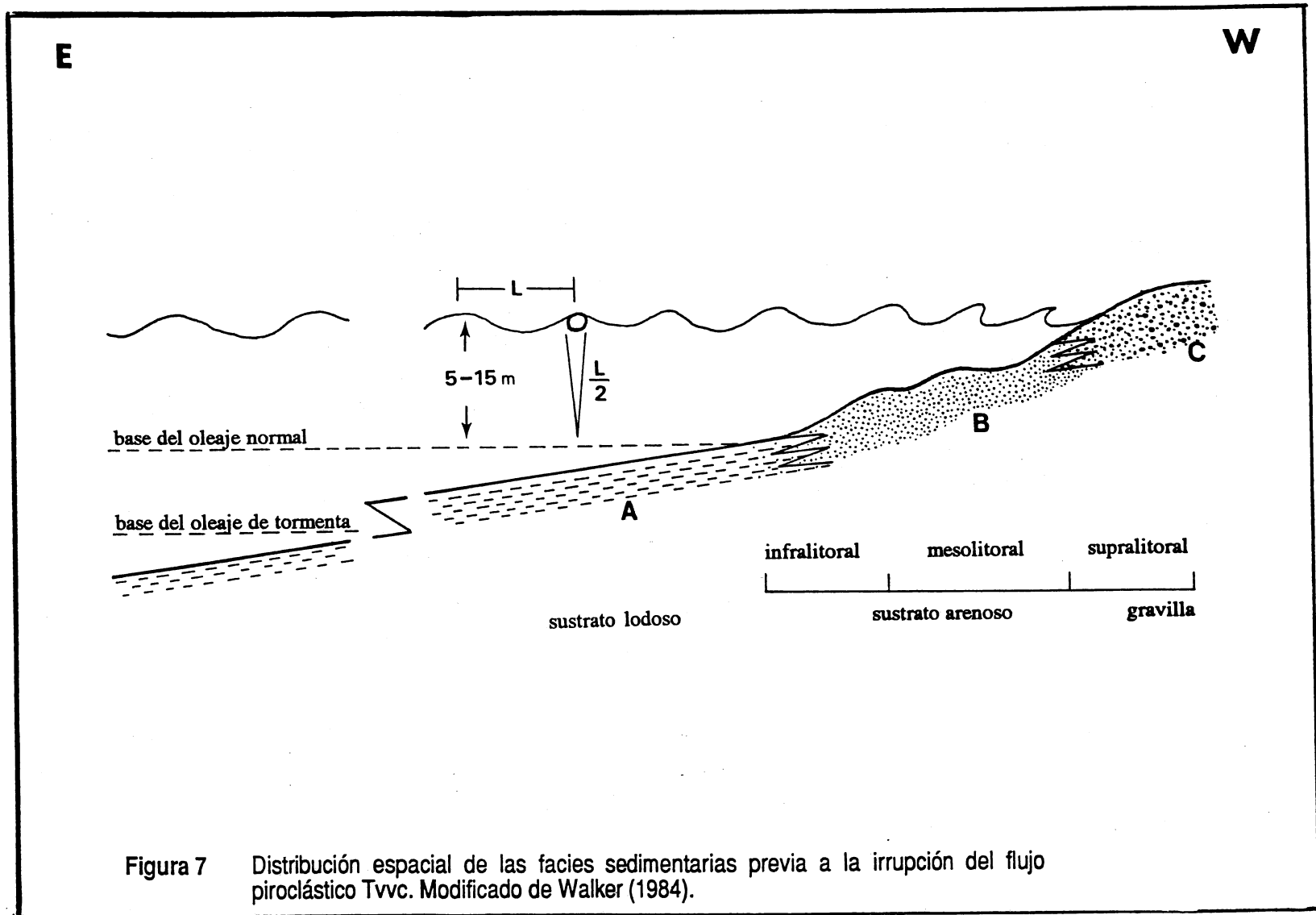


Figura 7 Distribución espacial de las facies sedimentarias previa a la irrupción del flujo piroclástico Tvvc. Modificado de Walker (1984).

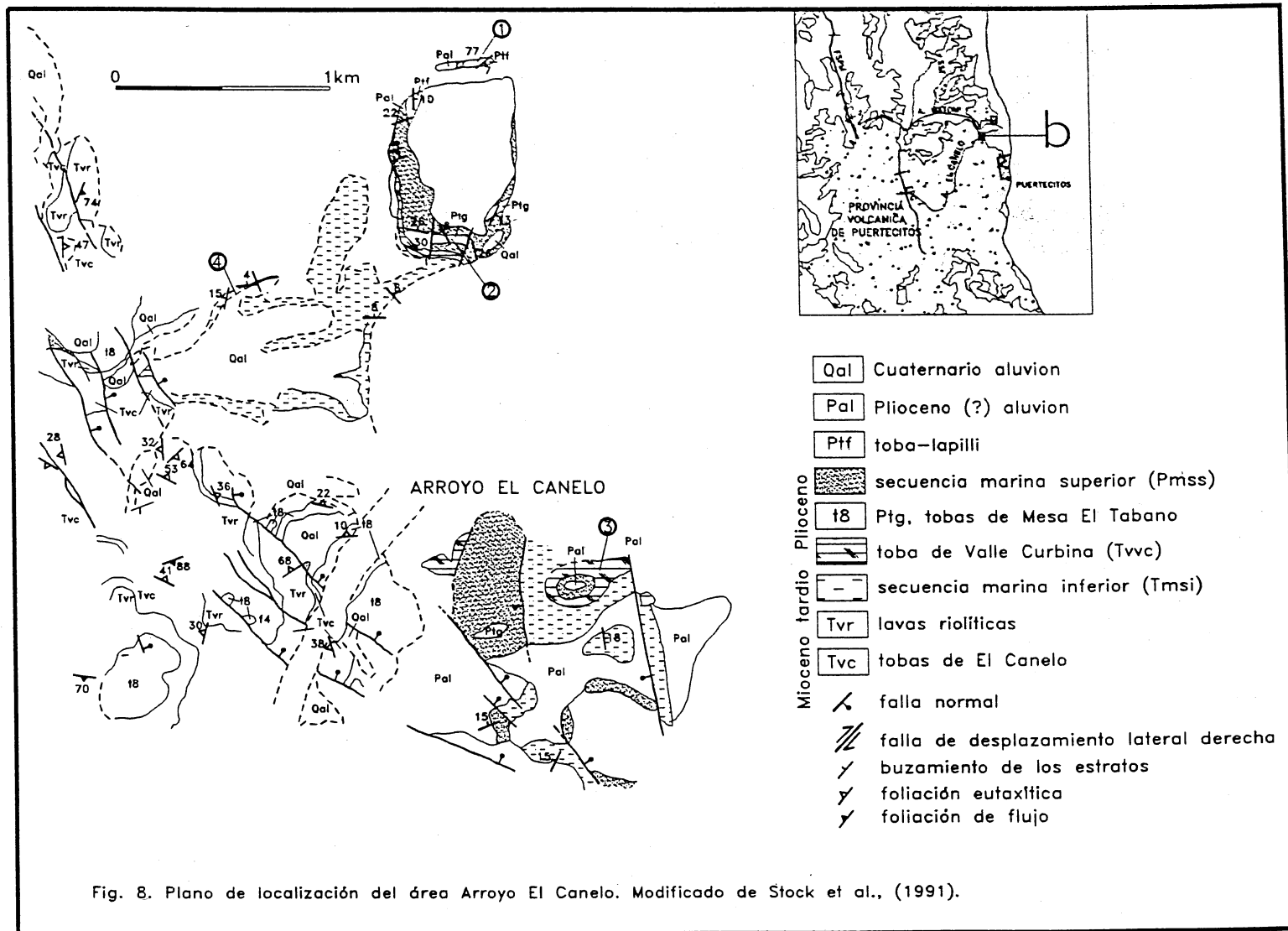
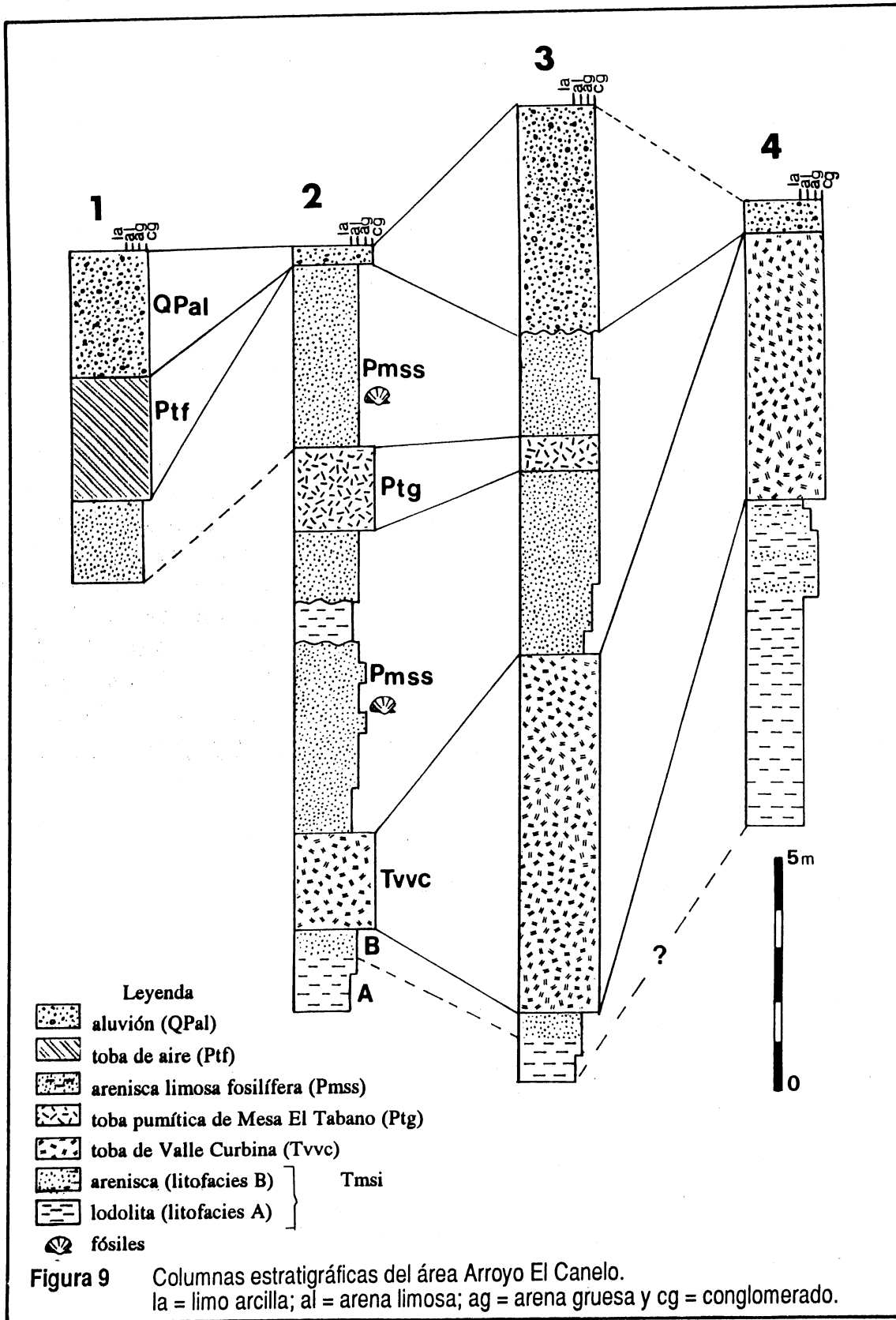


