

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE DESLIZAMIENTOS SALSIPUEDES-CÍBOLA DEL MAR, ENSENADA, BAJA CALIFORNIA

Cruz-Castillo, Manuel¹ y Delgado-Argote, Luis A.²

¹ Instituto Mexicano del Petróleo

E-mail: mcruz@www.imp.mx

² Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

E-mail: ldelgado@cicese.mx.

RESUMEN

Se estudiaron las rocas sedimentarias del Cretácico Tardío de la Fm. Rosario y las rocas volcánicas miocénicas de la Fm. Rosarito Beach en la zona de acantilados Salsipuedes, entre los kilómetros 84 y 98 de la carretera de cuota Tijuana-Ensenada. En esta región se encuentran deslizamientos, tanto activos como antiguos, asociados a escarpes topográficos, fallamiento regional y a las rocas sedimentarias de la Fm. Rosario. Se describen las fallas regionales que evidencian la intensa actividad tectónica a la que está sometida la zona. La dirección del buzamiento de las rocas sedimentarias coincide con la dirección de desplazamiento de los deslizamientos y, —frecuentemente,— con la dirección de la pendiente. Para el análisis y la interpretación estructural se colectaron 733 datos. Se describen los mecanismos de ruptura en las partes de bloques deslizados y se analiza la deformación regional, que es similar a la observada en el NW de la península y borde continental, regida por fallamiento de desplazamiento lateral derecho.

INTRODUCCIÓN

Los rasgos topográficos escarpados a lo largo de la costa al norte de la ciudad de Ensenada, Baja California, entre los kilómetros 84 y 98 de la carretera escénica Tijuana-Ensenada, sugieren actividad geológica reciente. Morfológicamente la zona está caracterizada por acantilados grandes y deslizamientos de tierra. Algunos acantilados representan cabeceras de deslizamientos antiguos, donde el nivel del terreno se ha desplazado hasta 100 m; estos deslizamientos han generado paisajes espectaculares, especialmente atractivos para la construcción de casas habitación y de la carretera panorámica. Es una zona donde el riesgo de deslizamiento es alto y donde la vulnerabilidad de las obras civiles es mayor. Los cantiles se han desarrollado preferentemente en sedimentos marinos del Cretácico superior, preservados por una cubierta de derrames de lavas del Mioceno medio que los corona.

Debido a que la península de Baja California forma parte del borde de la placa Pacífico, en el área de estudio ocurre una importante actividad tectónica. Esta actividad se concentra en la Zona de Cizalla Semirrigida del Sur de California, definida por Legg *et al.* (1991) y en el límite oriental de la provincia geológica del Borde Continental (Gastil *et al.*, 1975). Esta zona de cizalla es una microplaca que está flanqueada por fallas dextrales que llegan a producir sismos de $M \geq 7.0$; la más cercana de estas estructuras a la zona de estudio es la Falla El Descanso-Estero, localizada en el océano pacífico, a la que también se le asocian patrones sísmicos de enjambre.

LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza a 12 km al noroeste de la ciudad de Ensenada, abarca una superficie de 42.5 km² (Figura 1); colinda al sur y al poniente con el Océano Pacífico, al norte con la Mesa El Tigre, formada por derrames de basalto, y al oriente, con lomeríos redondeados de distinta litología (Figuras 2 y 3).

En el modelo fisiográfico de la Figura 2 resaltan los arroyos El Tigre (T), con orientación N-S, la culminación del Arroyo El Carmen (C) con orientación NE y el Arroyo El Junco (J), orientado hacia el NE. Al noroeste se distingue la Cañada Pescadero (CP) orientada al noreste; también sobresalen las mesas flanqueadas por grandes acantilados, como la Mesa El Tigre (MT) ubicada en el norte del área de estudio. Su elevación es de 340 metros sobre el nivel del mar (msnm), y es el elemento topográfico más alto de toda la zona, con pendientes que varían entre 1° y 9°. El límite occidental de la meseta coincide con acantilados costeros que tienen pendientes hasta de 85°, algunos de los cuales corresponden a antiguas cabeceras de deslizamientos. La Mesa San Miguel (MSM), en la parte meridional, tiene aproximadamente 4 km², su altura promedio es de 200 msnm y está disectada por El Cañón El Tigre. Al oriente el relieve lo forman lomeríos con pendientes entre 10° y 30° y elevaciones máximas de alrededor de 160 msnm.

La región que aquí se nombra Acantilados Salsipuedes (AS, Figura 2) presenta un paisaje de fuertes pendientes y tiene la densidad de arroyos más grande de la zona. Las pendientes varían entre 10° y 45° y son más suaves en el interior del área

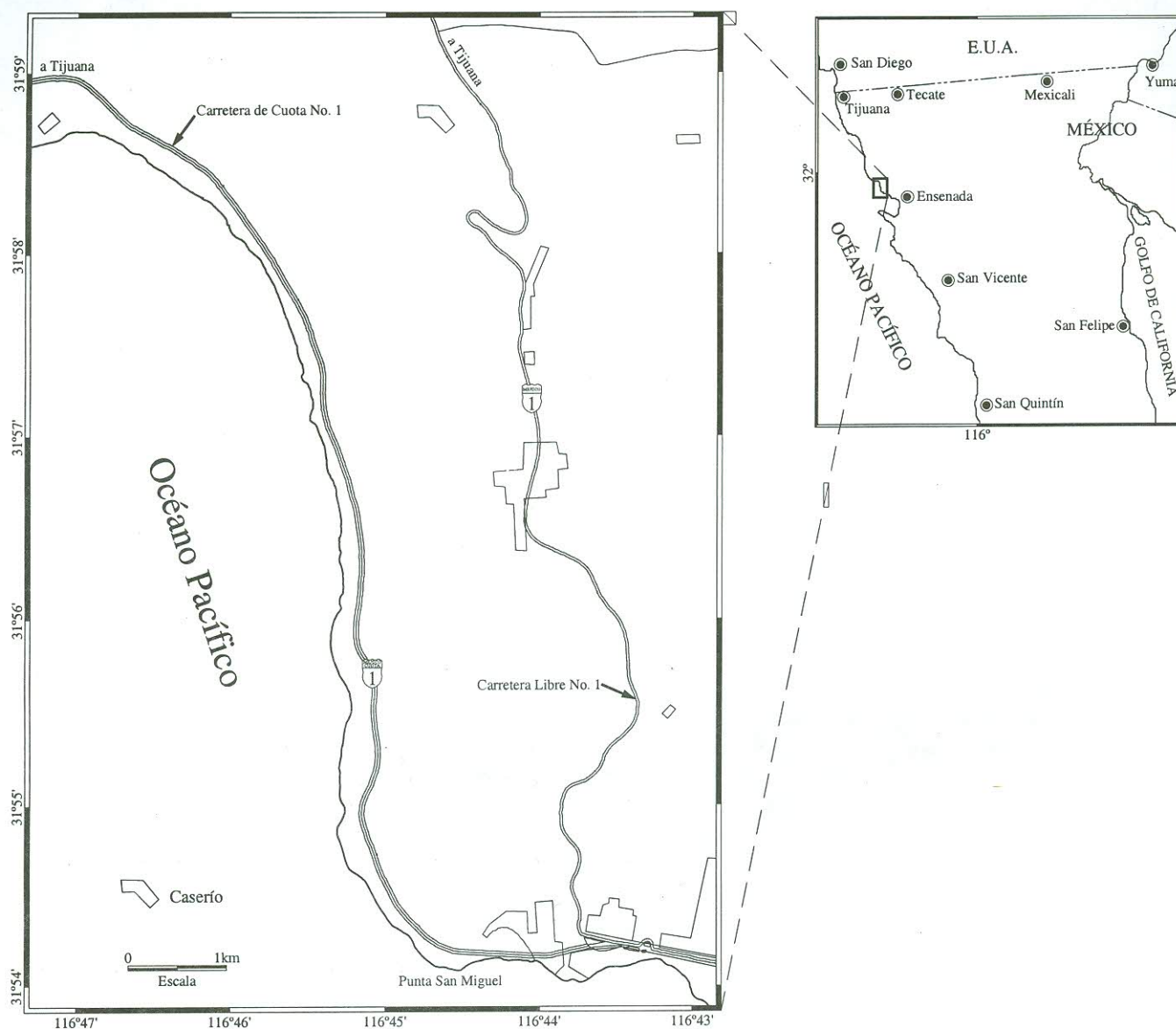


Figura 1. Mapa de la región norte del Estado de Baja California. Se indica el área de estudio que se sitúa a 12 km al NW de la Ciudad de Ensenada y está limitada al poniente por el Océano Pacífico.

que en la costa. En el interior las pendientes varían entre 1° y 30° y las cimas de los cerros alcanzan elevaciones hasta de 320 msnm.

