



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y
ESTRUCTURAL DE LA REGIÓN
SALSIPUEDES, BAJA
CALIFORNIA”

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA GEÓLOGA

PRESENTA:
SELENE SARAÍ MUÑOZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS
ING. JAVIER ARELLANO GIL



MEXICO D. F.

MAYO 2015

Dedicatorias:

A dios:

Por las personas que puso en mi camino y haberme dado la vida que tengo. Permitiéndome nacer en una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre dándome ejemplos de responsabilidad, superación, humildad y sacrificio.

A mi mamá:

Sabiendo que jamás existirá una forma de agradecerte todo el sacrificio y esfuerzo constante que haces por mí, sólo deseo que entiendas que este logro mío, es un logro tuyo, que mi esfuerzo es inspirado en ti.

A mi papá:

Por la confianza y seguridad que has creado en mi misma, por enseñarme que no hay cosas inalcanzables, no hay dificultades, y que no existe la palabra imposible. Nunca terminaré de agradecer tú presencia en mi vida.

A mi director de tesis:

Ing. Javier Arellano Gil, gracias por confiar en mí, por compartir su conocimiento y su tiempo para ayudarme a alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mi hermano:

Por ser el hombre más noble que conozco y un gran ejemplo de hermano mayor.

A Sofía:

Aunque todavía no puedes leer, un día vas a aprender y por eso te dedico esta tesis, gracias por llegar y dar alegría a mi vida.

A Abi:

Por ser una mujer fuerte y enseñarme el verdadero significado de la responsabilidad.

A mis amigos:

La suerte siempre ha estado de mi lado, por permitirme tener amigos como ustedes.

Anabel, a ti que te has vuelto una auténtica hermana para mí, y has compartido mis tristezas y alegrías.

Fernanda, gracias por retarme intelectualmente y compartir grandes experiencias.

Ismael, porque a pesar de la distancia siempre has estado ahí para escucharme y hacerme reír.

A mis profesores:

A los maestros que tuve a lo largo de toda mi vida, dejan huellas en mí, incluso son colaboradores de cada una de las virtudes que poseo como persona, estudiante y ahora como profesional.

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen. | 5 |
| Abstract. | 6 |
| 1. Generalidades | 9 |
| 1.1 Objetivo. | 9 |
| 1.2 Metas..... | 9 |
| 1.3 Localización..... | 10 |
| 1.5 Vías de comunicación. | 10 |
| 1.5.1 Carreteras..... | 10 |
| 1.5.2 Aeropuertos. | 11 |
| 1.6 División política. | 12 |
| 1.7 Características físicas de la zona..... | 13 |
| 1.7.1 Clima..... | 13 |
| 1.7.2 Vegetación..... | 15 |
| 1.7.3 Hidrología..... | 17 |
| 1.7.4 Fisiografía | 18 |
| 1.8 Recopilación de la información..... | 21 |
| 1.8.1 Análisis y síntesis de la información. | 27 |
| 2. Estratigrafía. | 39 |
| 2.1 Estratigrafía regional | 39 |
| 2.1.1 Rocas pre-batolíticas. | 39 |
| 2.1.2 Grupo Alisitos..... | 40 |
| 2.1.3 Cinturón de Batolitos..... | 40 |
| 2.1.4 Formación Rosario..... | 41 |
| 2.1.5 Formación Rosarito Beach. | 41 |
| 2.1.6 Formación San Diego. | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.1 Formación Alisitos..... | 46 |
| 2.2.2 Formación Rosario..... | 47 |
| 2.2.2.1 Rosario Inferior..... | 47 |
| 2.2.2.2 Rosario superior..... | 49 |
| 2.2.3 Formación Rosarito Beach..... | 51 |
| 2.2.3.1 Rosarito Beach Inferior..... | 52 |
| 2.2.3.2 Rosarito Beach Superior..... | 53 |
| 2.2.4 Formación San Diego..... | 55 |
| 2.2.5 Aluvión y suelos..... | 56 |
| 2.3 Cartografía..... | 57 |
| 2.3.1 Metodología de trabajo..... | 57 |
| 2.3.1.1 Elaboración del mapa base de la región Salsipuedes..... | 58 |
| 2.3.1.2 Comprobación de Topología..... | 62 |
| 2.3.1.3 Modelo Digital de elevación..... | 64 |
| 2.3.1.4 Diseñadores de impresión..... | 68 |
| 2.3.2 Descripción del mapa geológico..... | 70 |
| 2.3.3 Distribución de las secciones geológicas..... | 72 |
| 2.3.3.1 Sección 1..... | 72 |
| 2.3.3.2 Sección 2..... | 73 |
| 2.3.3.3 Sección 3..... | 74 |
| 2.3.3.4 Sección 4..... | 74 |
| 3. Geología Estructural..... | 76 |
| 3.1 Aspectos generales..... | 76 |
| 3.2 Estructuras regionales..... | 76 |
| 3.2.1 Sistema San Miguel-Vallecitos- Calabazas..... | 78 |
| 3.2.1.1 Falla San Miguel..... | 78 |
| 3.2.1.2 Falla Calabazas..... | 78 |
| 3.2.1.3 Falla Vallecitos..... | 78 |
| 3.2.2 Sistema el Descanso-Estero..... | 79 |
| 3.2.3 Sistema Coronado Bank-Agua Blanca..... | 79 |
| 3.2.3.1 Falla Agua Blanca..... | 79 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.3.2 Falla Maximinos. | 80 |
| 3.2.4 Sistema Depresión de San Diego-Bahía Soledad. | 80 |
| 3.2.5 Sistema San Clemente-San Isidro. | 80 |
| 3.2.6 Sistema Imperial-Cerro Prieto. | 81 |
| 3.2.6.1 Falla Imperial. | 81 |
| 3.2.6.2 Falla Cerro Prieto. | 81 |
| 3.2.7 Sistema Laguna Salada. | 81 |
| 3.2.7.1 Falla Cañón Rojo. | 82 |
| 3.2.8 Sistema Sierra Juárez-Sierra San Pedro Mártir. | 82 |
| 3.3 Estructuras primarias. | 82 |
| 3.3.1 Estructuras primarias en rocas sedimentarias. | 83 |
| 3.3.2 Estructuras primarias en rocas ígneas. | 84 |
| 3.4 Estructuras secundarias. | 85 |
| 3.4.1 Fallas. | 86 |
| 3.4.2 Procesamiento y análisis de datos de fracturas. | 91 |
| 3.4.2.1 Roseta 1. | 92 |
| 3.4.2.2 Roseta 2. | 94 |
| 3.4.2.3 Roseta 3. | 94 |
| 3.4.2.4 Roseta 4. | 95 |
| 3.4.2.5 Roseta 5. | 96 |
| 3.4.2.6 Roseta 6. | 97 |
| 3.4.2.7 Roseta 7. | 98 |
| 3.5 Sísmica reciente. | 99 |
| 4. Evolución Geológica | 103 |
| 4.1 Patrón Tectónico Regional. | 103 |
| 4.2 Arco Mesozoico | 103 |
| a) Fase uno (220–130 Ma): sistemas arco-ofiolitas. | 104 |
| b) Fase dos (130–100 Ma): arco extensional | 104 |
| c) La fase 3 (100–50 Ma): compresión continental. | 105 |
| 4.3 Apertura del Golfo de California. | 106 |

| | |
|---|------------|
| 5. Conclusiones y recomendaciones..... | 110 |
| Conclusiones..... | 110 |
| Recomendaciones..... | 112 |
| Bibliografía. | 113 |

Resumen.

La región Salsipuedes se encuentra localizada al norte del país en el sector noroeste de la Península de Baja California. Se sitúa aproximadamente a 12 km al NW de la Ciudad de Ensenada y está limitada al poniente por el Océano Pacífico.

Las rocas de Baja California contienen el registro de dos eventos regionales en la evolución geológica: 1) Evento del Mesozoico Medio; que se produjo a partir del Jurásico medio hasta el Cretácico. Está documentado por la presencia de secuencias volcánicas tipo arcos de islas, metamorfismo regional, y emplazamiento de rocas graníticas. Se trata de una profunda deformación estructural, levantamiento y erosión dando como resultado cambios geomorfológicos y geográficos y 2) Evento del Cenozoico Medio: implicó la acumulación de una amplia variedad de rocas volcánicas, metamorfismo y emplazamiento granítico, y la creación del Golfo de California, un cinturón tectónico móvil con presencia de fallamiento lateral.

En el área de Salsipuedes afloran rocas sedimentarias y rocas volcánicas del Mesozoico y Cenozoico, que se pueden separar en cuatro formaciones geológicas de acuerdo a su edad, el tipo de roca y su ambiente de depósito. Las rocas más antiguas son de aproximadamente 140 millones de años y corresponden a rocas vulcano-sedimentarias de la Formación Alisitos que se encuentran cubiertas discordantemente por rocas sedimentarias de la Formación Rosario del Cretácico Tardío; estas subyacen de forma discordante a rocas volcánicas y vulcanoclásticas de la formación Rosarito Beach del Cenozoico, y por la secuencia sedimentaria clástica correspondiente a la Formaciones San Diego del Plio-Pleistoceno.

Las fallas regionales evidencian la intensa actividad tectónica a la que ha estado sometida la zona debido a su ubicación dentro de la región del límite de placas transformante de las placas tectónicas Norteamericana y del Pacífico. La región se caracteriza por una sismicidad causada por movimientos de fallas laterales entre las cuales destacan: Sistema San Miguel-Vallecitos-Calabazas, Sistema El

Descanso-Estero, Sistema Cornado Bank-Agua Blanca, Sistema depresión San Diego-Bahía Soledad y Sistema San Clemente San Isidro.

La mayoría de las fallas en la región Salsipuedes tienen una expresión morfológica en el área de estudio, pertenecen a los sistemas de fallas NW35°SE y NE35°SW. El sistema de fallas laterales izquierda con componente normal de orientación NE-SW, son las responsables de la formación de valles, de las bahías y puntas presentes en el área de estudio.

La región Salsipuedes fue afectada por cuatro eventos de deformación que dieron a los sistemas de fallas y fracturas: 1) NW–SE que está asociado al sistema de fallas San Diego-Bahía Soledad y al sistema San Clemente-San Isidro, 2) el sistema E-W está asociado a la Falla Agua Blanca, 3) El sistema N-S, es una condición que predomina en toda el área, donde ocurrió extensión y 4) el sistema NE-SW que solo se presenta en las áreas donde predominan los basaltos de la Formación Rosario.

En las proximidades del océano Pacífico y en el límite de las coladas de basalto se tienen fuertes pendientes, y alto nivel de fracturamiento por lo que representan zonas de alto riesgo de deslizamiento de masas, sobre todo por la sismicidad, la presencia de agua de lluvia que se infiltra por las fracturas y por la erosión que genera escarpes verticales o subverticales. En esta zona no es recomendable la construcción de obras civiles como túneles, puentes y cortes profundos ya que presentan alto riesgo de deslizamientos de masas.

Abstract.

The Salsipuedes region is located to the North of the country in the Northwest sector of the Peninsula of Baja California. It is situated approximately 12 km to the NW of the city of Ensenada and is limited to the West by the Pacific Ocean.

Baja California rocks contain the record of two regional events in the geological evolution: 1) event of the Middle Mesozoic; that occurred from the Middle Jurassic until the Cretaceous. It is documented by the presence of volcanic sequences type arc of Islands, regional metamorphism and emplacement of granitic rocks. It is a deep structural deformation, uplift, and erosion resulting geographic changes and 2) event of the Middle Cenozoic: involved the accumulation of a variety of volcanic rocks, metamorphism and granite emplacement, and the creation of the Gulf of California, a mobile tectonic belt. with presence of strike-slip.

In the area of Salsipuedes outcrop sedimentary rocks and volcanic rocks from the Mesozoic and Cenozoic, which can be separated into four formations according to their age, the type of rock and deposit environment. The oldest rocks are approximately 140 million years and correspond to vulcano-sedimentary rocks of the Alisitos Formation are unconformably covered by sedimentary rocks of the Rosario Formation from the late Cretaceous; These underlies so discordant volcanic and vulcanoclastics rocks of the Rosarito Beach formation of the Cenozoic and clastic sedimentary sequence corresponding to the San Diego Formation of the Plio-Pleistocene.

Regional faults demonstrate the intense tectonic activity which is under the area due to its location within the region of the transform plate boundary of the Pacific and North American tectonic plates. The region is characterized by a seismic activity caused by the movements of lateral fault among which: San Miguel-Vallecitos-Calabazas System, El Descanso-Estero System, Cornado Bank-Agua Blanca System, San Diego-Bahía Soledad depression system and San Clemente-San Isidro system.

Most of the faults in the Salsipuedes region have a morphological expression in the study area, belong to fault system NW35 °SE and NE35 ° SW. Left lateral fault system with normal component of NE-SW orientation, are responsible for the formation of valleys, bays and capes present in the study area.

The Salsipuedes region was affected by four events of deformation which gave to the systems of faults and fractures: 1) NW-SE that is associated with San Diego-Bahía Soledad and San Clemente-San Isidro faults systems, 2) E-W system is associated with Agua Blanca fault, 3) the N-S system, is a condition that prevails throughout the area, where occurred extension and 4) the NE-SW system that only occurs in areas where the Rosario Formation basalts predominate.

In the proximity of Pacific Ocean and on the edge of the basalt lava flows are steep slopes and high degree of fracturing which represent areas of high risk of sliding mass, especially by seismicity, presence of rainwater that infiltrates through the fractures and erosion generating vertical or subvertical scarps. This area is not recommended the construction of civil works such as tunnels, bridges and deep cuts since they present high risk of landslides of masses.

1. Generalidades

Las características geológicas de la región de Salsipuedes, en forma general se pueden agrupar en dos dominios geológicos contrastantes. El primero que se distribuye en el sector norte, constituido por derrames de rocas volcánicas que varían en composición de basalto a basaltos-andesíticos con intercalaciones de brechas volcánicas y en forma subordinada por depósitos piroclásticos de la misma composición.

El segundo dominio se distribuye en la porción sur, formado por sucesiones de rocas sedimentarias detríticas con una amplia variación en el tamaño de sus constituyentes clásticos y matriz, teniendo conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas, también presentan algunas intercalaciones de depósitos piroclásticos y en la base de toda la secuencia se tiene un cuerpo de ignimbritas.

1.1 Objetivo.

Recopilar, analizar y sintetizar la información geológica, geofísica y geotécnica de la Región Salsipuedes, Baja California que sirva de base para la realización de trabajos de ingeniería aplicada.

1.2 Metas.

- Elaborar un informe que actualice el modelo geológico conceptual de la región Salsipuedes, considerando las unidades estratigráficas y estructurales.
- Describir las unidades estratigráficas considerando su litología, su ambiente sedimentario y sus relaciones verticales.
- Caracterizar en forma detallada los sistemas de fracturas y fallas que afectan a las diferentes secuencias estratigráficas.
- Describir los tipos y fases de deformación que han afectado a la región.

- Interpretar el origen y la evolución geológica de la región, a partir de la estratigrafía, sedimentología, geología estructural y enmarcarla en el contexto de la evolución geológica.
- Elaborar un mapa geológico actualizado.

1.3 Localización.

La región de Salsipuedes se encuentra localizada al norte del país en el sector noroeste de la Península de Baja California (Figura 1.1). Se sitúa aproximadamente a 12 km al NW de la Ciudad de Ensenada y está limitada al poniente por el Océano Pacífico.



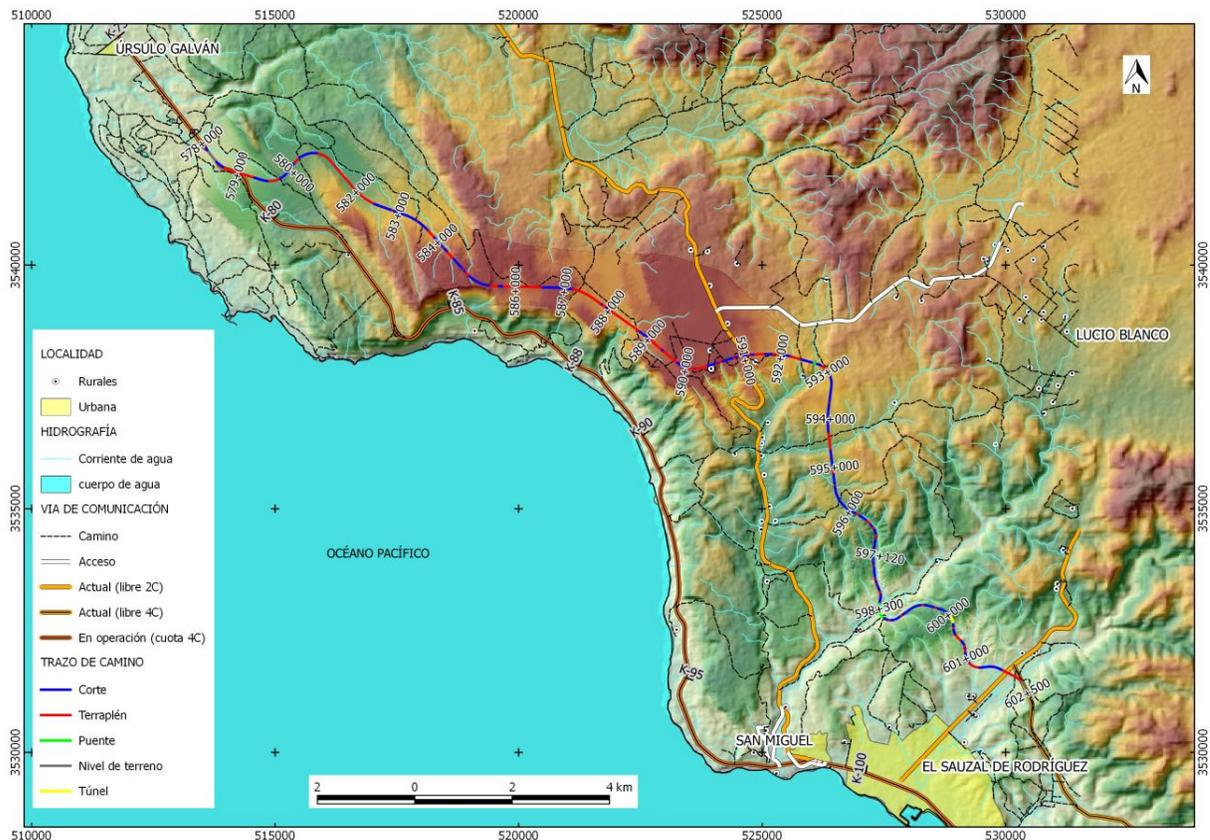
Figura 1.1 Ubicación de la región Salsipuedes, Baja California.

1.5 Vías de comunicación.

1.5.1 Carreteras.

La red carretera está formada de tal manera que permite la intercomunicación del municipio de Ensenada con los otros municipios aledaño del Estado y las

comunidades próximas de los estados vecinos; una de las vías terrestres más importantes de la zona son la carretera escénica Tijuana- Ensenada de cuota que comunica los municipios de la costa y la carretera Transpeninsular. Además, cuenta con una extensa red de terracerías (Figura 1.2).



1.2 Red de carreteras y terracerías de la zona de estudio.

1.5.2 Aeropuertos.

Los aeropuertos más cercanos a la zona de estudio son:

La Base Aérea No. 3 El Ciprés (código IATA: ESE, código OACI: MMES) funciona como una Base Aérea Militar operada por la Fuerza Aérea Mexicana. Está localizada a 3 kilómetros al sur de la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Además de las operaciones de aviación militar, maneja servicios de aviación general y un vuelo de aviación comercial de la ciudad de Ensenada; es un aeropuerto de entrada a territorio nacional.

El aeropuerto más importante de la región es el Aeropuerto Internacional General Abelardo L. Rodríguez de Tijuana o Aeropuerto Binacional de Tijuana-San Diego (código IATA: TIJ, código OACI: MMTJ), en Tijuana, Baja California, México, cerca de la frontera entre Estados Unidos y México; es el segundo aeropuerto más septentrional de México, después del Aeropuerto Internacional de Mexicali.

1.6 División política.

Los límites delegacionales para la zona de estudio, pertenecientes al municipio de Ensenada, cubren un área que incluye parte de las siguientes delegaciones: La Misión, El Sauzal y San Antonio de Minas (Figura 1.3).

La parte de la delegación La Misión y un fragmento de la delegación San Antonio que comprende la zona de estudio, abarca las mesetas, cerros y lomeríos conformados principalmente de rocas ígneas extrusivas.

La porción de la delegación El Sauzal comprende cerros de rocas sedimentarias, algunas planicies fluviales como producto de las cañadas que se encuentra en la zona. También se tiene algunas llanuras costeras localizadas entre la Autopista Tijuana-Ensenada y el Océano Pacífico, en el km 100 y el límite del Puerto del Sauzal, de esta misma carretera.

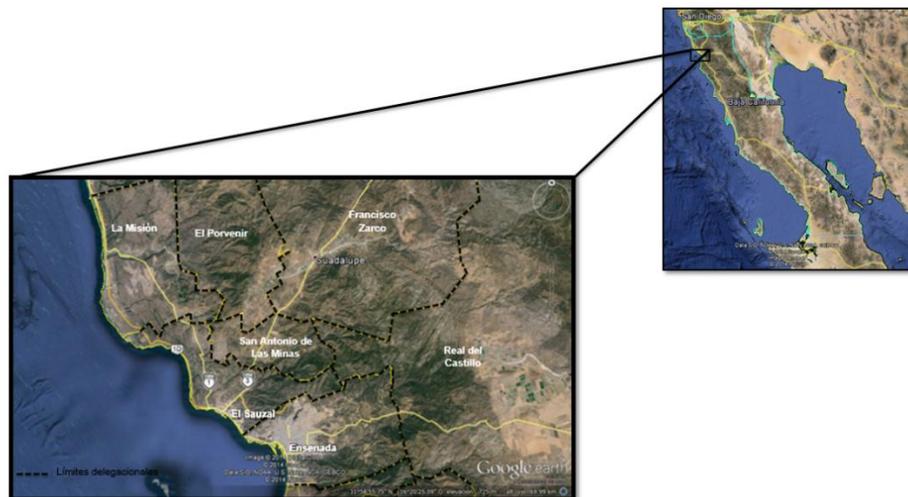


Figura 1.3 Límites delegacionales para la zona de estudio (Modificado de IMIP, 2014).

1.7 Características físicas de la zona.

1.7.1 Clima

En el estado de Baja California predomina el clima muy seco semicálido, aunque también se encuentran los climas: muy seco muy cálido, muy seco templado, templado subhúmedo. Las sierras de Juárez y San Pedro Mártir presentan un clima semifrío subhúmedo (Figura 1.4) (IMIP, 2014).

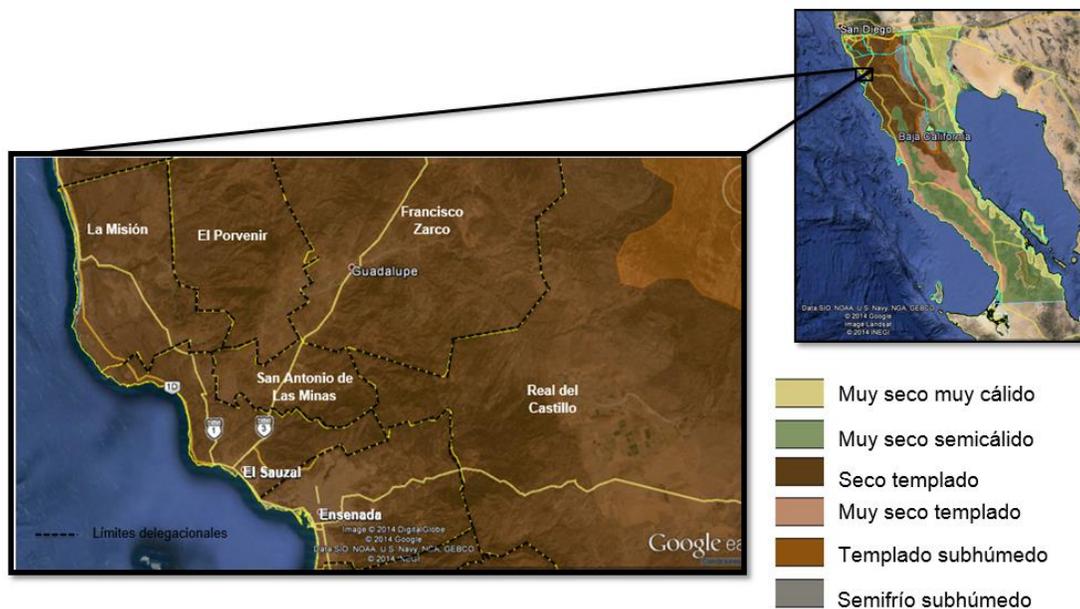


Figura 1.4 Clima del estado de Baja California (Modificado de IMIP, 2014).

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), el tipo de clima es BSKs(e); seco templado mediterráneo con verano cálido. Se registró en el período 1984-1993 una temperatura media anual de 18.3°C, con promedio de 16.8°C para el año más frío y promedio de 19.7°C para el año más caluroso, con una máxima extrema de 43.5°C y mínima extrema de -0.5°C.

Estos datos son de acuerdo con la estación ubicada en la ciudad de Ensenada, que tiene registro desde el año 2000. Donde el año con mayor precipitación

corresponde al año 2010 con un registro de 443 mm, mientras que el 2002 fue el año más seco (Figura 1.5).

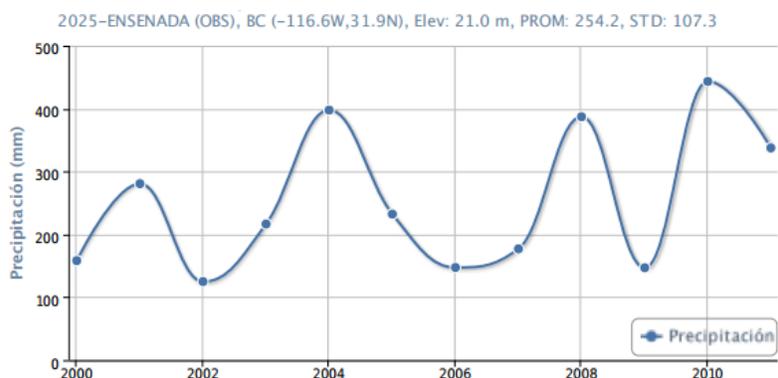


Figura 1.5 Climatología anual de precipitación 2000-2011 (Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN con gráficas del CICESE; <http://clicom-mex.cicese.mx>).

La temporada de lluvias es de diciembre a marzo y captura aproximadamente el 75% de la precipitación total anual. La temporada más seca es de junio a agosto, con una precipitación mínima mensual registrada de 0.0 mm y la máxima mensual es de 90 mm (Figura 1.6).