Fig. 8. Plano de localización del área Arroyo El Canelo. Modificado de Stock et al., (1991).



más al norte, al sur de la Sierra de San Fermín.

6.2.1 Tmsi en el Arroyo El Canelo.

En esta localidad la secuencia marina Tmsi está mejor expuesta en una serie de colinas al N-NW de la boca del arroyo. Se compone en la base de un estrato de limo-arcilla de aspecto masivo que presenta bioturbación y moldes de bivalvos, principalmente pectínidos. Este estrato gradúa a una arenisca limosa color café claro que contiene un horizonte de limo-arcilla color verdoso de 90 cm de espesor y de composición bentonítica. Las areniscas a su vez están cubiertas por un conglomerado mal clasificado de 1 m de espesor, posiblemente de origen aluvial, que indican la progradación de la línea de costa. Las facies marinas de alta energía (litofacies C), no afloran en el arroyo El Canelo, lo que sugiere que Tmsi en esta zona, se depositó en un ambiente de playa protegida de la acción del oleaje, posiblemente una bahía.

Sobreyaciendo al estrato de conglomerado aluvial aflora Tvvc. En este sitio Tvvc presenta un espesor de 6 m y estructura masiva. Presenta además textura hialoclástica, con matriz de cenizas, que sostiene a pomez tamaño lapilli y fragmentos líticos. Esta toba se compone de 75% de vidrio ligeramente alterado, 5% de fragmentos líticos y 20% de cristales euhedrales a subeuhedrales de cuarzo, plagioclasa, biotita, minerales opacos y hornblenda en menor cantidad.

Con base en su composición mineralógica y a su posición estratigráfica, Tvvc se correlaciona con la toba pumítica Tvvc de Valle Curbina-Arroyo La Cantera e igualmente marca la frontera entre Tmsi y Pmss en el arroyo El Canelo.

6.2.2 Pmss en el Arroyo El Canelo.

Pmss descansa sobre la toba pumítica Tvvc y esta mejor expuesta hacia el flanco Este de la boca del arroyo El Canelo, en donde tiene un espesor de 10 m. La secuencia se compone de una alternancia de areniscas limosas fosilíferas que varían en cuanto a su contenido de matriz arcillosa.

En la base, Pmss consiste en una arenisca lítica de grano fino con matriz arcillosa y estratificación masiva. Presenta abundante cuarzo y plagioclasa, feldespato, biotita, menor contenido de piroxeno, abundante vidrio volcánico y trazas de minerales opacos (Tabla I). La fauna se compone principalmente de ostreas y turritelas.

Hacia el alto Pmss se compone de una arenisca conglomerática con menor contenido de matriz arcillosa y estratificación masiva, con clastos de 10 a 15 cm. de diámetro. Gradúa a una arenisca de grano medio bien clasificada con estratificación planar y en ocasiones estratificación cruzada de bajo ángulo, y rizaduras poco desarrolladas. Presenta además alta bioturbación y moldes de bivalvos. Hacia arriba la unidad gradúa a un conglomerado fosilífero de matriz arenosa con estratificación masiva y fragmentos retrabajados de ostreas.

Mineralógicamente, los estratos de arenisca se componen de vidrio volcánico, plagioclasa, cuarzo, piroxeno, biotita, hornblenda en menor cantidad y trazas de minerales opacos (Tabla I). La fracción arcillosa, según análisis de difracción de rayos X en dos estratos, uno en la base y otro en el tope de la secuencia, se compone principalmente de esmectita, illita y menor contenido de caolinita (Tabla II). La presencia de caolinita, representa un cambio en la fracción arcillosa con respecto a la base de la secuencia marina y sugiere un cambio en la proveniencia del sedimento.

La asociación faunística encontrada en Pmss se compone de abundantes ostreas retrabajadas, gasterópodos (principalmente turritelas), bivalvos, artrópodos (balanus de pequeño tamaño adheridos a los clastos) y equinodermos (galletas de mar).

En este sitio se encuentra interestratificado un flujo de cenizas denominado Ptg, el cual representa un horizonte estratigráfico de referencia dentro de Pmss. Esta unidad tiene un espesor de 1 m, estructura masiva y partículas tamaño lapilli con matriz de cenizas. Se compone en un 75% de pomez, 20% cristales y menos del 5% de fragmentos líticos. Mineralógicamente presenta abundante plagioclasa y piroxeno. Se observan también trazas de hornblenda y fragmentos pequeños de minerales opacos pero no se observa biotita. Con base en esta asociación mineralógica Ptg puede correlacionarse con alguna de las unidades de tobas soldadas (Tv2) que afloran en la Mesa El Tabano y en Valle Curbina. En este caso, Ptg sería el equivalente submarino de alguna de las tobas soldadas del grupo de 4 ignimbritas que cubren la parte norte de la PVP.

En la colina norte del arroyo El Canelo, en la parte superior de Pmss, se encuentra interestratificado un depósito piroclástico tipo "lluvia de ceniza" o "ash fall" denominado Ptf. Esta toba de 2.5 m de espesor está compuesta de fragmentos tamaño lapilli y muestra estratificación planar. Está compuesta de 75% de pómez y vidrio volcánico, 20% cristales y 5% de fragmentos líticos. Mineralógicamente presenta abundante plagioclasa, feldespato, abundante biotita, piroxeno y en menor cantidad hornblenda y fragmentos de minerales opacos. Ptf no tiene equivalente subaéreo en Valle Curbina, Arroyo La Cantera ni en la Mesa El Tabano, ya que Ptf es una toba de aire que presenta abundante biotita, mineral que no se observa en ninguna de las unidades volcánicas del grupo de tobas soldadas de Tv2.

Cubriendo a Pmss en posición discordante, se localiza un conglomerado aluvial con matriz arenosa que presenta clastos de riolita, rocas graníticas y pómez de hasta 20 cm de espesor. Este estrato denominado QPal (Cuaternario Pleistoceno aluvion), forma parte del abanico aluvial del arroyo Matomí.

6.3 Estratigrafía del área Arroyo Matomí.

Esta localidad se ubica a 20 km al N-NW de Puertecitos, en la parte norte del abanico aluvial del Arroyo Matomí, que también corresponde a la parte sur de la Sierra de San Fermín (Fig. 10). En este sitio, la secuencia marina esta afectada por una serie de fallas normales de orientación N-NE. Los estratos buzan 10 a 20 grados hacia el W debido al basculamiento producido por las fallas normales principalmente orientadas al NE con buzamientos del plano de falla hacia el este.

Los sedimentos descansan sobre lavas riolíticas que forman un domo en la parte norte. Estos flujos de lava posiblemente son contemporáneos a los flujos riolíticos de Valle Curbina y Arroyo La Cantera, sin embargo, no existen fechas radiométricas que lo confirmen.