TRABAJOS PREVIOS

Algunos trabajos realizados en el área explican el fenómeno de los deslizamientos en San Miguel; sin embargo, la mayoría de estos trabajos carece de un estudio geológico estructural y se enfocan a localizar los deslizamientos y describir parte de la historia del movimiento del terreno. Una importante contribución han sido las investigaciones hechas por diversos autores, cuyos resultados aparecen en los libros guía de excursiones geológicas en la Baja California que ha publicado la South Coast Geological Society, entre los que

destacan los de Ashby (1989), Miller y Abbott (1989), Abbott *et al.* (1993) y Hart (1993). El Primer trabajo de detalle es el de Rico *et al.* (1969), quienes publicaron los estudios hechos para la Secretaría de Obras Públicas, donde muestran los deslizamientos activos de esa época y concluyen en que la construcción de la autopista reactivó algunos deslizamientos. Minch (1972) realizó un trabajo analizando diapositivas infrarrojas tomadas con bajo ángulo y fotografías aéreas para hacer un mapa de reconocimiento entre el Descanso y Punta San Miguel. Distinguió diferentes tipos de fallas, de las cuales las más importantes son las que se orientan NNW y afectan a los derrames de basalto. Concluyó que el fallamiento regional controla la distribución de los deslizamientos, pues los acantilados son paralelos a uno o más sistemas de fracturas. Posteriormente, Hart (1993) propuso que el deslizamiento de 1976 cerca de la caseta de cobro de San Miguel probablemente

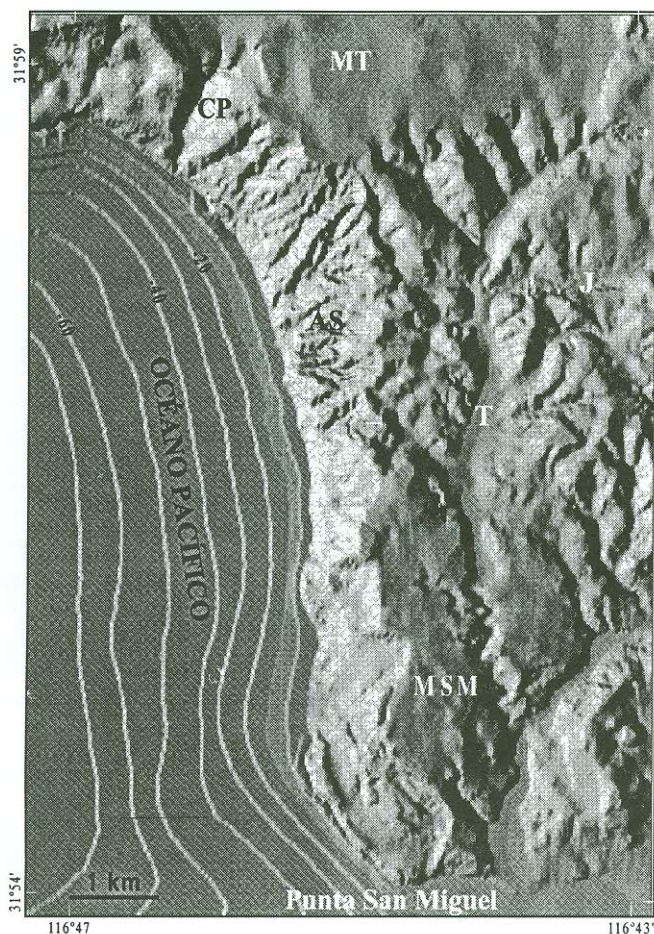


Figura 2. Modelo topográfico exagerado tres veces. En la iluminación artificial el Sol se encuentra en el poniente a 30° sobre el horizonte. Sobresalen la Meseta El Tigre (MT) en el norte, la Mesa San Miguel (MSM) en el sur, grandes acantilados en la costa (Acanilados Salsipuedes, AS), lomeríos redondeados en el este y sureste, Arroyo el Carmen (C), Arroyo El Tigre (T), Arroyo El Junco (J) y Cañada Pescaderos (CP). Isobatas en metros.

se desarrolló a lo largo de una zona de ruptura basal preexistente. Morales-Pérez (1995) detalló la litología del sitio y caracterizó los deslizamientos, principalmente el cercano a la caseta de cuota, donde encontró que los factores que los controlan se asocian a fallas y fracturas, a la estratificación y su dirección de buzamiento, a la litología y a pendientes mayores al 20%.

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se localiza en la provincia geológica del Borde Continental (Gastil *et al.*, 1975), formada por rocas sedimentarias de la Fm. Rosario del Cretácico tardío que descansan sobre rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Fm. Alisitos del Cretácico temprano. Sobre la Fm. Rosario se depositó la Fm. Rosarito Beach del Mioceno, caracterizada por derrames de lava y sedimentos de ambiente costero (Figura 3).

Enseguida se describen estas unidades litológicas en orden estratigráfico ascendente.

FORMACIÓN ALISITOS

El basamento en la zona está constituido por rocas volcánicas y volcaniclásticas metamorizadas en la facies de esquistos verdes de la Formación Alisitos. En otras localidades, algunas facies sedimentarias de esta formación contienen fauna del Aptiano-Albiano (Minch, 1967; Almazán-Vázquez, 1988). Los afloramientos más importantes de esta formación se encuentran en la margen occidental de Baja California, en una franja definida desde el límite con Estados Unidos hasta la mitad de la península. En la zona de estudio la formación está pobremente expuesta, sin embargo, aflora ampliamente hacia el oriente del área de trabajo y en la zona de Ensenada. En la zona de estudio la unidad está representada por algunos depósitos de lapilli acrecional, mientras que hacia el sur predominan los depósitos volcanoclásticos.

FORMACIÓN ROSARIO

En el área de estudio la Fm. Rosario sobreyace discordantemente a la Fm. Alisitos. Está formada por una alternancia de sedimentos marinos del Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano (Abbott *et al.*, 1993) que cambia a facies continentales y marinas profundas. Contiene fósiles marinos, está pobremente consolidada y poco deformada. Yeo (1984) la dividió en los miembros inferior, medio y superior. Los dos últimos afloran en la zona de estudio.

Miembro medio

Aflora principalmente en el Arroyo El Carmen y a lo largo de casi toda la línea de costa. En Punta San Miguel (Figura 2) se pudo diferenciar una facies no consolidada distribuida en aproximadamente 4 km². Litológicamente es una arenisca de grano medio a fino, color pardo claro. Entre sus constituyentes son abundantes los fragmentos de roca de la Fm. Alisitos. Los granos están bien seleccionados y varían de subangulosos a subredondeados. Las areniscas, en estratos de 10 a 70 cm de espesor, están interestratificadas con lutitas y lodolitas cuyos espesores varían de 2 a 10 cm. También son frecuentes los estratos de conglomerados de espesores variables. Las areniscas contienen concreciones cuyos diámetros varían entre 4 y 60 cm, predominando las cercanas a 20 cm. En algunas partes es común la estratificación hamacada de bajo ángulo. El resto del Miembro Medio está formado por lodolita color gris-verdoso y pardo claro que se encuentra en estratos de 2 a 40 cm de espesor. En la cima existen concreciones de 5 a 30 cm de diámetro; algunas de ellas contienen fósiles de amonitas del género *Baculites inornatus*, *Baculites compressus*, *Baculites cf. occidentalis* (Shimer y Shrock, 1955; Miguel Téllez, comunicación personal, 1996) y de gasterópodos. La parte central de este miembro tiene estratos de 40 a 70 cm de espesor de arena fina cementada por carbonatos que facilitaron la conservación de los fósiles. La estratificación hamacada de bajo ángulo, la presencia de

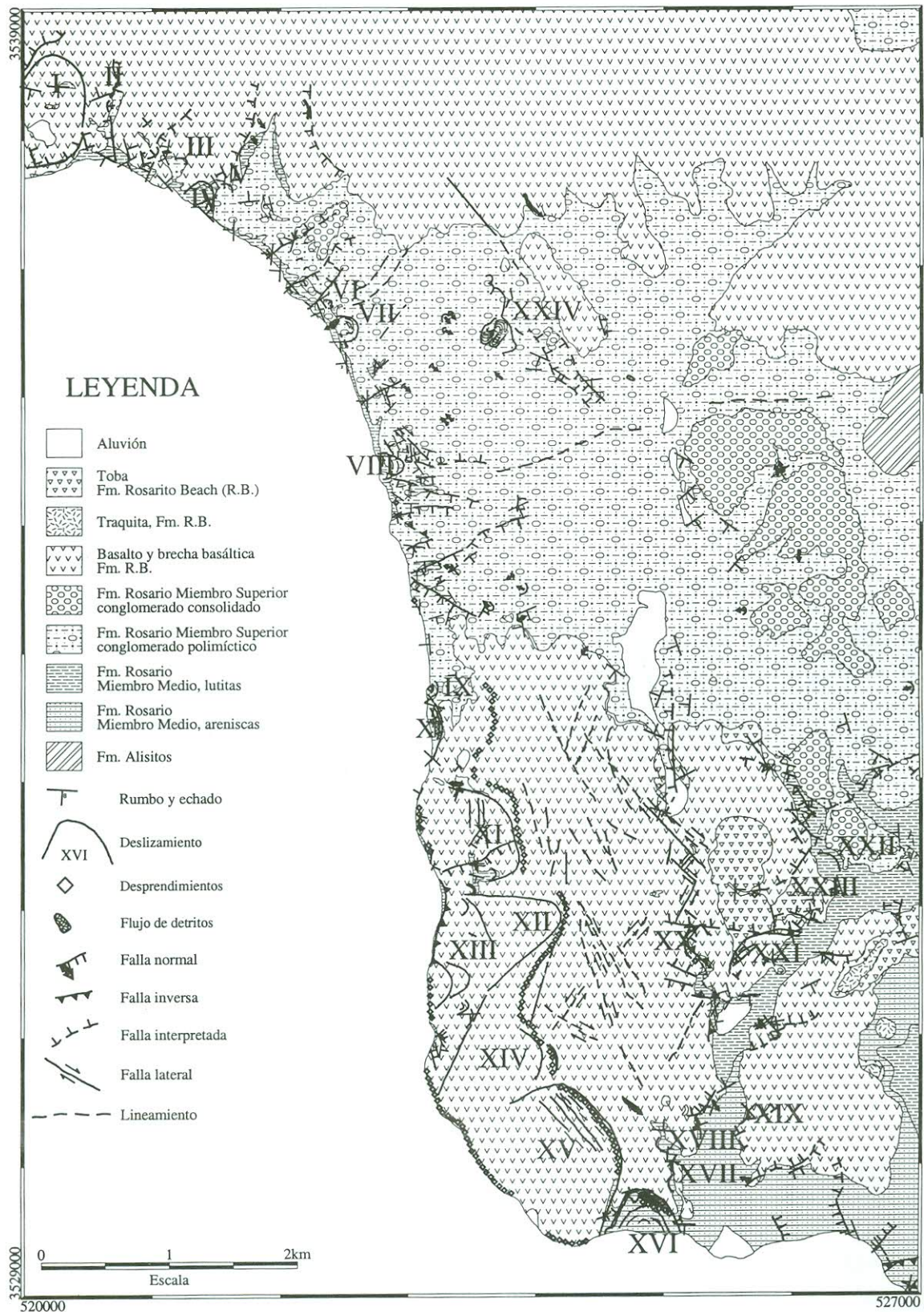


Figura 3. Mapa geológico del área de estudio. Los deslizamientos están numerados del I al XXIV, de los cuales, son activos el VIII, XVI y XX. La unidad litológica dominante en el área corresponde a los derrames de basalto de la Fm. Rosarito Beach y debajo de éstos, en los acantilados, la Fm. Rosario aflora ampliamente. Las fallas con línea continua fueron medidas en el campo y las punteadas fueron interpretadas de fotografías aéreas o son extensión de las observadas.

paleocanales y los cambios bruscos en la sedimentación indican que se trata de una secuencia de Bouma incompleta, que se observa muy bien en el km 92 de la carretera de cuota Tijuana-Ensenada (Yeo, 1984a). El *Baculites occidentalis* sugiere un ambiente sublitoral interior y profundo y condiciones marinas normales (Miller y Abbott, 1989).

