

DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA ZONA EL PALADAR Y LITOLÓGICA DE LA ISLA ANGEL DE LA GUARDA, GOLFO DE CALIFORNIA

Escalona-Alcázar, F.J. y Delgado-Argote, L.A.

Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Km 107 Carr. Tijuana-Ensenada, Ensenada 22830, B.C.

E-mail: escalona@cicese.mx

ldelgado@cicese.mx

RESUMEN

Se presenta una síntesis de la fotointerpretación litológica de la Isla Angel de la Guarda a escala 1:75 000 apoyada con una prospección a lo largo de la costa occidental y la cartografía a detalle de la zona El Paladar a escala 1: 30 000.

La litología interpretada en la isla es similar a la descrita entre San Luis Gonzaga y Bahía de Los Angeles. Incluye un basamento metamórfico Paleozoico y granítico Cretácico cubierto por una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias del Mioceno-Plioceno principalmente. La evolución de la isla ha seguido el patrón de evolución del Golfo de California después del Plioceno entre las inactivas Cuenca Tiburón y zona de fracturamiento Tiburón hasta las activas zona de fallamiento Ballenas y Cuenca Delfín.

En la zona El Paladar se describe una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias interestratificadas de probable edad Mioceno Medio a Tardío. En la mayor parte de la secuencia de esta zona la actividad volcánica ocurrió en un ambiente marino somero que formaría parte del proto-Golfo de California.

INTRODUCCIÓN

Asociadas a la subducción de la placa Farallón por debajo de la placa Norteamérica, durante el Oligoceno-Mioceno se formaron dos cinturones magmáticos paralelos en la margen occidental de México (Sawlan, 1991). El más antiguo lo constituyen las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental, de 34 a 27 Ma (McDowell y Keiser, 1977), mientras que el más joven, de 24 a 11 Ma, aflora en la margen oriental de la península de Baja California (Sawlan, 1991).

El cese de la subducción (12.5 Ma) fue seguido por un proceso de extensión (Angelier *et al.*, 1981; Dokka y Merriam, 1982), que formó cuencas marginales en algunas porciones del actual golfo. La presencia de fauna marina en capas sedimentarias interestratificadas con depósitos de material volcánico indica que en estas cuencas incursionaron aguas de afinidad caribeña (Smith, 1991). Actualmente, la actividad volcánica se relaciona con la transición de rift continental a oceánico y con las cuencas extensionales del sistema transtensivo del Golfo de California (Sawlan, 1991). Además, son importantes las manifestaciones de actividad magmática a lo largo de las extensiones de las zonas de fractura en el Golfo, como la documentada frente a la costa de Santa Rosalía (Fabriol *et al.*, 1998) y de San Luis Gonzaga (Lonsdale, 1989). En la costa oriental de la Península, así como en algunas islas del Golfo de California, la actividad volcánica se ha desarrollado principalmente sobre un basamento granítico del Cretácico (Sawlan, 1991). El periodo extensional, correspondiente a la deformación del *Basin and Range*, fue seguido en el Plioceno por el desarrollo del sistema transforme San Andrés-Golfo de California.

Los estudios geológicos a detalle en las islas del Golfo de California son escasos y sólo destacan los efectuados en Isla Tortuga (Batiza, 1978) e Isla San Esteban (Desonie, 1992). Para la Isla Ángel de la Guarda, el único mapa geológico es el publicado por Gastil *et al.* (1975) a escala 1:250,000. En éste se cartografiaron nueve unidades litológicas, donde el basamento está formado por rocas metamórficas del Paleozoico y granitoides del Cretácico, el cual está cubierto principalmente por rocas volcánicas del Mioceno y Plioceno. Posteriormente, Delgado-Argote *et al.* (1995) hicieron un reconocimiento geológico a lo largo de la costa occidental de la isla, así como un estudio fotogeológico de la isla toda. Se reconocieron domos extrusivos y tobas de composición dacítico-latítica, derrames andesíticos y depósitos fluviales en la parte central y sur de la isla. En la parte norte son dominantes los derrames de composición andesítica y lahares, tobas y depósitos fluviales.

Con base en la interpretación de fotografías aéreas escala 1:75 000 y verificación de campo, en este trabajo se propone una estratigrafía de la Isla Ángel de la Guarda y se presentan los resultados de la cartografía a detalle de la zona El Paladar, localizada en la costa suroccidental de la isla (Figura 1).

RASGOS GEOLÓGICOS Y UNIDADES LITOLÓGICAS DE ISLA ANGEL DE LA GUARDA

La isla se caracteriza por la tendencia lineal que presenta la mayor parte de sus márgenes (Figuras 2 y 3). La costa occidental, así como la oriental entre Ensenada Tepetates y Punta El Pulpito son casi rectas, similares a la costa peninsular entre la bahía San

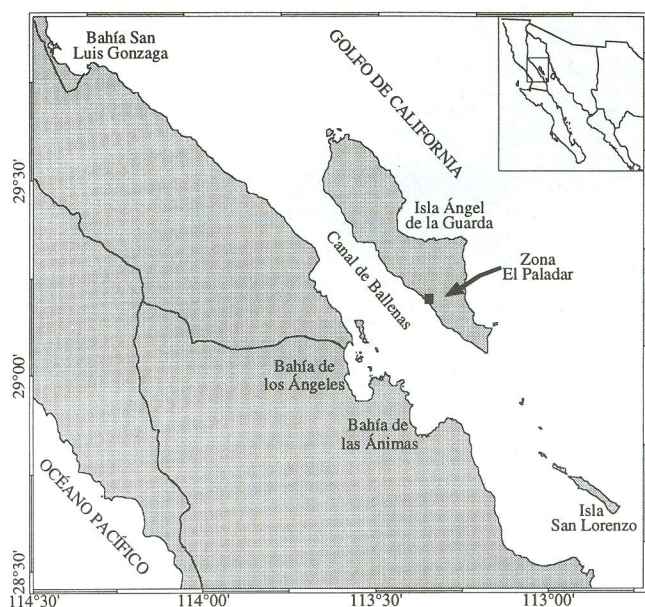


Figura 1. Mapa de localización de la Isla Ángel de la Guarda y de la Zona El Paladar. La línea continua en la península muestra la carretera transpeninsular y desviación a Bahía de los Angeles.