En el Arroyo Matomí, se levantaron dos secciones estratigráficas en la terrazas marinas que afloran en los bordes del abanico aluvial en su parte norte (Fig. 11). En la base de la secuencia aflora un metro del tope de la secuencia sedimentaria inferior (Tmsi) en este sitio representado por la litofacies A, la cual presenta estructura masiva, con yeso y halita de origen secundario rellenando fracturas. La litofacies A contiene abundante limonita (?) que se infiere que es de origen diagenético por alteración del material volcánico, y da una coloración amarillo ocre a los sedimentos. Un análisis por difracción de rayos X del material arcilloso indica la presencia de esmectita, illita y trazas de caolinítica (Tabla II), además se observaron escasos foraminíferos bentónicos recristalizados, lo

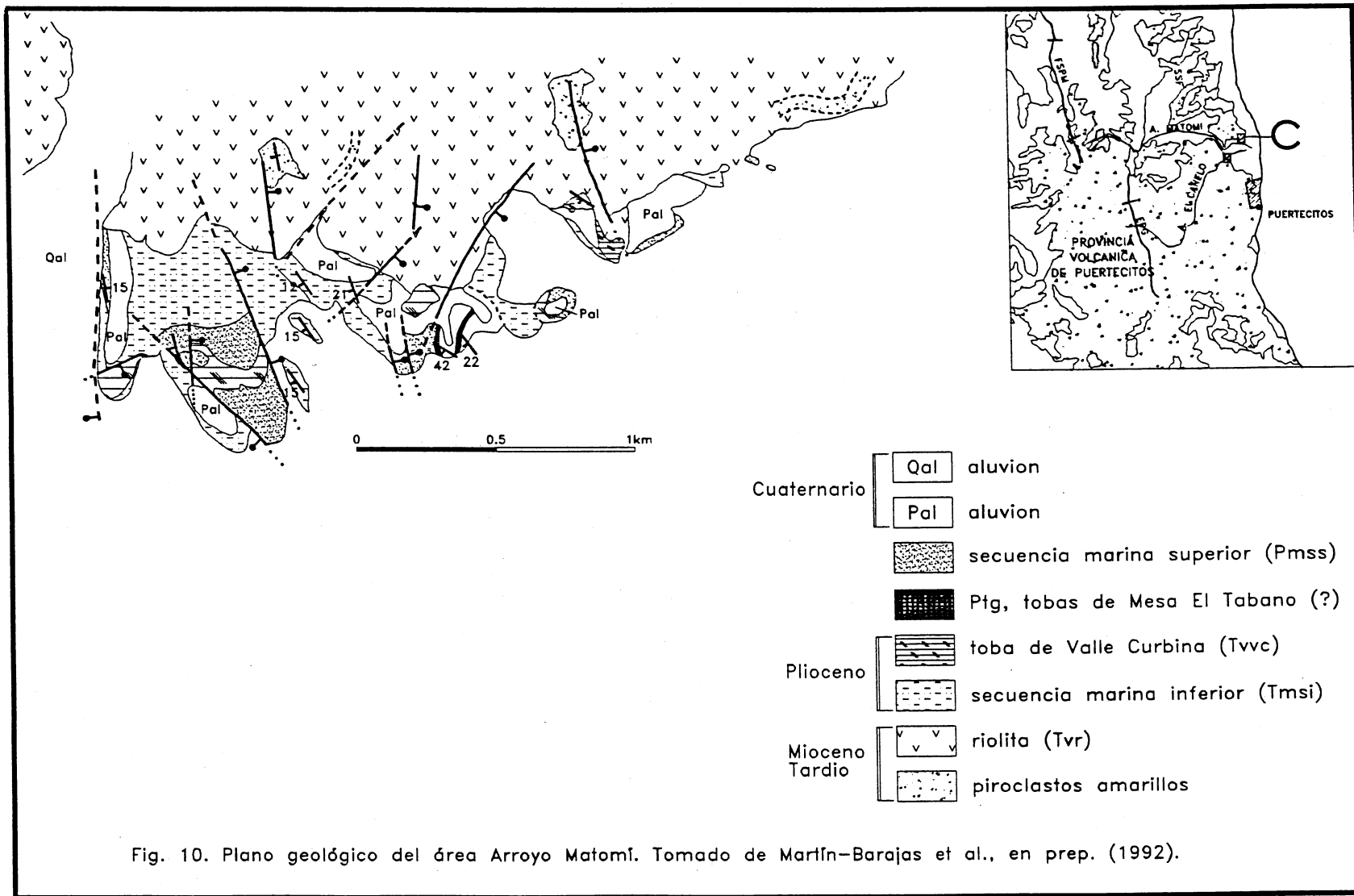


Fig. 10. Plano geológico del área Arroyo Matomí. Tomado de Martín-Barajas et al., en prep. (1992).

que no permitió su identificación.

Sobreyaciendo a Tmsi aflora una toba pumítica de 3 m espesor aproximadamente. Esta unidad se correlaciona con Tvvc del Arroyo El Canelo y presenta estructura masiva y matriz de cenizas. Se compone en un 70 % de pómez y esquirlas de vidrio, 20 % de cristales y 10 % de fragmentos líticos. Mineralógicamente presenta abundante cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita parcialmente alterada. No se observan piroxenos.

En la parte inferior, Tvvc contiene fósiles fragmentados, principalmente gasterópodos y ostras, por lo que se infiere que en este sitio la toba también se depositó en un ambiente marino y parte de los sedimentos subyacentes fueron acarreados durante su emplazamiento y mezclados en la base del flujo.

6.3.1 Pmss en el Arroyo Matomí.

Sobreyaciendo a Tvvc, hacia el flanco norte del arroyo Matomí, aflora una sección completa de Pmss con 12 m de espesor. La secuencia se compone de una alternancia de areniscas limosas con lentes de areniscas y conglomerados que gradúan hacia el alto a un conglomerado con matriz arenosa. Contiene una capa de material piroclástico retrabajado de 1.0 m de espesor, interestratificado en la parte alta de la secuencia. Con base en su composición mineralógica este estrato se correlacionó con la unidad volcánica denominada Ptg en el Arroyo El Canelo.

En la base, Pmss se compone de una alternancia de areniscas limo-arcillosa de 7.0 m de espesor. Contiene principalmente vidrio volcánico alterado, presenta estratificación planar y algo de estratificación cruzada de bajo ángulo. Contiene lentes de material arenoso de 2 cm. de espesor, una capa de arenisca conglomerática compuesta de fragmentos de roca granítica, fragmentos de

riolita, así como de tobas soldadas y una capa de material arcilloso de 30 cm de espesor de composición bentonítica color verdoso que está en contacto con una capa de arenisca lítica de 10 cm de espesor. Mineralógicamente, las areniscas se componen de abundante cuarzo y plagioclasa, feldespato potásico, biotita, hornblenda y piroxeno. Abunda el vidrio volcánico y los fragmentos de conchas (Tabla II). El análisis de la fracción arcillosa por difracción de rayos X, indicó la presencia de esmectita, illita y caolinita como componentes principales (Fig. 12). La presencia de caolinita en las areniscas lodosas de la base y la presencia de fragmentos de rocas graníticas hacia el alto de la secuencia, en tanto en la localidad de El Canelo como en la del Arroyo Matomí, sugieren un cambio en el aporte de sedimentos. Esto sugiere que en este periodo de tiempo se efectúa la incisión del Arroyo Matomí hacia la costa en esta zona.

Hacia la parte superior Pmss presenta alta bioturbación y un horizonte fosilífero con abundantes gasterópodos (principalmente turrítelas), equinodermos y bivalvos (principalmente ostreas) bien conservados. Hacia el tope, esta secuencia gradúa a una arenisca conglomerática de 1.0 m de espesor que presenta abundantes ostreas retrabajadas.

Interestratificada en la porción limo-arenosa de Pmss, la toba lapilli Ptg tiene un espesor de 1 m y presenta en la base estructura masiva y estratificación planar en la parte superior. Contiene material pumítico tamaño lapilli con algo de matriz de cenizas. Se compone de 75% de pomez, 20% de cristales y menos de 5% de fragmentos líticos. Mineralógicamente presenta abundante plagioclasa y dos piroxenos (orto y clinopiroxenos), presenta además trazas de hornblenda. No presenta biotita, por lo que esta unidad ha sido correlacionada con la toba pumítica Ptg que aflora en el Arroyo El Canelo. Por su composición mineralógica y por su posición estratigráfica se piensa que