Miembro Superior

Esta unidad aflora en el centro y norte del área cartografiada, ocupando casi el 50% de la zona. Es un conglomerado polimíctico de color pardo-blanco, que intemperiza a pardo rojizo y se caracteriza por su gradación inversa. Sus clastos miden entre 2 y 20 cm de diámetro, predominando los de 10 cm. Los fragmentos están bien redondeados, mal seleccionados y bien consolidados en una matriz arenosa rica en cuarzo. Sus estratos son de diferente espesor (0.4 a 5 m), predominando los gruesos; en su parte inferior se intercala con areniscas y en menor proporción con lodolitas. Hacia el oriente del área abundan las areniscas que contienen concreciones y fragmentos retrabajados de hasta 1 m de diámetro del Miembro Medio. Los contactos entre el Miembro Medio y Superior son transicionales, pero se manifiestan morfológicamente por un ligero cambio de menor a mayor pendiente del terreno, debido a la mayor competencia del Miembro Superior.

FORMACIÓN ROSARITO BEACH

En el área de estudio la Fm. Rosarito Beach sobreyace discordantemente a la Fm. Rosario. La Fm. Rosarito Beach se distribuye en la costa occidental de Baja California, entre la Sierra Peninsular y el Borde Continental. Está formada por derrames de basalto, brechas y arenas con matriz de lodo, tobas de lapilli, tobas cristalinas, areniscas tobáceas, sedimentos diatomáceos, areniscas, calizas y conglomerados, característicos de ambientes fluviales, lacustres y de plataforma marina somera (Minch *et al.*, 1984; Ashby 1989). La Formación se divide en 10 miembros (Ashby, 1989), de los cuales siete fueron originalmente descritos por Minch (1967) y los otros tres por Minch *et al.* (1984). El miembro más antiguo (La Misión) aflora desde la localidad de La Misión hasta el área de estudio. Los derrames de basalto ocupan el 25% de ésta y afloran extensamente en el sur y norte, ocupando las partes topográficas altas (Figura 3).

Miembro La Misión

En los derrames del Miembro La Misión predomina la textura porfirítica vesicular; la laminación es común en algunos flujos y el fracturamiento columnar se desarrolla principalmente en la cima. El espesor se estima en 200 m (Minch *et al.*, 1984). Es común el basalto de olivino, que es más cristalino en la parte superior de los afloramientos y los derrames brechados con arena y limo atrapado durante el flujo. En la parte SE del área aflora traquita color rosa coronando algunas lomas. Los derrames de basalto forman grandes mesetas de decenas de km²; algunos de ellos contienen diques

de arena de 5 a 20 cm de anchura emplazados en fracturas. Se interpreta que el emplazamiento de los diques se debe a actividad hidrotermal y presión confinante del cuerpo de basalto al depositarse sobre arenas saturadas con agua.

Ashby (1989) propuso que estas rocas extrudieron en la margen occidental de la Cuenca Rosarito Beach. La parte meridional de la cuenca se expone en San Miguel, donde ocurrió una acumulación progresiva de derrames de basalto. Su origen está relacionado a la deformación transtensional de la plataforma continental de California y Baja California, durante el Oligoceno Superior y el Mioceno Inferior a Medio (Minch *et al.*, 1984; Ashby, 1989). De acuerdo con fechamientos K-Ar en plagioclasas de la unidad de basalto, este miembro tiene una edad de 16.1 ± 2.1 Ma (Gastil *et al.*, 1975).

En el contacto entre las rocas sedimentarias y volcánicas existe una serie de tobas líticas, pumicíticas y arenosas de color rosa-blanco con espesores que varían entre 10 y 200 cm. Están distribuidas en estratos irregulares que siguen la antigua topografía y que han sido quemados por los derrames de basalto. Las tobas son más abundantes hacia la parte oriental de la zona de estudio.

ESTRUCTURAS REGIONALES Y SISMICIDAD

El área de estudio se localiza al oriente de la provincia estructural y fisiográfica Borde Continental Californiano (Gastil *et al.*, 1975), que se caracteriza por un cizallamiento dextral durante el Cenozoico Tardío (Legg *et al.*, 1991). Regionalmente, la zona está afectada por fallas con arreglo paralelo orientadas N30°W y N40°W (Figura 4). De acuerdo con Legg *et al.* (1991) esta provincia es una zona tectónicamente activa que forma parte de la Zona de Cizalla del Sur de California (Southern California Shear Zone), que rota en sentido opuesto al de las manecillas del reloj. El movimiento general está gobernado por el Sistema San Andrés-Golfo de California en donde se han identificado fallas que pueden generar sismos hasta de magnitud (M) = 7 (Frez y González, 1991). Dentro del Borde Continental los sismos son escasos, pero los epicentros se alinean con las fallas (Legg *et al.*, 1991).

Las fallas activas que rodean a la zona de estudio se presentan en la Figura 4 y se describen a continuación:

Sistema San Miguel-Vallecitos-Calabazas. Este conjunto de fallas es sísmicamente muy activo; forma un sistema con arreglo *en echelón* entre las fallas Calabazas, Vallecitos y San Miguel (sureste de la Figura 4). A la Falla Vallecitos se le asocia el temblor de Guadalupe M = 5.7 de 1949, mientras que a la Falla San Miguel se le asocian los temblores de 1954 de M = 6 y 6.3 (Frez y González, 1991) y los de San Miguel, que provocaron un rompimiento de 20 km el 9 y 14 de febrero de 1956, con magnitud local (M_L) = 6.8 (Shor y Roberts, 1958; Gastil *et al.*, 1975; Reyes *et al.*, 1975; Frez y González, 1991; Suárez *et al.*, 1991).

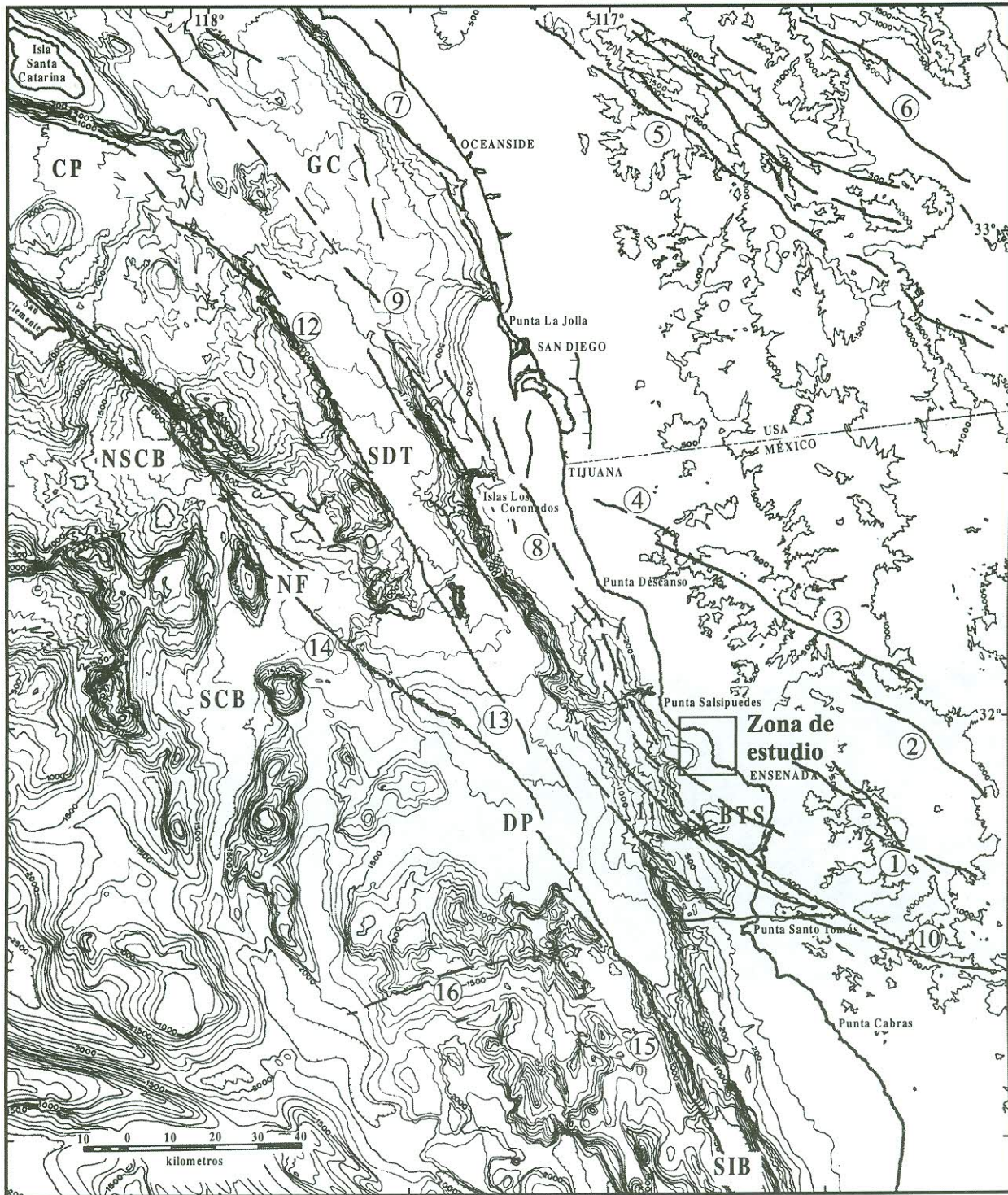


Figura 4. Fallamiento regional alrededor de la zona de estudio. Las fallas se separan en peninsulares y de borde continental (localizadas en ambiente marino); las fallas inferidas se indican con línea discontinua. Es notorio que las fallas del borde están más cerca al área de estudio. 1. Falla Tres Hermanos, 2. Falla San Miguel, 3. Falla Vallecitos, 4. Falla Calabazas, 5. Falla Elsinore-Laguna Salada, 6. Falla San Jacinto, 7. Falla Newport-Inglewood-Rose Canyon, 8. Falla El Descanso-Estero, 9 y 10. Falla Coronado Bank-Falla Agua Blanca, 11. Falla Maximinos, 12 y 13. Falla Depresión de San Diego-Bahía Soledad, 14 y 15. Falla San Clemente-San Isidro y 16. Falla Santo Tomás. De la batimetría sobresale la correlación entre algunas fallas y los relieves acentuados, así como los montículos interpretados como volcánicos. Las cuencas más profundas son: CB = Cuenca Santa Catalina, GC = Golfo de Santa Catalina, NSCB = Cuenca Norte de San Clemente, SDT = Depresión de San Diego, NF = Abanico Navy, SCB = Cuenca Sur de San Clemente, DP = Planicie Descanso, BTS = Bahía de Todos Santos, ET = Depresión Ensenada y SIB = Cuenca San Isidro (modificado de Legg *et al.*, 1991).