Luis Gonzaga y Bahía de los Angeles, cuya orientación es N40°W, paralelas a la zona de falla transforme Ballenas (Figura 2). La costa suroriental, entre Punta del Diablo y Punta Las Cruces, tiene una marcada orientación N-S, paralela a la tendencia estructural de las zonas de subsidencia de corteza continental en márgenes de rift de la Cuenca Tiburón, actualmente inactiva (Figura 2). En la parte central de la isla, hacia el poniente de Punta del Diablo, la costa, orientada E-W, también es notablemente rectilínea, lo que sugiere una asociación tectónica. Entre Punta Los Machos y Punta del Diablo, la isla está separada en dos grandes bloques con características litológicas y estructurales distintas. En el bloque septentrional los lineamientos estructurales fotointerpretados muestran tendencias ortogonales con orientaciones hacia el NE y NW, mientras que en el bloque meridional las tendencias se orientan hacia N-S y NNE (Escalona-Alcázar, 1996). Se interpreta en este trabajo que las estructuras del bloque septentrional de la isla están más influenciadas por la cercana zona de fracturamiento Tiburón, mientras que el bloque meridional muestra más la influencia de los márgenes de la cuenca Tiburón, activa hasta antes de que se desarrollara la zona de falla Ballenas. La zona a partir de la cual se dividen los bloques está marcada por lineamientos orientados E-W y, en Punta Los Machos, por volcanismo basáltico del Plioceno (Gastil et al., 1975). Los lineamientos estructurales de la costa occidental muestran tendencias dominantes hacia el NW, paralelas a la costa y a la zona de fallamiento Ballenas, que enmascaran a estructuras más antiguas. La actividad tectónica más reciente de la margen occidental de la isla desarrolla escarpes más abruptos que los de la margen oriental, en donde las playas son extensas.

La interpretación litológica de la isla se realizó utilizando fotografías aéreas en blanco y negro del INEGI (1989) escala 1:75,000, para lo que se utilizaron los siguientes criterios: tono de

gris, drenaje, ubicación con respecto a las unidades adyacentes y textura. En la Zona El Paladar se describió la secuencia estratigráfica y, con muestras representativas de las unidades, se realizó un análisis petrográfico. Lo anterior, junto con las observaciones realizadas a lo largo de la costa occidental de la isla, permitió establecer una secuencia estratigráfica de la isla.

UNIDADES REGIONALES

La interpretación fotogeológica de la Isla Ángel de la Guarda permitió diferenciar 11 unidades litológicas a las que aquí se les da el carácter de regional y que comprenden desde el basamento Paleozoico y Cretácico, hasta los depósitos sedimentarios sin consolidar del Reciente. Estas unidades litológicas se presentan de manera resumida y en orden estratigráfico en la Figura 3, según se describen a continuación.

- Basamento granítico o metamórfico.** Estas rocas cristalinas sólo afloran en la parte centro-sur y el extremo norte de la isla, principalmente en la base de los arroyos o cercanas al nivel del mar donde la erosión es más acentuada. Se caracterizan por tener un drenaje pobremente desarrollado. Los afloramientos interpretados corresponden en gran parte a las unidades que Gastil et al. (1975) definieron como rocas metamórficas y graníticas del Cretácico. Las muestras de rocas graníticas analizadas son principalmente de composición tonalítica sin magnetita. En esta unidad son comunes los diques de composición andesítica, mientras que en las rocas de la costa occidental, los diques pegmatíticos son abundantes.
- Depósitos piroclásticos meridionales.** Esta unidad de aspecto masivo no presenta estratificación aparente; sólo aflora en la parte sur de la isla, donde desarrolla un drenaje dendrítico. Varía composicionalmente desde andesita hasta riolita, y Gastil et al. (1975) la ubican en el Mioceno. Es probable que esta unidad sea correlacionable con la toba pumicítica de la cima de la secuencia de El Paladar (Figura 4).
- Depósitos piroclásticos masivos.** Estas rocas están ampliamente distribuidas en las partes altas del bloque septentrional. Muestran una pobre estratificación y desarrollan un drenaje dendrítico. Aunque no se identificaron en el campo, se infiere que descansan directamente sobre el basamento.
- Lahares.** Los depósitos de lahares son muy abundantes en el bloque septentrional de la isla. Presentan un drenaje dendrítico bien desarrollado y no se observa estratificación. En la costa noroccidental se observa que los constituyentes principales son de andesita y de tobas líticas de hasta 1 m de diámetro.
- Tobas.** Con este nombre se agrupa a una serie de unidades ampliamente distribuidas en toda la isla. Presentan un relieve típicamente abrupto con estratificación bien desarrollada. Por su textura se interpreta que la mayor parte de la serie está formada por cenizas de grano fino. Su distribución corresponde en buena medida con la Unidad Volcánica Indiferenciada del Mioceno definida por Gastil et al. (1975). En varios lugares a lo largo de la costa occidental se observó