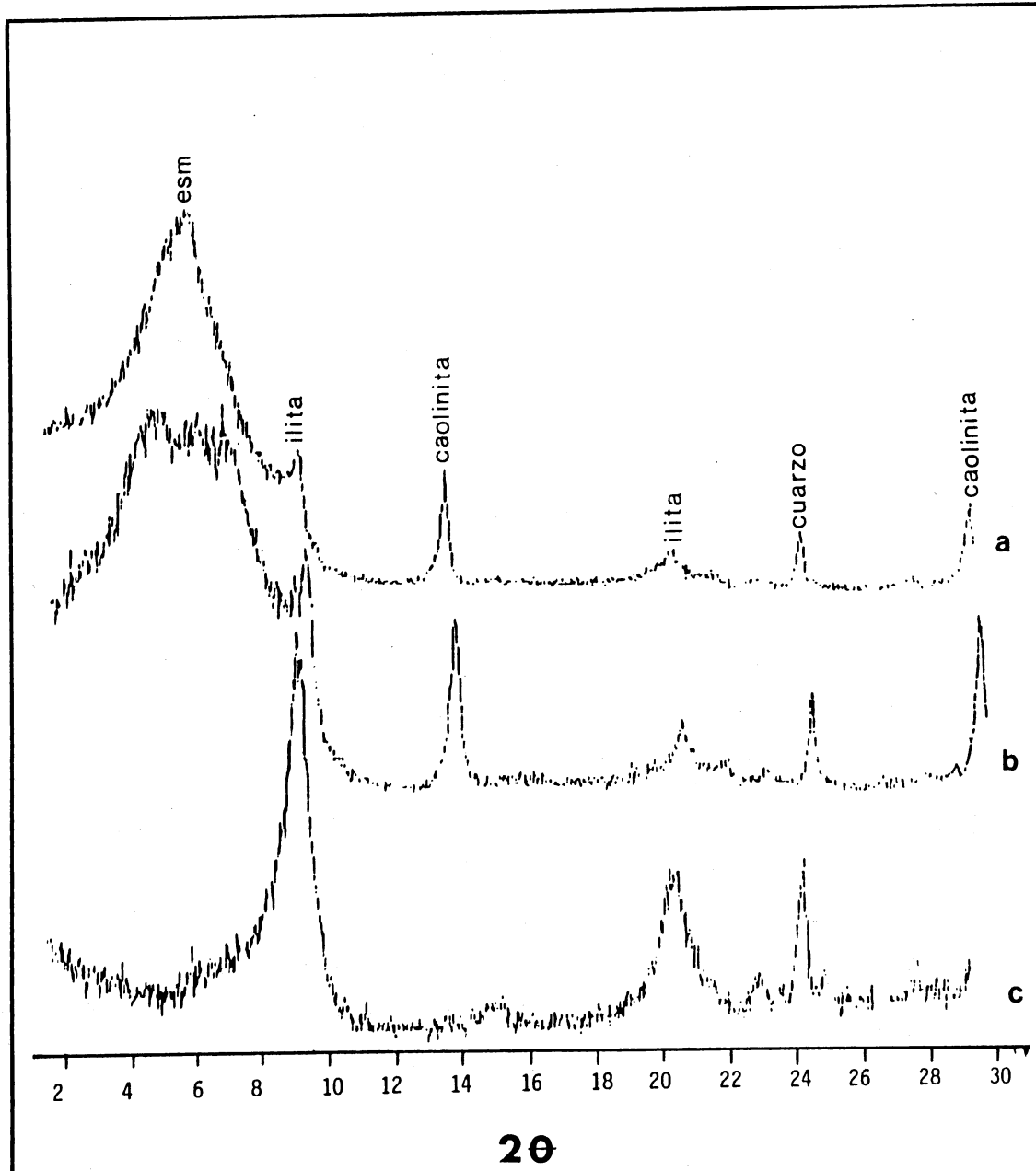


Figura 12 Patrones de difracción de rayos X de la fracción arcillosa de Pmss en el Arroyo Matomí.
 a) Normal, b) Glicol, c) 500°C.

Ptg corresponde a una de las tobas de la Mesa El Tábano. En este caso, Ptg en esta localidad corresponde a la parte distal submarina del flujo de cenizas, cuya fuente debe situarse hacia el sur de Puertecitos.

En la parte sur de la Sierra de San Fermín, Pmss está cubierta en forma discordante por conglomerados del abanico aluvial del arroyo Matomí (QPal). Estos depósitos, se infiere que son del Plioceno tardío (Gastil et al., 1975), sin embargo, Ortlieb (1987) con base en la asociación faunística, asume que las terrazas marinas que afloran al norte de Puertecitos se formaron a principios del Pleistoceno.

6.4 Isótopos de oxígeno y carbón ($\delta^{18}O - \delta^{13}C$).

Los isótopos de oxígeno y carbón contenidos en los carbonatos de origen marino representan una poderosa herramienta para determinar la temperatura a la cual estos carbonatos han sido depositados (e.g. Spaeth et al., 1971; Prasada y Green, 1982; Coplen et al., 1983; Ditchfield y Marshall, 1989; Mack et al., 1991). El análisis de isótopos de oxígeno y carbón ($\delta^{18}O - \delta^{13}C$) se efectuó en un intento por apoyar las conclusiones basadas en la fauna y la sedimentología sobre las condiciones paleoecológicas de la cuenca.

De los especímenes colectados en Valle Curbina, seis de estos se sometieron al análisis de isótopos estables por estar mejor conservados. Los valores isotópicos de oxígeno obtenidos son consistentes con los valores estandar de oxígeno para carbonatos de origen marino de la muestra de referencia del IFUNAM y con los valores reportados por Coplen et al. (1983). De las seis muestras, únicamente dos mostraron valores isotópicos altos con relación al estandar (Tabla IV).

TABLA IV.- Isótopos Estables de oxígeno y carbón ($\delta^{18}O - \delta^{13}C$)

Estación	Localidad	Especimen	$\delta^{18}O$	$\delta^{13}C$	Temperatura°C
1A	Valle Curbina	Ostrea sp.	-4.09	-1.06	29.74°C
1B	Valle Curbina	Pecten sp.	-10.69	-5.03	*
1E	Valle Curbina	Pecten sp.	-5.06	-0.65	34.45°C
1I	Valle Curbina	Pecten sp.	-5.03	-0.40	33.63°C
1L	Valle Curbina	Pecten sp.	-4.26	-3.39	30.55°C
1T	Valle Curbina	Pecten sp.	-10.04	-6.10	*
13-2	A. La Cantera	Balanus sp.	-11.42	-1.63	*
13-3	A. La Cantera	gastropodo	-12.10	-2.09	*
13.4	A. La Cantera	Turritela sp.	-11.68	-2.43	*
30-C	A. El Canelo	Pecten sp.	-9.12	-3.81	*
30-G	A. El Canelo	Encope sp.	-9.50	-4.55	*
30-F	A. El Canelo	Ostrea sp.	-5.92	-1.62	*
32-P	A. El Canelo	Pmss	-9.90	-6.09	*
NBS-20 ⁺	-	caliza	-4.75	-1.12	-

* valores altos de temperatura

+ $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$ de la muestra de referencia del IFUNAM para carbonatos de origen marino.

Pmss = fragmento de coquina.

En Arroyo La Cantera, las tres muestras sometidas al análisis isotópico presentaron valores de $\delta^{18}O$ muy altos con respecto al estandar; sin embargo, los valores de $\delta^{13}C$ son más consistentes (Tabla IV).

En el área Arroyo El Canelo, solamente uno de los especimenes (*Ostrea sp.*) presentó valores isotópicos consistentes con respecto al estandar.

La paleotemperatura isotópica de formación fué calculada de acuerdo a la versión modificada de Craig dada en Erez y Luz (1982):

$$T^{\circ}C = 16.0 - 4.14(\delta^{18}O_c - \delta^{13}C_w) + 0.13(\delta^{18}O_c - \delta^{13}C_w)^2$$

donde T es la temperatura isotópica, $\delta^{18}O_c$ es la composición isotópica de los carbonatos a $25^{\circ}C$ y $\delta^{18}O_w$ es la composición isotópica del agua de mar con respecto a SMOW (Standard Mean Ocean Water).

Asumiendo un valor de -1 % para la composición isotópica estandar del agua de mar con respecto a SMOW (Coplen et al., 1983) los valores obtenidos dan una media de paleotemperatura de formación de $32^{\circ}C$ para las muestras que mostraron valores consistentes con respecto al estandar en Valle Curbina, mientras que la media de paleotemperatura isotópica obtenida en las muestras de A. La Cantera y A. El Canelo es muy alta debido a que el registro isotópico de $\delta^{18}O$ es bajo, esto último posiblemente se deba a que el material carbonatado presentaba recristalización y por consecuencia, las relaciones isotópicas primarias fueron modificadas.

7. INTERPRETACION

7.1 Interpretación de la secuencia de facies.

El conjunto de litofacies A, B y C representa un incremento en la energía del ambiente de depósito relacionado tanto a una variación espacial de las facies sedimentarias como a una variación temporal. En Valle Curbina, la variación lateral de las facies sedimentarias muestra un incremento de energía hacia el W. En esta dirección y sobreyaciendo a las riolitas, se observan depósitos de conglomerados y areniscas de grano grueso. Mientras que hacia el E, unicamente se observan las lodolitas por debajo de Tvvc que representan los depósitos de mayor profundidad (litofacies A). Hacia el Oeste encontramos los depósitos más someros (litofacies C). En Valle Curbina, la rápida variación de las litofacies en dirección E-W, sugieren mayor profundidad de la cuenca hacia el oriente. Este aumento en la profundidad estaría producido por el fallamiento normal y subsidencia de la cuenca hacia el oriente.

En el mismo nivel estratigráfico, en el Arroyo La Cantera, la columna sedimentaria muestra que los conglomerados de la litofacies C sobreyacen a las areniscas lodosas de la litofacies B, indicando una regresión temporal de la línea de costa anterior a la irrupción del flujo piroclástico Tvvc. La irrupción de Tvvc, que en este sitio presenta espesores de hasta 60 m, provocó la regresión instantánea de la línea de costa hacia el E-NE en la zona de Valle Curbina-Arroyo La Cantera. Una nueva transgresión marina ocurrió durante el Plioceno medio o Plioceno tardío, depositando a Pmss en discordancia erosional y angular sobre Tmsi en Valle Curbina. Este depósito implica que tanto Tvvc como Tv2, las dos unidades volcánicas que sobreyacen a Tmsi, fueron erosionadas en la parte central de Valle Curbina antes de esta segunda transgresión. La discordancia angular entre Tmsi y

Pmss contiene fragmentos de la toba pumítica (T_{pv}c).

La asociación faunística en la litofacies B, indica un ambiente somero de aguas cálidas que corresponde a un ambiente de moderada energía en la zona intermareal, caracterizada por sustrato arenoso que gradúa a un ambiente más profundo de baja energía con sustrato lodoso (litofacies A).

Hacia el oeste, en el área que ocupa actualmente el abanico aluvial del Arroyo Matomí, la zona se caracterizaba por una bahía protegida de la acción del oleaje, esto último evidenciado por la ausencia de las facies de alta energía (litofacies C) en el Arroyo El Canelo y en la localidad del Arroyo Matomí al sur de la Sierra de San Fermín.