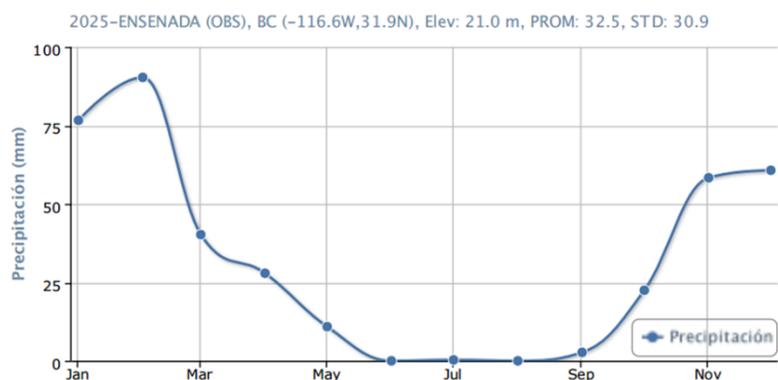


Figura 1.6 Climatología mensual de precipitación 2010-2011 (Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN con gráficas del CICESE; <http://clicom-mex.cicese.mx>)

Las zonas costeras de la región tienen un clima especialmente afectado por la corriente fría de California, debido a esto, el final del verano y el principio del otoño es comúnmente la época más cálida de la zona (característica propia del clima mediterráneo, y en especial en su versión californiana). Los vientos dominantes en

la región provienen, durante 8 meses, del noroeste, el porcentaje de días de calma es igual a 36%; la velocidad media del viento es baja, con una intensidad de 2 m/seg; los vientos secundarios provienen del oeste y sus velocidades son variables, pudiendo ir de moderadas a intensas (vientos de Santa Ana). También se registran brisas adiabáticas locales de periodicidad diurna con dirección este a oeste (SEDEMAR, 1974).

1.7.2 Vegetación.

En el territorio mexicano se encuentran casi todos los tipos de vegetación reconocidos en el mundo y hay una gran variedad en las formas biológicas de la flora mexicana. El número de especies de plantas se reconoce mundialmente como uno de los más altos; están presentes plantas de afinidad tropical y templada, así como una alta proporción de endemismos (Rzedowski, 1992). Se considera que florísticamente la Península de Baja California es una de las zonas áridas de mayor endemismo, tanto en géneros (2% de la península) como en especies (23% de la península). Se registran para esta región 17 especies amenazadas: seis en peligro de extinción, seis vulnerables, una insuficientemente conocida y cuatro de distribución rara (Figura 1.7).

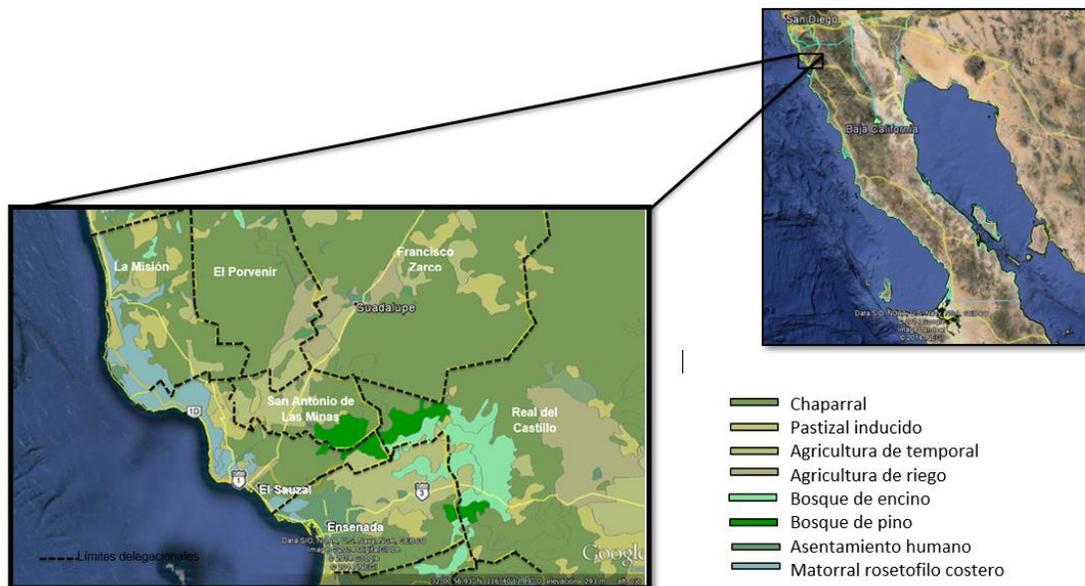


Figura 1.7 Vegetación del área de estudio (Modificado de IMIP, 2014).

En la zona de estudio se encuentran dos tipos básicos de vegetación: Matorral costero y chaparral. La comunidad del matorral costero, tiene una distribución similar que el chaparral, pero no ocurre fuera de California, estando confinado generalmente en áreas costeras de bajas elevaciones, extendiéndose en Baja California como matorral costero suculento a lo largo de la costa noroccidental, desde la línea internacional hasta aproximadamente el Paralelo 30° (El Rosario); se considera que este tipo de comunidad es una transición entre la vegetación desértica y el chaparral (Delgadillo, 1992).

En la zona de El Sauzal, este tipo de vegetación se encuentra altamente afectada, ya que ha sido sustituida por otras especies, debido al desarrollo urbano y a los cultivos de olivos principalmente, ocupando laderas de terrenos, donde es posible encontrar arbustos esclerófilos (de hojas duras) tales como *Malosma laurina* (lentisco) y *Rhus integrifolia*. El chaparral por su parte, ocupa en Baja California, aproximadamente 1'800,000 ha, reconocido como el tipo de vegetación de más extensión en la península, solamente superado por la vegetación desértica.

En la zona de estudio, se reportan dos tipos de asociaciones vegetales (Delgadillo, 1992): *Xylococco bicoloris-Ornitostaphyletum oppositifoliae* y *Malosmo laurina-Adenostometum fasciculati*.

La primera de ellas es considerada como un chaparral denso, con coberturas superiores al 70% y cuenta con la presencia de especies endémicas, tales como *Aesculus parryi* y *Fraxinus trifoliata* (fresno), así como otros taxa que incluyen a *Malosma laurina* (lentisco), *Rhamnus crocea* ssp. *crocea*, *Artemisia californica*, *Ornitostaphylos oppositifolia*, *Xylococcus bicoloris* y *Cneoridium dumosum*. Esta asociación se considera muy degradada por la acción del fuego y el hombre, siendo que naturalmente es un refugio de especies endémicas bajacalifornianas (Delgadillo, 1992).

Por otro lado también se tiene *Malosmo laurinae-Adenostometum fasciculati* un chaparral aún más denso alcanzando el 100% de cobertura; dominado por *Adenostama fasciculatum* (chamizo negro), quien alcanza las mayores

extensiones y es acompañado en la zona de estudio por *Xylococcus bicoloris*, *Malosma laurina*, *Ceanothus cuneatus* ssp. *cuneatus*, *C. oliganthus*, *Cneoridium dumosum*, *Eriodyction trichocalyx*, *Diplacus puniceus* y *Helianthemum scoparium*. Sin embargo, se considera que esta comunidad de especies vegetales es una asociación florísticamente pobre (Delgadillo, 1992).

1.7.3 Hidrología

Según la clasificación hidrológica nacional, el área de estudio pertenece a la vertiente occidental, Región Hidrológica 1 Baja California Noroeste (Ensenada), RH1, cuenca "C" Río Tijuana-Arroyo de Maneadero. Esta región hidrológica está caracterizada por corrientes intermitentes que drenan hacia las costas del Océano Pacífico y están dispuestas de manera subparalela debido a los diferentes tipos de rocas existentes y un número considerable de fallas y fracturas orientadas primordialmente de noroeste a sureste. Debido a las pendientes, que son de 0% a 15%, y la permeabilidad de los suelos comprendidos se estima en un porcentaje de escurrimiento de 0% al 5%, esto da lugar a cuencas de aguas superficiales (Figura 1.8).



Figura 1.8 Cuencas de aguas superficiales (Modificado de IMIP, 2014).

La zona está influenciada por el aporte de los arroyos El Sauzal y El Carmen. El Arroyo El Sauzal que desemboca directamente en la dársena del puerto del poblado, tiene una longitud aproximada de 12 km y drena un área cercana a los 50 km². Su cauce principal tiene una orientación noreste a suroeste y en su recorrido erosiona rocas volcánicas prebatolíticas, rocas sedimentarias marinas de la Formación Rosario, Rosarito Beach y aluvión del Cuaternario. El Arroyo el Carmen que desemboca en la playa de San Miguel, tiene una longitud aproximada de 30 km y drena un área cercana a los 150 km². Su cauce principal tiene una orientación noreste a suroeste y en su recorrido erosiona rocas prebatolíticas volcánicas y rocas marinas del Mioceno (Aranda, 1983); registra un aporte promedio anual de 51,640 m³ de sedimento (Ávila, 1983).

El agua superficial de que se dispone en esta zona es muy escasa, y su función más relevante es la recarga de los mantos acuíferos de la región, encontrándose algunos pozos de poco gasto, cuyas aguas contienen un elevado porcentaje de minerales y sales disueltas, que en muchos casos no les permiten alcanzar un grado de potabilidad adecuado, pero no obstante, son utilizadas para uso doméstico, de riego y pecuario en las rancherías y asentamientos humanos establecidos en las márgenes de ambos arroyos (Ávila, 1983).

1.7.4 Fisiografía

Los rasgos fisiográficos más sobresalientes se pueden dividir en tres zonas morfológicas (Figura 1.9):

- Zona morfológica 1: Lomeríos con predominancia de Basaltos-Andesitas y Tobas
- Zona morfológica 2: Mesetas y planicies con predominancia de Basaltos-Andesitas, brechas y depósitos piroclásticos, volcánicas.
- Zona morfológica 3: Montaña con predominancia de conglomerados y lentes de areniscas.

También sobresalen las mesas flanqueadas por grandes acantilados, como la Mesa El Tigre (MT). 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° (Acantilados Salsipuedes, AS). 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 y el Arroyo El Carmen. Al oriente el relieve lo forman lomeríos con pendientes entre 10° y 30° y elevaciones máximas de alrededor de 160 msnm (Castillo, 1999).

En cuanto a la hidrografía se tienen arroyos con control estructural por lo que resaltan los arroyos El Tigre (T), con orientación N-S, la culminación del Arroyo El Carmen (C) y el Arroyo El Junco (J), orientados hacia el NE. La zona que presenta más concentración de arroyos son los Acantilados de Salsipuedes, las areniscas de esta región presentan fuertes pendientes y se observan con alto nivel de fracturamiento, teniendo una tendencia NE. También se tienen valles como el que se presenta en el sector sur del área correspondientes con el Arroyo Casitas (VC) y el Valle de Sauzal (VS). Las fallas asociadas a estos valles y arroyos dan como resultado la presencia de puntas y bahías a los largo de la costa del área de estudio.

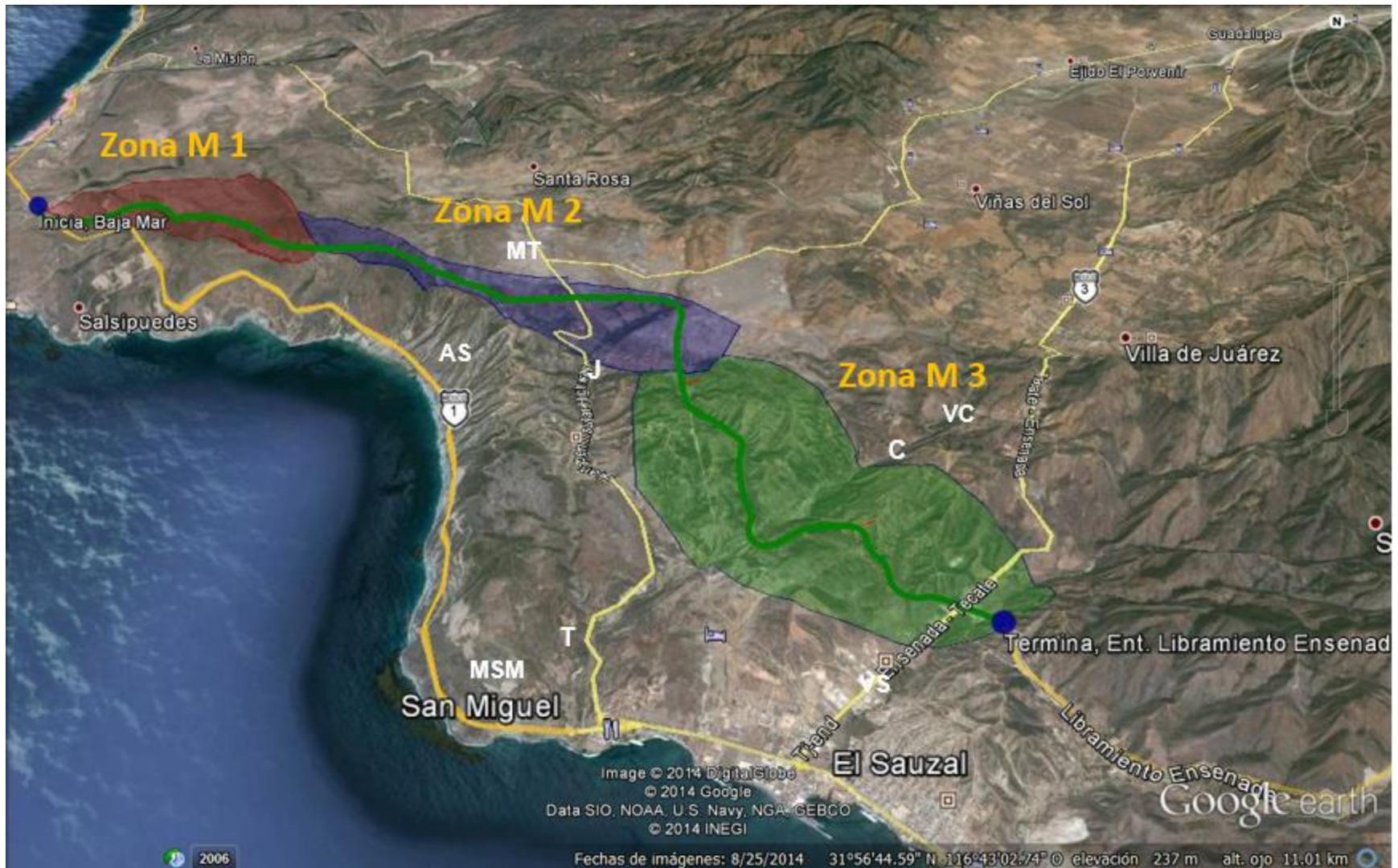


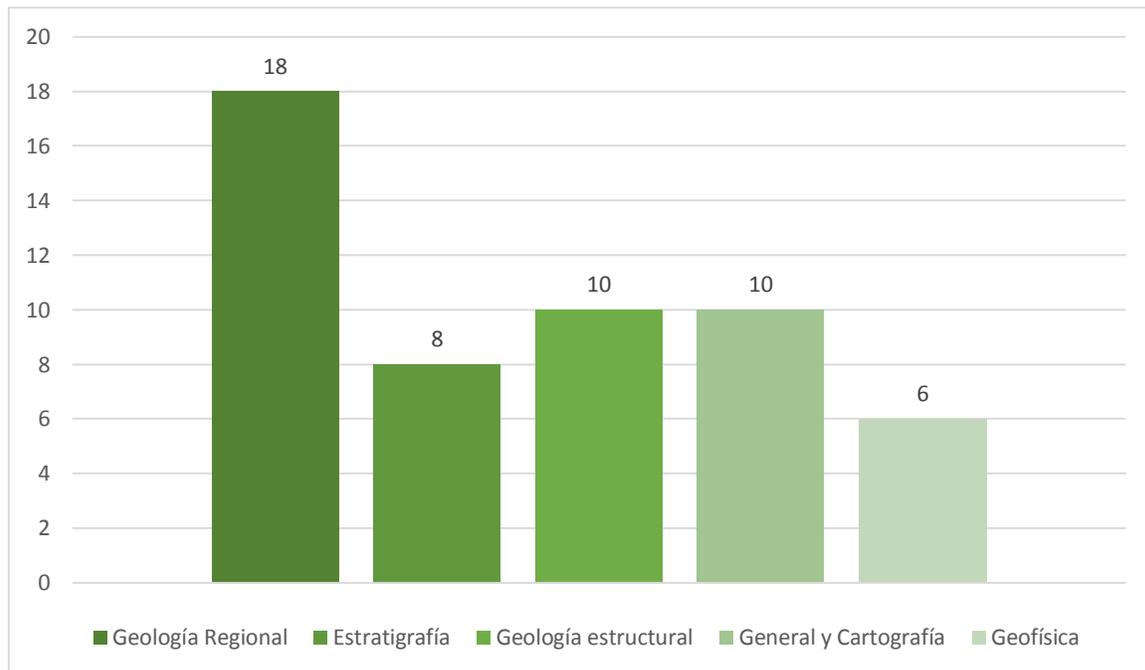
Figura 1.9 Rasgos fisiográficos.

1.8 Recopilación de la información.

Se realizó la compilación de información de interés para este estudio, como fotografías aéreas, imágenes satelitales, cartas topográficas y mapas geológicos elaborados por el INEGI, Instituto de Geología de la UNAM, Servicio Geológico Mexicano, Estación Regional Noroeste de la UNAM (Sonora), Centro de Geociencias Juriquilla de la UNAM, CICESE, etc.

De igual manera, se seleccionaron artículos geológicos, geotécnicos, geofísicos y sismológicos que se han realizado en la región comprendida entre Tijuana y Ensenada (Baja California), por profesionales e investigadores de instituciones académicas, nacionales y extranjeras.

Se recopilaron las siguientes 52 fuentes de diferentes temas como se muestra en la gráfica 1.1.



Gráfica 1.1 Información recopilada

Los títulos de la información consultada, están de la Tabla 1.1 a la Tabla 1.6 además se enlistan en la bibliografía correspondiente.

Tabla 1.1 Información recopilada en el tema de Geología Regional.

| Autor | Año | Título | Revista o editorial |
|---|------|---|---|
| Aranda, F.J.M. | 1983 | Estudio de Minerales Pesados como Trazadores de la Corriente Litoral en la Bahía de Todos Santos, Baja California. | Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC Ensenada, B.C. México.. |
| Armijo, R. and Suárez-Vidal, F., | 1981 | Neotectonics of northern Baja California [abstr.]. | Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 13 (2), 42 p |
| Darton N. H. | 1921 | Geologic reconnaissance in Baja California. | The Journal of Geology, Vol. 29, No. 8 pp. 720-748 |
| González F. A., Martín A. B. & Paz L. S. | 1977 | A Northeast trending Trans-Peninsular Lineament across Baja California | Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol.1, núm. 2 138-143. |
| Jiménez J. | 2000 | Identificación de fallamiento en la península Punta Banda, B.C, a partir de datos de topografía, magnetometría y gravimetría. | GEOS, Vol. 20 No. 2, p. 98-106 |
| Johnson S. E., Paterson S. R. & Tate M. C. | 1999 | Structure and emplacement history of a multiple-center, cone-sheet-bearing ring complex: The Zarza Intrusive Complex, Baja California, Mexico | Geological Society of America Bulletin;111, no. 4;607-619 |
| Kurczyn R. J. A., Kretzschmar T. & Hinojosa C. A. | 2007 | Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B.C., México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite. | Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 24, núm. 1, p. 1-14 |
| Langenheim V.E. & Jachens R. C. | 2003 | Crustal structure of the Peninsular Ranges batholith from magnetic data: Implications for Gulf of California rifting | Geophysical Research Letters , Vol. 30, No. 11 |
| Legg, M. R., | 1991 | Sea beam evidence of recent tectonics activity in the California Continental Borderland. In: Paul Dauphin and Bernard Simoneit ed., The gulf and peninsular province of the California. | American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47. USA.179-196 p. |

| | | | |
|---|------|--|---|
| Lewis C. J. & Stock J. M. | 1998 | Late Miocene to Recent transtensional tectonics in the Sierra San Fermín, northeastern Baja California, Mexico. | Journal of Structural Geology, Vol. 20, No. 8, pp. 1043 a 1063. |
| Mayer L. & Vincent K. | 1999 | Active tectonics of the Loreto area, Baja California Sur, Mexico | Geomorphology (27) 243–255 |
| Morán Z. D. J. | 1990 | Geología de la República Mexicana. | INEGI |
| Normark W. R. & Curray J. R. | 1968 | Geology and Structure of the Tip of Baja California, Mexico. | Geological Society of America Bulletin, v. 79, p. 1589-1600. |
| Schmidt K. L., Paterson S. R., Blythe A.E. & Kopf C. | 2009 | Mountain building across a lithospheric boundary during arc construction: The Cretaceous Peninsular Ranges batholith in the Sierra San Pedro Martir of Baja California, Mexico | Tectonophysics (477) 292–310 |
| Smith D. L. | 1977 | A Northeast trending Trans-Peninsular Lineament across Baja California | Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol.1, núm. 2 138-143. |
| Suárez-Vidal, F., Armijo, R., Morgan, G., Bodin, P. and Gastil, G | 1991 | Framework of recent and active faulting in northern Baja California. | American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, 285-300 p. |
| Umhoefer P. J. & Dorsey R. J. | 1997 | Translation of terranes: Lessons from central Baja California, Mexico | Geology; v. 25; no. 11; p. 1007–1010. |

Tabla 1.2 Información recopilada en el tema de Estratigrafía.

| Autor | Año | Titulo | Revista o editorial |
|---|------|---|--|
| Avila, G.E.S. | 1983 | Volumen de Sedimento Aportado Anualmente a la Bahía de Todos Santos, Baja California por los Arroyos El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas, 1972-1983. | Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC Ensenada, B.C. México. |
| Busby C., Adams B. F., Mattinson J. & Deoreo S. | 2006 | View of an intact oceanic arc, from surficial to mesozonal levels: Cretaceous Alisitos arc, Baja California. | Journal of Volcanology and Geothermal Research 149;1– 46 |

| | | | |
|--|------|---|---|
| Carranza Edwards, Arturo | 1998 | Beach sands from Baja California Península, Mexico. | Sedimentary Geology 119; 263–274 |
| Cruz C. M. & Argote L. A. D. | 2000 | Los deslizamientos de la carretera de cuota Tijuana-Ensenada, Baja California. | GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C., |
| Flynn C. J. | 1970 | Post-Batholithic Geology of the La Gloria-Presa Rodríguez Area. | Geological Society of America Bulletin; 81, no. 6;1789-1806 |
| Helenes, J. & Carreño A. L. | 1999 | Neogene sedimentary evolution of Baja California in relation to regional tectonics. | Journal of South American Earth Sciences; Vol. 12,589–605 |
| Minch, John A. | 1967 | Stratigraphy and Structure of the Tijuana-Rosarito Beach Area, Northwestern Baja California, Mexico. | Geological Society of America Bulletin, Vol. 78, 1155-1178 p. |
| 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. | American Association of Petroleum Geologists, Vol. 54, 33-46 p. |

Tabla 1.3 Información recopilada en el tema de Geología Estructural.

| Autor | Año | Titulo | Revista o editorial |
|---|------|---|---|
| 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, 457-482 p. |
| Alsleben H., Wetmore P.H., Schmidt K.L., Paterson S.R. & Melis E.A. | 2008 | Complex deformation during arc continent collision: Quantifying finite strain in the accreted Alisitos arc, Peninsular Ranges batholith, Baja California. | Journal of Structural Geology 30, 220e236 |
| Angelier J., Colletta B., Chorowicz J., Orlied L. & Rangin C. | 1981 | Fault tectonics of the Baja California Peninsula and the opening of the Sea of Cortez, Mexico. | Journal of Structural Geology, Vol 3, No. 4. 347-357. |
| Busby C. | 2004 | Continental growth at convergent margins facing large ocean basins: a case study from Mesozoic convergent-margin basins of Baja California, | Tectonophysics 392; 241– 277 |

| Mexico. | | | |
|---|------|---|---|
| Cruz C.M. | 2002 | Catálogo de las fallas regionales activas en el Norte de Baja California, Mexico. | GEOS, Unión Geofísica Mexicana, p. 37-42. |
| Cruz C.M.& Delgado-A. | 2002 | Descripción geológica y estructural de la zona de deslizamientos Salsipuedes-Cíbola del Mar, Ensenada, Baja California. | GEOS, Unión Geofísica Mexicana, p. 159-174. |
| Hirabayashi, K., Rockwell, T., Steven, Wesnoousky, S., Stirling, M., Suárez-Vidal, F. | 1996 | A Neotectonic Study of the San Miguel-Vallecitos Fault, Baja California, Mexico. | Bulletin of Seismological Society of America, vol. 86, No. 6, p. 1770-1783 |
| 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 de Educación Superior de Ensenada, 146 pp. |
| 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, Bilingüe, México, 213 pp |
| Suárez-Vidal, F | 1993 | Marco estructural de la Falla Agua Blanca, Baja California, México. | Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 1, 24-39 p |

Tabla 1.4 Información recopilada en el tema de Generales y cartografía.

| Autor | Año | Título | Revista o editorial |
|-------------------------------|------|--|---|
| Almanzan V. E. | 1988 | Marco paleosedimentario y geodinámico de la Formación Alisitos en la Península de Baja California. | Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol. 7, núm. 1, p. 41-51 |
| Bischoff J. L. & Henyey T. L. | 1974 | Tectonic Elements of the Central Part of the Gulf of California. | Geological Society of America Bulletin;85, no. 12;1893-1904 |
| | | Carta geológica-minera "Ensenada". | Servicio Geológico Mexicano |

| | | | |
|---|------|--|--|
| | | Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, Ensenada H 11-2 1: 250,000 | Dirección General de Geografía del Territorio Nacional |
| CNA | 1997 | Registro Mensual de Temperatura Media. | Anuario Estadístico del Estado de Baja California. |
| Delgadillo, J. | 1992 | Florística y Ecología del Norte de Baja California. | Facultad de Ciencias, UABC Ensenada, B.C. México. |
| 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. |
| Luyendyk, B. P., Kamerling, M. J. and Terres, R. | 1980 | Geometric model for Neogene crustal rotations in southern California. | Geological Society of America Bulletin, V. 91, 211-217 p |
| Plattner C., Malservisi R., Furlong K.P. & Govers R. | 2010 | Development of the Eastern California Shear Zone — Walker Lane belt: The effects of microplate motion and pre-existing weakness in the Basin and Range. | Tectonophysics 485; 78–84 |
| 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. In: Patrick Abbott editor, Geologic Studies in Baja California. | The Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles, California U.S.A., 1-16 p. |

Tabla 1.5 Información recopilada en el tema de Geofísica.

| Autor | Año | Título | Revista o editorial |
|--|------|--|---|
| Dixon, T., Decaix, J., Farina, F., Furlong, K., Malservisi, R., Bennett, R., Suárez-Vidal, F., Fletcher, J., Lee, J. | 2002 | Seismic cycle and rheological effects on estimation of present-day slip rates for the Agua Blanca and San Miguel-Vallecitos faults, northern Baja California, México | Journal of Geophysical Research, vol. 107, No. B10, 226 |
| Fendy, S.S. & Gastil, R.G. | 1991 | A seismic-tectonic map of the Gulf of California and surrounding areas, in Dauphin, J.P. and Simoneit, B.R., eds., The Gulf and Peninsular Provinces of | American Association of Petroleum Geologists Memoir 47, p. 79-83. |

| | | the Californias, | |
|-------------------------------------|------|--|--|
| Frez, J. & González, J. J. | 1991 | Crustal structure and seismotectonics of northern Baja California. <i>In</i> : Paul Dauphin and Bernard Simoneit eds., The gulf and peninsular province of the Californias.. | American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, 261-283 p |
| Reyes, A., Brune, J. and Barker, T. | 1975 | A microearthquake survey of the fault zone, Baja California, Mexico. | Geophysical Research Letters, Vol. 2, No. 2. 56-59 p. |
| Shor, Jr. G. G. and Roberts, E. | 1958 | San Miguel, Baja California Norte earthquakes of February 1956. | Seismological Society of America, Bulletin, V. 48, 101-116 p. |
| 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. Vol. 26, Núm. 3, México, 459-478 p. |

1.8.1 Análisis y síntesis de la información.

Después de haber realizado la selección de los documentos geológico-geotécnicos disponibles del área de estudio que tienen información de interés, se procedió a realizar su análisis detallado y posteriormente una síntesis, cuyos resultados se muestran a manera de ejemplo en los resúmenes siguientes:

Harrison D. J. & McGuigan P. J., 2010. Technical report, Ensenada property, Baja California, México. Mayen Minerals LTD.