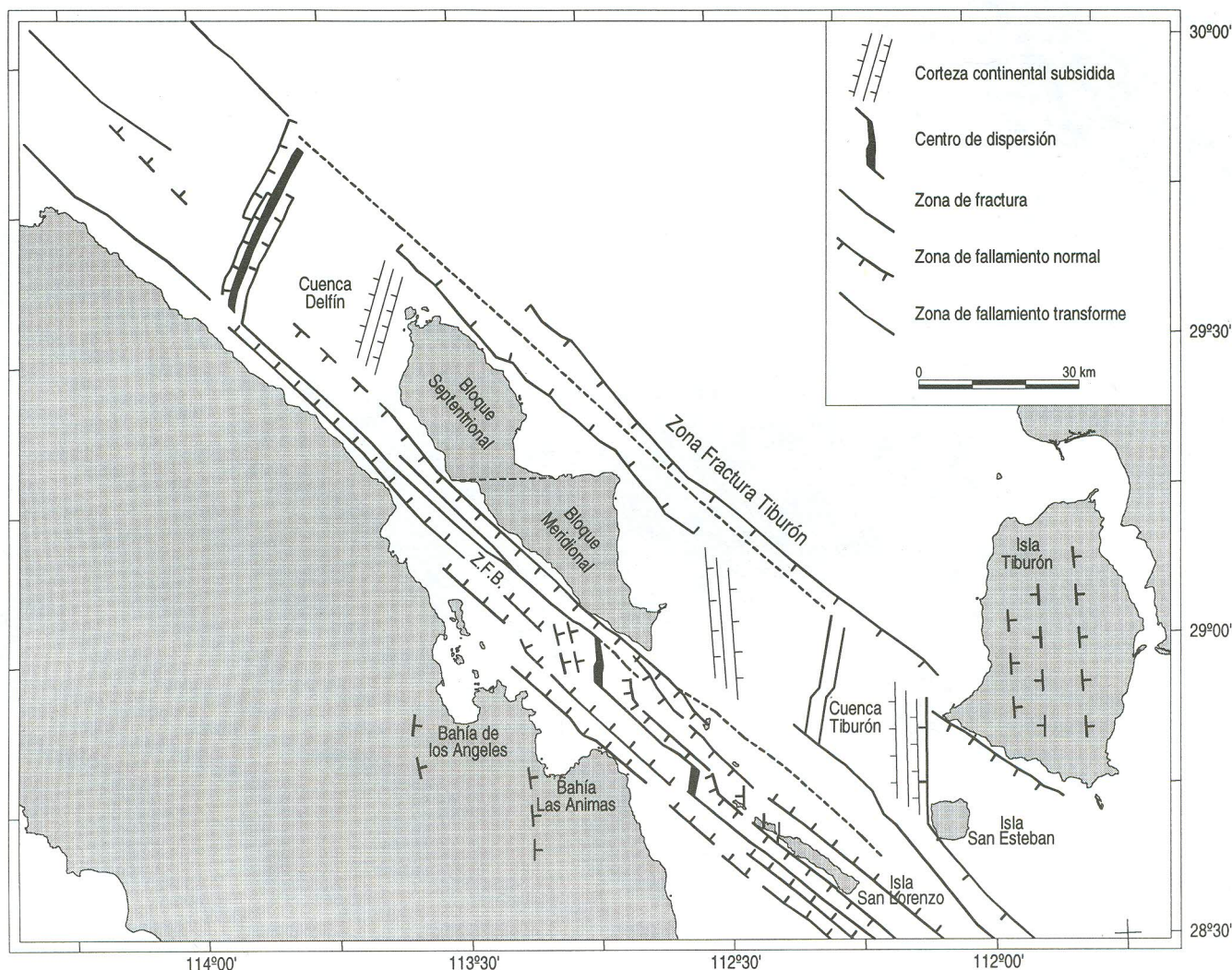


Figura 2. Mapa tectónico de la región de las grandes islas del Golfo de California. Se muestran los rasgos estructurales principales que rodean a la Isla Ángel de la Guarda (modificados de Lonsdale, 1989). Los centros de dispersión activos están indicados con relleno en negro y la inactiva Cuenca Tiburón se muestra con líneas paralelas. Z.F.B. es Zona de Fallamiento Ballenas.

que estas rocas descansan sobre derrames y domos de composición dacítica y andesítica y aglomerados. Esta unidad es correlacionable con las tobas vítreas y líticas, areniscas y parte de las lavas cartografiadas en la zona El Paladar (Figura 4).

f. Derrames de basalto y andesita. Estas unidades lávicas están ampliamente distribuidas en la isla e incluyen derrames interpretados como del Mioceno y Plioceno (Gastil et al., 1975). Presentan un drenaje pobremente desarrollado. Aunque en algunos lugares las lavas se encuentran sobre la unidad de tobas, como en la zona El Paladar (Figuras 3 y 4), en algunos otros pueden representar la base de las secuencias de los depósitos piroclásticos masivos. En este último caso, los afloramientos de lavas son alargados y pueden observarse en las partes bajas de cañones profundos. No obstante que su identificación es fácil, su posición estratigráfica y correlación con otros derrames no es siempre clara. En Punta Los Machos (Figura 2) la mayor parte de los derrames están brechados y

su composición es andesítica. Gastil et al. (1975) interpretaron los derrames de esta localidad como de edad Plioceno.

g. Depósitos piroclásticos septentrionales. Estos depósitos sólo afloran en la parte nororiental de la isla, por lo que no han sido descritos en el campo. No muestran rasgos de estratificación claros, cubren parcialmente a las unidades de Tobas y Derrames de basalto y andesita y en ellos se desarrolla un drenaje dendrítico bien integrado.

En el mapa geológico de Gastil et al. (1975) está definida una unidad de rocas sedimentarias marinas del Plioceno, cuyos afloramientos se distribuyen ampliamente en toda la isla. En este trabajo, siguiendo el criterio de grado de consolidación aparente, esta unidad se dividió en terrazas marinas y depósitos sedimentarios marinos, pues los afloramientos del extremo suroccidental parecen ser más competentes que los depósitos del norte de la isla.