7.2 Interpretación de la secuencia marina Pmss.

La variación del tamaño de grano del material limo-arcilloso en Pmss hacia la base de la secuencia y los conglomerados con matriz arenosa hacia el tope, sugieren una regresión de la línea de costa. La asociación faunística y la alta bioturbación en la base de la secuencia, indican que Pmss se depositó en un ambiente somero de baja energía que evolucionó a un ambiente de moderada a alta energía en la zona intermareal. En algunos sitios, tanto en Arroyo El Canelo como en Arroyo Matomí, es posible observar en el tope de la secuencia un depósito de areniscas conglomeráticas que representan el paso de la línea de costa hacia el oriente.

La presencia de caolinita como constituyente importante en el tope de la secuencia, sugiere un cambio en la fuente de los sedimentos hacia la cuenca. Además la presencia de material granítico en la parte media de la secuencia superior (Pmss) sugieren que para el Plioceno-medio el Arroyo Matomí parece haber definido su cause actual, acarreado material del basamento granítico y metamórfico a esta zona.

7.3 Condiciones paleoecológicas y evolución de la cuenca.

Con base en las características litológicas de los sedimentos y en la asociación faunística, en Tmsi, la lodolita en la base de la secuencia (litofacies A) se depositó en un medio ambiente profundo con circulación restringida. El aporte de sedimentos volcánoclasticos fue relativamente alto y principalmente de ceniza volcánica y sus productos de alteración: esmectita e illita. Esta alteración puede ocurrir por la circulación de agua meteórica o por circulación hidrotermal que producen la inestabilidad química del vidrio volcánico ácido. De acuerdo con Grechin et al. (1981) en condiciones marinas, los principales factores que producen la alteración del vidrio volcánico son, en orden de importancia, la composición (el vidrio riolítico es más estable), el gradiente geotérmico relacionado a la profundidad y la química de las aguas intersticiales. La alteración por diagénesis generalmente ocurre a profundidades superiores a 500 m (Hein y Scholl, 1978), por lo que en los depósitos marinos de Puertecitos sería más factible pensar en la alteración del vidrio volcánico bajo condiciones subaéreas o por circulación hidrotermal. La presencia de clorita, puede ser producto de la alteración hidrotermal de rocas ígneas básicas (Blatt et al., 1984). No obstante, su presencia en la fracción arcillosa es muy errática y solo en una muestra fue identificada. Con los datos disponibles no fue posible explicar la presencia local de clorita en la litofacies A.

Los foraminíferos bentónicos del género *Bulimina* sp. y *Bolivina* sp. cf. *B. plicata*, sugieren una profundidad mínima de 66 m, no obstante los ejemplares encontrados están reabajados y su rango batimétrico es muy amplio por lo que esta interpretación no es concluyente. No se considera un ambiente batial ya que no se observaron sedimentos pelágicos biogénicos como pueden ser diatomáceas, radiolarios y foraminíferos planctónicos. El desarrollo de bioturbación en algunos niveles, indica variaciones en la razón de sedimentación del material fino, principalmente limos y arcillas.

Los horizontes fosilíferos y la bioturbación se localizan preferentemente hacia el tope de esta litofacies. Esto indicaría tasas de sedimentación relativamente elevadas de sedimentos de origen volcánico.

La litofacies arenosa, (litofacies B), cuenta con abundante fauna que representa condiciones de depósito más someras en comparación con la litofacies A. El conjunto de fósiles consiste en 17 especies: 10 bivalvos, 4 gasterópodos, 1 braquiópodo, 1 equinodermo y 1 artrópodo, los cuales son compatibles con el medio ambiente deposicional indicado por los sedimentos. Estos corresponden a un ambiente somero de aguas cálidas, muy similar a las condiciones actuales de la parte norte del Golfo de California. El análisis de isótopos estables ($\delta^{18}O - \delta^{13}C$) en las conchas de bivalvos indican una media de temperatura de $32^{\circ}C$, sin embargo esta interpretación no es concluyente debido a que el material carbonatado de las conchas presentaba recristalización, por lo que las relaciones isotópicas primarias, tanto del oxígeno como del carbono, fueron modificadas.

Las areniscas de la litofacies B, contienen capas donde son comunes los gasterópodos: *Turritella sp.*, *Oliva spp.* y *Conus spp.*, así como los bivalvos *Chione sp.*, *Ostrea spp.*, *Panopea sp.* y *Dosinia*, (Tellez-Duarte, com. pers., 1992). De estas especies *Panopea sp.* y *Encope sp.*, son buenos indicadores batimétricos debido a que viven de la zona intermareal hasta 20 m y 30 m de profundidad respectivamente, en sustratos limo-arenosos, (Keen y Coan, 1974; McLean, 1978; Goodwin, 1977). Hacia arriba la secuencia gradúa a un conglomerado con matriz arenosa y fósiles re TRABAJADOS (litofacies C). Esta litofacies representa la posición de la línea de costa en el momento de la depositación del flujo piroclástico Tvvc. La asociación faunística *Panopea-Encope-Balanus*, sugieren un ambiente de moderada a alta energía de la zona infralitoral a intermareal, en un ambiente dominado por mareas.

La irrupción del flujo piroclástico ocasionó la modificación de la línea de costa en algunos sitios. En Valle Curbina el depósito de Tvvc ocasionó una progradación instantánea de la línea de costa (Fig. 13). Posteriormente en este sitio el mar debió cubrir nuevamente la parte baja formada por la subsidencia del bloque central (graben). En la parte central del valle se observan los depósitos del Plioceno cubriendo en discordancia angular a Tmsi. Esta discordancia angular y la presencia de fallas que desplazan la secuencia marina más joven (Pmss) indica que las fallas estuvieron activas antes y después de su depositación. En este caso se trataría de fallamiento sintectónico.

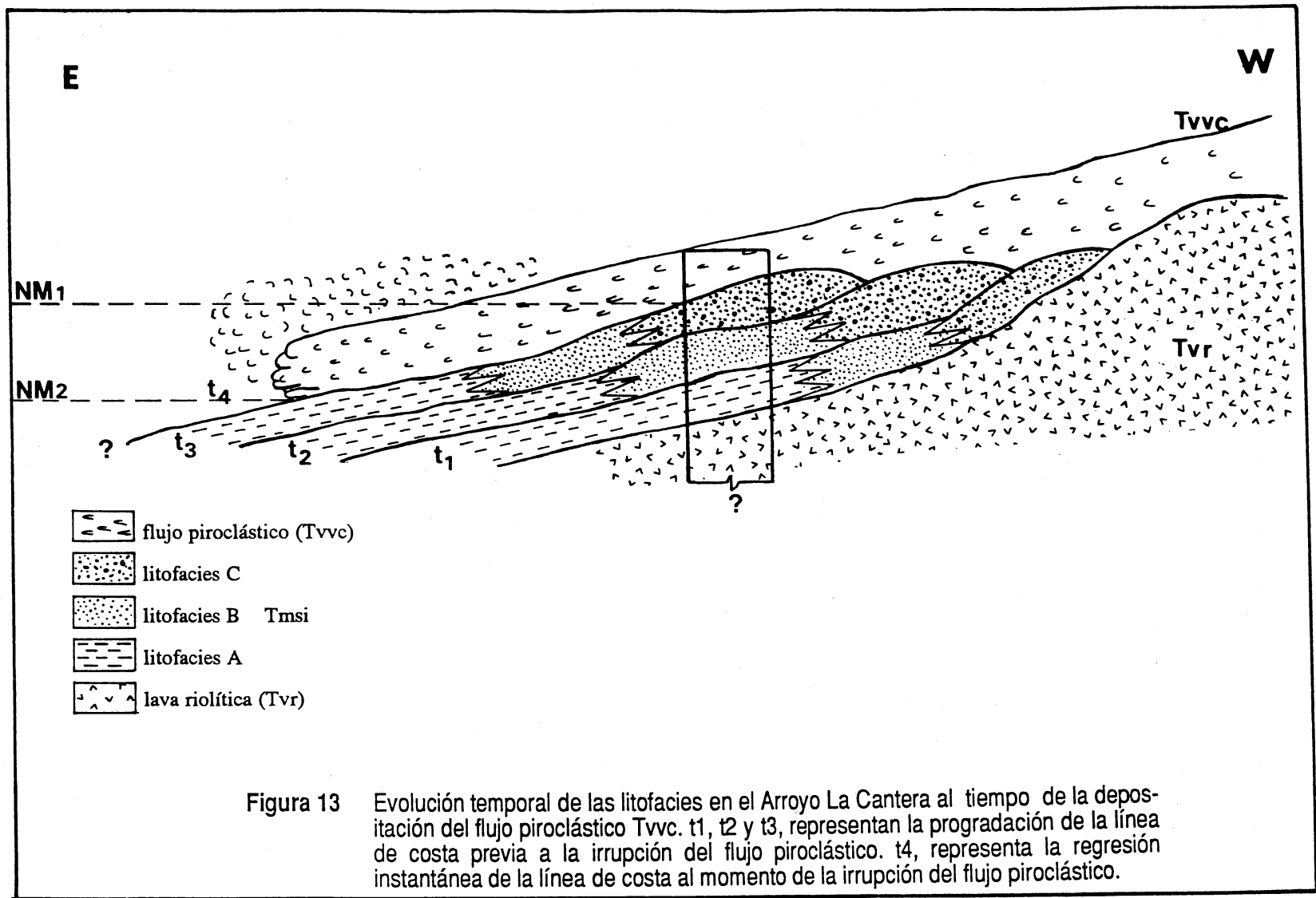
7.4 Correlación estratigráfica de las tres localidades.