Falla Tres Hermanos. Esta falla se considera parte del sistema de fallas San Miguel-Vallecitos (Suárez *et al.*, 1991); sin embargo, su asociación no es muy clara y no ha sido estudiada en detalle. Su localización se ha obtenido de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, así como del alineamiento de sismos.

Falla Elsinore-Laguna Salada. Esta es una falla activa dextral oblicua que probablemente rompió el 23 de febrero de 1892, provocando un sismo de $M = 7-7.5$ (Shor y Roberts, 1958; Mueller y Rockwell, 1991).

Falla El Descanso-Estero. Entre Punta Salsipuedes y la costa meridional de Ensenada, la Falla El Descanso-Estero está identificada con certeza a partir de perfiles batimétricos y sísmicos de reflexión y se puede continuar a lo largo del tramo SE del escarpe meridional de la zona de Ensenada (Legg *et al.*, 1991). Es la falla más cercana a la zona de estudio y se identifica de tipo lateral derecho. Su extensión hacia la bahía de Ensenada no es clara y consiste de numerosas discontinuidades subparalelas con arreglo *en echelón* en tramos menores a 10 km.

La zona de **Falla Coronado Bank-Agua Blanca** es la más compleja por sus numerosas discontinuidades subparalelas con arreglo *en echelón*, saltos derechos e izquierdos y anastomosados, bien definidos por el relieve. La Falla Coronado Bank se une con la Falla Agua Blanca, caracterizada por su baja sismicidad (Allen *et al.*, 1960; Rockwell *et al.*, 1987; Ortega, 1988; Frez y González, 1991; Suárez *et al.*, 1991; Suárez, 1993). La Falla Coronado Banks tiene una orientación $N30^{\circ}W$ y el rumbo de la Falla Agua Blanca es $N70^{\circ}W$ dentro de la península.

Falla Maximinos. Esta falla lateral derecha con componente normal se interpreta como subsidiaria de la Falla Agua Blanca por su paralelismo y cercanía. Se localiza al sur de la península Punta Banda.

Falla Depresión de San Diego-Bahía Soledad. La depresión de San Diego-Zona de Falla Bahía Soledad tiene una longitud aproximada de 50 km y está formada por fallas continuas que cortan a sedimentos cuaternarios cercanos a la costa (Legg *et al.*, 1991).

Falla San Clemente-San Isidro. El sistema de fallas San Clemente tiene más de 300 km de longitud. Se localiza en el extremo occidental del interior del Borde Continental y abarca la zona de cizalla definida por las fallas San Clemente y San Isidro y por fallas laterales subparalelas. Las evidencias morfológicas indican movimiento lateral derecho que ha sido documentado por medio de perfiles sísmicos de reflexión. Su porción meridional se ha interpretado como transtensiva (Wong *et al.*, 1987; Legg *et al.*, 1991; Legg, 1991). Debido a que esta estructura corta sedimentos jóvenes, Legg *et al.* (1991) infieren que su movimiento principal ha ocurrido desde el Cuaternario. La Falla San Isidro ha presentado enjambres de temblores con magnitudes cercanas a 5 en un área localizada

a unos pocos kilómetros al NW del poblado de San Quintín, ubicado a 200 km al sur de Ensenada.

Las fallas anteriores son todas de tipo lateral derecho y presentan velocidades de desplazamiento desde 1 mm hasta 6 cm por año, aunque los desplazamientos de las fallas del Borde Continental son difíciles de estimar (Rockwell *et al.*, 1987; Ortega, 1988; Armijo y Suárez, 1981; Legg *et al.*, 1991; Legg, 1991; Suárez *et al.*, 1991; Suárez, 1993). La presencia de estas fallas hace que la zona sea de alto riesgo sísmico; los mecanismos focales son consistentes con el sentido de desplazamiento inferido y los epicentros son paralelos a las trazas de las fallas (Legg *et al.*, 1991).

Al occidente de la península de Punta Banda hay una zona de pliegues en sedimentos del Cuaternario con ejes orientados E-W mostrando una dirección N-S de máximo acortamiento asociado a un segmento de la Falla San Isidro (15 en la Figura 4). La intensidad del fallamiento y del plegamiento se incrementa al NW, en el Borde Continental (Legg *et al.*, 1991).

Numerosas elevaciones de terrazas marinas en Punta Banda, Isla Todos Santos y alrededor de la Punta Santo Tomás indican un levantamiento importante que ha ocurrido en áreas adyacentes al sistema de la Falla Agua Blanca (Rockwell *et al.*, 1989). Por esta razón, la península de Punta Banda es interpretada como un horst (Gastil *et al.*, 1975).

La actividad sísmica en el área de estudio es de baja magnitud, pero no deja de ser importante debido a la inestabilidad propia del terreno, dadas las altas pendientes y la poca competencia de las rocas. En la Figura 5 se muestra la actividad sísmica registrada alrededor de la zona por la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM). A partir de la base de datos utilizada en las determinaciones epicentrales, los resultados son de calidad regular (C) y mala (D), lo que provoca que los epicentros tengan errores de localización hasta de 10 km y que la mayoría de sus errores cuadráticos medios (RMS) sea menor a 0.50. En la Figura 5 también resalta la sismicidad asociada con la Falla San Miguel y el enjambre sísmico en la Bahía Todos Santos. El patrón predominante para la región de Salsipuedes es de algunos enjambres, como los registrados en mayo-junio de 1939 ($M_L = 3-5$), cuando se presentaron 2 en un lapso de 55 días. Otro enjambre ocurrió en los meses de abril y mayo de 1968, localizado muy cerca de los Acantilados Salsipuedes (Wong *et al.*, 1987). En este último se registraron dos sismos moderados, $M_L = 4.5$ y 4.3 (Tabla I) en un lapso de 12 minutos. Los sismos de $M > 3$ cercanos a la zona se consignan en la Tabla I.

La Falla Agua Blanca representa un riesgo sísmico importante en la zona, pues tiene posibilidades de generar un temblor de $M > 6$, debido a que ha estado en silencio sísmico por un tiempo largo y poco conocido; sin embargo, con base en estudios de suelo, geomorfológicos y observaciones estructurales, se encontró que la falla ha presentado sismos de $M_L > 6$. Además, se ha documentado que se ha estado desplazando con una velocidad promedio de 4 mm/año, sin generar sismos grandes (Rockwell *et al.*, 1987).



Figura 5. Mapa de la distribución de epicentros sísmicos en los alrededores de la zona de estudio, elaborado con la base de datos de RESNOM. Sobresale la sismicidad entre las fallas San Miguel y Tres Hermanas y el enjambre sísmico en la Bahía de Todos Santos. Estas determinaciones tienen una incertidumbre de aproximadamente 10 km.

En la Figura 5 se puede observar que el área con mayor actividad corresponde a la traza de la Falla San Miguel-Vallecitos, donde se concentran y alinean la mayoría de los sismos y definen una zona sismogénica potencial que en un momento dado podría disparar deslizamientos en la región de los Acantilados Salsipuedes.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Para el cálculo de los esfuerzos regionales en el área de estudio, los datos estructurales fueron manipulados con el programa de Sperner *et al.* (1993).

ESTRATIFICACIÓN

Las únicas rocas con estratificación continua en toda el área de estudio pertenecen a la Fm. Rosario. Las tobas de la

Fm. Rosarito Beach tienen una estratificación pobremente desarrollada y su extensión es restringida (Figuras 2 y 4).

Para este trabajo se colectaron 175 datos de estratificación, de los cuales, 146 corresponden a la Fm. Rosario y 29 a la Fm. Rosarito Beach. En la roseta de la Figura 6a se muestran los datos de estratificación correspondientes a la Fm. Rosario, mismas que no se separaron por áreas ni por orientaciones ya que no muestran tendencias particulares. Los buzamientos se orientan hacia el suroeste, donde se observan dos concentraciones principales: una entre 180° y 190° y otra centrada entre 240° y 250°. La inclinación de las capas es marcadamente menor a 20° (Figura 6b).

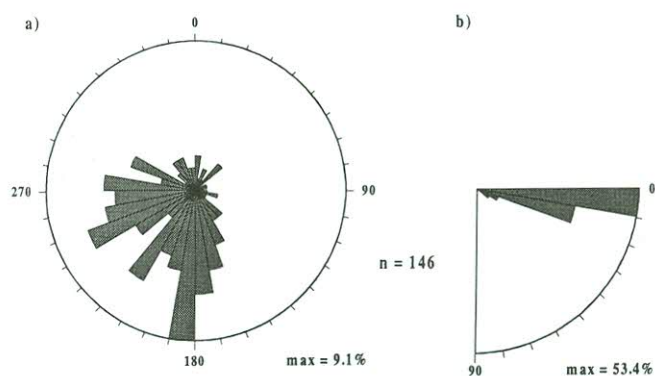


Figura 6. Actitud de 146 datos de buzamiento de la estratificación en la Fm. Rosario. a) Roseta que indica la dirección del echado de los estratos. Aquí se aprecia que los echados en su mayoría se orientan hacia el S y el SW. b) Inclinación preferente del echado en los estratos de la Fm. Rosario. Las capas buzán en su mayoría de 0 a 10 grados.