h. Terrazas marinas. Estas unidades de la porción sur de la isla

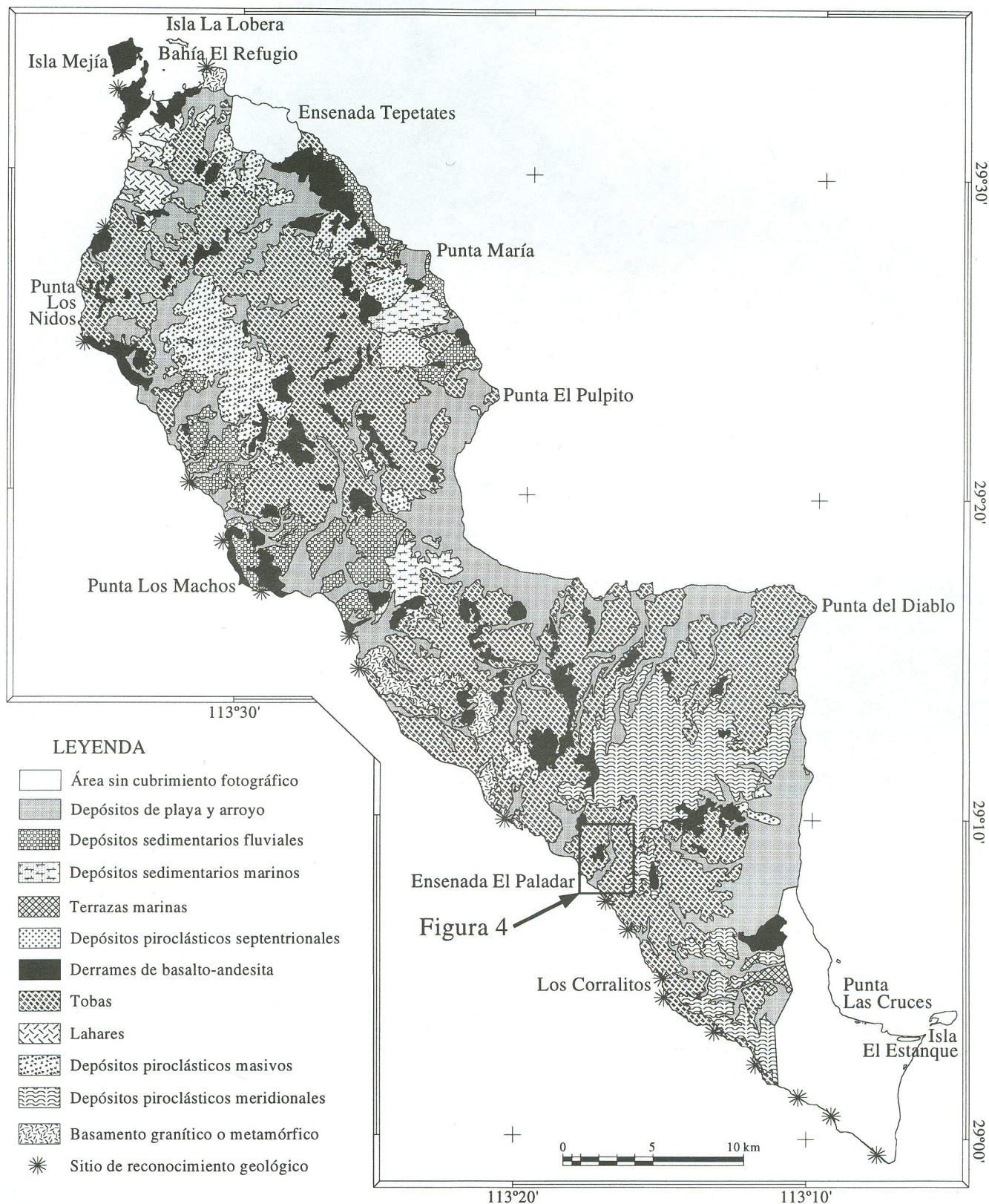


Figura 3. Mapa fotolitológico de la Isla Angel de la Guarda. La posición de las unidades litológicas indica la secuencia estratigráfica sugerida, excepto para la unidad de Derrames de Basalto-Andesita, la cual se presenta en diferentes niveles, cubriendo un rango de edad desde el Mioceno hasta el Plioceno. Se ubican la zona de cartografía de detalle de El Paladar y los sitios de reconocimiento a lo largo de la costa.