Los autores explican en este trabajo que la metalogénesis de la margen del Pacífico es fuertemente afectada por la tectónica y composición de las rocas del arco vulcano-sedimentario del Cretácico, lo que explica la variación litológica que presentan las formaciones Alisitos y Rosario. Lo más importante del tectonismo Cretácico es considerar que el Terreno Guerrero se extiende desde Baja California hasta las partes occidentales de los estados de Sinaloa y Guerrero. Regionalmente el Terreno Guerrero está compuesto por tres distintos segmentos de arcos de diferentes historias tectónicas: el Arco Santiago Peak- Dominio Central (Norte de la falla Agua Blanca del Cretácico Temprano); el arco se

extendió de la Sierra Transversal en el sur de California hasta la falla Agua Blanca en Baja California. El ensamblaje del arco es localizado en el norte y al este de la falla Agua Blanca y la zona de falla de San Pedro Mártir. El Arco Alisitos (Al sur de la falla Agua Blanca) se desarrolló en un ambiente marino, donde la acreción sucedió a lo largo de la falla ancestral Agua Blanca y en la Cabalgadura de San Pedro Mártir, una zona de cizalla dúctil. El otro segmento corresponde con el Dominio Central en la parte suroeste de México, por lo que no tiene relación con el área de estudio.

Mayer L. & Vincent K., 1999. Active tectonics of the Loreto area, Baja California Sur, Mexico, *Geomorphology* (27) 243–255.

Los autores explican que el fallamiento cuaternario y la elevación costera están relacionados a la evolución de la margen occidental de Baja California, como se presenta en las inmediaciones de Loreto, Baja California. El proceso por el cual el sistema de esfuerzos actuó entre la placa de Norteamérica y la placa del Pacífico dio lugar a la península de Baja California y el Golfo de California, se registra parcialmente en las estructuras presentes de la región Loreto. La etapa final de rifting, se representa por el crecimiento de un sistema de fallamiento transformante y la formación de corteza oceánica en el Golfo de California desde hace 3.5 Ma, lo que está representado en el continente por el desarrollo de la Cuenca Loreto. La Falla de Loreto, que presenta una tendencia norte-sur, registra parte de este proceso. Durante el Plioceno, el sur de la falla Loreto ocasionó con su movimiento el espacio de acomodo para la sedimentación rápida en la Cuenca de Loreto. La subsidencia de la cuenca se desaceleró bruscamente al final del Plioceno, condición que fue sustituida por el levantamiento, producido a lo largo del Cuaternario. A pesar de las bajas velocidades de deformación del Cuaternario, las fallas en alta mar y la falla de Loreto pueden representar peligros sísmicos significativos, aunque con intervalos de recurrencia largos.

Langenheim V.E. & Jachens R. C., 2003. Crustal structure of the Peninsular Ranges batholith from magnetic data: Implications for

**Gulf of California rifting Geophysical Research Letters , Vol. 30,
No. 11.**

Los autores explican la presencia de un cinturón de 70 km de ancho de máximos magnéticos que se extiende 1200 km al noroeste de la punta meridional de la península de Baja California. Las anomalías son causadas por el cinturón occidental máfico de las Sierras Peninsulares de batolitos, que se exponen ampliamente a lo largo de 800 kilómetros de longitud del cinturón magnético. El Golfo de California es uno de los mejores ejemplos modernos de un rift continental oblicuo, un rift en el que los márgenes son oblicuos a la dirección de separación continental. La evolución de este rifting ha sido estudiada en el contexto de la geometría y cinemática del límite de placa del Pacífico de América del Norte. El análisis de datos magnéticos en California y México sugiere que puede haber una influencia de la corteza en el proceso de rifting a lo largo de Baja California. Una característica magnética de primer orden se extiende a lo largo de toda la longitud de la península de Baja California, paralela a la del Golfo de California y coincidente con exposiciones de las Sierras Peninsulares de batolitos. La naturaleza y la linealidad del cinturón magnético se apoyan en la hipótesis de que la península se ha comportado como un bloque rígido que se ha resistido a la deformación durante el Cenozoico. La ausencia de un cinturón magnético a lo largo de la costa de tierra firme en México hacia el sur, sugiere que la ubicación de rifting en el Golfo de California se vio influenciado por las Sierras Peninsulares de batolitos de composición máfica del sector occidental, lo que puede explicarse si se considera que es térmica y mecánicamente más resistente a la deformación que la corteza circundante.

Smith D. L., 1977. A Northeast trending Trans-Peninsular Lineament across Baja California. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol.1, núm. 2, 138-143.

El autor interpreta y explica la presencia de un lineamiento, con rumbo NE 75°, que atraviesa la Sierra San Pedro Martir, en el norte de Baja California. Este

lineamiento se manifiesta con fracturas observables en afloramientos de la zona de Venado Blanco. Este rasgo se extiende hacia el poniente hacia la costa del Pacífico donde su rumbo cambia a NE 60°; también se tiene hacia el oriente a través de la Sierra San Felipe con una trayectoria arqueada. Se le considera como una zona de debilidad erosionada, que se originó como una falla con ligero movimiento izquierdo. Su cercanía a la falla Agua Blanca, cuyo rumbo es hacia el norponiente, permite sugerir la posibilidad de que ambos rasgos se desarrollaron como consecuencia de una rotación amplia de la península de Baja California en el sentido de las manecillas de reloj, a medida de que esta se estaba alejando de la parte continental de México.

Jiménez J., 1972. Embankment failures on the Tijuana-Ensenada turnpike in the lower California Peninsula, Mexico. Twenty-third anual highway Geology Symposium.

En este trabajo se explica que el noroeste de la península de Baja California se tiene exposición de rocas intrusivas graníticas del Cretácico, de rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico, en las mesetas se tiene una cubierta de rocas volcánicas. La zona cerca de la península de Salsipuedes, es caracterizada por terrenos inestables que se abre a distintas posibilidades de deslizamientos de laderas en el entorno de la autopista Ensenada-Tijuana. Se tiene la presencia de sedimentos sobre la superficie que varían de clásticos continentales del Pleistoceno a clásticos de rocas marinas del Mioceno, Eoceno, Cretácico y Jurásico. En el área donde han ocurrido los deslizamientos se reconocen cuatro unidades estratigráficas. La más joven que aflora en la parte superior es una meseta de flujo de lava de espesor variable, que corresponde petrográficamente con andesitas. Las rocas volcánicas presentan fuertes pendientes y se observan con alto nivel de fracturamiento; se sobreponen discordantemente areniscas, lutitas y limonitas que afloran en una estrecha franja paralela a la costa. La presencia de deslizamientos es claramente visible en esta área. Las superficies de deslizamientos se desarrollan sobre la línea de contacto

en el talud entre las rocas volcánicas y las rocas sedimentarias de grano fino subyacentes.

Kurczyn R. J. A., Kretzschmar T. & Hinojosa C. A., 2007. Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B.C., México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 24, núm. 1, p. 1-14.

Los autores explican que el noroeste de la península de Baja California está caracterizada como una región con clima árido donde el agua se encuentra almacenada principalmente en acuíferos someros, cuya recarga principal es la precipitación pluvial. El Valle de Guadalupe (VG) que está ubicado en la parte noroeste de Baja California, es muy importante para la recarga, donde el uso más importante de este acuífero es la agricultura y el abastecimiento de agua para la población de Ensenada y las comunidades que están en sus proximidades. La cuenca Guadalupe tiene un área de casi 2,400 km², de los cuales 105 km² representan el relleno de sedimentos cuaternarios que forman el acuífero local. La litología presente en esta área es representativa para todo el valle y está formada por rocas ígneas intrusivas (dioritas, granodioritas), rocas metamórficas (esquistos) y depósitos sedimentarios granulares, aluviales y fluviales. La región noreste del Valle de Guadalupe presenta un alto potencial de escurrimiento en la parte de la serranía, mientras que el aluvión presenta un alto potencial de infiltración. Dentro de la serranía Matcuatai, aquellas áreas con una pendiente media-baja (0–25%) y un espesor rico de vegetación (conformado por arbustos de montaña) tienen un potencial de infiltración menor que el del aluvión.

Darton N. H., 1921. Geologic reconnaissance in Baja California. The Journal of Geology, Vol. 29, No. 8, pp. 720-748.

Las observaciones de este autor comienzan cerca de Ensenada y se extienden hasta la Paz, Baja California. Considera que la edad de las rocas metamórficas

(esquistos), son pre-Cretácicas, mismas que están intrusionadas por granitos de textura gruesa. En algunos lugares este granito contiene xenolitos de esquistos; los contactos se observan claramente con la roca encajonante. El granito constituye lo alto de la Sierra de San Pedro Mártir en la parte central de la península, aunque también aflora al norte de Ensenada y al norte de Santa Catarina. Una gran parte de la península está conformada por dos secuencias sedimentarias del Cretácico que afloran extensamente en las partes central y norte; están separadas por una discordancia. La primera es una sucesión de areniscas poco alteradas o inalteradas que afloran cerca de Santo Domingo Misión, 40 Km al norte de San Quintín. La otra sucesión se compone de calizas que afloran al norte y al noreste de las ruinas de la Misión de San Fernando, a 48 Km al este de Rosario.

González F. A., Martín A. B. & Paz L. S., 2000. Identificación de fallamiento en la península Punta Banda, B.C, a partir de datos de topografía, magnetometría y gravimetría. GEOS, Vol. 20, No. 2, p. 98-106.

En este trabajo, se muestra la presencia de tres lineamientos que cruzan la Península de Punta Banda con dirección NW-SE, identificados como fallas secundarias de desplazamiento lateral derecho que controlan los accidentes topográficos mayores en la Península, resultando en una sucesión de valles y elevaciones subparalelas. Estas fallas secundarias están asociadas al sistema de fallas Agua Blanca.

Umhoefer P. J. & Dorsey R. J. 1997. Translation of terranes: Lessons from central Baja California, Mexico Geology; v. 25; no. 11; p. 1007–1010.

Los autores explican que Baja California es un bloque continental que se desplazó cientos de kilómetros a lo largo de un borde divergente oblicuo; proponen que a partir de estructuras secundarias se puede predecir la oblicuidad aproximada del rift y la orientación del movimiento de la placa.

Busby, C., Adams, B. F., Mattinson J. & Deoreo S., 2006. View of an intact oceanic arc, from surficial to mesozonal levels: Cretaceous Alisitos arc, Baja California. Journal of Volcanology and Geothermal Research 149; 1– 46.

Los autores elaboraron una cartografía detallada y fechamientos de las rocas que afloran en las áreas de Misión San Fernando-Rosarito; así mismo realizaron un reconocimiento geológico y el fechamiento de rocas la zona de San Quintín. Describen dos fases evolutivas del arco: la primera corresponde con un arco oceánico extensional, caracterizado por vulcanismo efusivo y explosivo de composición intermedio a silíceo, culminando en erupciones de ignimbritas silíceas formando una caldera, al inicio del rompimiento (rifting) del arco. La segunda corresponde con un arco oceánico formado por rocas efusivas e hidroclásticas máficas y abundantes enjambres de diques. Los fechamientos de U-Pb de zircones de rocas plutónicas y volcánicas de ambas fases de vulcanismo indican que la sección entera de 4,000 metros de espesor se formó en tan solo 1.5 millones de años en el Cretácico hace aproximadamente 110 Millones de años.

Flynn, C. J., 1970. Post-Batholithic Geology of the La Gloria-Presa Rodríguez Area. Geological Society of America Bulletin; 81, no. 6; 1789-1806.

El autor explica que el basamento del terreno en el área Presa Rodríguez-La Gloria incluye rocas volcánicas de composición intermedia y epiclásticas derivadas, de edad Jurásico Superior y/o Cretácico Inferior; también contiene gabros, granodioritas y cuarzomonzonitas. La secuencia post-batolítica consiste de conglomerados de la Formación Redonda del Cretácico Superior; de lutitas, lodolitas y areniscas de la Formación Rosario del Cretácico Superior; de conglomerados, areniscas, limolita y lutitas de las Formaciones Buenos Aires y Delicias del Eoceno; areniscas y basaltos de la Formación Rosarito Beach del Mioceno y cubriéndolas conglomerados y areniscas del Plioceno-Pleistoceno. La

Formación Redonda del Cretácico Superior está compuesta de cantos moderadamente redondeados de cuarcita, pórfidos félsicos, y brechas volcánicas depositadas sobre un basamento de alto relieve del Cretácico Inferior. La Formación Delicias del Eoceno está dividida en un miembro inferior de limolita y otro superior de arenisca. El miembro de arenisca contiene fauna de agua salobre con abundantes Potamides y Ostrea. La Formación suprayacente Buenos Aires está dividida en un miembro inferior de conglomerados y uno superior de areniscas. El miembro de areniscas contiene abundante megafauna, incluyendo característicamente especies marinas tropicales de Turritella, Ficopsis y Tellina. La historia estructural del área incluye deformación y erosión de las rocas graníticas y metavolcánicas del Cretácico Inferior, seguido de una relativa estabilidad. Los estratos más jóvenes que las cubren exhiben únicamente inclinaciones bajas, en parte al SW y en parte al NE. Los estratos pos-batolíticos son cortados por numerosas fallas normales de ángulo grande de orientaciones NE-SW, así como varios sinclinales y anticlinales relacionados que se han desarrollado en esta área.

Helenes, J. & Carreño, A. L. 1999. Neogene sedimentary evolution of Baja California in relation to regional tectonics. Journal of South American Earth Sciences; Vol. 12, 589–605.

En el artículo se plantean las siguientes etapas de evolución tectónica y sedimentaria durante el Neogeno de la península de Baja California: 1) Mioceno temprano (22 Ma), inicio de fallamiento transforme debido a la interacción entre las placas del Pacífico y de Norte América, lo que causó una rápida subsidencia en la Provincia de Borde Continental; 2) Mioceno medio (12 Ma), el fallamiento normal y transcurrente migro hacia el oriente, originando subsidencia en el área norte del Golfo de California, depositándose los sedimentos más antiguos del Golfo; 3) Mioceno tardío (8 Ma), la margen occidental de la península cambió a un régimen de compresión tectónica; 4) Plioceno (5 Ma), el Golfo de California se desarrolló por fallamiento dextral y expansión.

Minch, John A., 1967. Stratigraphy and Structure of the Tijuana-Rosarito Beach Area, Northwestern Baja California, Mexico. Geological Society of America Bulletin, Vol. 78, 1155-1178 p.

El autor de este trabajo explica que la sucesión estratigráfica que aflora a lo largo de la costa en el área de la playa Rosarito-Tijuana, Baja California, está dominada por la Formación Rosarito Beach del Mioceno, la cual consiste de una sucesión de flujos de basaltos, rocas piroclásticas y rocas sedimentarias clásticas, interestratificadas. Esta sucesión de espesor considerable se sobrepone a areniscas del Eoceno, subyace a areniscas y conglomerados de la Formación San Diego del Plioceno y a rocas más jóvenes del Pleistoceno. La unidad se compone de los siguientes cinco miembros: El miembro Mira Mar compuesto de areniscas, lutitas, calizas, y brechas las cuales contienen abundantes clastos de glaucofana, esquistos, serpentina, grauvacas, pedernal estratificado y menores cantidades de rocas plutónicas y volcánicas ácidas; el miembro Costa Azul está compuesto predominantemente por basaltos y tobas; el miembro Amado Nervo compuesto de basaltos; el miembro Las Glorias es de areniscas y el miembro Los Buenos es de basaltos. La estructura del área generalmente se inclina hacia el oeste, debido a la presencia de numerosas fallas de ángulo grande de orientación N-S y en menor frecuencia NE-SW, NW-SE y E-W, así como basculamiento de bloques relacionados al fallamiento.

Cruz, C. M. & Argote L. A. D. 2000. Los deslizamientos de la carretera de cuota Tijuana- Ensenada, Baja California. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C.

Los autores proponen a los sismos, fallas y presencia de agua en lutitas, como agentes promotores de deslizamientos en esta región tectónicamente activa. El movimiento de tierras obedece a la presencia combinada de fallas o fracturas desarrolladas en rocas sedimentarias pobremente consolidadas en terrenos cuya pendiente es comúnmente superior a 10°. En San Miguel, una de las zonas más

afectadas, los planos de despegue coinciden con los contactos entre lutitas y areniscas de la Fm. Rosario.

Busby C., 2004. Continental growth at convergent margins facing large ocean basins: a case study from Mesozoic convergent-margin basins of Baja California, Mexico. *Tectonophysics*, 392; 241– 277.

En este artículo se reconstruye la evolución tectónica de la margen continental convergente a partir del estudio de cuencas sedimentaras y volcánicas de la península de Baja California. Propone que la margen convergente muestra una tendencia evolutiva que puede ser típico de los sistemas de arcos que de las grandes cuencas oceánicas: que comprende un régimen muy extensional (fase 1) uno ligeramente extensional (fase 2) y los regímenes de deformación por compresión (fase 3).

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, 457-482 p.

Los autores analizan la expresión fisiográfica de la falla Agua Blanca. Considerando las características morfológicas típicas, ya que son comunes escarpes recientes, arroyos, colinas y valles. Las rocas cortadas por la falla son principalmente rocas plutónicas del Cretácico y rocas metavolcánicas del Cretácico Inferior (Albiano). A lo largo de la costa del Pacífico, la falla corta rocas sedimentarias post-batolíticas del Cretácico Superior (Maestrichtiano) que son poco deformados, en comparación con las rocas de la misma edad en la mayor parte de California.

Angelier, J., Colletta, B., Chorowicz, J., Orliob, L. & Rangin, C., 1981, Fault tectonics of the Baja California Peninsula and the

opening of the Sea of Cortez, Mexico. Journal of Structural Geology, Vol 3, No. 4. 347-357.

En el artículo se analizan las fallas del Neógeno y Cuaternario en Baja California que permiten realizar la reconstrucción tectónica y entender el patrón de esfuerzos de la parte central y el sur de la península de Baja California. Los autores consideran que la deformación que afecta toda la península está relacionada a la apertura del Golfo de California. Las fallas más frecuentes son laterales y normales con rumbo NNW-SSE a WNW-ESE,

Los autores exponen el patrón de fallas principal que incluye fallas dextrales NNW-SSE y fallas de tensión N-S, inducidas por fallas dextrales transformes a lo largo de dos zonas de falla NW-SE que bordean la península: el Golfo de California, al este, que es el más importante, y la falla Tosco-Abreojos al oeste.

Cruz, C. M., 2002. Catálogo de las fallas regionales activas en el Norte de Baja California, Mexico. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, p. 37-42.

El autor detalla las características principales de las fallas activas regionales del norte de Baja California, considerando los sismos mayores o iguales a 6 que podrían estar asociados a dichas fallas y se ilustra la microsismicidad en aquellas fallas donde no se han registrado sismos mayores o iguales a 6. Con excepción de la falla Agua Blanca, todas se han movido durante el Cenozoico tardío y están genéticamente relacionadas con el régimen de esfuerzo tectónico actual.

Cruz, C. M. & Delgado-A. 2002. Descripción geológica y estructural de la zona de deslizamientos Salsipuedes-Cíbola del Mar, Ensenada, Baja California. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, p. 159-174.

Los autores 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. Describen las fallas regionales que evidencian la intensa actividad tectónica a la que está sometida la zona. La dirección de la inclinación de los estratos de las rocas sedimentarias coincide con la dirección de desplazamiento de los deslizamientos que han ocurrido en esta región. Puntualizan los mecanismos de ruptura en las partes de bloques deslizados y su relación con la deformación regional, que es similar en el NW de la península y borde continental, regida por fallamiento de desplazamiento lateral derecho.

2. Estratigrafía.

2.1 Estratigrafía regional

El área noroeste del estado de Baja California se caracteriza porque afloran seis grandes conjuntos litoestratigráficos con edades que van del Jurásico Superior al Cuaternario y que corresponden con rocas prebatolíticas, la Formación Alisitos, el cinturón de batolitos, la Formación Rosario, la Formación Rosarito Beach y la Formación San Diego (Tabla 2.1):

| Era | Periodo | Época | Edad (Piso) | Formación |
|---------------|-----------|----------|----------------|-----------------------|
| Cenozoico | Neógeno | Plioceno | Astiano | San Diego |
| | | | Plaisanciano | |
| | | Mioceno | Saheliano | Rosarito Beach |
| Mesozoico | Cretácico | Superior | Maestrichtiano | Rosario |
| | | Medio | Cenomaniano | Cinturón de Batolitos |
| | | | Albiano | |
| | Inferior | Aptiano | Alisitos | |
| | Jurásico | Superior | Titoniano | Rocas Prebatolíticas |
| Kimmeridgiano | | | | |

Tabla 2.1 Estratigrafía general del sector noroeste de Baja California.

A continuación se describen las unidades estratigráficas de la más antigua a la más joven:

2.1.1 Rocas pre-batolíticas.

El conjunto más antiguo de rocas que afloran en la región, se integra por cuerpos de roca denominados pre-batolíticos distribuidos predominantemente en el sector centro oriental en los cuales se emplazó el cinturón de batolitos del Jurásico Superior (Fife et al., 1967). Las rocas pre-batolíticas están constituídas por

sucesiones de rocas meta-sedimentarias con un amplio rango de edad, también se observa algunos esquistos en contacto con intrusivos. Los protolitos de dichas rocas representan las rocas sedimentarias formadas en los mares de la ancestral Norteamérica, las cuales fueron metamorfizadas en eventos tectónicos al inicio del Cretácico Temprano (Figura 2.1), (Gastil, 1975).

2.1.2 Grupo Alisitos.

El Grupo Alisitos se encuentra constituido por una sucesión de rocas volcánicas, volcanoclásticas y volcano-sedimentarias que se depositaron en forma dominante en un ambiente de arco submarino durante el del Aptiano-Albiano (Busby et al., 2004). Estas rocas afloran en la margen del Pacífico del norte de Baja California en una franja desde el límite con Estados Unidos hasta la mitad de la península. En el norte la unidad está representada por algunos afloramientos de depósitos de lapilli que en la zona de la costa constituye el basamento local, mientras que hacia el sur predominan los depósitos volcanoclásticos (Figura 2.1), (Minch et al., 1967; Almazán-Vázquez, 1988).

2.1.3 Cinturón de Batolitos.

El Cinturón de batolitos tiene una composición predominantemente félsica e intermedia, que en su porción occidental se formó durante el Cretácico Inferior; constituyen las raíces de un arco volcánico que se extendió a lo largo de la región central de lo que en la actualidad es la península de Baja California. El cinturón de batolitos muestra continuidad en superficie en el sector norte de la península de Baja California, y se encuentra cubierto en la mayor parte del sur de la península, por rocas volcánicas del Cenozoico en la Sierra de la Giganta, hasta nuevamente aflorar en la región de los Cabos. En el sector norte el cinturón de batolitos atestigua procesos de erosión y exhumación, así como una menor actividad volcánica durante el Cenozoico (Figura 2.1) (Schmidt et al., 2014).

2.1.4 Formación Rosario.

La Formación Rosario está constituida por sucesiones de rocas sedimentarias de ambiente marino del Campaniano Tardío-Maastrichtiano Temprano y muestra cambios de facies de continental a marino profundo (Abbott et al., 1993). En esta unidad se tiene especialmente arenisca, limolita y conglomerado. La arenisca es de grano medio a fino, color pardo claro; los granos están bien seleccionados y varían de subangulosos a subredondeados. Las areniscas están interestratificadas con lutitas y limolita. La limolita es 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 las cuales contienen fósiles de amonitas y de gasterópodos. El conglomerado es de color pardo-blanco, que intemperiza a pardo rojizo y se caracteriza por presentar gradación inversa. Sus clastos tienen entre 2 y 20 cm de diámetro y predominan los de 10 cm; los fragmentos están bien redondeados, mal seleccionados y bien consolidados en una matriz arenosa rica en cuarzo que se diferencia de la del miembro medio por su menor contenido de biotita. Sus estratos son de diferente espesor, de 0.4 a 5 m, predominando los gruesos. Los componentes de esta unidad son el resultado del levantamiento y erosión del cinturón batolítico, así como del Grupo Alisitos, que se ubican al oriente de la Formación Rosario, por lo que los constituyentes de esta última proceden de dichos conjuntos (Figura 2.1).

2.1.5 Formación Rosarito Beach.

Es una sucesión gruesa del Mioceno-Plioceno de flujos de basalto interestratificado con areniscas, brechas y tobas. Los derrames de lava forman estructuras de bloques que son resistentes al intemperismo y erosión; son de composición basáltica a andesítica, con textura afanítica. Los flujos de basaltos son color negro y gris-verdoso, que por intemperismo adquieren un color rojo óxido; presentan textura afanítica. Se caracterizan por presentar un patrón de alteración que forma estructuras en forma de lajas. La arenisca es de grano medio, color gris a verde, bien seleccionada, contiene abundantes granos de

glaucofano, zoisita, mica, cuarzo β y plagioclasa. Las brechas contienen abundantes clastos de rocas plutónicas, esquisto, cuarcita, glaucofano y sericita (Minch, 1967).

Esta unidad muestra poca continuidad en relación con los depósitos volcánicos de dicha edad que afloran en la porción sur de península y son considerados remantes de los últimos eventos de subducción registrados durante el Cenozoico, previos al proceso de apertura del Golfo de California (Figura 2.1).

2.1.6 Formación San Diego.

Se compone de una arenisca fosilífera y conglomerados del Plioceno que descansan mediante una discordancia angular sobre las rocas de las formaciones Rosario y Rosarito Beach.

La unidad presenta dos miembros (Minch, 1967); cuyas características más relevantes se describen a continuación:

- El miembro superior consta de intercalaciones de areniscas y arena: amarillenta-marrón, de grano medio a grueso; contiene también paraconglomerado heterolíticos con bloques entre 3 a 50 cm de esquisto y basalto producto de la erosión de la Formación Rosarito Beach.
- El miembro inferior consta de areniscas de color gris azulado a marrón amarillento, de grano medio a fino, ocasionalmente contiene capas discontinuas o lentes de conglomerados, que localmente se presentan muy endurecidos. Las capas fosilíferas dentro de las areniscas contienen gran cantidad de fauna marina.