En la Formación Rosarito Beach el buzamiento de las tobas no muestra alguna tendencia preferente (Figura 7a). En la roseta de la Figura 7b se observa que las inclinaciones son menores a 20°.

ANÁLISIS DE FALLAMIENTO

Las premisas para calcular el tensor de esfuerzos de acuerdo con la teoría de Coulomb son: 1) que el vector del deslizamiento (estría) es paralelo al vector de cizalla máxima sobre el plano de falla, el cual es producido por un tensor regional de esfuerzos; 2) que el medio es homogéneo; 3) que cada falla actúa aisladamente y 4) que no hay rotación de bloques discretos (Angelier, 1984; Angelier, 1990; Nieto-Samaniego, 1996). Con respecto al último punto, es importante aclarar que, a pesar de que el área de estudio se

Tabla I. Sismos con $M > 3$ localizados en el área de estudio y muy cercanos a ella. A.B.= Falla Agua Blanca, T.H.= Falla Tres Hermanas, B.T.S.= Bahía Todos Santos.

AÑO	MES	DÍA	HORA	LAT. N	LONG. W	Z	M_L	FUENTE	LUGAR
1968	abril	10	104237.8	31.992	116.917	10	4.5	Legg, 1991	B.T.S.
1968	abril	10	105503.2	31.939	116.883	10	4.3	Legg, 1991	B.T.S.
1968	abril	23	131825.4	32.113	116.783	10	4.2	Legg, 1991	B.T.S.
1968	abril	23	132234.8	31.970	116.683	10	4.0	Legg, 1991	B.T.S.
1995	sep.	9	105047.0	31.716	116.688	10	3.72	RESNOM	A. B.
1996	marzo	5	2:21	31.872	116.509	7.5	3.8	RESNOM	T. H.

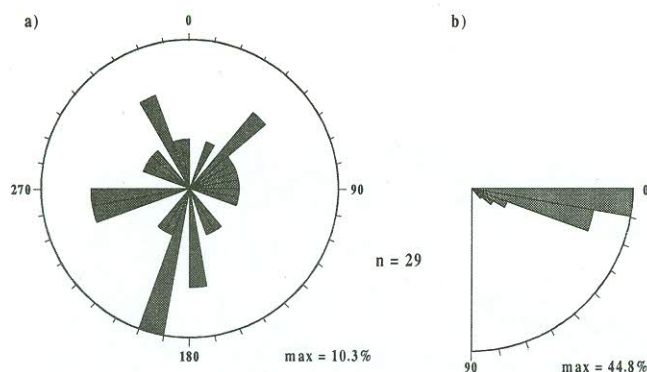


Figura 7. Actitud de 29 datos de buzamiento de la estratificación de las tobas de la Fm. Rosarito Beach. a) Dirección del echado de la estratificación que aparentemente sigue la paleotopografía. b) Inclinación del echado de los estratos de las tobas de la Fm. Rosarito Beach. Se observa que la mayoría se inclina menos de 10°.

encuentra en una zona de cizalla regional, las únicas rotaciones observadas se localizan solamente en los bloques desplazados.

FALLAS

En este trabajo se presentan 733 datos de fallas con estrías, de los cuales 459 se encuentran en la Fm. Rosario, 217 en la Fm. Rosarito Beach y 57 afectan a ambas unidades litológicas. En las zonas donde se reconocieron conjuntos de fallas con orientaciones distintas se supuso que ocurrieron eventos de deformación distintos. Para el análisis del campo de esfuerzos se dividieron las fallas en dos grandes grupos: 1) las asociadas a los deslizamientos y 2) las asociadas con el campo de esfuerzos regional.

DEFORMACIÓN POR GRAVEDAD

Las fallas asociadas a los deslizamientos son aquellas que se encuentran dentro de los cuerpos desplazados. En los casos en los que la solución del análisis dinámico de estas discontinuidades estructurales no corresponde con la orientación del tensor regional de esfuerzos se ha interpretado que su origen se asocia con los mismos deslizamientos.

En la Figura 8 se muestra el análisis dinámico de las fallas cartografiadas en el interior de bloques sujetos a deslizamientos. Cuando se trata de un deslizamiento activo, la orientación de σ_3 se distingue fácilmente porque en todos los bloques es la misma. Se observó que en el interior de los bloques el fracturamiento es paralelo a las cabeceras. En la misma figura es notable el estereograma del sitio F, que

corresponde al deslizamiento activo de la caseta de cobro de San Miguel y define muy bien el movimiento del bloque hacia el sur (XVI en Figura 8). En este sitio todas las estrías se midieron en la cabecera y dentro del cuerpo del deslizamiento.

Los estereogramas de los sitios D, E y G de la Figura 8 muestran un fallamiento inverso localizado al pie de su deslizamiento correspondiente, donde ocurre compresión horizontal, tal y como se muestra esquemáticamente en la Figura 9. En el estereograma del sitio A (Figura 8) la solución del análisis dinámico indica fallamiento normal, el cual fue obtenido utilizando datos en la traza principal de la falla y en el fallamiento secundario asociado. En el estereograma K de la Figura 8 se muestran las fallas medidas en los flancos del deslizamiento, cuya solución concuerda con la indicada en el esquema de la Figura 9.

De las soluciones dinámicas obtenidas en los estereogramas de los sitios A, D, F y G, correspondientes a los deslizamientos I, XIII, XVI y XVIII (Figura 8) y de las observaciones hechas en el campo, se encontró que presentan las estructuras características que se muestran esquemáticamente en la Figura 9 y que se sintetizan en la Tabla II. En los sitios B, C, H, I y J de la Figura 8, se observan soluciones de fallamiento normal medidos en el cuerpo de los respectivos deslizamientos.

DEFORMACIÓN REGIONAL

El fallamiento asociado con el campo de esfuerzos regional se muestra en las Figuras 10 y 11. Los datos de falla se separaron en dos figuras debido a que pertenecen a campos de esfuerzo diferentes. Este análisis se hizo sin discriminar las diferentes litologías y se utilizaron los datos medidos en el sitio que se señala, así como estructuras medidas hasta a 100 m de distancia.

A continuación se presenta el análisis dinámico de los sitios del área de estudio. Para ponderar los datos se consideraron el tamaño de las fallas y su continuidad, desplazamiento neto o aparente, grosor de la salbanda, entre otros. La presentación de los resultados está dividida en grupos de sitios cuyas soluciones resuelven diferentes tipos de fallamiento.

DEFORMACIÓN POR UN PAR DE FUERZAS

En la Figura 10 se distinguen cuatro tipos de fallas, diferenciadas con base en el tipo de fallamiento y que indican una mecánica de deformación compleja, por lo que su conjugación es necesaria para que nos lleve a una solución

Tabla II. Partes de un deslizamiento y sus fallas asociadas

Parte del deslizamiento	Estructura asociada	Deformación observada
Corona	Fallas normales y fracturamiento extensional	Extensión
Cabecera	Fallas normales	Extensión
Cuerpo	Fallas normales y bloques levantados con ángulo alto	Extensión
Flanco	Fallas laterales	Movimiento lateral
Frente	Fallas inversas	Compresión

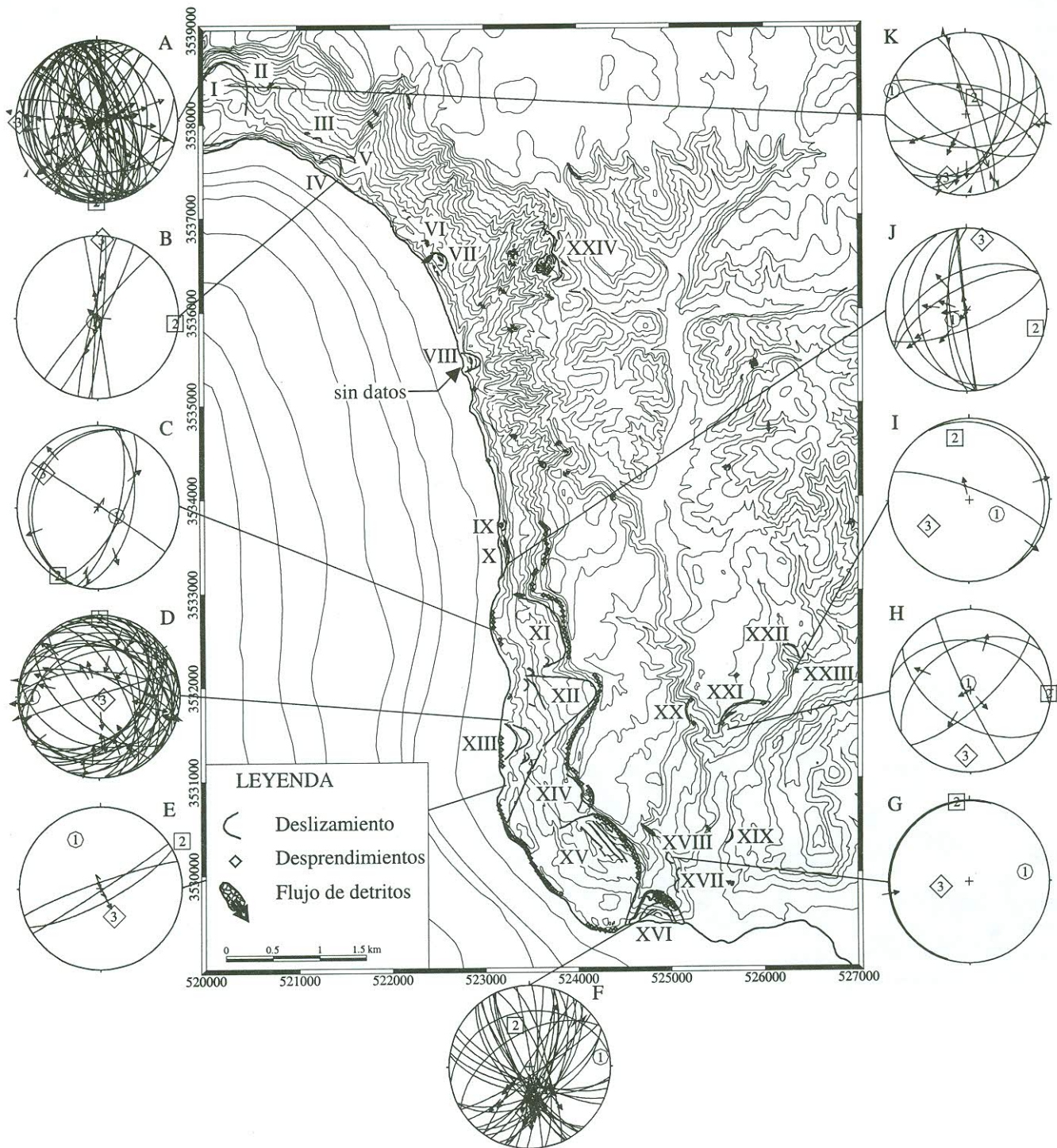


Figura 8. Análisis de esfuerzos en zonas afectadas por deslizamientos. La mayoría de los conjuntos tienen pocos datos de estrías, excepto los sitios A, D y F. El estereograma del sitio F corresponde al deslizamiento activo cercano a la caseta de San Miguel (XVI), en el cual se define muy bien el movimiento del terreno hacia el sur. El estereograma del sitio D muestra un fallamiento inverso al pie del deslizamiento XII.