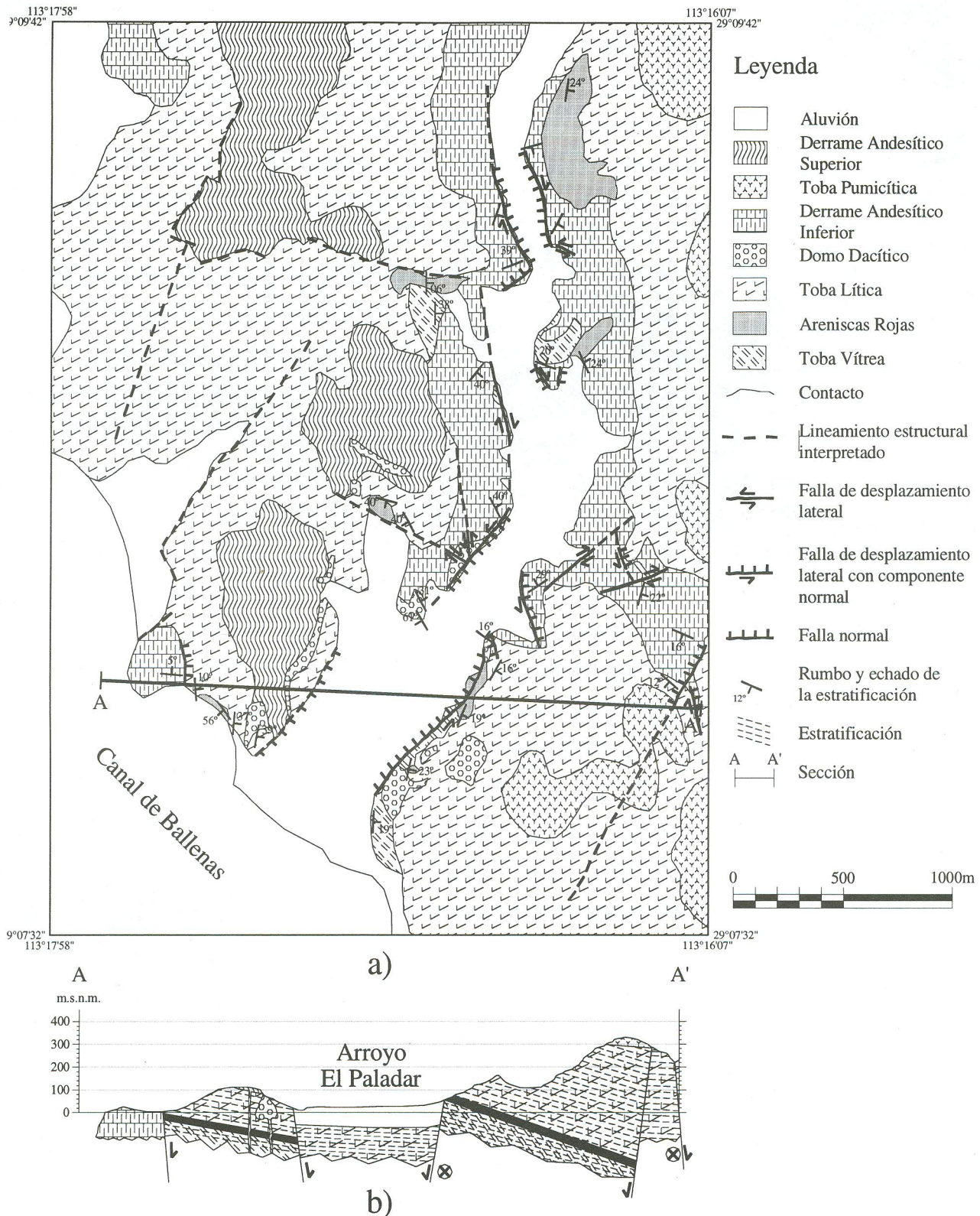


Figura 4. Mapa geológico de la Zona El Paladar; las unidades litológicas se muestran en orden estratigráfico. Se infiere que la Toba Vítrea descansa sobre andesita, la que pudo observarse cerca de la zona a lo largo de la costa. b) Sección estructural a través del arroyo El Paladar con las escalas vertical y horizontal iguales. Las fallas que tienen movimiento con componente de desplazamiento paralelo al plano de falla se indica con una cruz, que muestra el bloque que se aleja del observador.

muestran estratificación y aparentemente están bien consolidadas. Desarrollan un drenaje pobremente integrado y su textura en las fotografías aéreas es "sacaroide".

- i. Depósitos sedimentarios marinos. Estos depósitos agrupan a todas las unidades sedimentarias no consolidadas del norte de la isla que no ocupan los cauces de los arroyos o las playas. Desarrollan un drenaje dendrítico más denso y mejor integrado que el observado en las Terrazas Marinas.
- j. Depósitos sedimentarios fluviales. Estos depósitos afloran ampliamente en la parte central y norte de la isla y, por su distribución, parecen ser abanicos aluviales parcialmente erosionados. Desarrollan un drenaje dendrítico bien integrado, debido a su estado pobremente consolidado. Los afloramientos de esta unidad son equivalentes a la Unidad Sedimentaria Fluvial definida por Gastil et al. (1975). En Punta Los Machos y hacia el norte, se observó que estos depósitos están constituidos por arenisca gruesa, arenisca conglomerática y conglomerado. Los fragmentos de roca son de granito, esquisto, ignimbrita, andesita, basalto y tobas. Su edad puede ser Plio-Pleistoceno y su estratificación buzante 8° hacia el occidente en el bloque meridional de la isla, y de 25° hacia el suroriente en el septentrional, sugiere que la isla ha sufrido basculamiento diferencial entre bloques. En la parte sin cobertura fotográfica también afloran estos depósitos.
- k. Depósitos de playa y arroyo. Esta unidad agrupa a todos los sedimentos del Cuaternario localizados a lo largo de las playas y arroyos.

ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA EL PALADAR

En la Zona El Paladar se cartografiaron siete unidades litológicas en mapas a escala 1: 30 000 (Figura 3). Durante el trabajo de campo se colectaron muestras representativas de las

unidades para su análisis petrográfico. Esta zona se escogió por su fácil acceso y porque a lo largo del arroyo se tiene una exposición de la secuencia volcánica. Además, es representativa de la mitad meridional de la isla pues en ella afloran rocas de distribución muy amplia (Figuras 3 y 4). A continuación, se presenta la descripción de las unidades cartografiadas, con base en los datos de campo y el resultado del análisis petrográfico. Los análisis modales de las rocas volcánicas se presentan en la Tabla 1 y los de las rocas sedimentarias en la Tabla 2.

La base de la secuencia de El Paladar está constituida por una *Toba Vítrea* de color blanco. Se caracteriza por estar formada por horizontes de 2 a 15 cm de espesor que ocasionalmente, alcanzan hasta los 30 cm. Muestra una gradación normal y alternancia rítmica de horizontes líticos, pumicíticos y de ceniza re trabajados, con incremento en el contenido de pómez hacia la parte superior del depósito. El tamaño de grano varía de ceniza a lapilli. Ocasionalmente presenta estratificación cruzada pobremente desarrollada que sugiere que su depósito ocurrió en un ambiente lagunar somero que promovió una buena clasificación de los fragmentos constituyentes. La base de esta unidad no se observa pero, al igual que en otros lugares de la costa occidental, se infiere que descansa sobre derrames andesíticos.

La unidad anterior está cubierta por capas de *Areniscas Rojas*. Su distribución es amplia y su espesor máximo es de 40 m. Las areniscas están constituidas por horizontes que varían de 1 a 10 cm de espesor que muestran una consolidación que varía de moderada a alta. El análisis granulométrico indica que el tamaño de grano varía de arena fina a media, con formas subangulares a subredondeadas. Los fragmentos líticos son de andesita, granito, esquisto máfico y cuarcita. La matriz es de arcilla rojiza con concentraciones que varían entre el 3% y el 15%, mientras que el cementante es de sílice principalmente, con calcita o hematita en menor cantidad. En algunas zonas