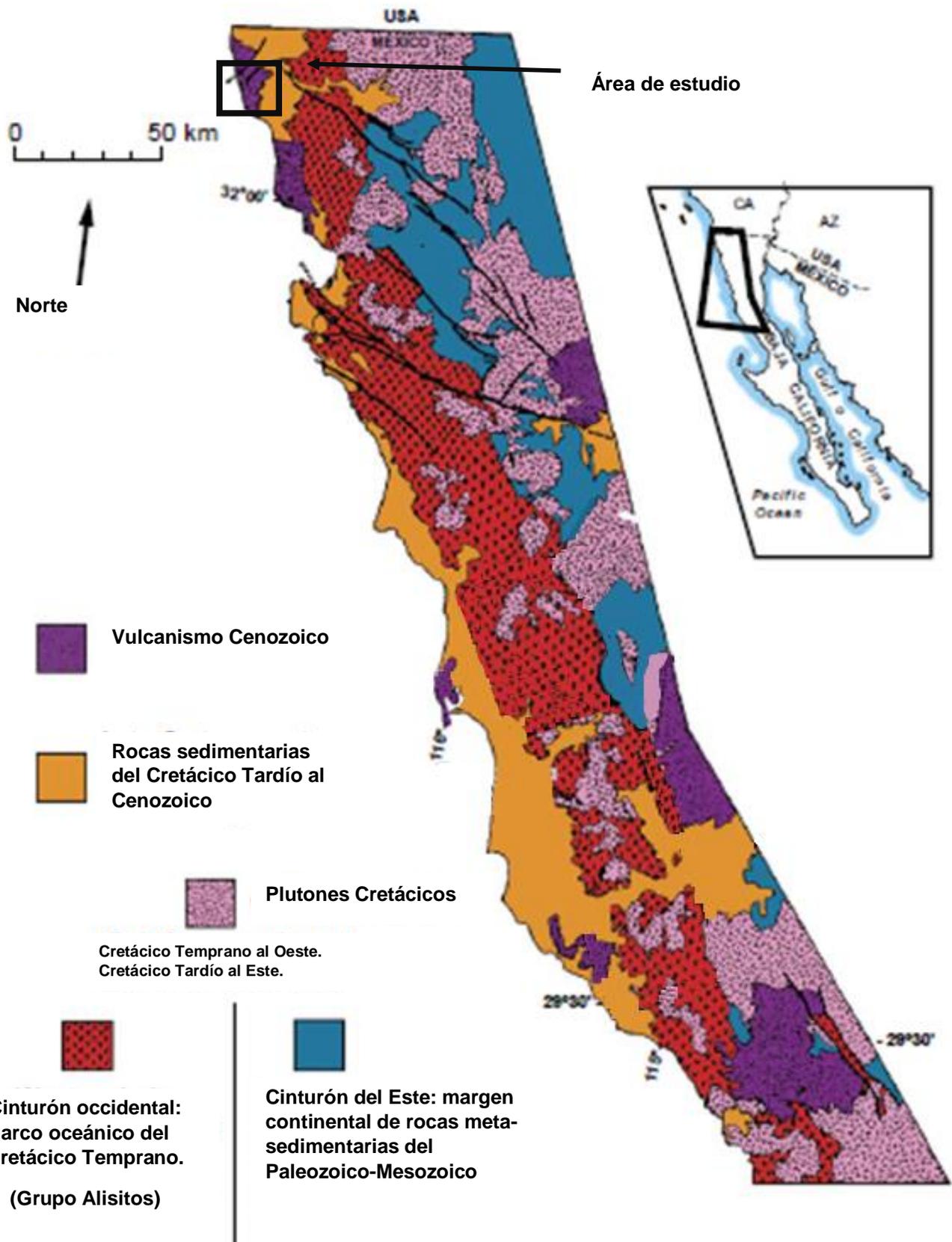


Figura 2.1 Mapa Geológico del Noroeste de la Península de Baja California (Modificado de Busby et al., 2006)

2.2 Estratigrafía local.

En el área de Salsipuedes se encuentran expuestas rocas sedimentarias y rocas volcánicas del Mesozoico y Cenozoico, que se pueden separar en cuatro formaciones geológicas de acuerdo a su edad, el tipo de roca y su ambiente de depósito (Tabla 2.2).

| Formación | Tipo | Ambiente | Relaciones estratigráficas |
|---|---|---|--|
| San Diego (Plioceno) | | | |
| | Conglomerados heterolitológicos. | Continental | Sobrepuesta discordantemente sobre las secuencias sedimentarias y volcánicas de las formaciones Alisitos, Rosario y Rosarito Beach |
| Rosarito Beach (Mioceno-Plioceno) | | | |
| Rosarito Beach Superior | Basaltos. | Volcanico-Varias etapas de intensa actividad volcánica. | Contacto discordante con la Formación San Diego. |
| Rosarito Beach Inferior | Basaltos, brechas volcánicas y depósitos piroclásticos. | Volcanico-Varias etapas de intensa actividad volcánica. | Contacto concordante con Rosarito Beach Superior. |
| Rosario (Campaniano Tardío-Maastrichtiano) | | | |
| Rosario Superior | Areniscas, limolitas y tobas. | Marino poco profundo-rellenos de canal | Contacto discordante con Rosarito Beach Inferior. |
| Rosario Inferior | Conglomerados heterolitológicos. | Continental-Rellenos de paleocanales. | Contacto transicional con Rosario Superior. |
| Alisitos (Aptiano-Albiano) | | | |
| Alisitos | Ignimbritas | Arco submarino, varios eventos de nubes ardientes. | Contacto discordantes con Rosarito Inferior. |

Tabla 2.2 Formaciones geológicas expuestas en el área de Salsipuedes, Baja California.

Las rocas más antiguas son de aproximadamente 140 millones de años y corresponden a secuencias vulcano-sedimentarias de la Formación Alisitos (Oliva

G. et al., 2014), las que se encuentran cubiertas discordantemente por rocas sedimentarias de la Formación Rosario del Cretácico Tardío; estas subyacen de forma discordante a rocas volcánicas y vulcanoclásticas de la formación Rosarito Beach del Cenozoico, y por la secuencia sedimentaria clástica correspondiente a la Formaciones San Diego del Plio-Pleistoceno. En algunos sitios sobre las formaciones antes citadas se tiene aluvi3n en los arroyos y diferentes tipos de suelos de reducido espesor (Figura 2.2). A continuaci3n se detalla la litologí3a de cada una de estas formaciones, que afloran en el á3rea de estudio.

| COLUMNA ESTRATIGRÁFICA | | | | | |
|------------------------|-------------|--------------------------|---------------------|--|---|
| ERA | PERIODO | ÉPOCA | FORMACIÓN GEOLOGICA | UNIDAD LITOLÓGICA | LITOLOGÍA |
| CENOZOICO | CUATERNARIO | Pleistoceno | | Qal | Dep3sitos recientes, Aluvi3n, Suelos residuales. |
| | | | | Qtr | |
| | Qer | | | | |
| | Qta | | | | |
| | NEOGENO | Plioceno | Formaci3n San Diego | Ted-cg | Conglomerado heterotol3gico. |
| | | | | Trb-b-a | Miembro superior. Basaltos |
| Mioceno | | Formaci3n Rosarito Beach | Trb-br | Miembro inferior, basaltos y brechas volcánicas y dep3sitos piroclásticos. | |
| | | | Trb-tcr | | |
| OLIGOCENO | Oligoceno | | Trb-ba | | |
| | | | | | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | Superior | Formaci3n Rosario | Krs-ar | Miembro Superior Unidad de areniscas, limolitas y tobas. |
| | | | | Kri-cg | Miembro inferior Conglomerados heterolit3gicos. |
| | | | | Ka-ig | Ignimbritas de coloraci3n pardo-morada, con una matriz fina con líticos que van de angulosos a subredondeados y de tamañ3 variable. |

Figura 2.2 Columna estratigráfica del á3rea de estudio.

2.2.1 Formación Alisitos.

En la zona de estudio, así como hacia el oriente de ésta y en la zona de Ensenada, la Formación Alisitos está ampliamente expuesta, constituye el basamento en la zona (Figura 2.3).



Figura 2.3 Extenso afloramiento de ignimbritas de la Formación Alisitos.

En el área de estudio se compone de rocas volcánicas de color gris que intemperizan a rojizo violeta de edad Aptiano-Albiano, que corresponden con ignimbritas de textura eutaxítica, compuestas de fragmentos de feldespatos, cuarzo, fragmentos líticos angulosos y vidrio. Los fragmentos de roca varían de tamaño, desde 2 mm hasta 5 cm, son angulosos, aunque de forma aislada se presentan algunos subredondeados (Figura 2.4). Se formaron por varios eventos de eventos piroclásticos que en el área de estudio tienen espesores superiores a 100 m.



Figura 2.4 Textura fanerítica de la Formación Alisitos.

La roca es masiva, compacta que forma bloques de hasta 3m x 3m, separados por fracturas; en los arroyos presenta fuertes pendientes que varían de 50° a 90° cuando la roca está sana y con pocas fracturas.

2.2.2 Formación Rosario.

Consiste de rocas sedimentarias continentales a marinas, aunque en el área se tienen únicamente afloramientos de rocas clásticas continentales con baja compacidad y prácticamente sin deformación, que sobreyacen discordantemente a la Formación Alisitos. La formación se divide en tres miembros, de los cuales únicamente dos afloran en el sur del área de estudio, cuyas características se describen a continuación de la más antigua a la más joven:

2.2.2.1 Rosario Inferior.

Consiste en un conglomerado heterolitológico de color gris claro, que intemperiza a pardo rojizo; se caracteriza por presentar estratos irregulares en espesor, lenticulares y con gradación normal, desarrollando en los arroyos paredes escarpadas con pendientes de 60° a 90° (Figura 2.5). Se compone de clastos de 0.5 a 20 cm, predominando los clastos de 3 a 7 cm; con escasas intercalaciones

de areniscas y areniscas tobáceas parcialmente compactas. Se trata de conglomerados que generalmente son clasto-soportados, cuyos clastos se presentan bien redondeados y mal seleccionados. De manera ocasional son matriz-soportada, cuya matriz es arenosa, la que está compuesta principalmente por cuarzo y de manera secundaria por fragmentos de granito, ignimbrita, andesita en pórfidos, filitas, cuarzo metamórfico y líticos volcánicos de textura afanítica (Figura 2.6). La fracción arenosa presenta estratos discontinuos principalmente en forma ovalada y alargada que corresponden a rellenos de paleocanales (Figura 2.7).



Figura 2.5 Escarpe desarrollado en conglomerados del miembro inferior de la Formación Rosario.



Figura 2.6 Detalle del conglomerado del miembro inferior de la Formación Rosario.



Figura 2.7 Escarpe en conglomerados del miembro inferior de la Formación Rosario con intercalaciones discontinuas de areniscas en forma lenticular.

Los contactos entre el Miembro Inferior y Superior son transicionales, pero se manifiestan morfológicamente por un ligero cambio de mayor a menor pendiente del terreno, debido a la mayor competencia del Miembro Inferior es el que presenta mayor pendiente.

2.2.2.2 Rosario superior.

Se compone de estratos tabulares de 8 a 80 cm de espesor, de areniscas y areniscas tobáceas de color gris claro (Figura 2.8), con algunos cuerpos lenticulares de conglomerados y areniscas conglomeráticas que corresponden a rellenos de canal; también presenta intercalaciones de lutitas y limolitas en estratos con espesores que varían de 2 a 10 cm, además de intercalaciones de estratos de areniscas calcáreas de 15 a 30 cm de espesor (Figura 2.9), los que presentan mayor nivel de cohesión al estar fuertemente cementadas con carbonato de calcio; contiene algunas concreciones calcáreas con diámetros que varían entre 4 y 10 cm y otras elongadas de hasta 1.4 m de longitud. La unidad

subyace de forma discordante a los basaltos inferiores de la Formación Rosarito Beach.



Figura 2.8 Estratos ligeramente inclinados de areniscas del miembro superior de la Formación Rosario



Figura 2.9 Intercalaciones lutitas y limolitas, en el estrato delgado de la Formación Rosario.

La fracción arenosa corresponde con litarenitas con granos bien seleccionados que varían de subangulosos a subredondeados, compuestos de fragmentos rocas volcánicas, cuarzo, micas, feldespatos y óxido de hierro que cuando están expuestas muestran un alto nivel de alteración.

2.2.3 Formación Rosarito Beach.

Se compone de una sucesión gruesa de flujos de basalto y rocas piroclásticas del Mioceno-Plioceno (Minch, 1967) de color gris oscuro y negro que intemperizan en tonos rojos, que se sobreponen discordantemente a los sedimentos terrígenos de Formación Rosario (Figura 2.10). Ocupan las partes topográficamente más altas del área de estudio formando mesetas de decenas de km² de superficie y cerros con laderas de fuertes pendientes en los frentes de los derrames de mayores espesores y en donde está en contacto con la Formación Rosario; también se tienen escarpes con pendientes de 60° a 90° en los afloramientos más próximos a la línea de costa.



Figura 2.10 Contacto discordante entre las areniscas del miembro superior de la Formación Rosario y basaltos en bloques de la Formación Rosarito Beach.

En el área de estudio la formación está conformada mayoritariamente por cuando menos diez flujos de basalto, brechas volcánicas, tobas de lapilli y tobas cristalinas, indicando que esta unidad estratigráfica se formó en varias etapas de intensa actividad volcánica, cuyas rocas rellenaron paleorelieves y se superpusieron a las secuencias sedimentarias más antiguas conformando un relieve volcánico de mesetas, lomeríos y cerros con escarpes de fuertes

pendientes. El área de estudio se puede dividir en dos miembros, cuyas principales características se describen a continuación de la más antigua a la más joven.

2.2.3.1 Rosarito Beach Inferior.

El miembro inferior aflora en el sector sur del área, está formado por basaltos con textura vesicular porfirítica de textura muy gruesa; son de color negro en superficies frescas y gris verdoso cuando se encuentra alterado. Tienen fenocristales de plagioclasa y olivino que se pueden apreciar a simple vista; su espesor varía entre 75 y 100 m. Es común el desarrollo de fracturas horizontales o subhorizontales que permite la formación de abundantes lajas con espesores que varían de 3 a 15 cm de espesor. El basalto de olivino de la parte superior de esta unidad forma grandes bloques con longitudes entre 0.5 m a 6 m, separados por fracturas verticales o subverticales; es más cristalino en los afloramientos próximos a brechas basálticas (Figura 2.11).



Figura 2.11 Meseta de basaltos en bloques de la Formación Rosarito Beach del miembro inferior.

Las brechas volcánicas se encuentran intercaladas con los flujos de basalto, son de color pardo rojizo, con fragmentos angulosos a subangulosos de basalto del

tamaño de lapilli y ceniza volcánica gruesa; se presentan mal ordenados y masivos.

2.2.3.2 Rosarito Beach Superior.

Los derrames de basalto y brechas volcánicas (Figura 2.12), corresponden con amplios afloramientos en el sector centro y norte del área, es esencialmente la misma composición mineralógica que las del miembro inferior, ya que contiene olivino, plagioclasas en una matriz de vidrio, con abundantes vesículas. Es frecuente que el olivino se presente alterado a iddingsita y que algunas vesículas estén rellenas con clorofenicitita o calcita. En los cerros de mayor pendiente, se tienen derrames de basalto en bloques con fracturas verticales y abundantes vesículas (Figura 2.13). En las partes de menor pendiente en la zona de mesetas predomina el basalto en lajas, cuya separación es por fracturas subhorizontales (Figura 2.14).



Figura 2.12 Derrames de basaltos en bloques del miembro superior de la Formación Rosarito Beach.



Figura 2.13 Bloques de basalto vesicular del miembro superior de la Formación Rosario Beach.



Figura 2.14 Derrames de basaltos en lajas del miembro superior de la Formación Rosarito Beach.

2.2.4 Formación San Diego

Se compone de conglomerados y areniscas conglomeráticas de color rojizo con muy bajo nivel de cohesión, que se encuentran sobrepuesta discordantemente sobre las secuencias sedimentarias y volcánicas de las formaciones Alisitos, Rosario y Rosarito Beach, constituyendo extensos afloramientos del sector sur del área de estudio, presentándose como cubierta de la parte alta de los cerros (Figura 2.15). Se compone de clastos de 5 mm a 70 cm de diámetro, predominando las de 10 a 20 cm; son redondeados y subredondeados de fragmentos de basaltos, rocas metamórficas, ignimbritas, areniscas y cuarzo (Figura 2.16); su distribución es amplia considerando que muchos bloques de esta unidad cubren a las rocas más antiguas debido a deslizamientos locales por efecto de la gravedad; los espesores de esta unidad son variables, sin embargo, llegan a ser superiores a los 50 m.



Figura 2.15 Parte alta la cubierta sedimentaria terrígena de la Formación San Diego, la unidad cubre discordantemente a la Formación Rosario.



Figura 2.16 Conglomerados poco cohesivos de la Formación San Diego.

2.2.5 Aluvión y suelos.

Aluvión compuesto principalmente de arenas y gravas con clastos redondeados a subredondeados de basaltos, areniscas, ignimbrita, granito y cuarzo con tamaños de 2 a 10 cm, aunque algunos tienen diámetros de hasta de 1.5 m; se encuentra en los lechos de arroyos (Figura 2.17), como material suelto producto del transporte fluvial en temporada de lluvias, aunque su mayor desarrollo ha ocurrido en temporadas de tormentas y huracanes.



Figura 2.17 Gravas que forman parte del aluvión del Arroyo Casitas.

Con referencia a los suelos, estos son delgados, con espesores máximos de 2.5 m, que presentan mayor desarrollo sobre los basaltos de las mesetas, sobre las areniscas y areniscas tobáceas del miembro superior de la Formación Rosario; son producto de la alteración insitu de rocas ígneas y sedimentarias en una zona de clima árido (Figura Figura 2.18).



Figura 2.18 Suelos con espesores de 2.2 m desarrollados sobre basaltos en una meseta.

2.3 Cartografía.

La cartografía geológica de la región Salsipuedes, se realizó tomando como base la información obtenida durante el trabajo de campo, el uso de imágenes satelitales y los softwares QGIS y Google Earth.

2.3.1 Metodología de trabajo.

Para la captura en formato digital del estudio se utilizó el software QGIS 2.6.1-Brighton, un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre, y la plataforma Microsoft Windows 8.

QGIS permite manejar formatos raster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos. Algunas de sus características son:

- Soporte para la extensión espacial de PostgreSQL, PostGIS.
- Manejo de archivos vectoriales Shapefile, ArcInfo coverages, Mapinfo, GRASS GIS, etc.
- Soporte para un importante número de tipos de archivos raster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.).

2.3.1.1 Elaboración del mapa base de la región Salsipuedes.

El conjunto de datos vectoriales que se utilizaron como mapa base corresponden a las cartas topográficas escala 1:50 000, H11B11 y I11D81, descargadas de la página web de INEGI.

La información vectorial describe los datos geográficos en términos de puntos, líneas y polígonos en un plano de coordenadas. Esto es usado normalmente para guardar características discretas, como lo son vías de comunicación, hidrografía, cartografía, etc.

Los datos de trabajo de campo, geología estructural, vías de comunicación, hidrología, localidades y topografía se cargaron en QGIS como archivos Shapefile que es un formato específico de archivo más usado, que permite guardar datos SIG en grupos de archivos asociados, llamadas capas (Figura 2.19). Posteriormente se llevó a cabo un proceso de edición de estilo de las capas.

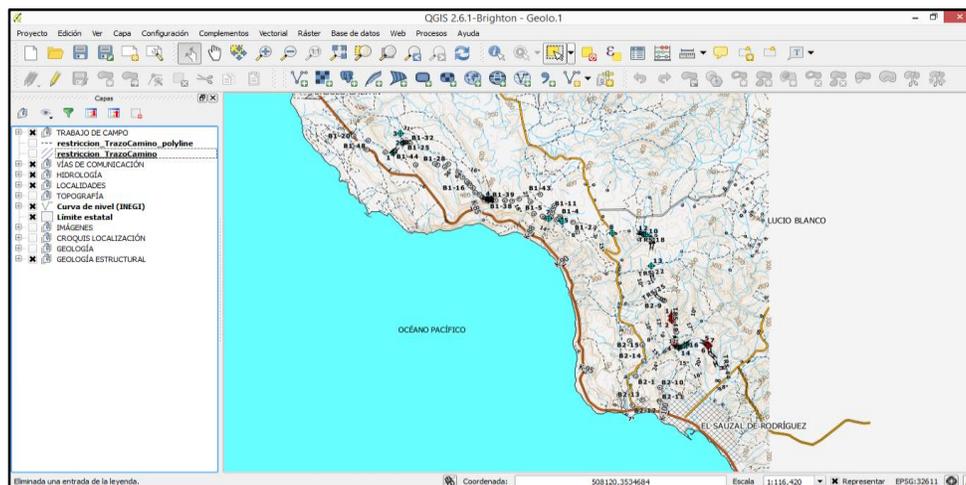


Figura 2.19 Datos cargados en formato Shapefile de la zona de estudio.

Se agregaron datos ráster, diferentes de los datos vectoriales. Los datos vectoriales tienen elementos discretos contruidos a partir de vértices, y pueden ser conectados con líneas y/o áreas. Los datos ráster, sin embargo, son como cualquier imagen. Aunque pueden describir propiedades de los objetos en el mundo real, esos objetos no existen como objetos delimitados, en lugar de ello están representados utilizando píxeles de distintos valores de color (Figura 2.20). Los archivos de tipo raster utilizados en el proyecto consistieron en dos temas; por un lado el modelo digital de elevación del cual, a partir del proceso de análisis de terreno se obtuvo un modelo de sombras (Hillshade); por otra parte a partir del complemento de QGIS “OpenLayer” se pudo obtener una base de imagen satelital del servidor Google Maps.

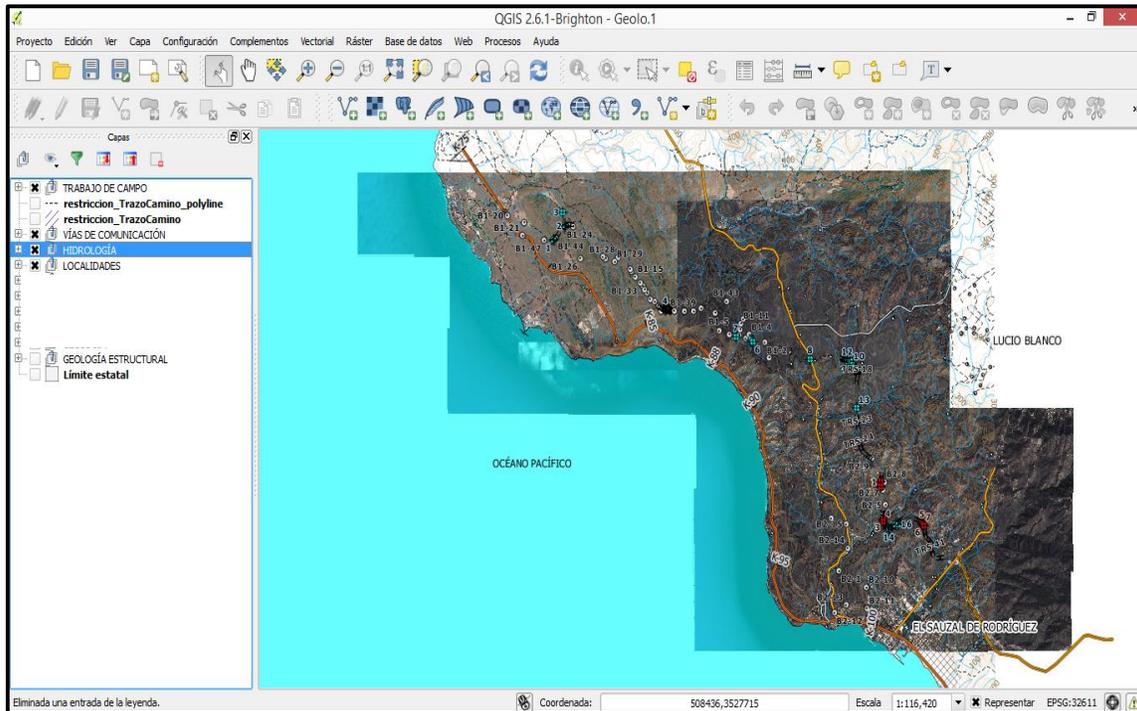


Figura 2.20 Imagen cargada en formato raster del área de estudio.

Las características orográficas e hidrográficas se asocian con los elementos geológicos de la región, ya que el relieve y el drenaje dependen del tipo de rocas expuestas, del ritmo de los procesos geológicos y el clima del lugar.

Las diferentes litologías se identificaron de acuerdo a criterios fotogeológicos (Tabla 2.3), se reconoció la extensión y volumen de las unidades geológicas agrupando áreas con similitudes fotogeológicas y verificandolas con trabajo de campo.

| Fotográficos | De los objetos | Morfológicos | Geomorfológicos | Biótico-Edáfico |
|--------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| Tono | Forma | Topoformas | Erosión | Correspondencia |
| Textura | Tamaño | Emplazamiento | Drenaje | Vegetación-Suelo- |
| | Rasgos asociados | Ruptura de | | Roca |
| | Sombra | Pendiente | | |
| | | Gradiente | | |
| | | Rasgos alineados | | |

Tabla 2.3 Criterios fotogeológicos utilizados que se tomaron en cuenta para elaborar el mapa geológico (Tomada de Silva et al., 2010).

Para ordenar estas litologías en el software QGIS se creó la subcapa llamada Litología dentro de la capa GEOLOGIA (Figura 2.21).

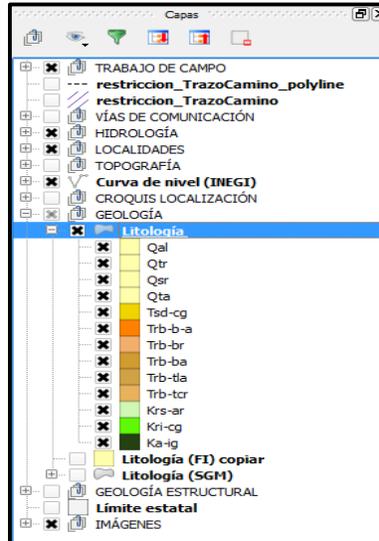


Figura 2.21 Subcapa Litología.

Con las herramientas de QGIS “Conmutar edición” y “añadir objeto espacial” se delimitaron las áreas (Figura 2.22), asignándoles el atributo correspondiente de litología en la base de datos (Figura 2.23).

2.3.1.2 Comprobación de Topología

Después de caracterizar la cartografía del área de estudio, se realizó el proceso de Comprobación de topología.

La topología describe las relaciones entre puntos, líneas y polígonos que representa los objetos espaciales de una región geográfica. Con el complemento de “Comprobador de topología”, se revisaron los archivos vectoriales de la subcapa “Litología” (Figura 2.24).

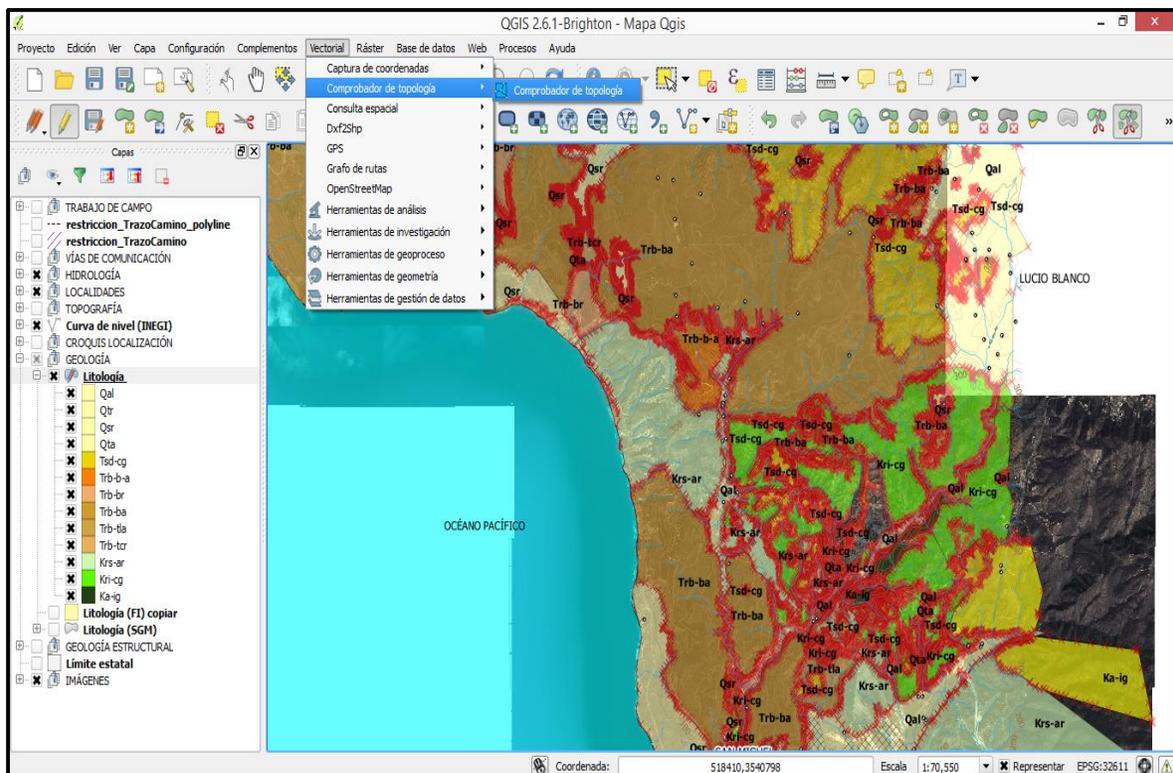


Figura 2.24 Comprobador de topología utilizado para identificar objetos en el espacio del área de estudio.