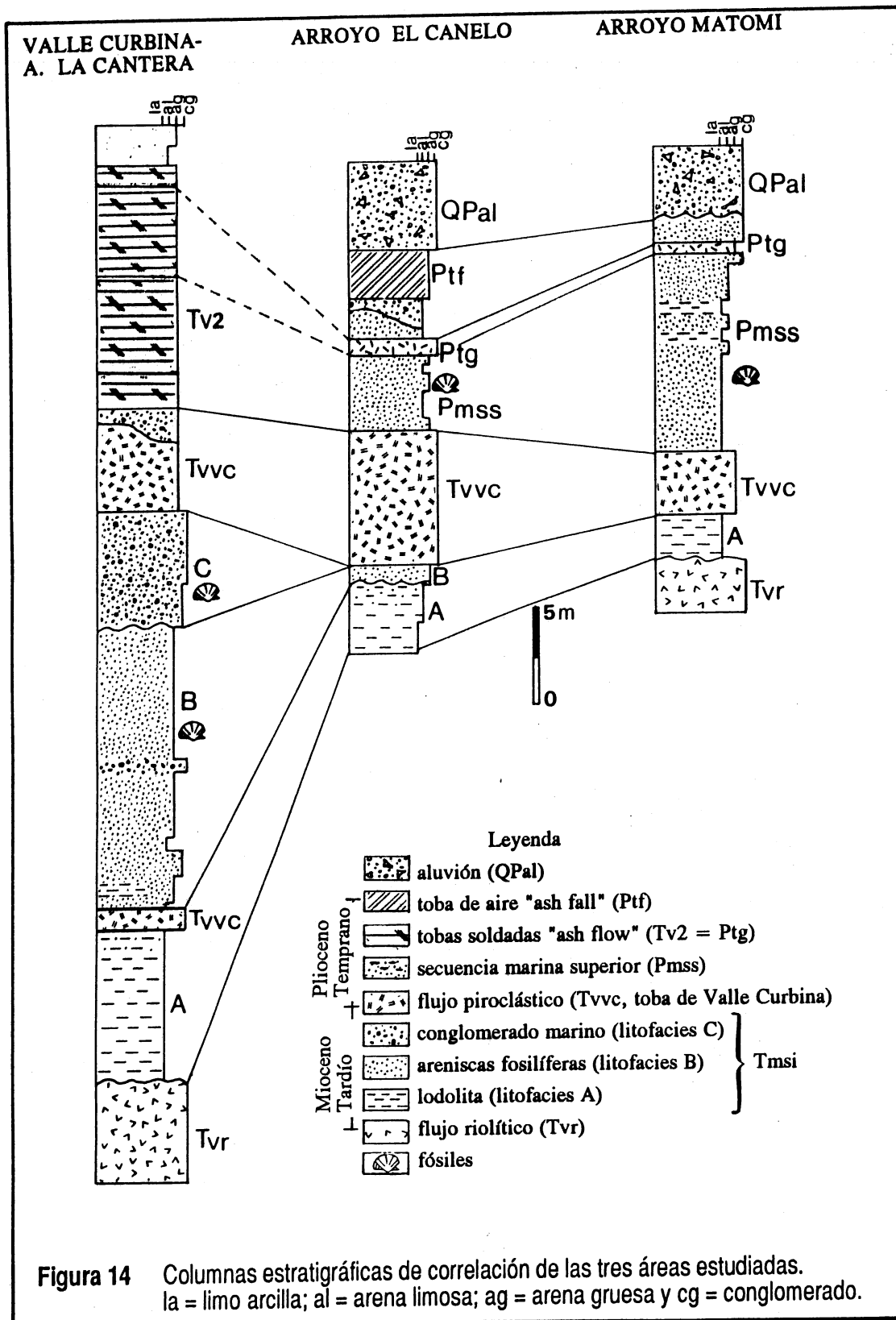
La presencia de unidades volcánicas interestratificadas en los depósitos marinos representan una valiosa herramienta de correlación. La toba pumítica Tvvc se utilizó como horizonte de correlación en las tres localidades estudiadas debido a que ésta unidad está extensamente distribuida en toda el área (Fig. 14). Tvvc se utilizó de manera arbitraria como la frontera entre Tmsi y Pmss. El espesor de Tvvc disminuye hacia el NW del área de estudio, por lo que se infiere que la fuente del flujo estaría situada hacia el sur.

Otras unidades volcánicas, como Ptg y Ptf, aunque no presentan una distribución tan extensa como Tvvc, permitieron efectuar correlaciones estratigráficas a nivel local. Estos horizontes resultan de gran utilidad dado que la secuencia marina, además de las variaciones laterales de facies, se encuentra cortada y basculada por numerosas fallas, principalmente normales.

7.5 Correlación de Puertecitos con otras áreas alrededor del golfo.

La configuración exacta del Mioceno tardío-medio al norte del Golfo de California es aún incierta, debido a que las formaciones sedimentarias del Neógeno ya han sido erosionadas o yacen





bajo paquetes sedimentarios más recientes (Smith, 1991). Con base en las edades radiométricas de las unidades volcánicas (Martín-Barajas et al., 1992 en prep, b), la edad de la secuencia marina de Puertecitos se sitúa entre 6 y 3 Ma. Esta edad indica que la secuencia de Puertecitos puede ser contemporánea a la Formación Llano El Moreno, en el Cañón Las Cuevitas, localizada a 20 km al noroeste de San Felipe (Boehm, 1984). En la secuencia marina de San Felipe, la diatomita fué depositada durante una transgresión del Mioceno tardío en un ambiente marino batial (Boehm, 1984), mientras que en Puertecitos Tmsi representa un ambiente somero en una bahía que define la configuración costera del golfo en esa latitud.

La secuencia marina de Puertecitos, puede ser contemporánea también a la parte inferior de la Formación Imperial. Sin embargo, la edad de esta Formación es aún controversial debido al desacuerdo sobre la interpretación de la frontera Mioceno-Plioceno (Dibblee, 1984). Algunos autores proponen una edad Mioceno medio con base en las asociaciones faunísticas (Woodard, 1974; Dibblee, 1984; Winker y Kidwell, 1986; Smith, 1991). Sin embargo, otros estudios paleontológicos, paleomagnéticos y datos de trazas de fisión, indican una edad Mioceno-Plioceno temprano para la base de la Formación Imperial (Ingle, 1974; Johnson et al., 1983). Cerca de Santa Rosalía, la Formación Boleo contiene sedimentos marinos del Mioceno tardío interestratificados con rocas volcanoclásticas (Wilson, 1948; Carreño, 1981). Sin embargo, solamente la Formación Tirabuzón de edad Plioceno temprano-medio representa depósitos neríticos (Carreño, 1981). La correlación de la PVP con otras áreas al norte del golfo, se indica en la (Fig. 15).

En general, los depósitos marinos de Puertecitos y San Felipe, así como otros depósitos del Mioceno Tardío-Plioceno Temprano, representan una transgresión marina de proporciones regionales que inundaron los márgenes del Golfo en esa época (Fig 16). La distribución espacial y

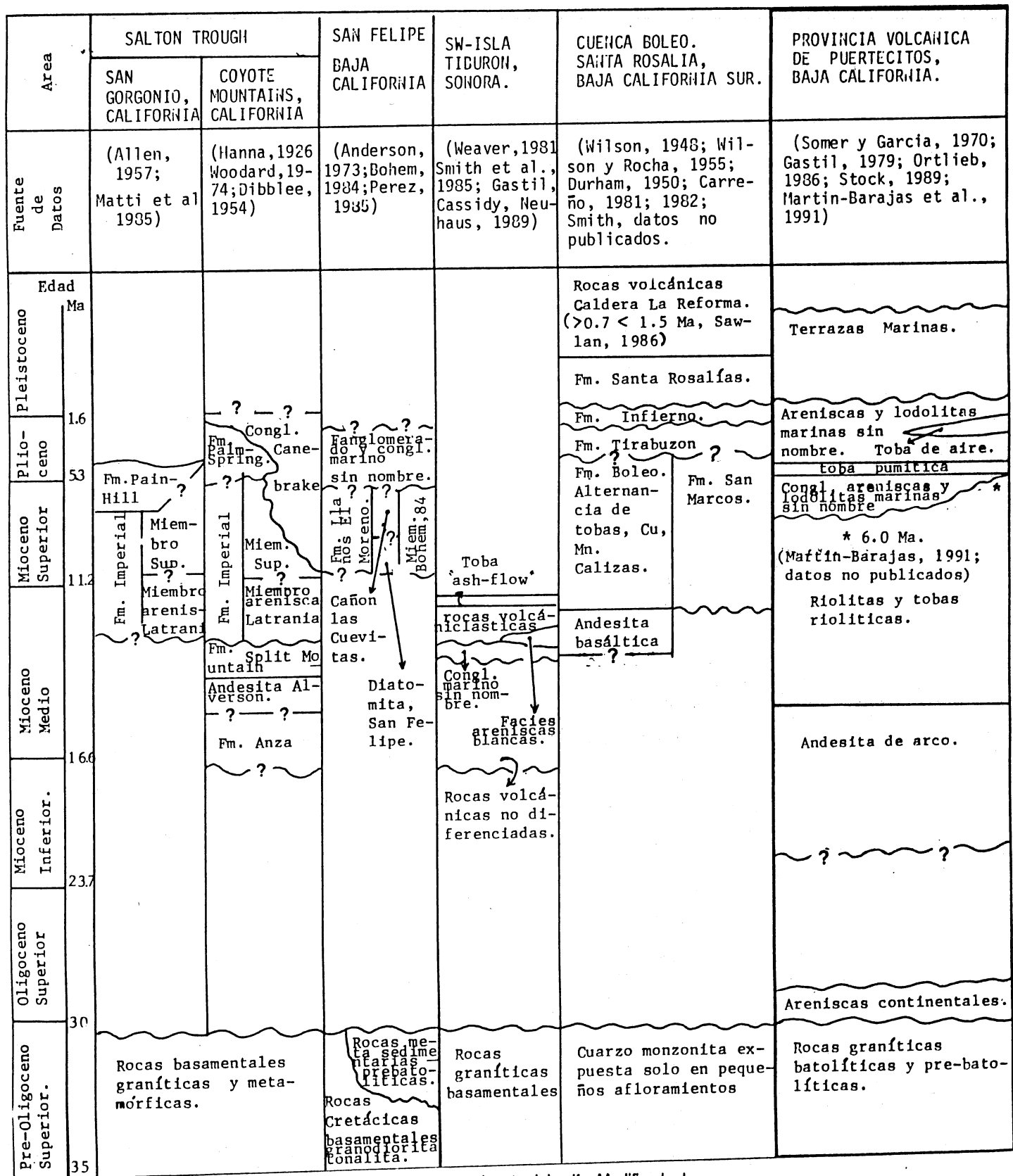


Figura 15 Carta de correlación de Puertecitos con otras áreas al norte del golfo. Modificado de Smith (1991).