Tabla 1. Análisis modal de rocas ígneas de la Zona El Paladar

Unidad	#	Mz	Plag	Cuarzo	Bio	Hb	Px	FLt	Pmz	Esf	Op	M.S.	Ves	Textura
		%	%	φ	%	φ	%	φ	%	%	φ	%	%	
Derrame Andesítico 2	31	80vd	10	600	x								6	Hialofítica
	32	61vd	7	480	x	150	x		x				6	Esferulítica
Toba Pumicítica	16	75.3	2	195	x								1	Fragmental
	17	25v	3	150	x									Vitroclástica
Derrame Andesítico 1	1	95v	5	870										Hipohialina
	7	92a	7c	847										Pilotaxítica
	13	83vd	11c	450			x	270	5	300				Perlítica
	18	74	18c	300					5	750			2	Seriada
	21	63vda	10	1005	1	25								Hipohialina
	22	68vda	13	825	1	330							1	Hialofítica
Domo Dacítico	3	85vd	5c	800										Perlítica
	30	90vd	10	664										Hipohialina
	34	63vd	16c	870	x		4	90	7	105			9	Hipohialina
Toba Lítica	27	43	17	307	2	105	7	130	1	172			23	Fragmental
	29	67va	8	120	5	120	x						5	Fragmental
	14	47v	3	390	x	225								Vitroclástica
	26	51vd	14c	390	2	187	4	87	x				17	Fragmental
Toba Vítrea	2	75va	12c	160	5	142	1	267					3	Fragmental

Abreviaturas en la tabla: # = número de muestra, % = porcentaje, φ = tamaño en micrómetros, Mz = matriz, Plag = plagioclasa, Bio = biotita, Hb = hornblenda, Px = piroxeno, FLt = fragmentos líticos, Pmz = pómez, Esf = esferulitas, Op = minerales opacos, M.S. = minerales secundarios, Ves. = vesículas, a = alteración hidrotermal, c = plagioclasas corroídas, d = desvitrificación, v = matriz vítrea y x = abundancia <1%.

Tabla 2. Análisis modal de rocas sedimentarias de la zona El Paladar

Unidad	#	Qm		Op		k		Plg		Lv		Lm		Bio		On	Poros	Cem.	M.P.	Mz	Red.	Clas.	Etapa	T. Roca
		%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ							Text.	Mad.	
Horizonte de Areniscas Rojas	24	30	315	15	690	x	345	7	300	5	480	4	600	x	450	5	4	15	x	15	SA-A	P. Clas.	Inm.	Waka Lit.
	25	12	630	10	1620	x	300	7	825	40	4750	7	700	x	300	1	11	12		3	SA-SR	P. Clas.	Subm.	Litarenia Cgl.
	28	6	570	11	855			12	615	12	975	1	1350				13	30	x	15	SA-SR	P. Clas.	Inm.	Waka Lit.
	33	26	300	6	300	1	300	9	345	2	525	5	495	1		2	12	30	x	6	SA	P. Clas.	Inm.	Arenita Lit.
	23	16	315	2	225			4	240	7	450	1	300	x	300		42	13		15	A-SA	P. Clas.	Inm.	Waka Lit.
	35	18	112	4	140			4	140	2	161	x	154	21	990	1	4	30		15	SA	P. Clas.	Inm.	Waka Fld

Abreviaturas en la tabla: #= número de muestra, %= porcentaje, φ= tamaño en micrómetros, Qm= cuarzo monocristalino, Op= cuarzo policristalino, k= feldespato potásico, Plg= plagioclasa, Lv= líticos volcánicos, Lm= líticos metamórficos, Bio= biotita, Op= minerales opacos, Poros.= porosidad, Cem.= cementante, M.P.= minerales pesados, Mz= matriz, Red.= redondeamiento, Clas. Text.= clasificación textural, Etapa Mad.= etapa de maduración, T. Roca= tipo de roca, A= angular, Cgl.= conglomerática, Fld= feldespática, Inm.= inmadura, Lit.= lítica, P. Clas.= pobremente clasificada, SA= subangular, SR= subredondeado, Subm= submadura y x= abundancia <1%.

esta unidad se encuentra parcialmente cubierta por un derrame andesítico e interestratificada con una toba lítica, mismos que se describirán adelante. La zona de interestratificación con la *Toba Lítica* tiene un espesor aproximado de 5 m. Esta zona se caracteriza por la presencia de capas de arenisca de aproximadamente 10 cm de espesor, mientras que las de toba varían de 30 a 40 cm. Ocasionalmente, la arenisca de la zona de contacto contiene fragmentos de toba. Se observaron sitios donde algunas grietas en las areniscas están rellenas con fragmentos de toba de ceniza fina, lo que indica periodos de inundación durante los cuales el material tobáceo superior se transportó y depositó sobre las areniscas. La *Toba Lítica* es de color rosado y en su mayor parte es rica en fragmentos líticos y de pómez. Los fragmentos de pómez son escasos en la base y se incrementan hacia la parte superior de la unidad. La matriz es ligeramente menos vítrea que la de la *Toba Vítrea* y en algunos sitios puede estar silicificada y argilitizada. En la parte medio oriental del arroyo esta unidad está cortada por canales rellenos de depósitos de lahares.

Cerca de la boca del arroyo las unidades anteriores están cortadas por una asociación de derrames y diques pertenecientes a un *Domo Dacítico* (Figura 4). Estas rocas de aspecto vitrofírico se distribuyen localmente formando pequeños domos extrusivos cuya coloración característica varía de negro a negro verdoso. En la zona de contacto con las areniscas y tobas anteriores la dacita desarrolla una textura esferulítica al emplazarse en un medio saturado de agua. El contenido de esferulitas disminuye gradualmente hasta una distancia aproximada de 5 m, a partir de la cual predomina la textura perlítica. Es común que en algunas zonas de contacto se desarrolle una zona de mezcla mecánica en la que clastos de hasta 50 cm de diámetro del vitrófiro dacítico se mezclan con tobas y areniscas.

Cubre parcialmente a las areniscas una unidad definida como *Derrame Andesítico Inferior*. Su coloración es rosada a gris y composicionalmente varía de dacita a andesita. Este derrame aflora ampliamente en ambos lados del arroyo y su forma alargada sugiere que pudo haberse emplazado a lo largo de una zona de fracturamiento. El desarrollo de estructuras de flujo plegadas indican una viscosidad alta. Entre los planos de flujo es común el desarrollo de texturas esferulíticas y vesículas. Localmente puede tener hasta 30 m de espesor. En una amplia zona de la parte central del área cartografiada donde aflora esta unidad se observa una zona de oxidación en la que es común que se desarrollen fracturas de tensión que son rellenas por arenisca cementada por sílice. Además, se reconocieron sitios

con estructuras de flujo vertical rodeados por zonas de oxidación y de mezcla mecánica con las unidades inferiores que aparentemente definen conductos por donde parte de estos derrames fueron extrudidos. Se interpreta que el emplazamiento de esta unidad de lavas viscosas ocurrió en una zona saturada de agua en donde se desarrolló un campo local con intensa circulación hidrotermal que fluidizó a los sedimentos aun sin consolidar de la *Areniscas Rojas*, las cuales rellenan las fracturas en un movimiento ascendente. Estos diques de arenisca son de hasta 10 cm de espesor y su longitud puede alcanzar varias decenas de metros.