A través de una lista de reglas se comprobaron las relaciones espaciales de los objetos espaciales en la capa de polígonos de litologías (Figura 2.25):

- Must contain: La capa de polígonos debe contener al menos un punto de la geometría de la segunda capa.

- Must not have duplicates: Los polígonos de la misma capa no deben tener geometrías idénticas. Cada vez que una entidad de polígono se represente dos veces o más se producirá en el campo 'Error'.
- Must not have gaps: Los polígonos adyacentes no deben formar espacios entre ellos.
- Must not have invalid geometries: Comprobar si las geometrías son válidas. Algunas de las reglas que definen si una geometría es válida son:
 - anillos de polígonos cerrados.
 - Los anillos que definen agujeros deben estar dentro de los anillos que definen los límites exteriores.
 - Los anillos no deben intersectarse (no pueden tocarse o cruzarse entre sí).
 - Los anillos no puede tocar otros anillos, excepto en un punto.
- Must not have multi-part geometries: A veces, una geometría es en realidad una colección de geometrías sencillas. Una geometría de este tipo se denomina de geometría multi-parte. Si contiene sólo un tipo de geometría simple, lo llamamos multi-punto, multi-líneas o multi-polígono. Por ejemplo, un país que consta de múltiples islas se puede representar como un multi-polígono.
- Must not overlap: Los polígonos adyacentes no deben de compartir un área en común.
- Must not overlap with: Los polígonos adyacentes de una capa no deben compartir un área con los polígonos de otra.

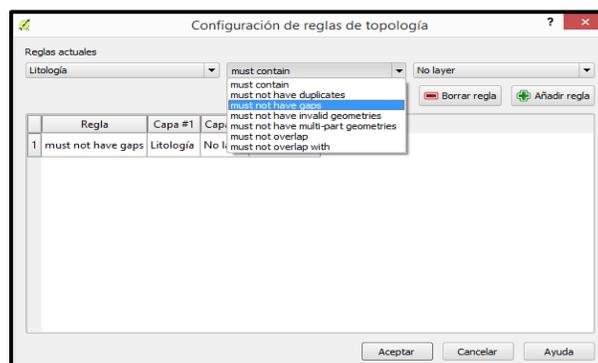


Figura 2.25 Configuración de reglas de topología.

Con la aplicación de estas reglas se encontraron y eliminaron errores de datos existentes e inducidos generados durante el proceso de digitalización (Figura 2.26).

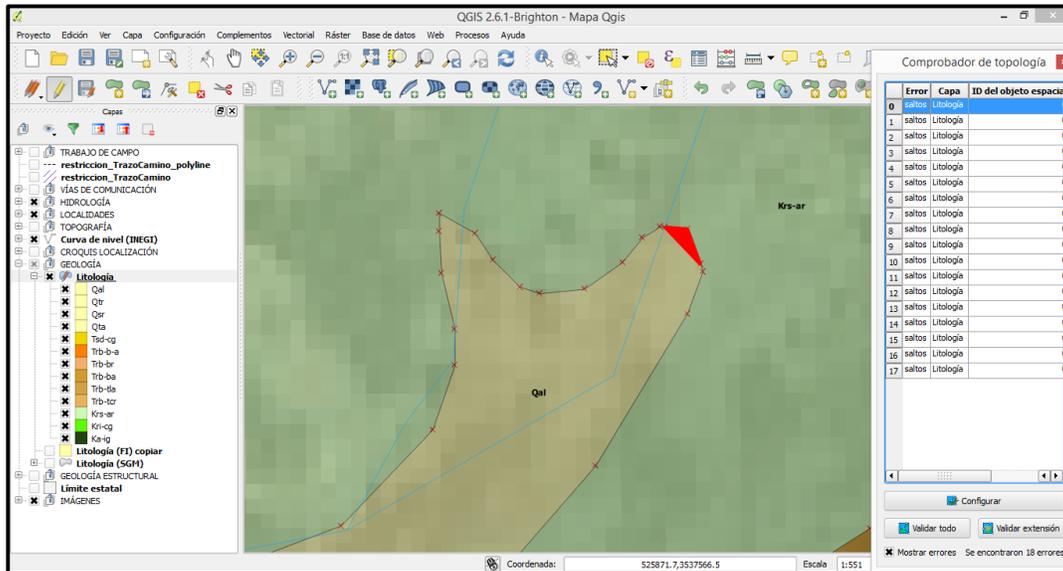


Figura 2.26 Errores de datos existentes e inducidos.

2.3.1.3 Modelo Digital de elevación

Un Modelo Digital de Elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (INEGI, 2015).

Los datos de relieve de las cartas geológicas H11B11 y F11B81 se descargaron como archivos tipo TIFF de la página de INEGI (Figura 2.27) y se añadieron al proyecto como capa raster.

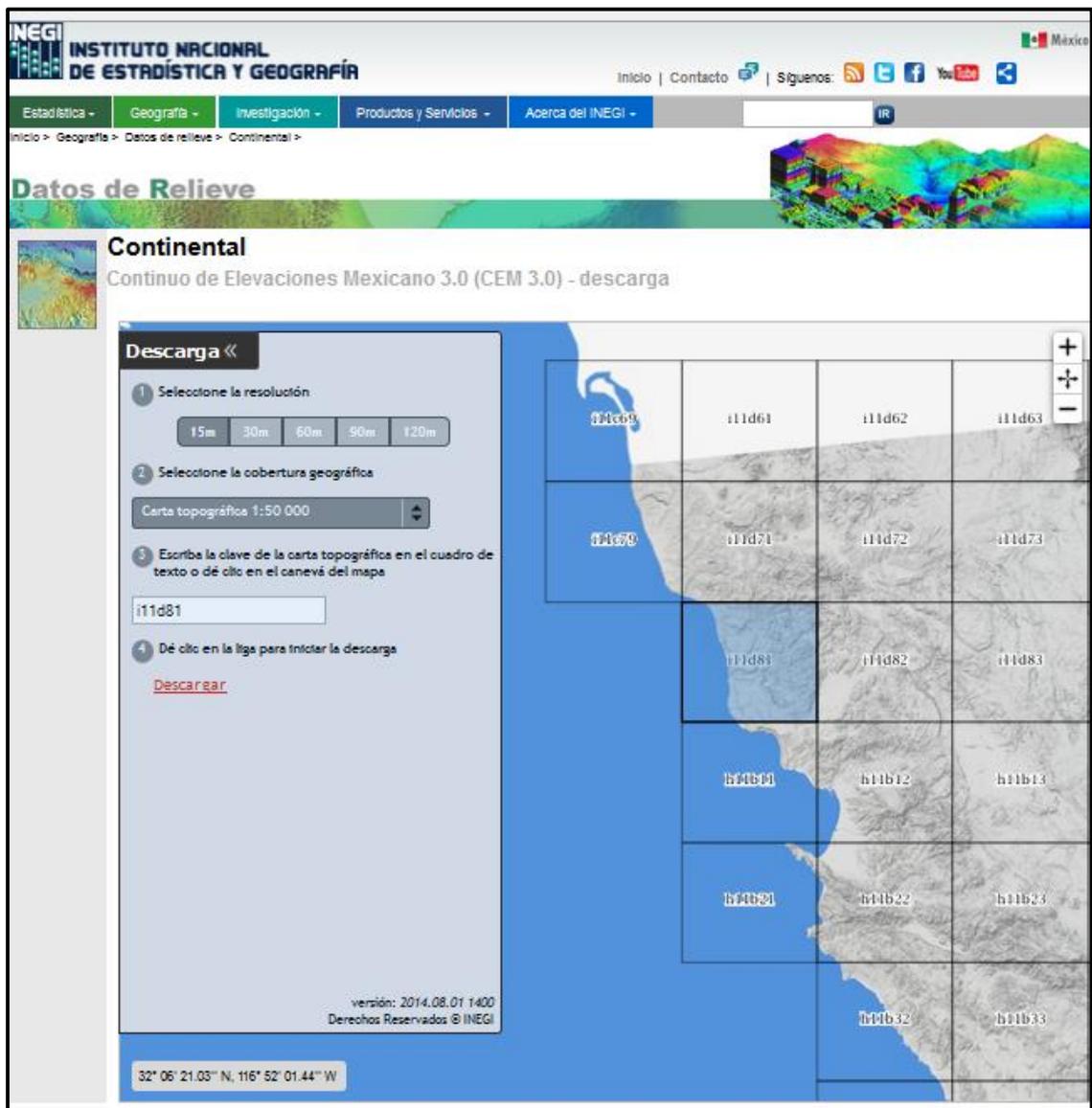
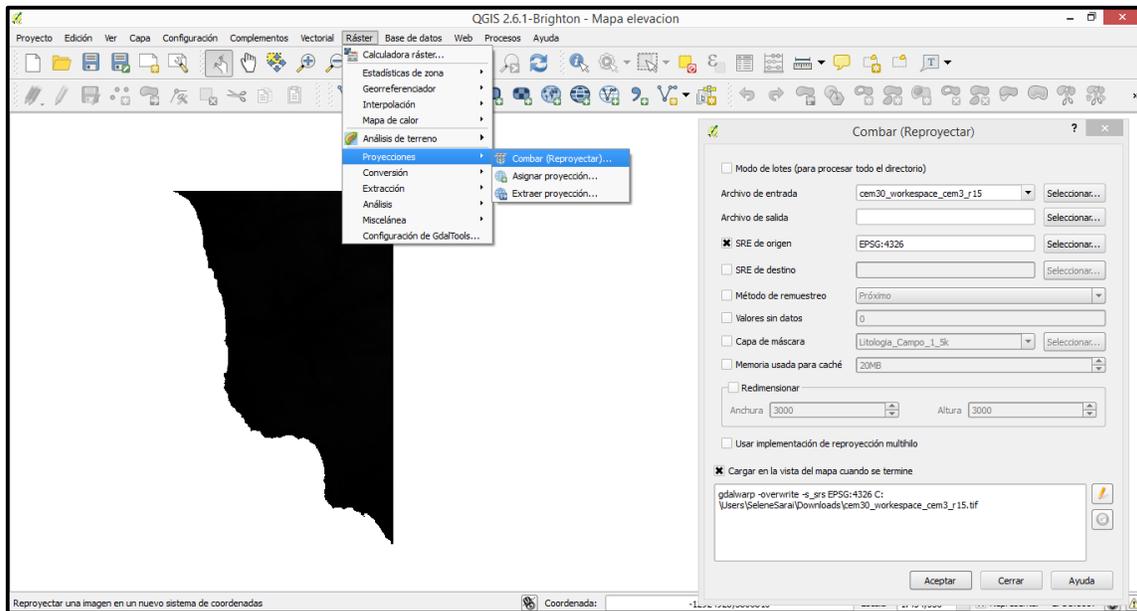


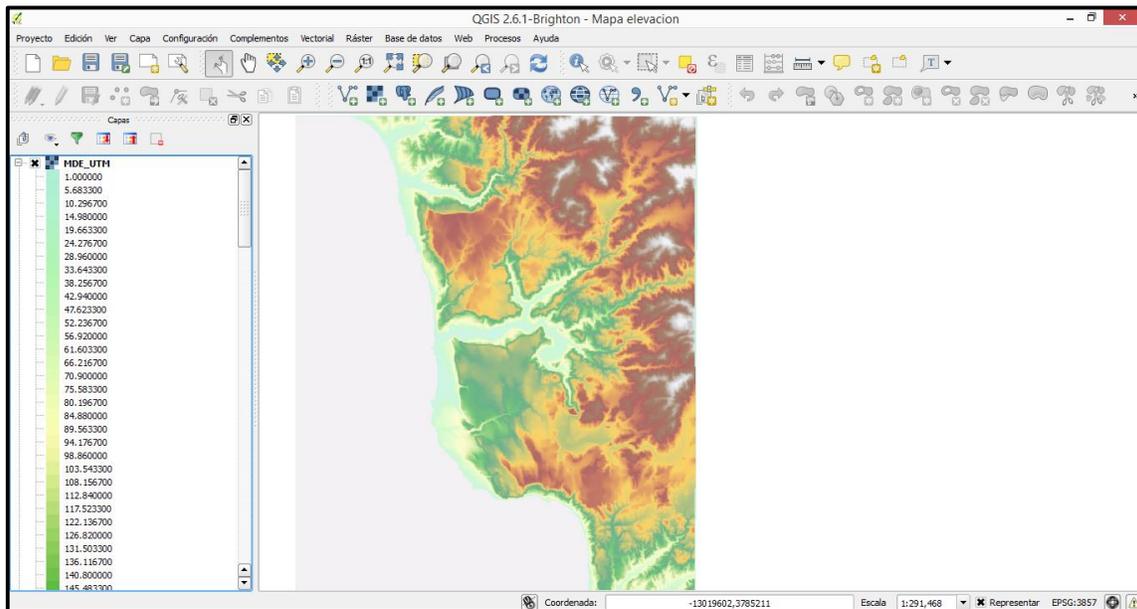
Figura 2.27 Descarga de los archivos TIFF, de la página de INEGI.

Con el complemento “Combinar” del desplegable “raster” se unieron los archivos tipo TIFF de las dos cartas geológicas. Con la herramienta “Combar” el nuevo archivo raster se reproyectó a coordenadas UTM (Figura 2.28).



2.28 Reproyección a coordenadas UTM.

La capa creada representa los datos del terreno. Cada píxel del raster representa la elevación media en metros en ese lugar. Los píxeles oscuros representan las zonas de alta altitud y píxeles más claros representan áreas con baja altitud (Figura 2.29).



2.29 Modelo Digital de Elevación del área de estudio.

Con la opción “Análisis del terreno”, se creó un sombreado del relieve (Hillshade) a partir del Modelo Digital de Elevación (Figura 2.30).

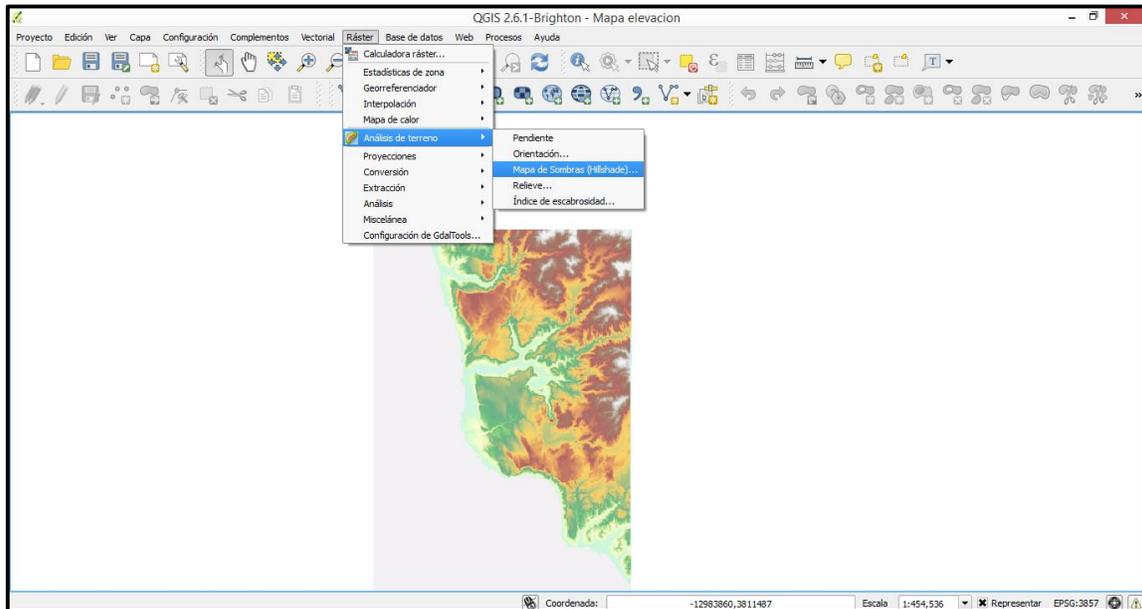
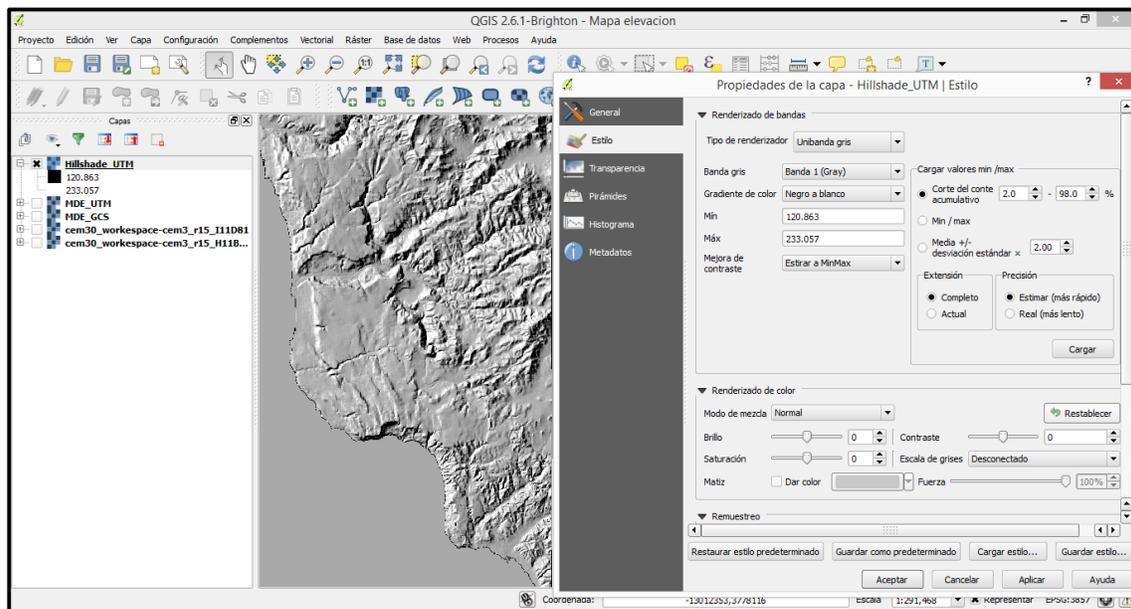


Figura 2.30 Creación del mapa de sombras del área de estudio.

La transparencia y la rampa de colores de la capa Hillshade se editó con la opción “Propiedades de la capa” (Figura 2.31).



2.31 Propiedades de la capa Hillshade.

2.3.1.4 Diseñadores de impresión

Con la herramienta “Diseñador de impresión” de QGIS, se editó el mapa de salida (Figura 2.32), al cual se le añadieron diferentes elementos, por ejemplo, etiquetas de texto, imágenes, leyendas, escala, formas básicas, flechas, tablas de atributos y marcos.

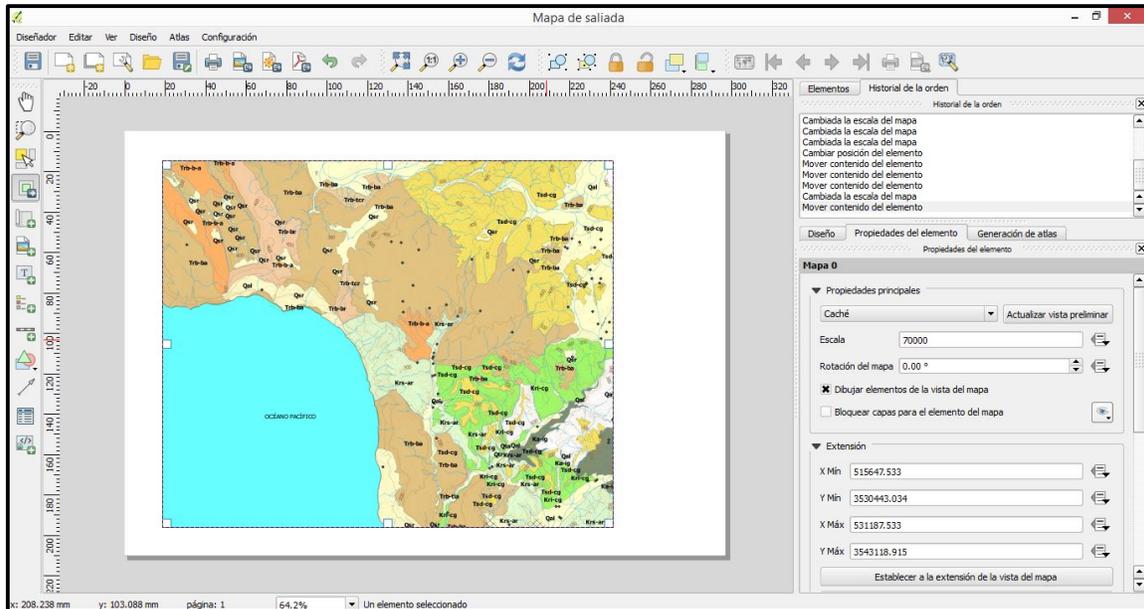


Figura 2.32 Diseñador de impresión.

Para la edición del mapa de salida se utilizaron las siguientes herramientas del Diseñador de impresión:

Icono Propósito



Guardar proyecto



Duplicar diseñador



Cargar de plantilla

Icono Propósito



Nuevo diseñador de impresión



Administrador de diseñadores



Guardar como plantilla



Imprimir



Exportar a un formato de imagen



Exportar como SVG



Exportar como PDF



Revertir el último cambio



Restaurar el último cambio



Zum general



Zoom to 100%



Acercar Zum



Alejar Zum



Actualizar vista



Desplazar diseñador



Zum a una región específica



Seleccionar/Mover elementos



Mover contenido dentro de un elemento



Añadir mapa nuevo



Añadir imagen a diseño de impresión



Añadir etiqueta al diseño de impresión



Añadir nueva leyenda a diseño de impresión



Añadir nueva barra de escala



Añadir figura básica al diseño de impresión



Añadir flecha



Añadir tabla de atributos



Añadir marco HTML



Agrupar elementos



Desagrupar elementos



Subir los elementos seleccionados



Bajar elementos seleccionados



Mover elementos seleccionados arriba



Mover elementos seleccionados abajo



Alinear a la izquierda elementos seleccionados



Alinear a la derecha elementos seleccionados



Alinear al centro elementos seleccionados



Alinear al centro vertical los elementos seleccionados



Alinear arriba los elementos seleccionados



Alinear abajo los elementos seleccionados



Atlas previo



Primer objeto espacial



Objeto espacial anterior



Siguiente objeto espacial



Último objeto espacial



Imprimir atlas



Exportas atlas como imagen



Configuración de atlas

2.3.2 Descripción del mapa geológico.

En el área de estudio predominan aproximadamente un 65% las rocas volcánicas, principalmente basaltos y andesitas basálticas de la Formación Rosarito Beach e ignimbritas de la Formación Alisitos. Alrededor de un 35 % corresponden a rocas

sedimentarias esencialmente conglomerados y areniscas de la Formación San Diego y Formación Rosario (Mapa 1).

El sur del área de estudio se compone de rocas volcánicas de edad Aptiano-Albiano, que corresponden con ignimbritas de la Formación Alisitos, son las rocas más antiguas por lo que constituyen el basamento. Las rocas de la Fm. Alisitos se encuentran expuestas en arroyos donde presenta pocas fracturas y pendientes que varían de 50° a 90°.

El conglomerado heterolitológico de color gris claro, del Miembro Inferior de la Formación Rosario aflora en el sector sur del área, desarrollando en los arroyos paredes escarpadas con pendientes de 60° a 90°.

Los contactos entre el Miembro Inferior y Superior de la Formación Rosario son transicionales, por lo que se manifiestan morfológicamente por un ligero cambio de mayor a menor pendiente del terreno.

Las areniscas, limolitas y tobas del Miembro Superior de la Formación Rosario que aflora en los arroyos presenta paredes escarpadas de 40° a 90°, con abundante material de derrumbe en la base de los escarpes; sin embargo, en la mayoría de su zona expuesta forma lomeríos de baja pendiente desarrollando suelos arenosos con espesores de hasta 2 m.

La Formación Rosarito Beach se compone de una sucesión gruesa de flujos de basalto y rocas piroclásticas del Mioceno-Plioceno. Ocupa las partes topográficamente más altas del área de estudio formando mesetas de decenas de km² de superficie y cerros con laderas de fuertes pendientes en los frentes de los derrames de mayores espesores, sobre todo cuando está en contacto con la Formación Rosario; también se tienen escarpes con pendientes de 60° a 90° en los afloramientos más próximos a la línea de costa.

Las mesetas de basaltos en bloques del Miembro Inferior de la Formación Rosarito Beach afloran en el sector sur del área de estudio. Los derrames de basalto y brechas volcánicas del Miembro Superior de la Formación Rosarito

corresponden con amplios afloramientos en el sector centro y norte del área de estudio. En los cerros de mayor pendiente, se tienen derrames de basalto en bloques con fracturas verticales y abundantes vesículas.

Los conglomerados y areniscas conglomeráticas de la Formación San Diego constituyen extensos afloramientos en el sector sur del área de estudio, presentándose como cubierta de la parte alta de los cerros.

El aluvión se observa en los lechos de arroyos, como material suelto producto del transporte fluvial en temporada de lluvias. Con espesores máximos de 10 m en el Arroyo Casitas.

Los suelos, tienen espesores máximos de 2.5 m, los que presentan mayor desarrollo sobre los basaltos de las mesetas, areniscas y areniscas tobáceas del miembro superior de la Formación Rosario.

2.3.3 Distribución de las secciones geológicas.

Para comprender la disposición de las unidades, relaciones estratigráficas y estructuras geológicas en la región, se realizó una sección geológica general así como también se realizaron tres secciones locales para describir a detalle la relación entre las unidades litoestratigráficas y los factores que las afectan.

2.3.3.1 Sección 1.

La sección 1 es una sección general del área de estudio, es la más representativa ya que cruza a la mayoría de las unidades estratigráficas y las principales estructuras geológicas; se elaboró en dos segmentos AB y BC, que tienen una orientación SE70°NW y SE22°NW respectivamente. El sector AB de la sección se ubica al Norte del área de estudio, es el área topográficamente más alta, donde solo afloran las rocas volcánicas de la Formación Rosarito Beach que forman grandes mesetas y lomeríos, dicha formación se encuentra discordantemente con la Formación Rosario Superior además estas rocas están afectadas por una falla lateral izquierda con componente normal de orientación NW30° y echado vertical.