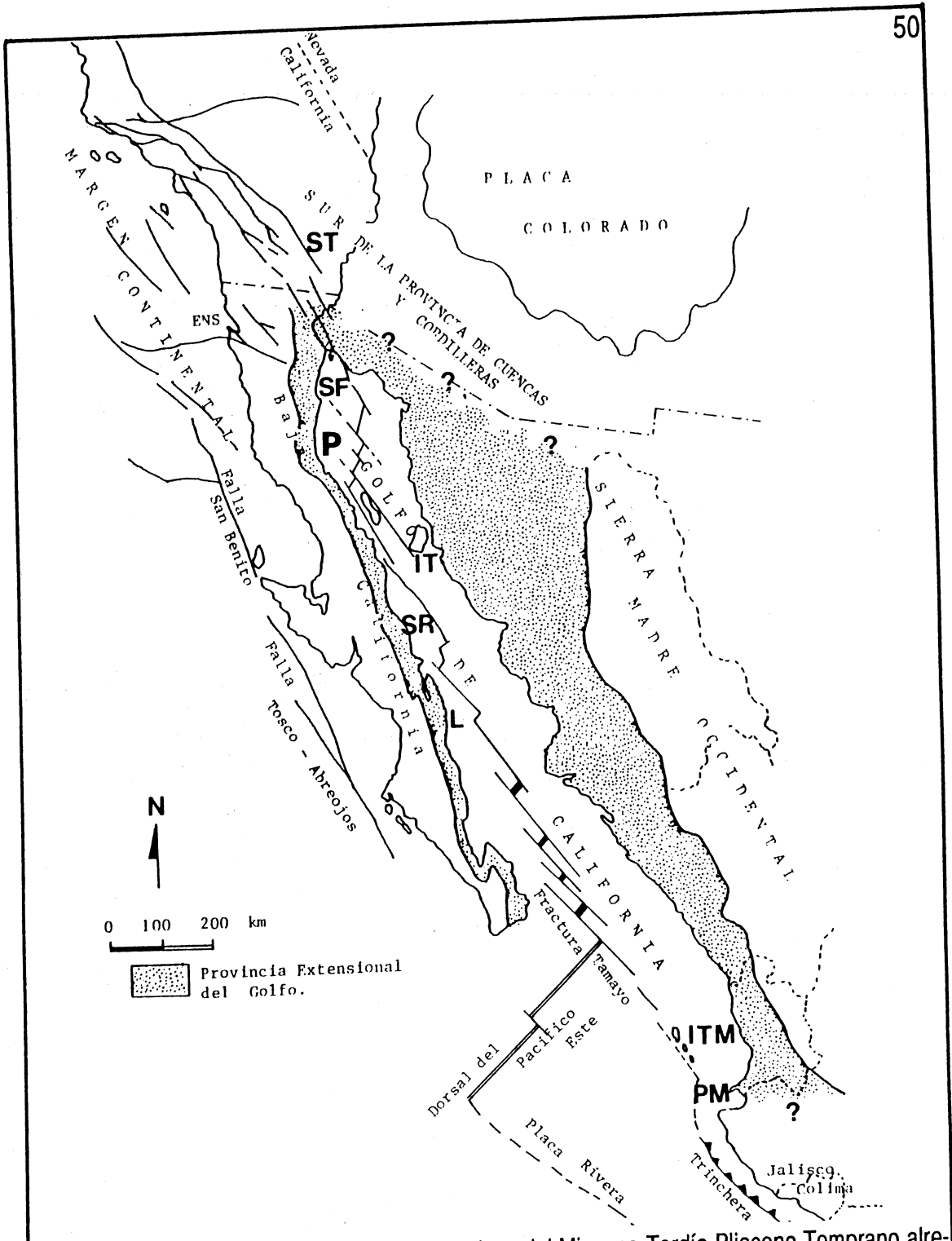


Figura 16 Localización de los depósitos marinos del Mioceno Tardío-Plioceno Temprano alrededor del golfo. Tomado de Stock, (1989). ST, Salton Trough; SF, San Felipe; P, Puertecitos; IT, Isla Tiburón; SR, Santa Rosalía; L, Loreto; ITM, Islas Tres Marias; PM, Punta Mitla.

temporal de los ambientes de depósito esta controlada básicamente por factores locales y regionales. Los movimientos tectónicos y el vulcanismo: las fallas y los depósitos piroclásticos, producen principalmente modificaciones de la línea de costa de tipo local, mientras que los cambios climáticos producen cambios globales del nivel del mar.

En Puertecitos es evidente el papel del fallamiento normal en la producción de pequeñas cuencas orientadas N-S, que modelaron la línea de costa durante el Mioceno tardío-Plioceno. Los movimientos de transgresión y de regresión que ocasionaron la depositación de los sedimentos marinos y la subsecuente progradación de la línea de costa pueden estar relacionados a cambios eustáticos en el nivel del mar con implicaciones regionales.

8. CONCLUSIONES.

Con base en las correlaciones estratigráficas en las tres localidades estudiadas y con base en las edades radiométricas de las unidades volcánicas (Martin-Barajas et al., en prep.), se concluye lo siguiente:

- 1) En Tmsi se definen tres litofacies (A, B y C) que representan un incremento en la energía del ambiente de depósito, relacionado tanto a una variación lateral de las facies sedimentarias como a una variación temporal. La variación lateral está relacionada a un incremento en la profundidad del depósito hacia el Este.
- 2) La litofacies A, representa un ambiente profundo de baja energía de plataforma lodosas con circulación restringida.
- 3) La asociación faunística y la composición del sedimento de la litofacies B, indica un ambiente somero de aguas cálidas de moderada a alta energía en la zona sublitoral a intermareal, muy similar a las condiciones actuales de la parte norte del Golfo de California.
- 4) La litofacies C, representa una línea de costa expuesta a la acción del oleaje que se acuña contra el domo riolítico, el cual debió constituir una barrera topográfica que delimitaba la cuenca hacia el W en esa zona.
- 5) Los sedimentos que rellenaron la cuenca son de origen epiclástico y piroclástico que provienen de la alteración y/o erosión de las rocas volcánicas de la PVP. Algunas unidades piroclásticas fueron depositadas en un ambiente marino.

- 6) La presencia de rocas graníticas y de caolinita en Pms indican que para el Plioceno medio ocurre un cambio en la fuente del material sedimentario hacia la cuenca. Esto sugiere la erosión de las rocas volcánicas y la subsecuente denudación del basamento granítico en esa latitud, posiblemente como producto del levantamiento acelerado de la Sierra de San Pedro Martir. También indica que el Arroyo Matomí empieza a drenar hacia el golfo en su posición actual
- 7) Tmsi representa una secuencia regresiva; localmente la irrupción de Tvvc, provocó la progradación instantánea de la línea de costa en Valle Curbina.
- 8) El fallamiento normal que afecta a la secuencia sedimentaria y volcánica es sintectónico. Localmente, la deformación por extensión de los sedimentos más jóvenes, sugieren que la actividad tectónica fue importante durante el Plio-Pleistoceno.
- 9) Tmsi representa la línea de costa del Mioceno Tardío-Plioceno Temprano y sería contemporánea y el equivalente somero de la Formación Llano El Moreno, en el Cañón Las Cuevitas, localizada al noroeste de San Felipe, B.C. Esta última representa un ambiente profundo.
- 10) Los depósitos marinos de Puertecitos representan una cuenca asociada al desarrollo temprano del rift que originó al Golfo de California. El estudio de sus características sedimentológicas y paleoecológicas contribuye a la comprensión de la formación del golfo.