satisfactoria. El primer tipo está representado por las fallas laterales derechas del estereograma 2 de la Figura 10; tienen un rumbo NNW y desplazamiento de algunos metros. El segundo tipo notable de fallas, en este caso, de desplazamiento lateral izquierdo y escaso normal, está representado en el

estereograma 3. En este, no se observa un agrupamiento preferente en el rumbo de las fallas debido a que se trata de estructuras secundarias. En este caso el desplazamiento también alcanza varios metros y afecta a varias unidades litológicas. A este grupo pertenecen las fallas de los sitios 1,

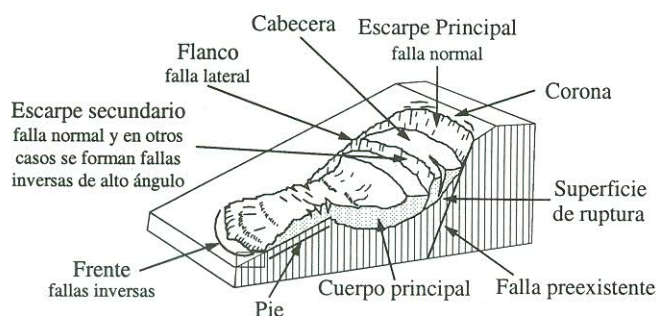


Figura 9. Esquema de un deslizamiento de tipo rotacional donde se muestran sus partes y el tipo de fallas asociadas a ellas (modificado de Varnes, 1978).

5, 6, 10, 13 y 15, cuya orientación dominante se encuentra entre $N40^{\circ}W$ y $N40^{\circ}E$. Las fallas medidas en los derrames de basalto de la Fm. Rosarito Beach no están bien preservadas, por lo que no se pudo estimar la magnitud de su desplazamiento. Estas fallas tienen un arreglo general en *echelón* con salto a la derecha, como se observa en la región de la Mesa San Miguel.

El tercer tipo está representado por fallas normales de rumbo dominante hacia el NNW y afecta a las rocas de la Fm. Rosarito Beach. Los sitios en que se observan estas estructuras son: 7, 8, 9, 14 y 16 (Figura 10). En los estereogramas 7, 8 y 9, σ_3 muestra una clara dirección ENE-WSW, mientras que en los sitios 14 y 16 la orientación de σ_3 es hacia el SSE y N con σ_2 en el plano ENE-WSW.

El cuarto tipo de fallas está integrado por fallas inversas con rumbo E-W, con saltos aparentes entre 0.40 y 4 m. Estas estructuras se intercalan con fallas normales de pequeño salto aparente (4 cm), similares a las del sitio 12. Los sitios donde se identificaron estructuras compresionales son el 4 y el 11.

Los cuatro tipos de fallas son más o menos consistentes con la geometría de una zona de cizalla derecha orientada $N40^{\circ}W$, como la representada en el elipsoide de deformación de la Figura 10, donde las fallas normales están dispuestas de forma paralela a la dirección de compresión regional (Tchalenko, 1970; Hancock, 1985).

OTRA DEFORMACIÓN

Se observó una deformación diferente a la descrita en los párrafos anteriores. Esta se presenta en la Figura 11, donde sobresale el fallamiento normal en dos direcciones, uno con rumbo al ENE representado en los sitios 19, 21, 22 y 25, donde las fallas muestran saltos aparentes hasta de 4 m, con excepción del sitio 25, donde la solución dinámica indica un régimen oblicuo. En el sitio 21, en la villa Cíbola del Mar, dos fallas principales son responsables de la deformación en esa zona. Estas fallas normales tienen desplazamientos mayores a 5 m y afectan a las rocas volcánicas de la Fm. Rosarito Beach y a las sedimentarias de la Fm. Rosario. En el sitio 22 se cartografiaron fallas normales de bajo ángulo con rumbo ENE-WSW que afectan a rocas sedimentarias de la Fm.

Rosario y son similares en orientación y dimensiones a las observadas en el sitio 19. El fallamiento oblicuo del sitio 25 tiene la misma orientación que las fallas normales del sitio 19 en el Acantilado Salsipuedes; sin embargo, el sentido de movimiento horizontal, aunque importante, no se puede definir debido a la escasez de los datos. Los desplazamientos verticales aparentes en la mayoría de estas fallas son del orden de los 4 m.

El segundo tipo de fallamiento tiene rumbo E-W pero con menor inclinación, como se muestra en el sitio 20. Este sitio se localiza en el Arroyo El Tigre y el análisis dinámico indica una extensión en dirección N-S, que no se puede asociar a la geometría de cizalla representada en la Figura 10, por lo que esta zona con fallamiento de bajo ángulo puede representar a un bloque discreto que corresponde de manera distinta al patrón regional de esfuerzos.

La deformación en los sitios 18, 23, 24 y 26 es poco consistente con las tendencias observadas en las zonas aledañas, por lo que se considera local o secundaria, generada por el acomodo de bloques. En el sitio 18 se observaron fallas con desplazamientos del orden de los 5 cm que afectan únicamente a la Formación Rosario, por lo que se asocian con el fallamiento normal del sitio 19. En el sitio 24 las fallas tienen desplazamientos hasta de 60 cm y afectan sólo a la Fm. Rosarito Beach. Con respecto al sitio 23, el fallamiento es normal de rumbo NNW-SSE, con desplazamientos mayores a los 2 m y sólo afecta a rocas de la Fm. Rosario. La dirección de extensión en esta zona es similar a la obtenida en el sitio 14 (Figura 10), pero no se asocia al par de fuerzas dextrales debido a que están localizadas en el deslizamiento XXIII (Figura 8).

INTERPRETACIÓN

El buzamiento de la estratificación de las rocas de la Fm. Rosario en el área de estudio es menor a 10° , persistente hacia el SW. Este comportamiento estructural favorece el desarrollo de los deslizamientos gravitacionales a lo largo de la costa, ya que el echado de las capas y la dirección de la pendiente coinciden.

En la zona costera de la zona de estudio (sitio 1, Figura 10) y en la parte central del área, representada por los sitios 2 y 3 (Figura 10) se observa una deformación similar a la reportada en el borde continental (Legg et al, 1991; Legg, 1991). El fallamiento en estos sitios tiene la particularidad de que se encuentra junto a las cabeceras de los deslizamientos antiguos definiendo una clara relación entre las fallas regionales y los límites de las cabeceras de los deslizamientos.

De la descripción de la geometría de deformación tectónica indicada en la Figuras 10 y 11 se pueden identificar 8 estilos de deformación relacionados con la cizalla derecha:

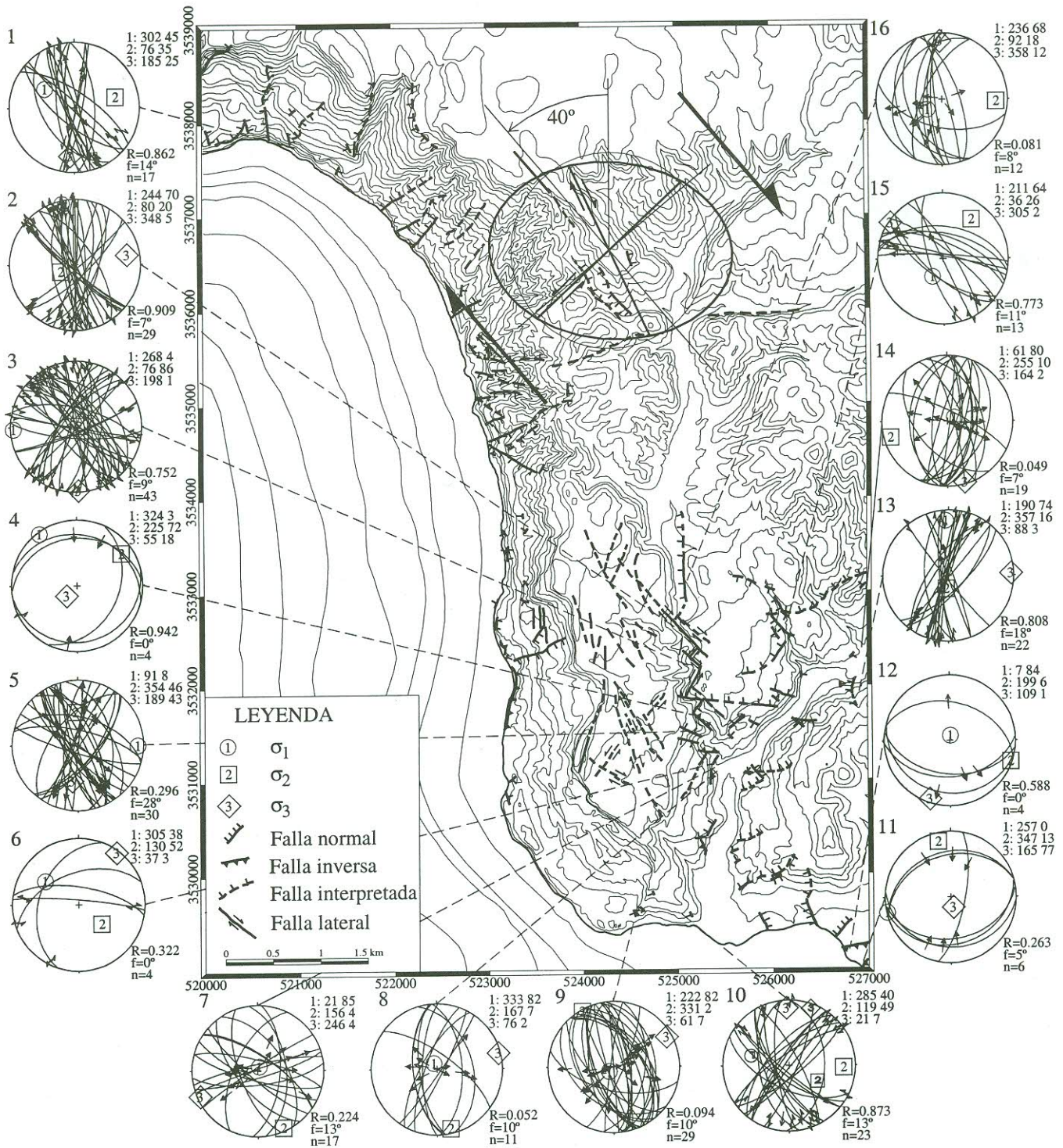


Figura 10. Análisis de la deformación regional del área de estudio, la cual se ajusta a un sistema de cizalla derecha paralela a la deformación del Borde Continental. Las fallas correspondientes al sistema son laterales derechas con dirección NW, normales con dirección perpendicular al eje de máxima extensión e inversas con dirección perpendicular al eje de máxima compresión en la elipse de deformación. Las estrías de falla están agrupadas de acuerdo con su movimiento y la asociación estría-litología no se contempla en el análisis.

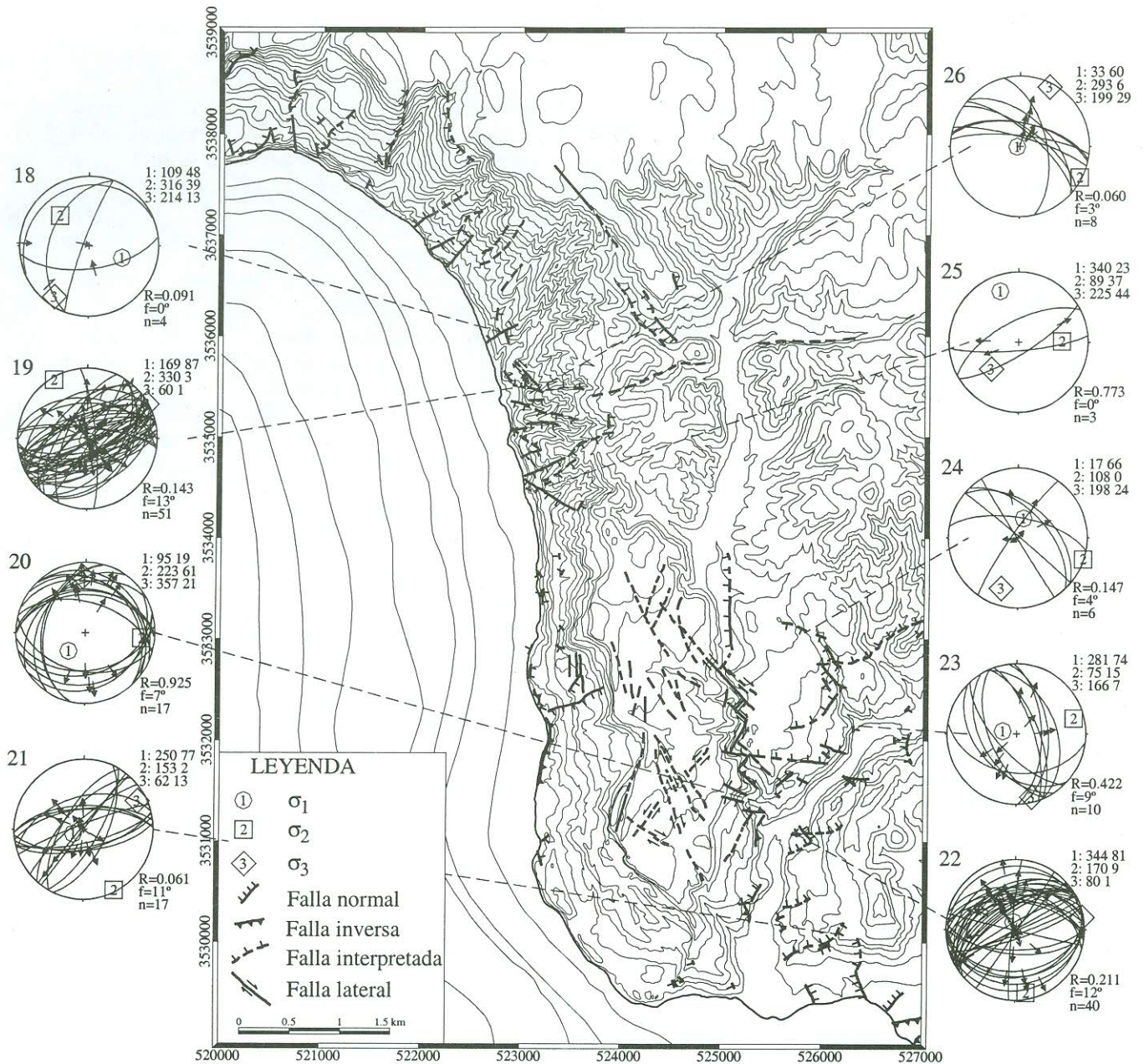


Figura 11. Análisis de la deformación regional del área de estudio que no se ajusta a la deformación regional actual. La deformación es menos intensa que la consignada en la Fig. 10. Sobresale el fallamiento orientado al NNE. El estereograma 23 indica una geometría similar a la de la Fig. 10. Las estrías de falla están agrupadas de acuerdo con su sentido de movimiento.

- Cizalla lateral en los sitios 1, 2, 3, 6, 10, 13 y 15
- Inverso con compresión N-S en los sitios 4 y 11
- Normal con extensión ENE-WSW en los sitios 7, 8, 9 y de NNW a NNE en los sitios 14 y 16

Los otros 5 casos de deformación se presentan en la Figura 11. Estos no se relacionan con el modelo de cizalla derecha discutida anteriormente. Las soluciones pueden agruparse de la siguiente forma:

- Normal con extensión NW-SE en los sitios 19, 21 y 22
- Normal con extensión NE en los sitios 18, 24 y 26
- Normal con extensión en dirección ENE en el sitio 25
- Normal de bajo ángulo con extensión N-S en el sitio 20
- Normal con extensión SSE en el sitio 23

Del resultado del análisis estructural se desprende que la mayoría de las fallas se asocian a un sistema predominantemente lateral derecho, característico del noroeste de Baja California.

Los sistemas de fallas que no coinciden con la solución anterior son menos abundantes y sugieren varios eventos de deformación, o bien, que corresponden a bloques discretos con un comportamiento distinto.

Existen dos sistemas de fallas que son importantes y que toman el carácter de regionales. Uno es de tipo normal orientado ENE-WSW y el otro corresponde a un sistema de fallas que se resuelven a través de una cizalla derecha orientada NW-SE. El fallamiento normal más importante puede ser anterior al Mioceno, posiblemente contemporáneo a la deformación extensional del *Basin and Range*. El segundo corresponde a un fallamiento que se manifiesta desde el Plioceno hasta el Reciente. La cizalla derecha que mejor explica al segundo sistema de fallas se ajusta al fallamiento actual del Borde Continental Californiano y al estado de esfuerzos actuante en la región NW de Baja California.

Por razones históricas, es probable que la falla El Descanso-Estero siga presentando actividad sísmica de tipo enjambre; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que cambie su comportamiento sísmico. Esta falla junto con las fallas Agua blanca y San Miguel, representan una amenaza sísmica para la zona y son el producto del mismo estado de esfuerzos.

Las rocas de la Fm. Rosario tienen una persistente inclinación de sus estratos hacia el SW (Figura 6). Se observó que los contactos entre dichos estratos facilitan el deslizamiento de la masa sobreyacente, sobre todo cuando existen horizontes de lutitas. La actitud de la estratificación de la Fm. Rosarito Beach no tiene una dirección preferente y no favorece la generación de deslizamientos (Figura 7).

El fallamiento asociado a los deslizamientos es escaso, por lo que no fue necesario hacer un análisis poblacional de sus fallas. Las zonas A, D y F de la Figura 8 son la excepción. Allí se observó que el deslizamiento desarrolla fallas inversas en el frente, normales en la cabecera y de desplazamiento lateral en los flancos. Las estructuras anteriores y rasgos morfológicos asociados, tales como los lóbulos en los frentes y los escarpes curvilíneos en las partes superiores, permitieron identificarlos como deslizamientos antiguos de grandes dimensiones que no son evidentes de una inspección simple del área.

Los deslizamientos activos pueden reconocerse fácilmente; presentan un agrietamiento característico y su modo de deslizamiento no se confunde con ningún otro fenómeno (XVI, Figura 8). En estos casos sobresalen las fallas normales y las de desplazamiento lateral, mientras que las fallas inversas en los frentes están pobremente desarrolladas por la abundancia y poca competencia del material removido. Es característico también el fracturamiento paralelo a la cabecera en el interior del bloque (VIII, Figura 8).

CONCLUSIONES

En la zona comprendida entre los kilómetros 84 y 98 de la carretera Escénica Tijuana-Ensenada, la ocurrencia de deslizamientos por gravedad afecta principalmente a zonas donde predominan las rocas sedimentarias de la Fm. Rosario. La poca competencia de estas rocas y su buzamiento hacia el W-SW, además de la presencia de lutitas interestratificadas, facilitan el deslizamiento en la dirección de las pendientes.

El área de estudio es una zona sísmica, donde pueden llegar a presentarse sismos someros y de tipo enjambre, incrementando la inestabilidad de la zona. La región en su conjunto tiene una sismicidad moderada y las localizaciones epicentrales no se pueden asociar directamente con las estructuras cartografiadas debido en parte a la inexactitud de la localización. Se interpreta que la intensa actividad tectónica ha provocado un rápido levantamiento y la formación de un relieve escarpado, principalmente en la zona costera.