El sector BC se ubica al Sur del área de estudio, afloran los conglomerados de la Formación San Diego, los dos miembros de la Formación Rosario y las ignimbritas de la Formación Alisitos. La Formación Alisitos se encuentra en contacto discordante con el Miembro inferior de la Formación Rosario; por otra parte se tiene un ligero cambio de pendiente de menor a mayor entre los dos miembros de la Formación Rosario debido a un contacto transicional, los conglomerados de la Formación San Diego se encuentran como cubierta en las regiones topográficamente más altas. Este sector del área de estudio está más afectado por la presencia de fallas normales, lo cual se manifiesta en la topografía con una disminución del relieve hacia el SE y la presencia de horts y grabens, al NW de este sector se tienen dos fallas normales prácticamente paralelas, la Falla Escondida con una orientación NE55°SW y echado vertical y la Falla Juco 3 de orientación NE50°SW con echado de 60° al NW, estas fallas, afectan los basaltos de la Formación Rosarito Beach y la Formación Rosario formando un graben. Un segundo graben se forma al SE con la Falla Casitas que es de tipo normal con dirección NE50°SW y echado de 70° al SE y la Falla Carmen de tipo lateral izquierda con componente normal de rumbo NE45°SW y echado vertical. Por último se tiene la presencia del Valle el Sauzal, formado por la presencia de la Falla Sauzal de tipo lateral izquierda con componente normal de rumbo NE40°SW y echado vertical, que afecta al Miembro Superior e inferior de la Formación Rosario.

2.3.3.2 Sección 2.

La sección 2 se ubica al Norte del área de estudio, con orientación NE80°SW, en esta sección aflora los derrames de basaltos del Miembro Inferior de la Formación Rosarito Beach del Oligoceno, que presentan un color gris-verdoso, resultado de un intenso intemperismo, presentan una textura afanítica que se reconoce por presentar un patrón de discontinuidades en forma de lajas; esta unidad subyace concordantemente a los derrames de lava del Miembro Superior de la Formación Rosarito Beach del Mioceno, que forman estructuras de bloques que son resistentes al intemperismo y erosión. Son de composición basáltica a andesítica,

con textura afanítica. Se tiene suelo residual producto de la alteración de los derrames de basalto del Oligoceno.

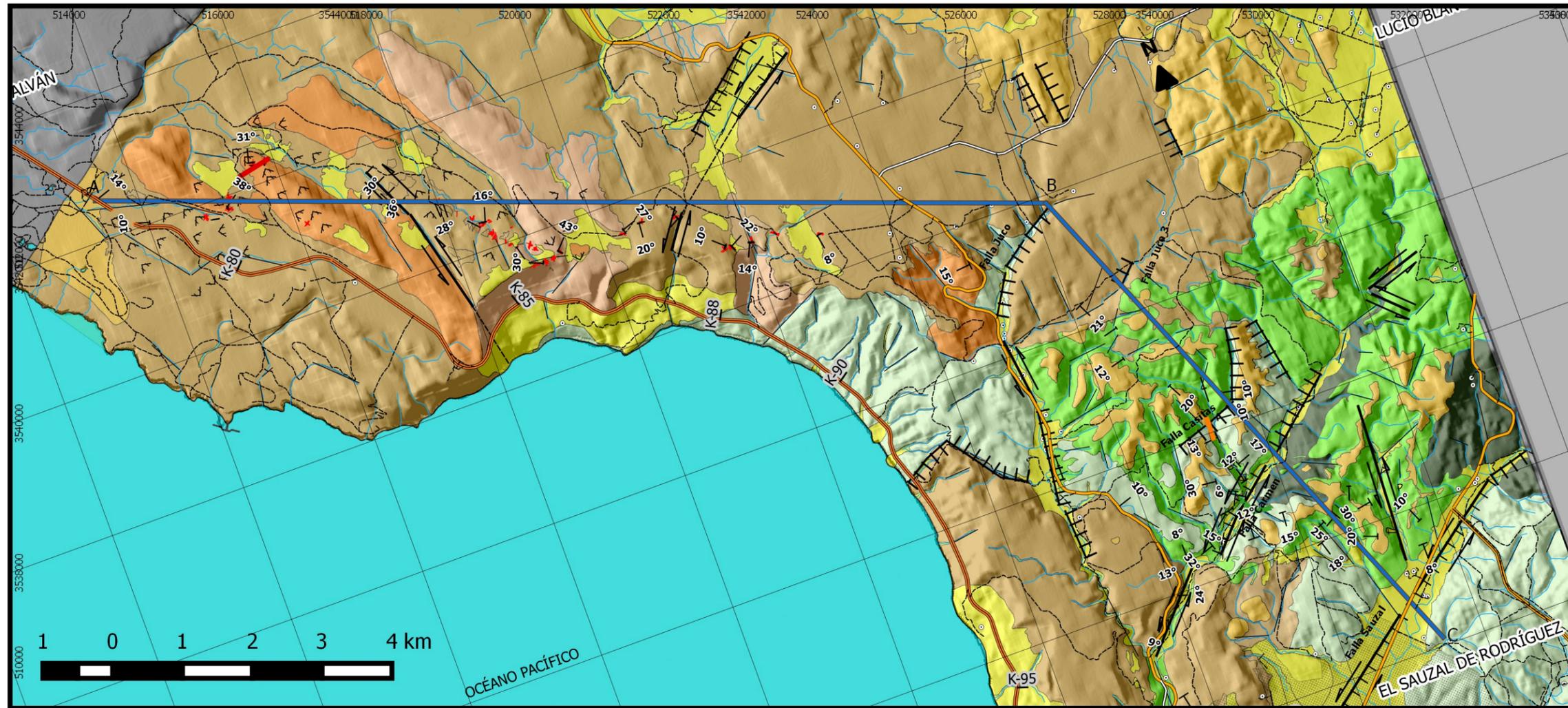
2.3.3.3 Sección 3.

La sección 3 se ubica al Sur del área de estudio, con una orientación NE5°SW. En las áreas topográficamente más altas se tienen los conglomerados heterolíticos del Plioceno de la formación San Diego, presentan clastos de tamaños entre 3 y 50 cm, con una coloración rojiza y una textura matriz soportada, esta unidad está sobrepuesta discordantemente con los conglomerados heterolíticos del Cretácico Superior de la Formación Rosario, tienen una textura clasto soportado, con fragmentos de texturas faneríticas intrusivas y volcánicas afaníticas. Las areniscas del Miembro Superior de la Formación Rosario están en contacto con los conglomerados del Miembro Superior debido a la Falla Casitas que es de tipo normal con dirección NE50°SW y echado de 70°, que afecta ambas unidades. Esta falla a estado inactiva desde el Plioceno debido a que solo afecta a la Formación Rosario y está cubierta por los conglomerados de la Formación San Diego. En esta sección afloran las areniscas del Miembro Superior de la Formación Rosario con un ligero echado hacia el SW de 22°; en esta sección existen dos tipos de contactos con los conglomerados del Miembro Inferior de la Formación Rosario. El primero debido a la falla normal presente en los dos miembros y el segundo es un contacto transicional. El basamento corresponde a ignimbritas de la Formación Alisitos que subyacen discordantemente a los conglomerados de la Formación Rosario Inferior.

2.3.3.4 Sección 4.

La sección 4 se ubica al Sur del área de estudio, con dos cambios de orientación SE30°NW y NE83°SW. Se tiene la Falla Carmen de tipo lateral izquierda con componente normal de rumbo NE45°SW y echado ligeramente vertical, que afecta los conglomerados de la Formación Rosario y las ignimbritas de la Formación Alisitos. El paraconglomerado heterolítico de la Formación San Diego se sobreponen discordantemente al ortoconglomerado del Miembro inferior de la

Formación Rosario, mientras que las areniscas del Miembro Superior de la Formación Rosario sobreyacen el Miembro Inferior de la Formación Rosario. Las ignimbritas de la Formación Alisitos afloran en este sector del área de estudio y subyacen discordantemente la Formación Rosario Inferior.



CROQUIS

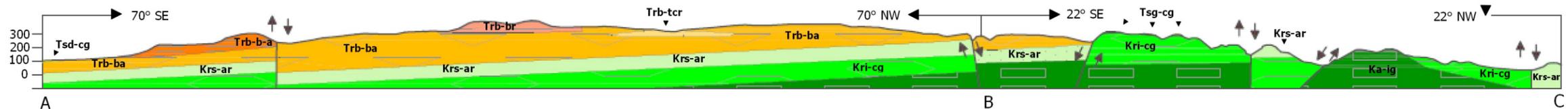


LITOLOGIA

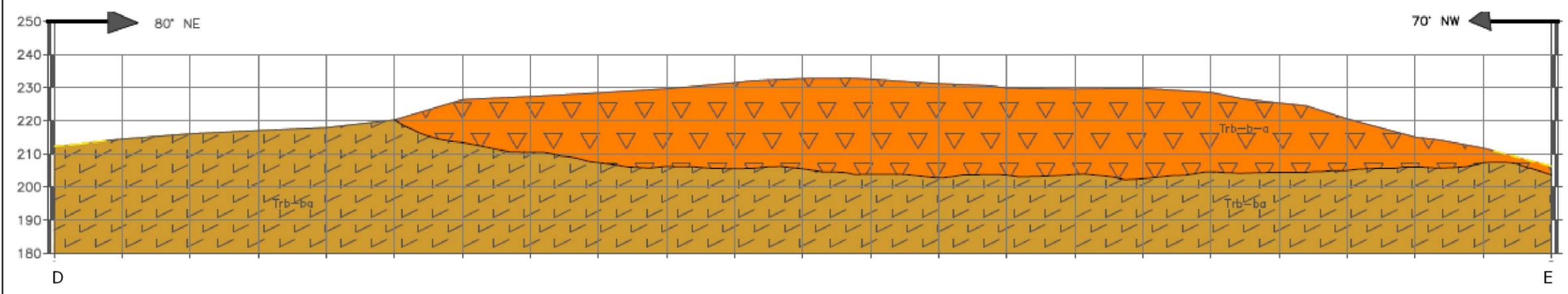
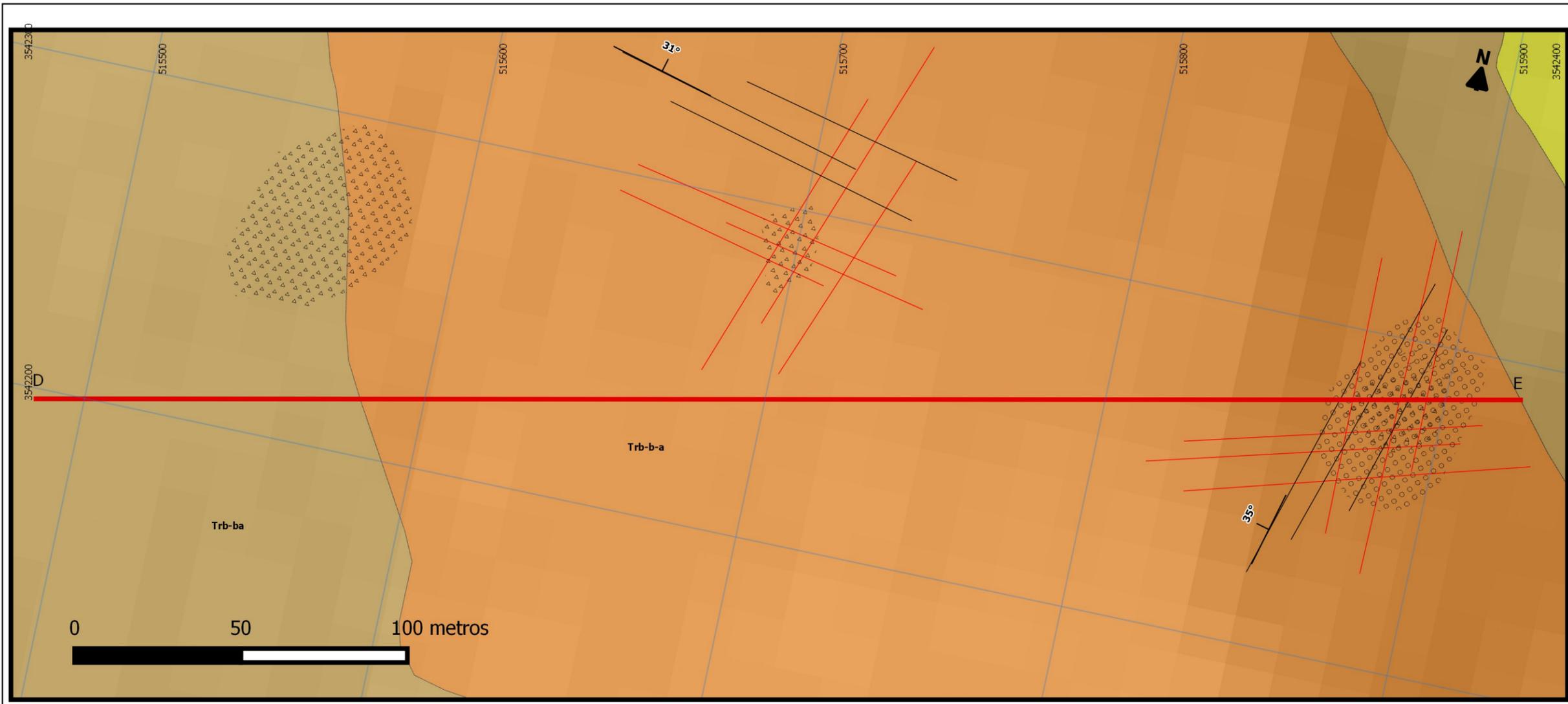
| ERA | PERIODO | UNIDAD LITOLOGICA | LITOLOGIA |
|-------------|----------|---|---|
| CUATERNARIO | Aluvión | Qal | Depósitos recientes, Aluvién, Suelos residuales. |
| | Residuos | Qtr, Qta | |
| CENOZOICO | Plioceno | Tsd-cg | Conglomerada heterotológica. |
| | | Trb-b-a | Miembro superior. Basaltos |
| | Mioceno | Trb-br | Miembro inferior, basaltos y brechas volcánicas y depósitos piroclásticos. |
| | | Trb-tar | |
| Plioceno | Trb-ba | Miembro Superior Unidad de areniscas, limolitas y tobas. inferior | |
| | Krs-ar | | |
| Eoceno | Superior | Kri-cg | Miembro Conglomerados heterolitológicos. |
| | | Ka-ig | Ignimbritas de coloración pardo-morada, con una matriz fina con líticos que van de angulosos a subredondeados y de tamaño variable. |

SIMBOLOGIA

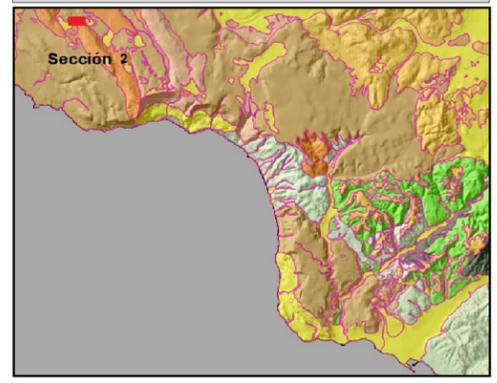
- Sección 1
- Sección 2
- Sección 3
- Sección 4
- GEOLOGIA ESTRUCTURAL
- Lineamiento
- Estructura secundaria
- Rumbo y echado
- Falla normal
- Superficie de deslizamiento
- Fractura local
- Flujo de derrames
- Falla con mecanismo combinado
- Falla lateral
- Estrato horizontal
- Continuidad de la falla
- HIDROLOGIA
- Corriente de agua
- Cuerpo de agua



Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
Tesis: Análisis estratigráfico y estructural de la región Salsipuedes, Baja California.
PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL GEOLOGICOS GENERAL DE LA REGION SALSIPUEDES, BAJA CALIFORNIA. SECCION 1.
 Escala 1:70000 Elaboró: Muñoz Hernández Selene Sarai
 Revisó: Arellano Gil Javier
 Mexico D.F. 2015



CROQUIS



LITOLOGÍA

| ERA | PERIODO | EPOCA | FORMACION GEOLOGICA | UNIDAD GEOLOGICA | TIPO DE MATERIAL |
|-----------|-------------|-------------|---------------------|------------------|--|
| | | | | | |
| Cenozoico | Cuaternario | Pleistoceno | | Qsr | Suelos residuales producto de la alteración de las rocas volcánicas con espesores máximos de 1.0m. |
| | Neógeno | Mioceno | Rosario Beach | Trb-b-a | Derrames de lava que forman estructuras de bloques que son resistentes al intemperismo y erosión, son de composición basáltica a andesítica, con textura afanítica. |
| | Paleógeno | Oligoceno | | Trb-ba | Derrames de basaltos de color gris-verdoso, resultado de un intenso intemperismo. Presentan textura afanítica que se reconocen por presentar un patrón de alteración que forma estructuras en forma de lascas. |

NOTAS

- 1.- La equidistancia entre las curvas de nivel es de 2 m.
- 2.- Las acotaciones están en metros.
- 3.- Las elevaciones están en metros (m.s.n.m.).

SIMBOLOGÍA

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Sección 2 | Lajas |
| GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | Estructura secundaria |
| Estructura primaria | Rumbo y echado |
| Vesicular | Fractura local |
| Brecha | Flujo de derrames |
| Masivo | |

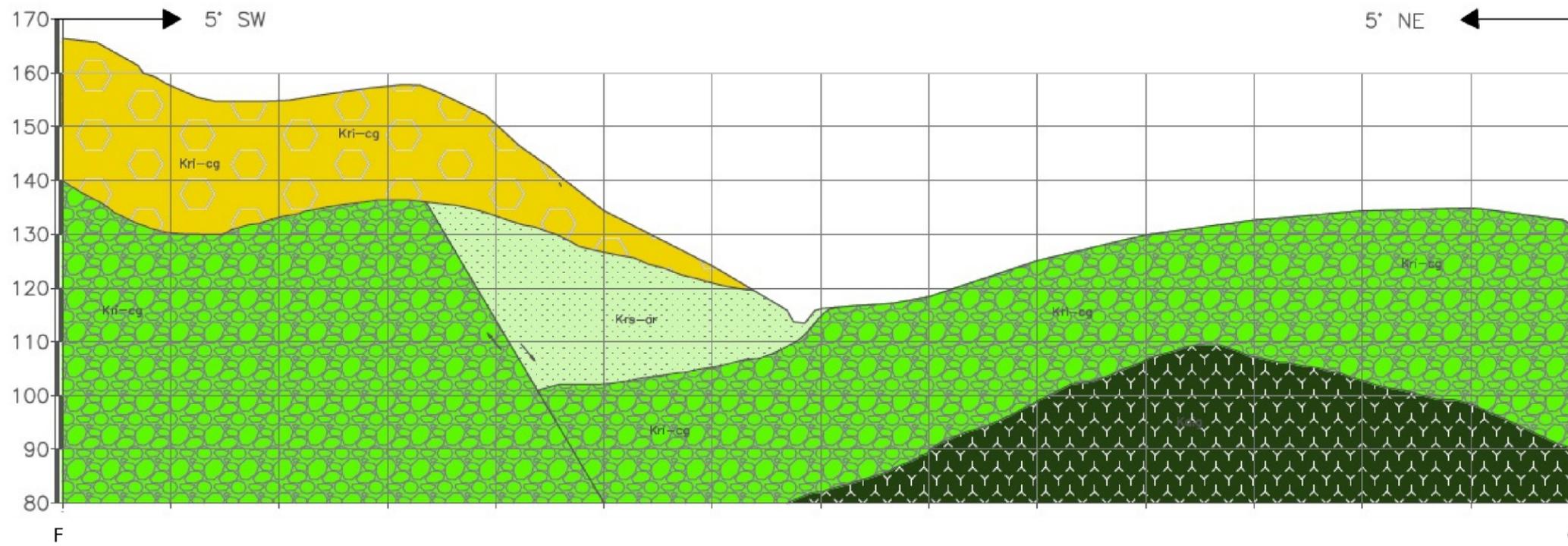
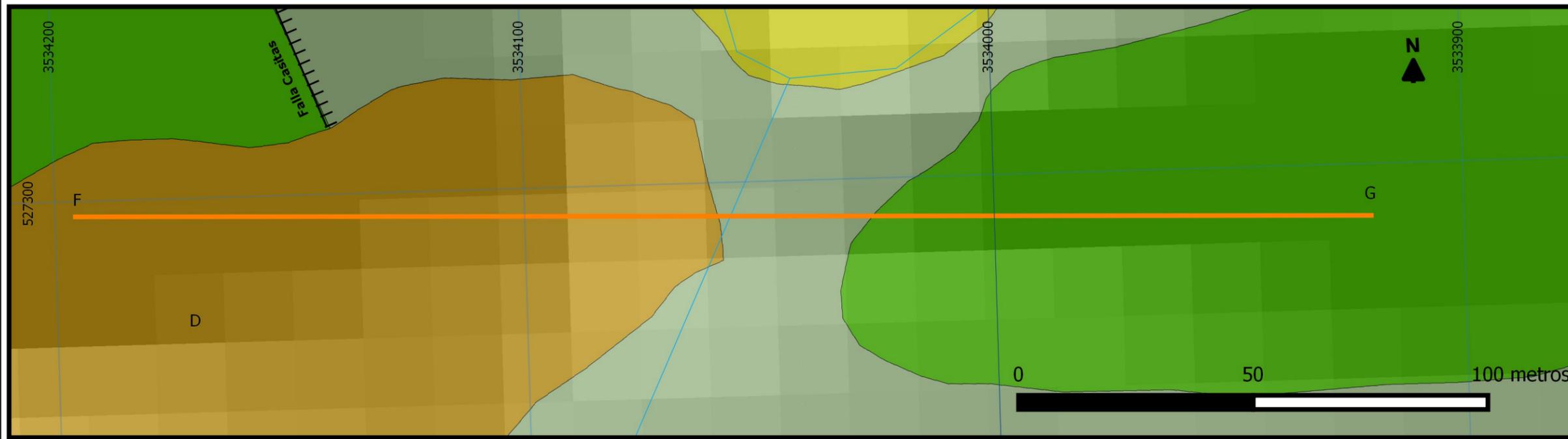
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Tesis: Análisis estratigráfico y estructural de la región Salsipuedes, Baja California.

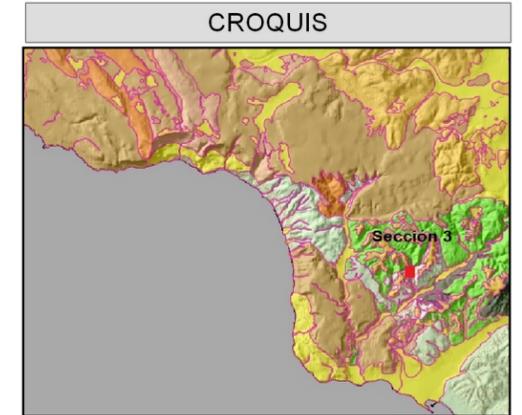
PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL GEOLÓGICOS GENERAL DE LA REGIÓN SALSIPUEDES, BAJA CALIFORNIA. SECCIÓN 2.

Escala 1:1400 Elaboró: Muñoz Hernández Selene Saraí
Revisó: Arellano Gil Javier

Mexico D.F. 2015



| SIMBOLOGÍA | |
|------------|-----------------------|
| | Sección 3 |
| | HIDROLOGÍA |
| | GEOLOGÍA ESTRUCTURAL |
| | Corriente de agua |
| | Estructura secundaria |
| | Rumbo y echado |
| | Falla normal |



| LITOLOGÍA | | | | | |
|-----------|-------------|-------------|---------------------|------------------|---|
| ERA | PERIODO | EPOCA | FORMACION GEOLOGICA | UNIDAD GEOLOGICA | TIPO DE MATERIAL |
| Cenozoico | Cuaternario | Pleistoceno | | Qal | Depósitos recientes y terrazas aluviales mal seleccionados con bloques en una matriz de arena media no litificados. |
| | Neógeno | Plioceno | San Diego | Tsd-cg | Conglomerado heterolítico de bloques entre 3 a 50 cm presenta una coloración rojiza y esta matriz-soportado, se observa en las porciones superiores de la porción sur. |
| Mesozoico | Cretácico | Superior | Rosario | Krs-ar | Unidad de areniscas, limolitas y tobas con estratificación no mayor a los 20cm y con un ligero buzamiento hacia el SW de 5° hasta los 25°. Define relieves suaves. |
| | | | | Kri-cg | Conglomerados heterolíticos con fragmentos de texturas faneríticas intrusivas y volcánicas afaníticas. Como textura general está clasto-soportado por lo que tiene una buena compacidad. |
| | Inferior | Alistos | | Ka-ig | Unidad compuesta de una variedad amplia de rocas volcánicas, volcánicas y volcanosedimentarias. En la zona de estudio afloran ignimbritas de coloración pardo-morada, con una matriz fina con líticos que van de angulosos a subredondeados y de tamaño variable. |

- NOTAS**
- 1.- La equidistancia entre las curvas de nivel es de 2 m.
 - 2.- Las acotaciones están en metros.
 - 3.- Las elevaciones están en metros (m.s.n.m.).

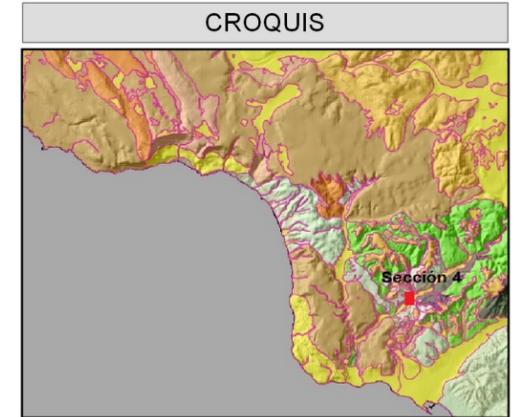
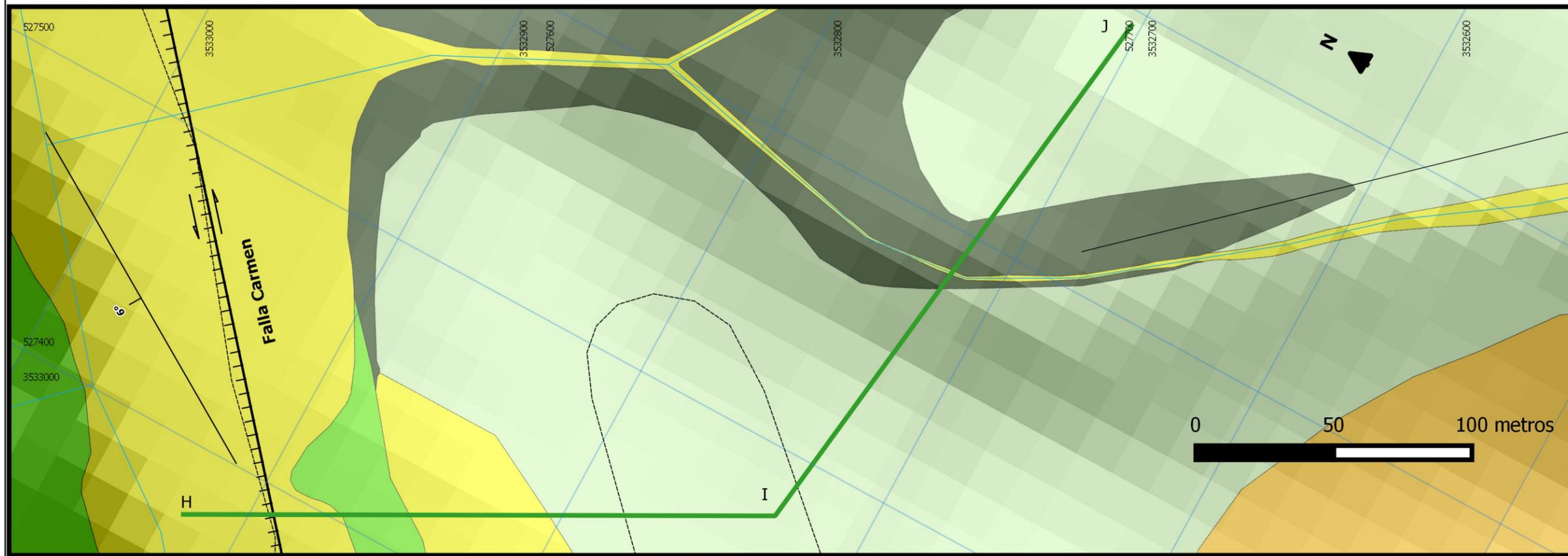
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Tesis: Análisis estratigráfico y estructural de la región Salsipuedes, Baja California.

PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL GEOLÓGICOS GENERAL DE LA REGIÓN SALSIPUEDES, BAJA CALIFORNIA. SECCIÓN 3.

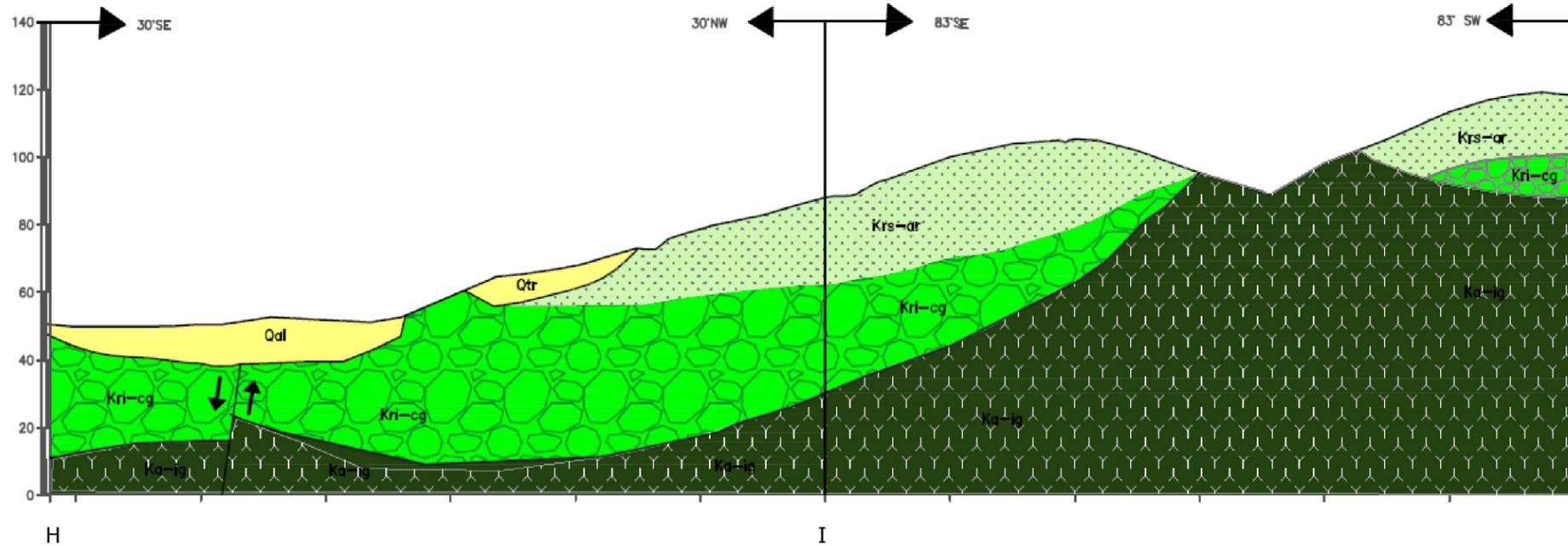
Escala 1:1000 Elaboró: Muñoz Hernández Selene Sarai
Revisó: Arellano Gil Javier

Mexico D.F. 2015



LITOLOGÍA

| ERA | PERIODO | EPOCA | FORMACIÓN GEOLOGICA | UNIDAD GEOLÓGICA | TIPO DE MATERIAL |
|-----------|-------------|-------------|---------------------|---|--|
| Cenozoico | Cuaternario | Pleistoceno | | Qal Qtr | Depósitos recientes y terrazas aluviales mal seleccionados con bloques en una matriz de arena media no litificados. |
| | Neógeno | Plioceno | San Diego | Tsd-cg | Conglomerado heterolítico de bloques entre 3 a 50 cm presentan una coloración rojiza y esta matriz-soportado, se observa en las porciones superiores de la porción sur. |
| Mesozoico | Cretácico | Superior | Rosario | Krs-ar | Unidad de areniscas, limolitas y tobos con estratificación no mayor a los 20cm y con un ligero buzamiento hacia el SW de 5° hasta los 25°. Define relieves suaves. |
| | | | | Kri-cg | Conglomerados heterolíticos con fragmentos de texturas fánéricas intrusivas y volcánicas afánicas. Como textura general está clasto-soportado por lo que tiene una buena compacidad. |
| | Inferior | Alistos | Ka-ig | Unidad compuesta de una variedad amplia de rocas volcánicas, volcánicas y volcanosedimentarias. En la zona de estudio afloran ignimbritas de coloración pardo-morada, con una matriz fina con líticos que van de angulosos a subredondeados y de tamaño variable. | |



NOTAS

- 1.- La equidistancia entre las curvas de nivel es de 2 m.
- 2.- Las acotaciones están en metros.
- 3.- Las elevaciones están en metros (m.s.n.m.).



SIMBOLOGÍA

| | |
|---|-------------------------------|
| — | Lineamiento |
| — | HIDROLOGÍA |
| — | Corriente de agua |
| ↔ | Rumbo y echado |
| ↔ | Falla con mecanismo combinado |

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Tesis: Análisis estratigráfico y estructural de la región Salsipuedes, Baja California.

PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL GEOLÓGICOS GENERAL DE LA REGIÓN SALSIPUEDES, BAJA CALIFORNIA. SECCIÓN 4.

Escala 1:1700 Elaboró: Muñoz Hernández Selene Sarai
Revisó: Arellano Gil Javier

Mexico D.F. 2015

3. Geología Estructural.

3.1 Aspectos generales.

La esquina noroeste de la península de Baja California está sujeta a altos niveles de sismicidad debido a su ubicación dentro de la región del límite de placas transformante de las placas tectónicas Norteamericana y del Pacífico; la región se caracteriza por una sismicidad causada por movimientos de fallas laterales (Colef, 2012).

El área de estudio se encuentra en el lado oriental de la provincia estructural y fisiográfica “Borde Continental Californiano” (Legg *et al.*, 1991) que actualmente se caracteriza por un cizallamiento dextral. Regionalmente está afectado por fallas laterales paralelas con dirección N30°W y N40°W adyacentes al oriente y poniente de la Isla San Clemente. El movimiento general de estas fallas está gobernado por el sistema San Andrés-Golfo de California en donde se han identificado fallas que pueden generar sismos hasta de magnitud $M=7$. Esta provincia es una zona tectónicamente activa que forma parte de la semirrígida Zona de Cizalla del Sur de California (Legg *et al.*, 1991), la cual rota en sentido opuesto al de las manecillas del reloj, aunque existen bloques como el de la isla Santa Catarina que giran en dirección contraria (Luyendyk *et al.*, 1980).

3.2 Estructuras regionales.

Existen dos tipos de fallas activas en esta región (Cruz, 2002): a) las del Borde continental que se encuentran en el Suroeste y b) las peninsulares que están en el Noreste. De las cuales se destacan: Sistema San Miguel-Vallecitos-Calabazas, Sistema El Descanso-Estero, Sistema Cornado Bank-Agua Blanca, Sistema depresión San Diego-Bahía Soledad y Sistema San Clemente San Isidro (Figura 3.1).

3.2.1 Sistema San Miguel-Vallecitos- Calabazas.

Este sistema de fallas es sísmicamente muy activo. Forma un complejo con escalonamiento derecho entre las fallas Calabazas, Vallecitos y San Miguel. Algunos autores sitúan al sistema San Miguel-Vallecitos como la continuación SE de la falla Rose Canyon-Inglewood-Newport, aunque se desconocen evidencias superficiales claras de su conexión.

3.2.1.1 Falla San Miguel.

Es una estructura de desplazamiento lateral derecho de rumbo N60°W que se extiende desde el sur de San Miguel hasta el oriente del Valle San Rafael. Es una falla escalonada que forma pendientes bajas, desplaza el drenaje y abanicos aluviales, genera manantiales y en ella se definen líneas de vegetación. El inicio de su actividad se sitúa en el Mioceno medio y su velocidad actual es de 0.1-3 mm/año. Esta falla se considera como una de las más activas en la región (Shor & Roberts, 1958; Gastil et al., 1975; Reyes et al., 1975; Frez & González, 1991; Suárez et al., 1991; Suárez, 1995).

3.2.1.2 Falla Calabazas.

La localización de esta falla está pobremente definida. Se trata de una falla dextral, que tiene expresiones geomorfológicas tales como escarpes, escalones y crecimiento de depósitos aluviales. Es visible desde el Plutón Pinal hasta el Valle de las Palmas (Castillo, 2002).

3.2.1.3 Falla Vallecitos.

Esta estructura es la continuación NW de la falla San Miguel. Es una falla dextral que geomorfológicamente forma escarpes, y se observa al occidente del Valle de las Palmas. Esta falla posiblemente pasa debajo de la ciudad de Tijuana, Baja California (Castillo, 2002).

3.2.2 Sistema el Descanso-Estero.

Se encuentra localizada entre Punta Salsipuedes en la Ciudad de Ensenada. La falla El Descanso-Estero se ha identificado a partir de perfiles batimétricos y sísmicos de reflexión y se interpreta que continúa a lo largo del tramo SW del escarpe meridional de la ciudad de Ensenada. Su extensión hacia la Bahía de Ensenada no es clara y consiste de discontinuidades subparalelas en tramos cortos, menores a 10 km. Se infiere que es de tipo lateral derecho (Legg et al., 1991; Frez y Frías, 1998).

3.2.3 Sistema Coronado Bank-Agua Blanca.

La zona de falla Coronado Bank-Agua Blanca es la más compleja de las fallas del Borde Continental, ya que presenta numerosas discontinuidades subparalelas, saltos derechos e izquierdos con arreglo en escalón y anastomosados bien definidos por el relieve. La falla Coronado Bank se une con la falla Agua Blanca en la bahía de Ensenada. Ambas fallas tienen una orientación N30°W en la zona marina y de N70°W dentro de la península. Este cambio en la orientación de las fallas es la diferencia principal entre las estructuras del Borde Continental y las Peninsulares.

3.2.3.1 Falla Agua Blanca.

Esta falla se extiende desde El Paso de San Matías hasta la Bahía de Todos Santos, con un rumbo de N72°W; tiene como mínimo 22 km de longitud, es la falla lateral activa más antigua del norte de Baja California; existe desde el Mesozoico Tardío. En el Valle de Santo Tomás se divide en dos brazos que limitan el sur y el norte de la Península de Punta Banda; el brazo sur es conocido como falla Santo Tomás y se ramifica en la falla conocida como Soledad y en la falla Maximinos. Los rasgos geomorfológicos que genera la falla Agua Blanca son muy claros, ya que forma sierras, además de que corta y desplaza a los abanicos aluviales, forma cañadas, cañones, valles en escalón, cuencas de forma triangular; en la Península de Punta Banda se pueden apreciar facetas triangulares. En el Valle de Santo Tomás, la falla Agua Blanca deja de presentar movimientos laterales como

principales, para cambiar a un movimiento oblicuo (Castillo, 2002). La falla se ha estado desplazando con una velocidad promedio de 4 mm/año sin generar sismos grandes, por lo que se considera de baja sismicidad (Allen et al., 1960; Armijo y Suárez, 1981; Ortega, 1988; Rockwell et al., 1989; Frez y González, 1991; Suárez et al., 1991; Suárez, 1993).

3.2.3.2 Falla Maximinos.

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

3.2.4 Sistema Depresión de San Diego-Bahía Soledad.

El sistema formado por la depresión de San Diego y la zona de falla Bahía Soledad tiene una longitud aproximada de 50 km y está formado por fallas continuas que cortan sedimentos cuaternarios cercanos a la costa (Legg et al., 1991).

3.2.5 Sistema San Clemente-San Isidro.

La zona de fallas San Clemente-San Isidro tiene más de 300 km de largo, se encuentra localizada en la parte poniente del interior del Borde Continental y abarca la zona de cizalla delineada por las fallas San Clemente y San Isidro y por fallas laterales subparalelas de rumbo N40°W. Presenta evidencias morfológicas que se pueden asociar a fallamiento lateral derecho. Ha sido identificada usando perfiles de sísmica de reflexión, reflectores acústicos y mecanismos focales (Legg et al. 1991); su porción meridional se ha interpretado como transtensiva. Debido a que esta estructura corta sedimentos jóvenes, se infiere que su movimiento se ha concentrado en el Cuaternario tardío y su deformación en cizalla-Y es un indicador de un desplazamiento en estado avanzado (Wong et al., 1987; Legg et al., 1991; Legg, 1991). La falla San Clemente es lateral derecha y a ella se asocian vetas hidrotermales, cañones y abanicos submarinos. La falla San Isidro también es de

desplazamiento lateral derecho y ha sido delimitada por escarpes hasta de 350 m de altura.

3.2.6 Sistema Imperial-Cerro Prieto.

3.2.6.1 Falla Imperial.

Esta falla delimita el lado oriental del centro de dispersión Cerro Prieto y forma parte de un límite entre placas. Es la principal conexión entre el sistema San Andrés y las estructuras del Golfo de California. Sin tener una buena expresión geomorfológica, se extiende a lo largo de 75 km, desde 3 km al sur de la ciudad de Brawley, California, hasta el centro de dispersión Cerro Prieto con una orientación de N42°W. Su velocidad de desplazamiento se ha estimado en 47 mm/año (Frez & González, 1991; Frez & Frías 1998; Suárez et al., 1991; Suárez, 1999).

3.2.6.2 Falla Cerro Prieto.

Esta falla es de tipo dextral la que se extiende a lo largo de 80 km desde el centro de dispersión Cerro Prieto hasta la Cuenca de Wagner. El trazo de la falla es visible únicamente en su sector sur, mientras que la parte norte ha sido determinada por mecanismos focales y métodos geofísicos. Es la estructura que marca la frontera entre las placas Norteamérica y Pacífico, en la región del Valle de Mexicali; su desplazamiento promedio es mayor a 50 mm/año (Lesage & Frez, 1990; Frez & González, 1991; Suárez, 1999).

3.2.7 Sistema Laguna Salada.

Se trata de dos fallas juntas: una compleja en su parte sur y otra simple en su parte norte. En el SE está compuesta por la falla Cañón Rojo y Chupamirtos, al oriente por las fallas Cucapá, Pescaderos y Borrego; en su parte NW existe una única falla, que es la falla Laguna Salada. Este sistema de fallas se encuentra dentro de la provincia Basin and Range y es el límite entre la Laguna Salada y la Sierra Cucapá. La Laguna Salada es el resultado de la subsidencia provocada por la falla durante el Plioceno y Holoceno en la margen occidental de la Sierra

Cucapá. El desplazamiento lateral a lo largo de la zona de falla no está muy bien definido, pero en promedio se desplaza menos de 1 mm/año; en la actualidad, la parte NW de la falla Laguna Salada tiene una velocidad de desplazamiento vertical de 1 mm/año y de 0.7 mm/año en sentido horizontal. Durante el Holoceno el movimiento horizontal en la parte NW fue de 18 m y el vertical de 2 m; en su porción SE la falla ha sido inactiva, mientras que en la parte SW se ha desplazado varios metros (Muller & Rockwell, 1991).

3.2.7.1 Falla Cañón Rojo.

Se trata de una falla de tipo normal de rumbo N30°-35°E con echado de 55° a 60° al NW; forma escarpes y abanicos aluviales. Su razón de movimiento es menor a 1 mm/año, y su conexión con la falla Laguna Salada está muy bien definida.

3.2.8 Sistema Sierra Juárez-Sierra San Pedro Mártir.

El Escarpe Principal del Golfo se considera que es el producto de una falla despegue antigua cuyas raíces pueden encontrarse bajo la Sierra San Pedro Mártir, por lo que posiblemente se trata de una falla reactivada (Axen & Romero, 1994). La falla Sierra Juárez presenta una microsismicidad relativamente alta en su segmento central, al sur de la latitud 32°N, mientras que la falla Sierra San Pedro Mártir parece tener microsismicidad asociada pero sólo en su parte norte (Frez & Frías, 1998).

3.3 Estructuras primarias.

Las estructuras primarias se presentan tanto en las rocas sedimentarias como en las rocas ígneas extrusivas que afloran o están en el subsuelo. En las rocas sedimentarias que afloran en el sector sur del área de estudio, se tiene principalmente estratificación con echados suaves al poniente. En las rocas ígneas (basaltos y brechas volcánicas) expuestas el sector centro y norte, predomina el fracturamiento.

3.3.1 Estructuras primarias en rocas sedimentarias.

Corresponden con estratos tabulares y lenticulares de los miembros inferior y superior de la Formación Rosario. Considerando que la unidad inferior está constituida por conglomerados, predominan los estratos gruesos y lenticulares de superficies irregulares que se formaron en ambientes fluviales y de abanicos aluviales en las proximidades de la línea de costa (Figura 3.2). El miembro superior de litología más fina, está compuesto de areniscas, areniscas tobáceas, limolitas y lutitas de estratos tabulares con algunos cuerpos lenticulares de conglomerados (Figura 3.3). Las dos unidades presentan echados que varían de 6° a 17° al SW, con rumbos promedio al NW 70° SE, lo que indica que se inclinan suavemente hacia el occidente en dirección de donde ocurrió el depósito sedimentario.

La inclinación se incrementa localmente como producto del basculamiento producido por las fallas identificadas en el sector sur, que afectan a las mencionadas unidades sedimentarias llegando a tener echados de 17° al oeste.



Figura 3.2 Estratos de conglomerados con algunas intercalaciones de areniscas.



Figura 3.3 Estratos de areniscas y areniscas tobáceas.

3.3.2 Estructuras primarias en rocas ígneas.

En el sector centro y norte del área de estudio está cubierta por derrames y por brechas volcánicas que varían en composición de máfica a intermedia, predominando los basaltos en bloques (Figura 3.4) y lajeados (Figura 3.5). La tendencia general de los flujos es hacia el NW en casi toda la zona hacia la línea de costa, mientras que en la parte central del área, se aprecian escasos flujos hacia el SE.



Figura 3.4 Secuencia de tres derrames de basalto en bloques y con fracturamiento vertical.



Figura 3.5 Derrame de basalto afectado por intenso fracturamiento horizontal formando lajas.

3.4 Estructuras secundarias.

En el área estudiada, se identificaron y estudiaron fallas y fracturas asociadas a los procesos de deformación producidas por el tectónismo regional al que ha estado sujeto el sector noroccidental de la Península de Baja California en los últimos 15 millones de años.

Las fallas y fracturas presentes en el área han contribuido a la modelación del relieve, por lo que se formaron escarpes de metros a decenas de metros de desnivel; también se tienen arroyos con control estructural por lo que están alineados en dirección NW35°SE, que coinciden con unas de las direcciones principales de la roseta de rumbos de la figura 3.6. También se tiene valles como el que se presenta en el sector sur del área correspondientes con el Arroyo Casitas y el Valle de Sauzal, de dirección NE35°SW, que coinciden con la concentración de los lineamientos medidos en mapa geológico, también se aprecia otro sistema de orientación E-W (Figura 3.6). La roseta fue construida con 437 datos, de los cuales 164 corresponden con lineamientos medidos en mapa geológico y 273 son de fracturas medidas en diferentes afloramientos de basaltos en el área de estudio.

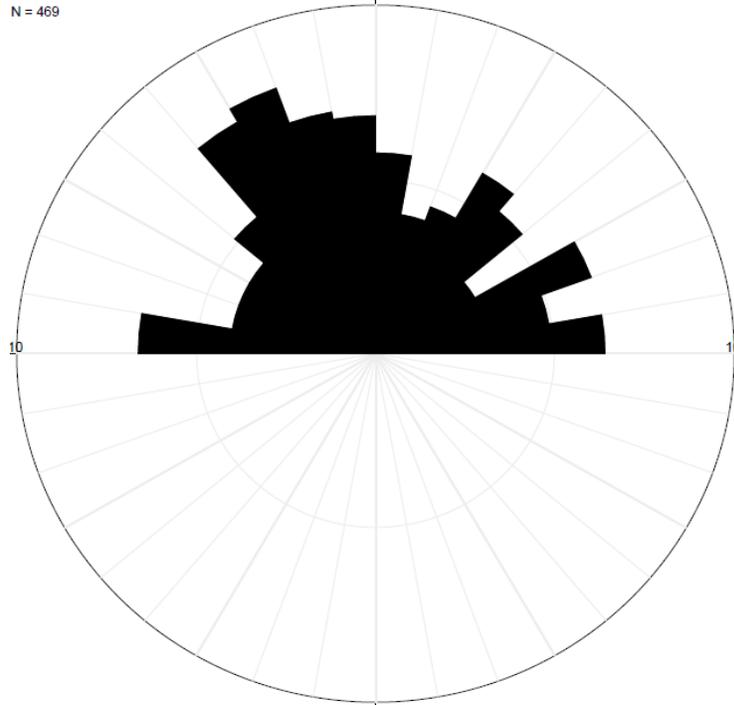


Figura 3.6 Roseta de todos rumbos de lineamientos (fallas y fracturas)

Se trata de tres sistemas evidentes, el primero es de NW35°SE, el segundo tiene direcciones que varían de NE45°SW y el tercero presenta una dirección preferencial E-W.

3.4.1 Fallas.

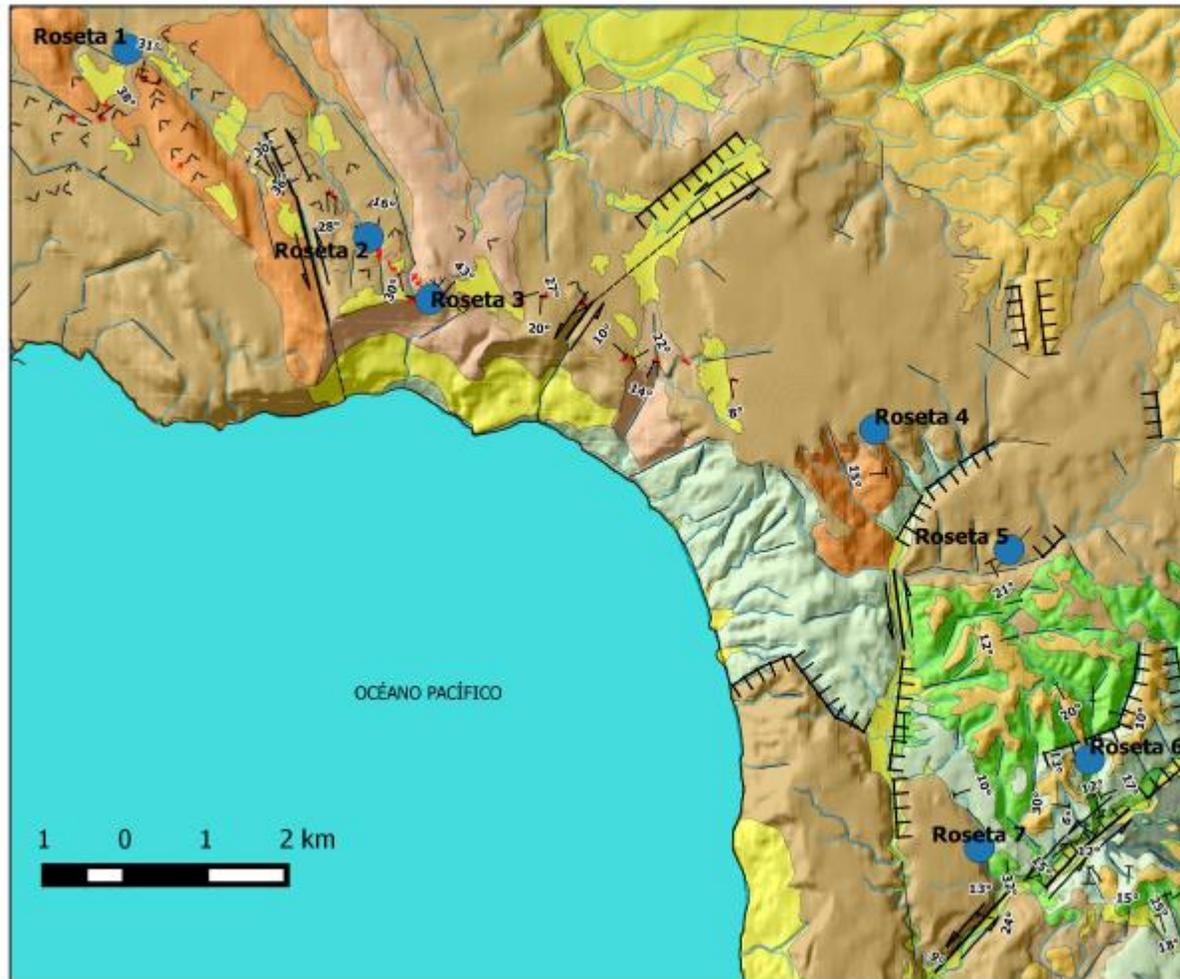
La mayoría de las fallas que tienen una expresión morfológica en el área de estudio, pertenecen al sistema de fallas NW35°SE y NE35°SW. El sistema de fallas laterales izquierda con componente normal de orientación NE-SW, son las responsables de la formación de las bahías y puntas presentes en el área de estudio.

En el sector norte del área de estudio predominan los derrames de rocas basálticas y basaltos andesíticos de la Formación Rosarito Beach, y al este, conglomerados de la Formación San Diego; este sector se caracteriza por tener las rocas más jóvenes del área de estudio. Esta zona está afectada principalmente por fallas laterales izquierdas, mientras que al este se observan fallas normales expresándose geomorfológicamente como un graben (Figura 3.7).

El sector sur del área de estudio está afectado de manera significativa por fallas laterales, fallas normales y fallas laterales izquierdas con componente normal (Figura 3.8) lo cual tiene una expresión morfológica en el área. A continuación se describen cada una de las fallas encontradas en el sur del área de estudio.

La Falla Escondida se ubica al norte del Arroyo El Juco, tiene una longitud de 2 Km. Es una falla normal con rumbo $NE55^{\circ}SW$, 80° . En el bloque de piso (al noroeste) afloran las areniscas de la Formación Rosario Superior, por otra parte, en el bloque de piso (sureste) se tienen los basaltos de la Formación Rosarito Beach Inferior.

La Falla Juco se ubica sobre el Arroyo El Juco, tiene una longitud de 5 Km. Es una falla Normal con rumbo $NE10^{\circ}SW$. En el bloque de techo (al sureste) se tienen los conglomerados de la Formación Rosario Inferior, mientras que en el bloque de piso (al noroeste) se tienen las areniscas de la Formación Rosario Superior. El Arroyo El Juco se extiende hasta la costa, disecando la meseta de basaltos de la Formación Rosarito Beach, formando el Cañón El Tigre.