9. LITERATURA CITADA.

- Blatt, H., Middleton, G. y Murray, R., 1975. *Origin of Sedimentary Rocks*, Prentice-Hall, Inc., 634 p.
- Boehm, M.C., 1982. Biostratigraphy, lithostratigraphy and paleoenvironmental of the Miocene-Pliocene sequence Baja California, Mexico. MS Thesis, Stanford University.
- Boehm, M.C., 1984. An overview of the lithostratigraphy, biostratigraphy and paleoenvironments of the late Neogene San Felipe sequence, Baja California, Mexico. In: Frizzell, V. A. Jr., (Ed.), *Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section SEPM*, v. 39, p. 253-265.
- Carreño, A.L., 1981. Ostracodos y foraminíferos planctónicos de la Loma del Tirabuzón, Santa Rosalía, Baja California Sur, e implicaciones bioestratigráficas y paleoecológicas. *Univ. Nal. Auton. Mexico, Inst. de Geología revista*, v. 5, no. 1, 1981, p. 55-64.
- Coplen, T.B., Kendall, C. y Hopple, J., 1983. Comparison of stable isotope reference samples, *Nature*, v. 302, no. 5905, p. 236-238.
- Curray, J.R. y D.G. Moore, 1984. Geologic history of the mouth of the Gulf of California. In: Crouch, J.K., y S.B. Bachman, (Eds.), *Tectonic and Sedimentation Along the California Margin*, Pacific Section, SEMP., v. 38, p. 17-36.
- Dean, M.A., 1988. Genesis, mineralogy and stratigraphy of the Neogene Fish Creek Gypsum, southwestern Salton Trough, California. MS thesis San Diego State University, 150 p.
- Dibblee, W. T., 1984. Stratigraphy and tectonics of the San Felipe Hills, Borrego Badlands, Superstition Hills, and vicinity. In: Rigby, C. A., (Ed.), *The Imperial Basin-Tectonics, sedimentation and thermal aspect*, Pacific Section SEPM, v. 40, p. 31-44.

- Ditchfield, P. y Marshall, J.D., 1989. Isotopic variation in rhythmically bedded chalks: Paleotemperature variation in the Upper Cretaceous. *Geology*, v. 17, p. 842-845.
- Dokka, R.K. y R. H. Merriam, 1982. Late Cenozoic extension of northeastern Baja California, Mexico, *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 93, p. 371-378.
- Erez, J y Luz, B., 1982. Temperature control of oxygen-isotope fractionation of cultured planktonic foraminifera, *Nature*, v. 297, p. 220-222.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's (Eds.), 170 p.
- Gastil, R.G., Krummenacher, D. y Minch, J., 1979. The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Part I, v. 90, p. 839-857.
- Gastil, R.G., Allison, E.C. y Phillips, R.P., 1968. Geological evidence relating to the origin of the northern of Gulf of California. In: *Pan-American Symposium of the Upper Mantle Proceedings* (Eds.), p. 1-6.
- Gastil, R.G., R.P. Phillips y E.C. Allison, 1975. Reconnaissance geology of the State of Baja California, *Geol. Soc. Am. Mem.* 140, 170 p.
- Gómez, M., 1971. Sobre la presencia de estratos marinos del Mioceno en el estado de Sonora, México, *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, v. III, no. 4, p. 77-78.
- Goodwin, L., 1977. The effects of season on visual and photographic assesement of subtidal geoduck clan (*Panope generosa* Gould) populations. *Veliger* 20: p. 155-158.

- Grechin, V.I., Niem, A.R., Mahood, R.O., Alexandrova, V.A. y Sakharov, B.A., 1981. Neogene tuffs, ashes and volcanic breccias from offshore California and Baja California, Deep Sea Drilling Project Leg. 63: sedimentation and diagenesis. In: Yeat, R.S., Haeq, B.V. et al., *Init. Repts. D.S.D.P.*, 63 Washington (US Govt. Print Off) p. 631-657.
- Hausback, B.P., 1984. Cenozoic volcanism and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico. In: V. Frizzel, Jr. (Ed.), *Geology of the Baja California Peninsula*, Pacific Section, SEPM, v. 39, p. 219-236.
- Hein, J.R. y Scholl, D.W., 1978. Diagenesis and distribution of late Cenozoic volcanic sediment in the southern Bering Sea, *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 89, p. 197-210.
- Henry, C., 1989. Late Cenozoic Basin and Range structure in Western Mexico adjacent to the Gulf of California, *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 101, p. 1147-1156.
- Ingle, J.C., 1974. Paleobathymetric history of Neogene marine sediments, northern Gulf of California. In: *Geology of Peninsular California*, Pacific section AAPG, SEPM and SEG, p. 121-138.
- Johnson, N.M., Officer, C.W., Opdyke, N.D., Woodard, G.d., Zeittler, P.K. y Lindsay, E.H., 1983. Rates of the late Cenozoic tectonism in the Vallecitos-Fish Creek Basin, Western Imperial Valley California, *Geology*, v. 11, p. 664-667.
- Keen, A. M. and Coan, E., 1974. *Marine mollusca genera of western North America*, Stanford University Press, 161 p.
- Karig, D.E. y Jensky, W., 1972. The Proto-Gulf of California, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 17, p. 169-174.

- Larson, R.L. y Menard, H.W. y Smith, S.M., 1968. Gulf of California: A result of ocean-floor spreading and transform faulting, *Science*, v. 161, p. 781-783.
- Lonsdale, P., 1989. Geology and tectonic history of the Gulf of California. In: Wintered, D.M. Hussong y R.W. Decker (Eds.), *The Geology of North America*, v. N., The Eastern Pacific Ocean and Hawaii, Geol. Soc. Am. Boulder, p. 499-522.
- Mack, H.G., Cole, R.D., Giordano, T.H., Schaal, W. y Bercelos, J., 1991. Paleoclimatic controls on stable oxygen and carbon isotopes in caliche of the Abo Formation (Permian), south-central New Mexico, USA., *Jour. Sed. Petrol.* v. 61, no. 4, p. 458-472.
- Mammericks, J. y Klitgord, K.D, 1982. Northern East Pacific Rise: Evolution from 25 m.y. B.P. to the Present, *Jour. Geophys. Res.*, v. 87, p. 6751-6759.
- Martín-Barajas A., Rendón-Márquez, G., López-Martinez, M., 1991. A Neogene marine sequence in the Puertecitos Volcanic Province, Baja California; new evidence of early basin stage in the northern Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Abstract Proceedings*, p. 196.
- McCloy, C., Ingle, J.C. Jr. y Barron, J.A., 1988. Neogene stratigraphy, foraminifera, diatoms and depositional history of the Maria Madre Islands, Mexico; evidence of the early Neogene marine conditions in the southern Gulf of California, *Marine Micropal.* v. 13, no. 3, p. 193-212.
- McLean, JH., 1977. Marine shells of southern California. *Natural History Museum of Los Angeles County*, science serie 24, revised edition, 90 p.
- Natlan, M.L., 1950. Report on the Pliocene and Pleistocene Foraminifera, Part IV. In: 1940 E.W. Scripps Cruise to the Gulf of California, *Geol. Soc. Am. Mem.* 43., p. 1-52.

- Ortlieb, L., 1987. Néotectonique et variations du niveau marin au Quaternaire dans la region du Golfe de Californie, Mexique. These d'Etat, Univ. Marseille II, 779 p.
- Prasada, R.C. y Green, D.C., 1982. Oxygen and carbon isotopes of Early Permian cold-water carbonates, Tasmania, Australia, *Jour. Sed. Petrol.*, v. 52, no. 4, p. 1111-1125.
- Schmidt, E.K., 1977. Structural evolution of the Santa Rosalía Area, Baja California, Mexico. *Geol. Soc. Am. Abstract with Programs*, p. 1160.
- Smith, J. T., Smith, J. G., Ingle, J. G., Gastil, R. G., Boehm, C. M., Roldán, J. Q. y Casey, R. E., 1985. Fossil and K-Ar age constraints on upper middle Miocene conglomerate, SW Isla Tiburón, Gulf of California, *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*, 17, p. 409.
- Smith, J.T., 1991. Cenozoic marine mollusks and paleogeography of the Gulf of California. In: Dauphin, J.P. y Simoneit, B.R. (Eds.), *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. AAPG, mem. 47, p. 637-666.
- Sommer, M. A. y García, J., 1970. Potassium-argon dates for Pliocene rhyolites sequences east of Puertecitos, Baja California, *Geol. Soc. Am. Abstracts proceedings*, v. 2, no. 2, p. 146.
- Spaeth, C., Hoefs, J. y Vetter, U., 1971. Some aspects of isotopic composition of belemnites and related paleotemperatures, *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 82, p. 3139-3150.
- Stock, J.M y Hodges, K.V., 1989. Pre-Pliocene extension around the Gulf of California and transfer of Baja California to the Pacific Plate. *Tectonics*. v. 8, no. 1, p. 99-115.
- Stock, J.M y K.V. Hodges, 1990. Miocene to Recent structural development of an extensional accommodation zone, NE Baja California, Mexico, *Jour. Struct. Geol.*, v. 12, 3, p. 315-328.

- Stock, J.M., Martín-Barajas, A., Suarez-Vidal, F. y Miller, M. 1991. Miocene to Holocene extensional tectonics and volcanic stratigraphy of NE Baja California, Mexico. In: Walawender y Hanan (Eds.), *Geological excursions in southern California and Mexico*. Annual meeting Geol. Soc. Am. San Diego, California, p. 44-67.
- Walker, G. R., 1984. Shelf and shallow marine sands. In: Roger G. Walker (Ed.), *Facies Models*, Geoscience Canada Reprint Ser. 1., p. 141-170.
- Wilson, I.F., 1948. Buried topography, initial structures and sedimentation in Santa Rosalía Area, Baja California, Mexico, *AAPG Bull.*, v. 32, no. 9, p. 1762-1807.
- Winker, C.D. y Kidwell, S.M., 1986. Southeasterly paleocurrent in Pliocene Colorado delta-plain sequence, Fish Creek-Vallecitos section, southern California, *Geology*, v. 14, no. 9, p. 788-791.
- Woodard, G.D., 1974. Redefinition of Cenozoic stratigraphic column in Split Mountain Gorge, Imperial Valley, California, *AAPG Bull.*, v. 58, p. 521-539.