El fallamiento dominante reciente está orientado hacia el NW y es de desplazamiento lateral y normal. El fallamiento normal se observa en toda la zona de estudio afectando la columna estratigráfica completa. También se observó un fallamiento orientado E-NE, considerado más antiguo que los dos anteriores en vista de que sólo afecta a la Fm. Rosario.

La deformación reciente está relacionada con un régimen de cizalla derecha orientada paralelamente al activo sistema de falla El Descanso-Estero, localizada en el mar a aproximadamente 5 km de la costa. A su vez, este sistema es paralelo al sistema San Miguel-Vallecitos-Calabazas, en el interior de la península. En el área de estudio, la región donde se observa más claramente esta relación estructural es en el Arroyo El Tigre, cuya expresión topográfica *en echelón* corresponde a la cizalla gobernante.

Los rasgos estructurales que caracterizan a los deslizamientos son el fracturamiento intenso en el interior de los bloques, el desarrollo de fallas laterales en los flancos, así como fallas normales en las cabeceras. En menor cantidad se identificaron fallas inversas en el frente de los deslizamientos. Las cabeceras de la mayoría de los deslizamientos se alinean paralelamente con el fallamiento NW y al sistema de cizalla del arroyo El Tigre en el centro de la Mesa San Miguel.

En toda el área, a lo largo de la costa, se observa que el miembro medio de la Fm. Rosario es el que presenta mayor potencial a deslizarse, ya que es el menos consolidado y contiene lutitas interestratificadas que lo hacen inestable. Se ha identificado que estas últimas definen superficies de deslizamiento eficientes bajo condiciones de pendientes mayores a los 9° con inclinación hacia la costa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el CICESE. El primer autor agradece al CONACYT y a la División de Ciencias de la Tierra del CICESE el otorgamiento de beca y apoyo financiero, respectivamente, durante el desarrollo de esta investigación. Agradecemos también la colaboración de Verónica A. Cruz Casas por haber revisado la primera versión del texto y a Francisco Suárez y un revisor anónimo por sus comentarios y críticas al documento. Finalmente, agradecemos a Víctor Manuel Frías C. su participación en la edición final de las figuras.

REFERENCIAS

- Abbott, P.L., Suárez-Vidal, F., Sangines, E. and Rendina, M., 1993. South Coast Geological Society, Baja California field-trip road log. *En*: Abbott, P.L., Sanguines, E.M. and Rendina, M.A., Editors, Geologic investigations in Baja California, Mexico. Annual field-trip guide book No. 21, South Coast Geological Society, Inc., Santa Ana, CA, USA., p. 194-216.
- Allen, C.R., Silver, L.T. and Stehli, F.G., 1960. Agua Blanca fault - a major transverse structure of northern Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, V. 71, p. 457-482.
- Almazán-Vázquez, E., 1988. Marco paleosedimentario y geodinámico de la Formación Alisitos en la Península de Baja California. Universidad Nacional Autónoma México, Revista del Instituto de Geología, V. 7-1, p. 41-51.
- Angelier, J., 1984. Tectonic analysis of slip data sets. *Journal of Geophysical Research*, V. 89-B7, p. 5835-5848.
- Angelier, J., 1990. Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress-III. A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophysical Journal International*, V. 103, p.363-376.
- Armijo, R. and Suárez-Vidal, F., 1981. Neotectonics of northern Baja California Geological Society of America Abstracts with Programs, V. 13-2, p. 42.
- Ashby, J.R., 1989. A resume of the Miocene stratigraphic history of the Rosarito Beach Basin, northwestern Baja California, Mexico. *En*: Patrick L. Abbott, editor, Geologic studies in Baja California, Book 63, p. 37-45.
- Frez, J. and González, J.J., 1991. Crustal structure and seismotectonics of northern Baja California. *En*: Paul Dauphin and Bernard Simoneit, Editors, The gulf and peninsular province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, p. 261-283.
- Gastil, R.G., Phillips, R. and Allison, E., 1975. Reconnaissance geology of the State of Baja California, Geological Society of America Memoir 140, 170 pp.
- Hancock, P.L., 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*, V.7-3/4, p. 437-457.
- Hart, M.W., 1993. Geologic investigations in Baja California, Mexico. Annual field trip guide. *En*: Abbott, P.L., Sanguines, E.M. and Rendina, M.A., Editors, Geologic investigations in Baja California, Mexico. Annual field-trip guide book No. 21, South Coast Geological Society, Inc., Santa Ana, CA, USA., p. 43-48.
- Legg, M. R., 1991. Sea beam evidence of recent tectonics activity in the California Continental Borderland. *En*: Paul Dauphin and Bernard Simoneit, Editors, The gulf and peninsular province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, p. 179-196.
- Legg, M.R., Wong, V. and Suárez, F., 1991. Geologic structure and tectonics of the inner Continental Borderland of northern Baja California. *En*: Paul Dauphin and Bernard Simoneit, Editors, The gulf and peninsular province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, p. 145-177.
- Miller, V.V. and Abbott, P.L., 1989. Sedimentology of the Upper Cretaceous Rosario Formation near Colonet and Camalú, *En*: Patrick L. Abbott, Editors, Geologic Studies in Baja California, Book 63, p. 63-74.
- Minch, A.J., 1967. Stratigraphy and structure of the Tijuana-Rosarito Beach area, northwestern Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, V. 78, p. 1155-1178.
- Minch, A.J., 1972. Landsliding and the effects of resort development between Tijuana and Ensenada, Baja California, Mexico. Department of Geography, University of California, Riverside, California 92502. Coastal Studies in Baja California. Technical Report N(0-72-1). Office of Naval Research ONR Contract N00014-69-A-0200-5003. Project N(NR 387-045).
- Minch, A.J., Ashby, J., Deméré, T. and Kuper, T., 1984. Correlation and depositional environments of the Middle Miocene Rosarito Beach Formation of northwestern Baja California, Mexico. *En*: J.A. Minch and J.R. Ashby, Editors, Miocene and Cretaceous depositional environments, northwestern Baja California, Mexico: Pacific Section, American Association of Petroleum Geologists, V. 54, p. 33-46.
- Morales-Pérez, M.B., 1995. Caracterización de los factores geológicos que controlan los deslizamientos de ladera en el área de San Miguel-Salsipuedes, Ensenada, B.C., México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias de la Tierra, Linares, Nuevo León, México, 58 pp.
- Mueller, K. and Rockwell, T., 1991. Late quaternary structural evolution of the western margin of the Sierra Cucapa, Northern Baja California. *En*: Paul Dauphin and Bernard Simoneit, Editors, The gulf and peninsular province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, p. 249-260.
- Nieto-Samaniego, A.F., 1996. Principios teóricos del fallamiento frágil por cizalla parte I. La deformación bidimensional. *GEOS*, V. 16-3, p. 146-151.
- Ortega, A., 1988. Neotectónica de un sector de la falla de Agua Blanca, Valle de Agua Blanca (Rancho La Cocina-Rancho Agua blanca) Baja California, México: Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 146 pp.

- Reyes, A., Brune, J. and Barker, T., 1975. A microearthquake survey of the fault zone, Baja California, Mexico. *Geophysical Research Letters*, V. 2-2, p. 56-59.
- Rico, A., Springall, J. y Springall, G., 1969. Deslizamientos en la autopista Tijuana-Ensenada. Contribución de la Secretaría de Obras Públicas al VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Cimentaciones, México, 213 pp.
- Rockwell, K.T., Hatch, E.M. and Shug, L.D., 1987. Late Quaternary rates Agua Blanca and borderland faults: Final Technical Report USGS, contract No. 14-08-0001-22012, 122 pp.
- Rockwell, K.T., Muhs, D., Kennedy, G., Hatch, M., Wilson, S. and Klinger, R., 1989. Uranium-series ages, faunal correlations and tectonic deformation of marine terraces within the Agua Blanca fault zone at Punta Banda, northern Baja California, México. *En: Patrick Abbott, editor, Geologic Studies in Baja California, The Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles, California U.S.A., p. 1-16.*
- Shimer, H.W. and Shrock, R.R., 1955. Index fossils of North America. John Wiley and Sons, Inc., Fifth edition, New York, 837 pp.
- Shor, Jr. G.G. and Roberts, E., 1958. San Miguel, Baja California Norte earthquakes of February 1956: Seismological Society of America, Bulletin, V. 48, p. 101-116.
- Sperner, B., Ratschbacher, L. and Ott, R., 1993. Fault-striae analysis: a turbo pascal program package for graphical presentation and reduced stress tensor calculation. *Computers & Geosciences*, V. 19-9, p. 1361-1388.
- Suárez-Vidal, F., Armijo, R., Morgan, G., Bodin, P. and Gastil, G., 1991. Framework of recent and active faulting in northern Baja California. *En: Paul Dauphin and Bernard Simoneit, Editors, The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, p. 285-300.*
- Suárez-Vidal, F., 1993. Marco estructural de la Falla Agua Blanca, Baja California, México. *En: Delgado-Argote, L. A. y Martín-Barajas, A., Editores, Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 1, p. 24-39.*
- Tchalenko, J.S., 1970. Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geological Society of America Bulletin*, V. 81, p. 1625-1640.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes, *En: Robert L. Schuster and Raymond J. Krizek, Editors, Landslides analysis and control. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 179. National Academy of Sciences, Washington, D.C. p. 12-33.*
- Wong, V, Legg, M. y Suárez, F., 1987. Sismicidad y tectónica de la margen continental del sur de California (USA) y Baja California Norte (México). *Geofísica Internacional*, V. 26-3, p. 459-478.
- Yeo, R.K., 1984. Sedimentology of upper Cretaceous strata, northern Baja California, Mexico. *En: Patrick L. Abbott, Editors, Upper Cretaceous depositional systems, Southern California-Northern Baja California (field trip), Los Angeles CA, Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 109-120.*
- Yeo, R.K., 1984a. Stratigraphic sections of the northern Baja California field area. *En: Patrick L. Abbott, Editors, Upper Cretaceous depositional systems, Southern California-Northern Baja California (field trip), Los Angeles CA, Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 121-140.*