Le sobreyace a la *Toba Lítica* una *Toba Pumicítica* que aflora en las partes altas de los cerros del área de estudio. Se estima que su espesor es superior a los 20 m. Se caracteriza por su alto contenido de pómez (hasta 73%) en fragmentos de tamaño de lapilli que ocasionalmente se encuentran ligeramente soldados. Desarrolla una textura eutaxítica y localmente, esferulítica. Los horizontes esferulíticos alcanzan los 20 cm de espesor y se restringen a los 3 primeros metros del contacto inferior. Dichos horizontes se encuentran intercalados con horizontes ricos en cristales y pómez.

En la parte occidental del arroyo aflora un derrame de lavas similar, tanto composicional como texturalmente, al *Derrame Andesítico Inferior* (Tabla 1). En vista de que ocupa una posición estratigráfica más alta, en este trabajo se le identifica como *Derrame Andesítico Superior*.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La litología de la Isla Angel de la Guarda es similar a la descrita en la región de Bahía de los Angeles (Delgado-Argote y García-Abdeslem, 1998) y a la cartografiada entre San Luis Gonzaga y Bahía de los Angeles (Gastil et al., 1975). Se interpreta una columna estratigráfica formada por un basamento metamórfico del Paleozoico y granítico del Cretácico, sobre el que se deposita una serie de rocas volcánicas efusivas y explosivas cuyas composiciones varían de andesítica a riolítica, entre las que se interestratifican unidades sedimentarias marinas. Por comparación con la secuencia de Bahía de los Angeles, se supone que el rango de edad más probable para la secuencia volcánica y sedimentaria es Mioceno Medio a Mioceno Tardío.

La distribución de las unidades litológicas interpretadas a partir de fotografías aéreas, así como algunos rasgos estructurales

regionales y la morfología costera, sugieren que la isla está formada por dos grandes bloques. La margen oriental del bloque septentrional y extremo sur del meridional deben su forma y deformación a la evolución de la zona de fractura Tiburón y Cuenca Tiburón, respectivamente. Esta cuenca es prácticamente inactiva desde hace cerca de un millón de años, al iniciar el desarrollo de la zona de falla Ballenas (Lonsdale, 1989), la cual es responsable de la mayor actividad tectónica actual en la margen occidental de la isla. Por su parte, la costa noroccidental del bloque septentrional muestra un marcado paralelismo con las estructuras internas de falla de la Cuenca Delfín, lo que sugiere una relación directa.

De la comparación entre la litología fotointerpretada de la isla y la cartografiada en la Zona El Paladar, sólo dos unidades tienen correspondencia. La aparente falta de correlación entre las unidades interpretadas y las cartografiadas se debe a la diferencia de escalas a las que fueron realizados los trabajos. De la comparación del mapa geológico de El Paladar (Figura 4) con el fotolitológico, se observa que las unidades cartografiadas como *Toba Lítica*, *Toba Vítrea*, *Areniscas Rojas*, *Domo Dacítico* y parte del *Derrame Andesítico Inferior*, en conjunto, corresponden a la unidad de Tobas de la Figura 3. A esta unidad, Gastil *et al.* (1975) la definieron como una Unidad Volcánica Indiferenciada del Mioceno de rocas andesíticas, dacíticas o riolíticas. La unidad interpretada como Derrames de Basalto-Andesita en la Figura 3 corresponde al *Derrame Andesítico Superior* de la Zona El Paladar. En el mapa de Gastil *et al.* (1975) no aparecen los derrames lávicos identificados y cartografiados en la Zona El Paladar. Esos autores indican que los afloramientos de las unidades basálticas se encuentran distribuidos en la parte central de la isla y en escasos afloramientos en el sur, lo cual contrasta con la amplia distribución mostrada en la Figura 3.

Se interpreta que la secuencia volcánica y sedimentaria es de edad Mioceno, al igual que secuencias similares cercanas a la isla Angel de la Guarda (Gastil *et al.*, 1979; Delgado-Argote y García-Abdeslem, 1998). En la zona de El Paladar, la gradación normal, la presencia de estratificación cruzada y capas de ceniza re trabajadas con alternancia rítmica de estratos de diferente composición en la *Toba Vítrea*, sugieren que la actividad volcánica se realizó en pulsos de diferente intensidad y que el depósito se efectuó en un ambiente de laguna marginal o mar somero de baja energía. La caída del material volcánico en el agua produjo la gradación normal del material piroclástico (Ledbetter y Sparks, 1979; Ninkovich *et al.* 1978). En esta cuenca se depositaron los horizontes de *Areniscas Rojas* durante periodos de calma de la actividad volcánica. El depósito de las areniscas continuó hasta que se reinició la actividad volcánica y se depositó la base de la *Toba Lítica*. La parte superior de esta última unidad indica un depósito aéreo que sugiere que la cuenca fue rellenada, o bien, que los cuerpos de agua desaparecieron durante la actividad volcánica.

Las texturas y estructuras, tanto del *Domo Dacítico*, como del *Derrame Andesítico Inferior*, muestran que su emplazamiento ocurrió en un ambiente rico en agua, aunque no existen

evidencias que indiquen que los derrames se hayan emplazado en cuerpos de agua. Los conductos alimentadores de la unidad de andesita, al atravesar las areniscas ricas en agua, formaron una amplia zona de oxidación asociada con la convección provocada por el magma al entrar al ambiente lagunar. La fluidización de los sedimentos inyectados en las fracturas de la andesita se debe al calentamiento y presurización, que además pudo haber producido hidrofracturamiento (Smellie *et al.*, 1998).

Una de las aportaciones más importantes de este trabajo es el reconocimiento de los depósitos sedimentarios interestratificados con rocas volcánicas. Si el conjunto volcanosedimentario es de edad Mioceno, entonces la Zona de El Paladar representa una localidad adicional donde afloran rocas que representan una porción del proto-Golfo de California. En la parte centro occidental de la isla se fechó por el método K-Ar una dacita en 18 Ma que infrayace a tobas (Delgado-Argote *et al.*, 1997) que puede ser correlacionable con la secuencia de El Paladar y que, junto con una andesita con horizontes intercalados de conglomerados y areniscas de 18.8 Ma de la Sierra Las Animas (Delgado-Argote *et al.*, 1997), en la región de Bahía de los Angeles, representarían las unidades litológicas más antiguas en las que se tienen evidencias de incursión marina.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado parcialmente con fondos del CICESE y del CONACyT (1004-T9111). Agradecemos a los compañeros y amigos de Bahía de Los Angeles por el apoyo logístico durante el trabajo en la isla, así como a Juan Sidón y Martín Díaz de la embarcación Atenea por su profesional y paciente apoyo durante el reconocimiento a lo largo de las costas. A Beatriz Martín y Héctor Romero por sus comentarios y sugerencias sobre el manuscrito y a Víctor M. Frías Camacho por su ayuda en la edición de los mapas. A Héctor Romero y Jorge Ledezma por sus atinados comentarios en el arbitraje.

REFERENCIAS

- Angelier, J., Colletta, B., Chorowicz, J., Ortlieb, L., and Rangin, C., 1981, Fault tectonics of the Baja California Peninsula and the opening of the Sea of Cortez, Mexico, *Journal of Structural Geology*, v. 3, no. 4, p. 347-357.
- Batiza, R., 1978. Geology, petrology, and geochemistry of Isla Tortuga, a recently formed tholeiitic island in the Gulf of California. *Geological Society of America Bulletin* 89, 1309-1324.
- Delgado-Argote, L.A., Castrejón-González, I., Escalona-Alcázar, F.J. y Mendoza-Borunda, R., 1995, Reconocimiento estructural y litológico de la margen occidental de la Isla Ángel de la Guarda e interpretación fotogeológica; GEOS, Unión Geofísica Mexicana, Boletín Informativo, Resúmenes y Programas de la Reunión Anual 1995, Vol. 15, No. 2, p. 105.
- Delgado-Argote, L.A. and García-Abdeslem, J., 1998, Shallow Miocene basaltic magma reservoirs in the Bahía de los Angeles

- Basin, Baja California, Mexico, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (en prensa).
- Delgado-Argote, L.A., López-Martínez, M. y Escalona-Alcázar, F., 1997, Geoquímica y geocronología del volcanismo de Bahía de los Angeles-Isla Angel de la Guarda, IV Reunión Internacional Sobre Geología de la Península de Baja California, Sociedad Geológica Peninsular.
- Desonie, D.L., 1992, Geologic and geochemical reconnaissance of Isla San Esteban: post-subduction orogenic volcanism in the Gulf of California, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 52, p. 123-140.
- Dokka, R.K. and Merriam, R.H., 1982, Late Cenozoic extension of the northeastern Baja California, Mexico, *Geological Society of America Bulletin*, v. 93, p. 371-378.
- Escalona-Alcázar, F.J., 1996, Estratigrafía volcánica y deformación neogénica de la zona El Paladar, costa SW de la isla Angel de la Guarda, Golfo de California, Escuela de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad Autónoma de Zacatecas, 45 pp.
- Fabrial, H., Delgado-Argote, L.A., Dañobeitia, J.J., Córdoba, D., González, A., García-Abdeslem, J., Bartolomé, R., Martín-Atienza, B. and Frías-Camacho, V.M., 1998, Backscattering and geophysical features of volcanic rifts offshore Santa Rosalia, Baja California Sur, Gulf of California, Mexico, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Special Issue "Rift-related Volcanism: Geology, Geochemistry and Geophysics" (sometido).
- Gastil, R.G., Phillips, R.F., Allison, E.C., 1975, Reconnaissance Geology of the State of Baja California, *Geological Society of America, Memoir* 140, 170 pp.
- Gastil, R.G., Krummenacher, D., and Minch, J., 1979, The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California, *Geological Society of America Bulletin*, v. 90, p. 839-857.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1989, Fotografías aéreas de la Isla Angel de la Guarda, líneas 34, 35, 36 y 37 de la zona H12-7, escala 1: 75 000.
- Ledbetter, M.T., and Sparks R.S.J., 1979, Duration of large-magnitude explosive eruptions deduced from grade bedding in deep-sea ash layers, *Geology*, v. 7, p. 240-244.
- Lonsdale, P., 1989, Geology and tectonic history of the Gulf of California, *in*: E.L. Winterer, D.M. Hussong, and R.W. Decker, eds., *The Eastern Pacific Ocean and Hawaii*, *Geological Society of America, The Geology of North America*, v. N, p. 499-521.
- McDowell, F.W. and Keiser, R.P., 1977, Timing of Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, México, *Geological Society of America Bulletin*, v. 88, p. 1479-1487.
- Ninkovich, D., Sparks, R.S.J. and Ledbetter, M.T., 1978, The Exceptional Magnitude and Intensity of the Toba Eruption, Sumatra: An Example of the Use of Deep-sea Tephra Layers as a geological Tool, *Bulletin of Volcanology*, v. 41-3, p. 286-298.
- Sawlan, M.G., 1991, Magmatic evolution of the Gulf of California Rift; *in*: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, eds., *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 47, p. 301-369.
- Smellie, J.L., Millar, I.L., Rex, D.C. and Butterworth, P.J., 1998; Subaqueous, basaltic lava dome and carapace breccia on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica, *Bulletin of Volcanology*, v. 59, p. 245-161.
- Smith, J.T., 1991, Cenozoic marine mollusks and paleogeography of the Gulf of California, *in*: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, eds., *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 47, p. 447-480.