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructura primaria

- Vesicular
- Brecha
- Masivo
- Bloques
- Lajas

Lajas

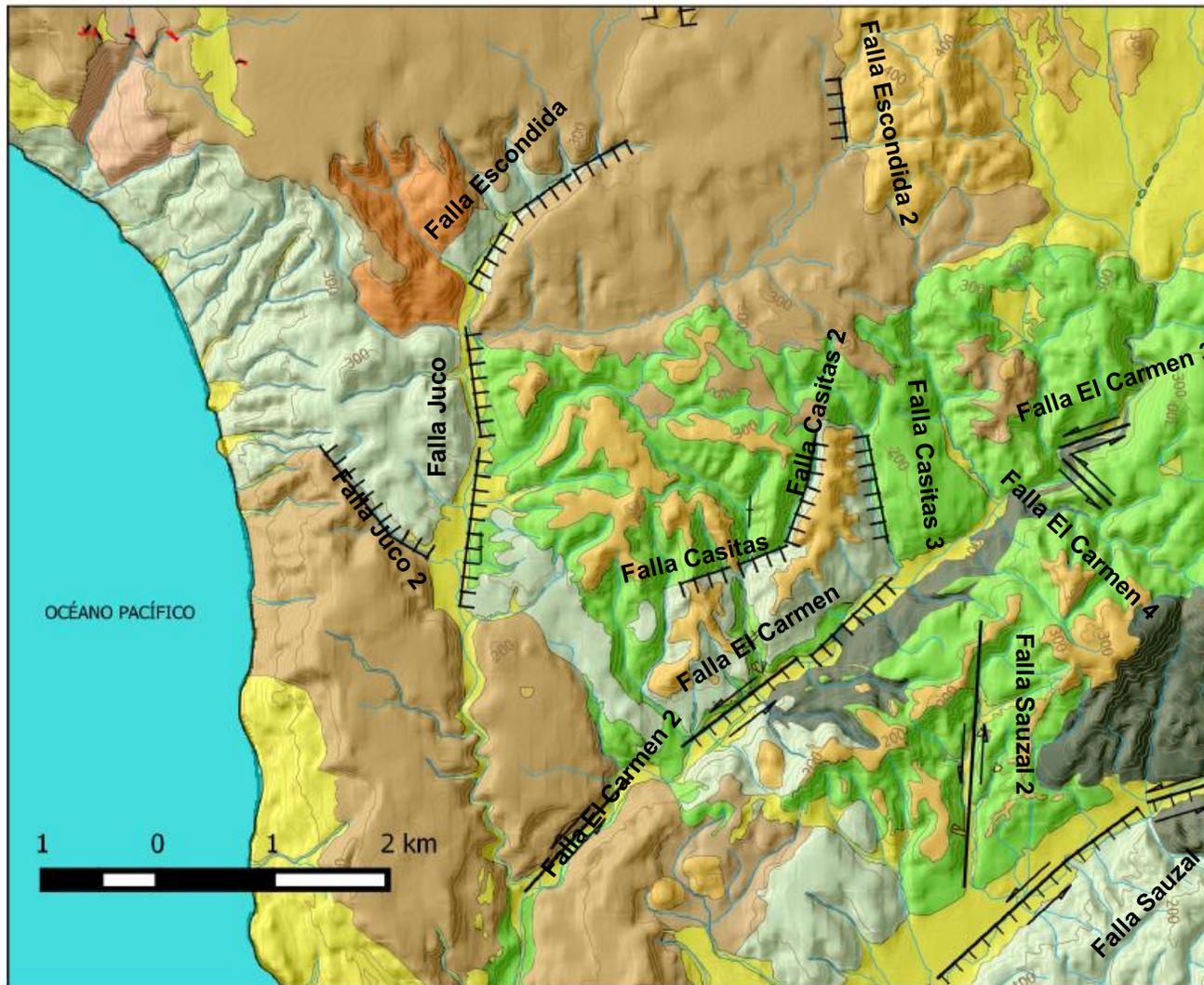
- Lajas

Estructura secundaria

- Superficie de deslizamiento
- Rumbo y echado
- Fractura local
- Flujo de derrames
- Falla normal
- Falla lateral
- Falla con mecanismo combinado
- Estrato horizontal
- Continuidad de la falla
- Lineamiento

Fallas al Norte de estudio.

Figura 3.7



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructura primaria

- Vesicular
- △ Brecha
- Masivo
- ▨ Bloques
- ▧ Lajas

Lajas

- ▬ Lajas

Estructura secundaria

- ▬ Superficie de deslizamiento
- ▬ Rumbo y echado
- ▬ Fractura local
- ▬ Flujo de derrames
- ▬ Falla normal
- ▬ Falla lateral
- ▬ Falla con mecanismo combinado
- ▬ Estrato horizontal
- ▬ Continuidad de la falla
- ▬ Lineamiento

Figura 3.8 Fallas al Sur del área de estudio.

Al poniente se tiene la Falla Juco 3, con una longitud de 1.3 Km. Es una falla normal con rumbo NW43°SE. En el bloque de piso (al noreste) se tiene las areniscas de la Formación Rosario Superior, por otra parte en el bloque de piso (al suroeste) se tienen los basaltos de la Formación Rosarito Beach Inferior.

La Falla Casitas, es una falla de tipo normal de dirección NE50°SW con echado de 70° al SE. Esta estructura pone en contacto a los miembros inferior y superior de la Formación Rosario, siendo el bloque de techo el del sureste en donde aflora el miembro superior, mientras en el bloque de piso (del noroeste) aflora el miembro inferior (conglomerático). Esta falla es inactiva, teniendo como evidencia que se encuentra cubierta parcialmente por los conglomerados con bajo nivel de cohesión de la Formación San Diego, por lo que su desplazamiento fue anterior al depósito de esta unidad estratigráfica.

Las fallas Casitas 2 y Casitas 3 son de tipo normal con rumbo NE12°SW y NW12°SE respectivamente, ambas fallas normales delimitan un graben, en el bloque de techo afloran los conglomerados de la Formación San Diego y las areniscas de la Formación Rosario Superior; por el contrario en el bloque de piso se encuentran los conglomerados de la Formación Rosario Inferior.

En el Arroyo El Carmen se tiene la Falla Carmen que es la falla de mayores dimensiones, ya que tiene una longitud de 7 km. Es una falla lateral izquierda con componente normal de rumbo NE45°SW y echado vertical, la que además presenta una componente de falla normal, siendo el bloque de techo el del sector noroeste en el que aflora el miembro conglomerático del miembro inferior de la Formación Rosario; en el bloque de piso se tienen a las ignimbritas de la Formación Alisitos. En los afloramientos estudiados dentro del área de estudio no se encontraron evidencias de actividad reciente, por lo que se considera inactiva, aunque susceptible de reactivarse dada las condiciones tectónicas de la región. Se infiere que se extiende al sobre el Arroyo El Carmen.

Las Fallas Carmen 3 y Carmen 4 son laterales izquierdas con rumbo SW70°NE y NW45°SE respectivamente; la expresión de estas dos fallas resulta en una desviación del cauce del río El Carmen.

La Falla Sauzal, es prácticamente paralela a la Falla El Carmen y a la Falla Escondida, aunque de menores dimensiones, ya que su longitud es de 4.5 Km, sin embargo, permitió el desarrollo de un valle amplio, mismo que culmina en la población de Sauzal de Rodríguez. Es una falla lateral izquierda con rumbo NE40°SW y echado vertical, que presenta de forma subordinada una componente normal con bloque de techo al noroeste. En el bloque de piso (al sureste) afloran las ignimbritas de la Formación Alisitos y los conglomerados del miembro inferior de la Formación Rosario, mientras que en el bloque de techo (al noroeste) se tienen expuesta la secuencia conglomerática de la Formación Rosario y los conglomerados poco cohesivos de la Formación San Diego. En esta zona no se tiene evidencia de que la falla sea activa. En el sector sur del área de estudio, se identificaron dos fallas laterales izquierdas de dirección NE45°SW, con echados verticales, las que además presentan una componente normal, lo que indica que se formaron durante un proceso de deformación con transtensión.

3.4.2 Procesamiento y análisis de datos de fracturas.

El análisis se realizó mediante el Software libre Stereonet por Allmendinger, R. W., copyright 2011-2013.

El diagrama de roseta, es un diagrama en donde se realiza un análisis estadístico con datos espaciales de rumbo, lo que permite observar de manera rápida y confiable la frecuencia de datos y las tendencias de orientación de un grupo de datos que tienen la misma orientación o casi la misma, la cual deberá pertenecer al mismo intervalo de clase.

El radio del diagrama de roseta y los números del diámetro horizontal del mismo representan el porcentaje del 100 % de los datos, es decir, si sumamos la longitud de cada gajo de la roseta la suma total de todos los gajos será del 100 %. Los intervalos de clase están abiertos a 10°.

El norte se encuentra en el sentido convencional, es decir, en el eje vertical en la parte superior, mientras que el sur se encuentra en la parte inferior del mismo eje. El Este se encuentra en el extremo derecho del diámetro horizontal graduado, y el

Oeste se encuentra en el extremo opuesto, es decir en el extremo izquierdo del eje horizontal graduado.

En cuanto a los datos, se colectaron fracturas cuyos elementos de orientación se presentan como echado o inclinación del plano y la dirección de la línea de máxima pendiente del plano, lo que se conoce como echado y dirección del echado (Dip, Dip Direction, en inglés).

En diferentes puntos del área de estudio se tomaron datos de fracturas (Figura 3.9). A continuación se presenta un análisis de cada una de las rosetas:

3.4.2.1 Roseta 1.

Los datos con los cuales se construyó se tomaron en el sector norte del área de estudio (Figura 3.9), esta área se caracteriza por tener derrames de composición basáltica y basaltos andesíticos. La mayoría de los flujos presentan dirección hacia el Norte, mientras que hacia el oriente se tienen flujos hacia el SE.

La roseta de los 15 datos de fracturas tomados en esta área, muestra un patrón de distribución radial, debido a que las fracturas presentes en esta área corresponden a fracturas originados por enfriamiento del magma en el momento del emplazamiento (Figura 3.10).

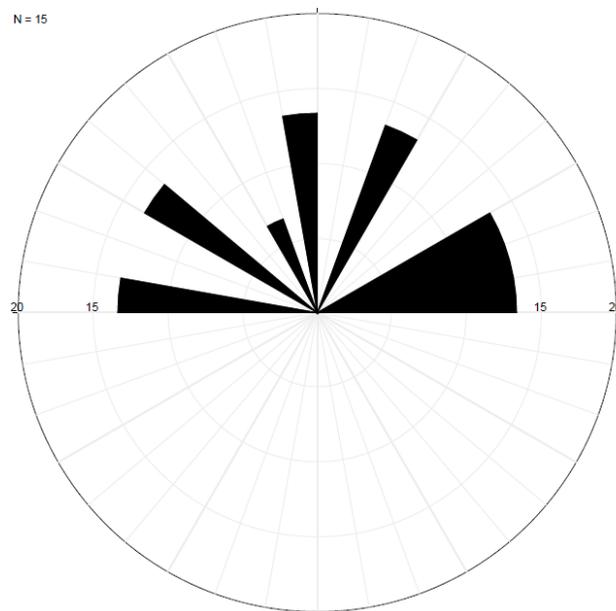
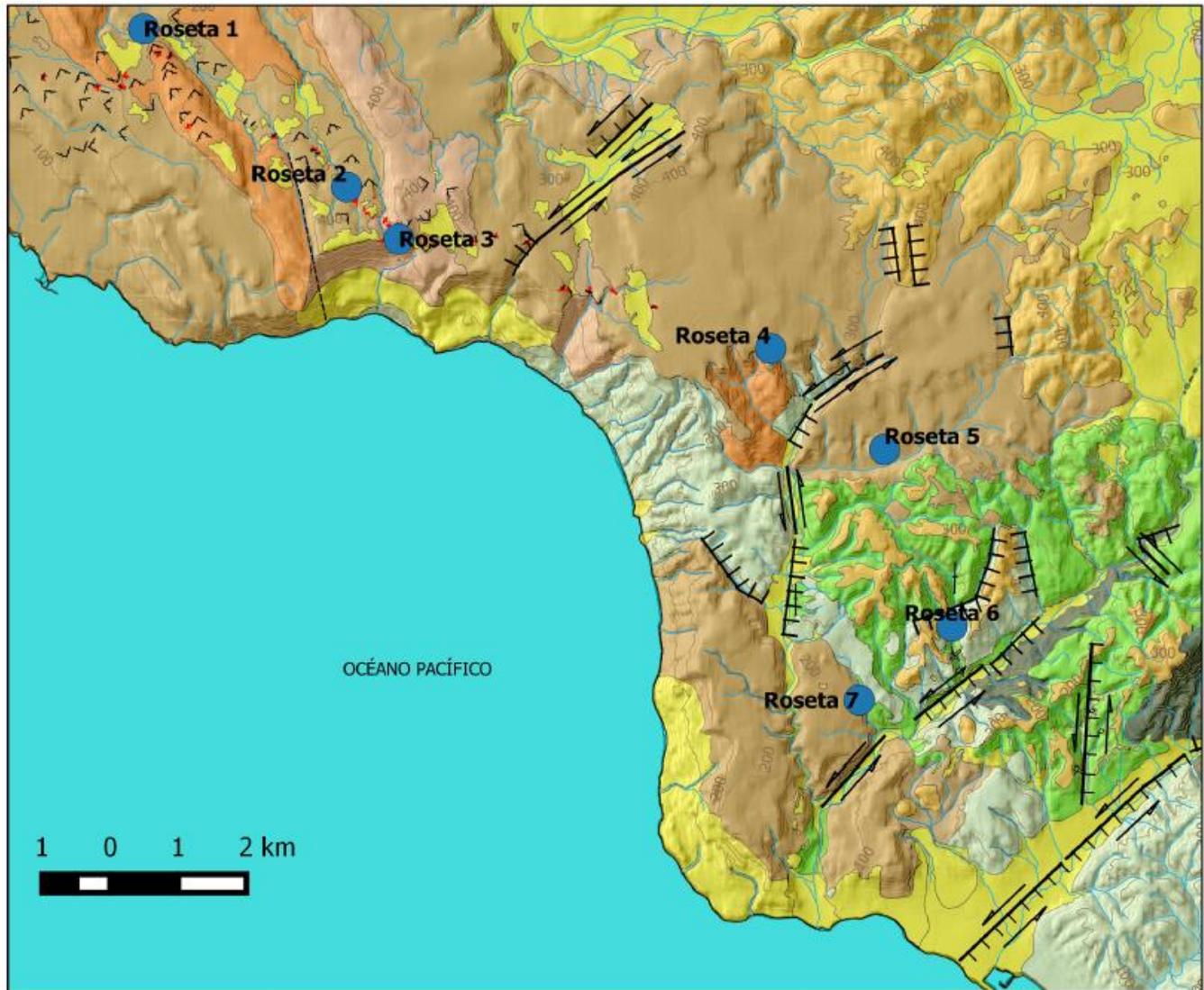


Figura 3.10 Roseta 1.



CROQUIS



GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructura primaria

- Vesicular
- △ Brecha
- ▭ Masivo
- ▭ Bloques
- ▭ Lajas

Lajas

- ▭ Lajas

Estructura secundaria

- ▭ Superficie de deslizamiento
- ▭ Rumbo y echado
- ▭ Fractura local
- ▭ Flujo de derrames
- ▭ Falla normal
- ▭ Falla lateral
- ▭ Falla con mecanismo combinado
- ▭ Estrato horizontal
- ▭ Continuidad de la falla
- ▭ Lineamiento

Figura 3.9 Ubicación de rosetas.

3.4.2.2 Roseta 2.

En esta área (Figura 3.9), predominan los derrames de rocas basálticas y basaltos andesíticos formando pequeños lomeríos alargados que siguen la dirección del flujo en el momento del emplazamiento, el que fue condicionado por la paleopendiente del terreno, encontrándose que presentan direcciones al NW y otras al NE; en el occidente de la zona que cubre el mapa de este sector la tendencia general es hacia el NW.

Las estructuras secundarias en este tramo son fracturas y el conjunto de estas presenta en la roca en lajas con espesores de 1 cm a 30 cm. Se aprecian dos familias de fracturas NW30° y NE70°, además se observa un patrón de fracturas radial correspondiente a diaclasas por enfriamiento (Figura 3.11).

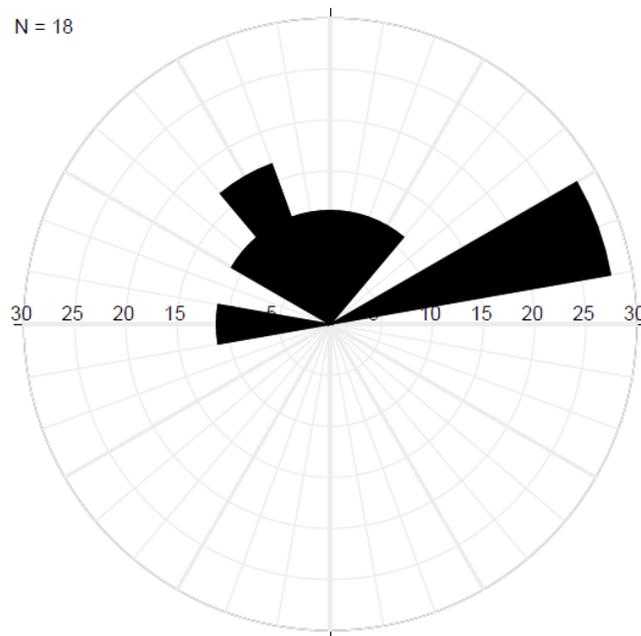


Figura 3.11 Roseta 2.

3.4.2.3 Roseta 3.

En este punto (Figura 3.9) se observan tres familias principales de fracturas, el 26% de los datos tiene una dirección preferencial N-S, el 12% de los datos muestra una tendencia 30°NE y el 18% de los datos una tendencia E-W (Figura 3.12).

En este tramo predominan los derrames de rocas basálticas y basaltos andesíticos formando lomeríos alargados que siguen la dirección del flujo en el momento del emplazamiento, el que fue condicionado por la paleopendiente del terreno, encontrándose que presentan direcciones al SE, al NE y otras E-W; en el occidente de la zona que cubre el mapa de este sector la tendencia general es hacia el NW. Son fracturas producidas por enfriamiento en el momento del emplazamiento del magma.

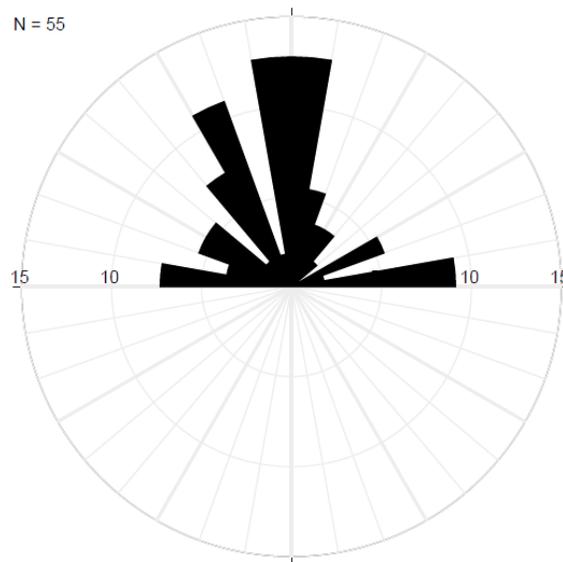


Figura 3.12 Roseta 3.

3.4.2.4 Roseta 4.

La litología predominante en esta área (Figura 3.9) es de derrames de basaltos y andesitas basálticas, los cuales forman lomas alargadas con una tendencia general al SE que corresponden con la dirección en que se emplazaron la mayoría de las coladas.

El enfriamiento del material fundido generó planos paralelos horizontales y subhorizontales, que en conjunto producen que el material basáltico se separe de forma tabular formando lajas con espesores de 4 a 20 cm. Esta zona es la que presenta el mayor volumen de material basáltico en forma de lajas de toda el área de estudio.

En los sitios donde se tiene el mayor relieve de este tramo predominan los basaltos en bloques, los que presentan abundantes fracturas verticales y otras con menor inclinación, la familia principal de fracturas, con el 41% de los datos tienen una dirección preferencia NW25°SE, existe otra familia de fracturas con orientación W-W (Figura 3.13).

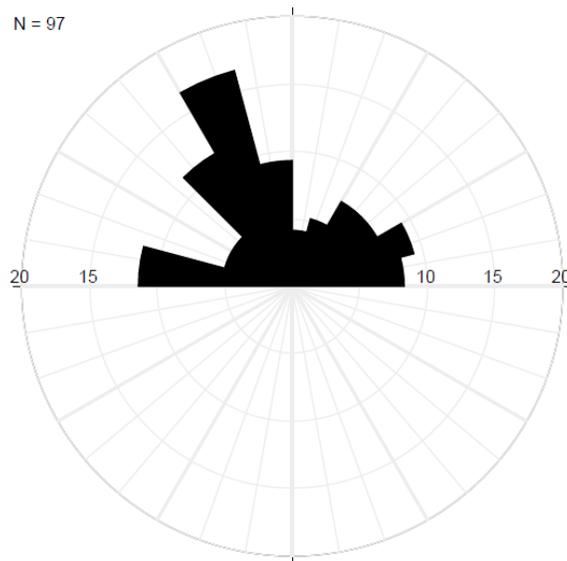


Figura 3.13 Roseta 4.

3.4.2.5 Roseta 5.

Los derrames de lava predominan en esta área (Figura 3.9), los que corresponden con fracturas producidas por enfriamiento. Se observa claramente una familia con una orientación NE50°SW. Además se presenta nuevamente el patrón radial de fracturas, correspondientes a diaclasas de enfriamiento (Figura 3.14).

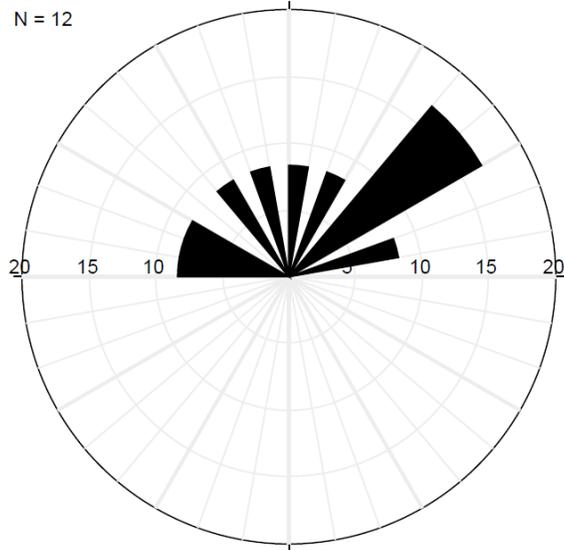


Figura 3.14 Roseta 5.

3.4.2.6 Roseta 6.

Las principal estructura primaria, presente en las rocas de esta área (Figura 3.9), es la estratificación, aunque la orientación de los planos es muy variable debido a la génesis de estos depósitos y al basculamiento producido por las fallas. El origen de estos depósitos es principalmente de ambiente continental y de transición, por lo que presentan una ligera inclinación hacia la línea de costa. Así entonces, se presentan cintas fluviales con dirección hacia las partes topográficas más bajas, presentándose estratificación paralela, cruzada, lentes paralelos a la estratificación y acuñamientos, debido a que los depósitos rellenan el paleorelieve, observándose contraflujos y turbulencias acusadas por estos cambios de orientación en los planos.

Se observan dos familias de fracturas preferenciales, el 28% de los datos se concentran en la dirección NW40°SE y el 20% tiene una dirección E-W (Figura 3.15).

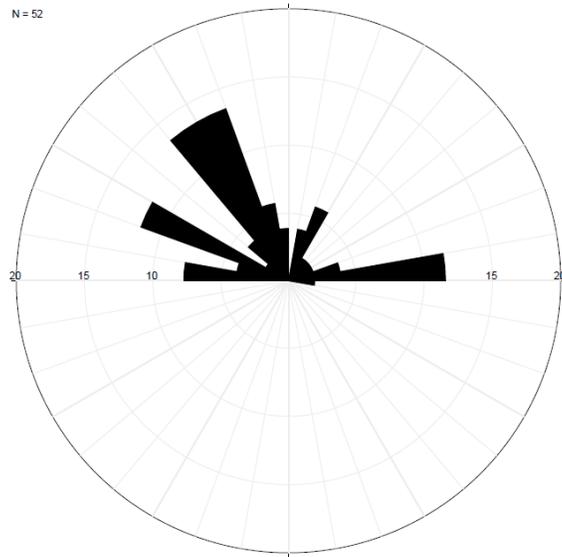


Figura 3.15 Roseta 6.

3.4.2.7 Roseta 7.

La litología en este punto son basaltos ((Figura 3.9), la población de datos (rumbos) de fracturamiento en este punto fue de 48. Se aprecian dos concentración mayores de fracturas, la primera muy clara que se inclinan hacia el NE35°SW, la otra Este-Oeste. Además se observa nuevamente el patrón de fracturamiento radial producido por el enfriamiento de las lavas (Figura 3.16).

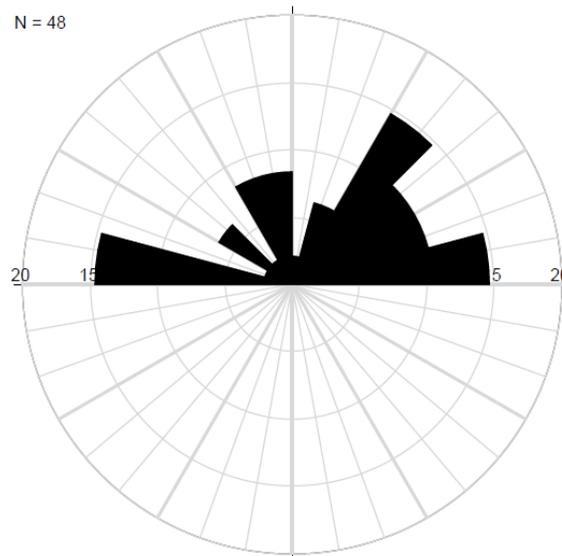


Figura 3.16 Roseta 7.

El sistema de esfuerzos principal que origino las fallas laterales es N-S, que es una condición que predomina en toda el área, donde también ocurrió extensión, misma que se explica por la componente normal que presentan las fallas mencionadas. El sistema de esfuerzos NE-SW solo se presenta en las áreas donde predominan los basaltos de la Formación Rosario; el sistema de esfuerzos NW-SE se presenta en el centro del área donde se tienen a las fallas normales.

Los esfuerzos que originaron las fracturas y fallas cartografiadas en el mapa de la región, coinciden con los datos medidos en campo (Figura 3.17). Por lo que la región Salsipuedes fue afectada por cuatro eventos de deformación que dieron lugar a estos sistemas de fracturas. El sistema NW–SE está asociado al sistema de fallas San Diego-Bahía Soledad y al sistema San Clemente-San Isidro, por otra parte el sistema E-W está asociado a la Falla Agua Blanca.

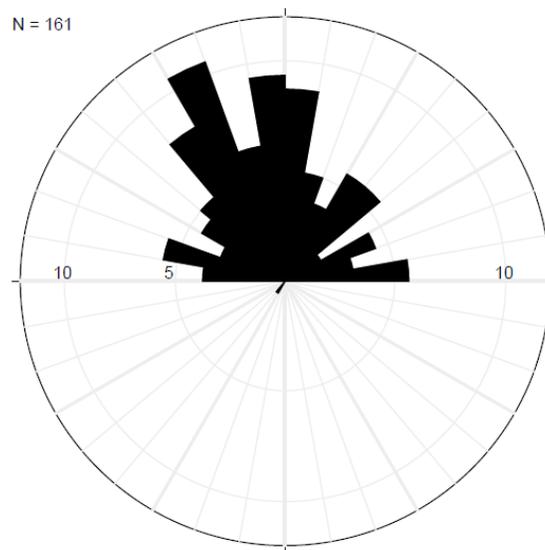


Figura 3.17 Roseta 7.

3.5 Sísmica reciente.

Del catálogo de sismos del Servicio Sismológico Nacional (SSN), se recopilaron todos los eventos sísmicos, en un periodo de tiempo que comprende de 1999 al 2014. Los sismos se graficaron prestando importancia al radio de influencia del sismo en función de su magnitud.

En el análisis se contaron 59 sismos de magnitud mayor a 5, dentro de los sismos más importantes encontrados se tiene un sismo importante de $M=7.2$ el 4 de abril de 2010, asociado a la Falla Cerro Prieto (Figura 3.18).

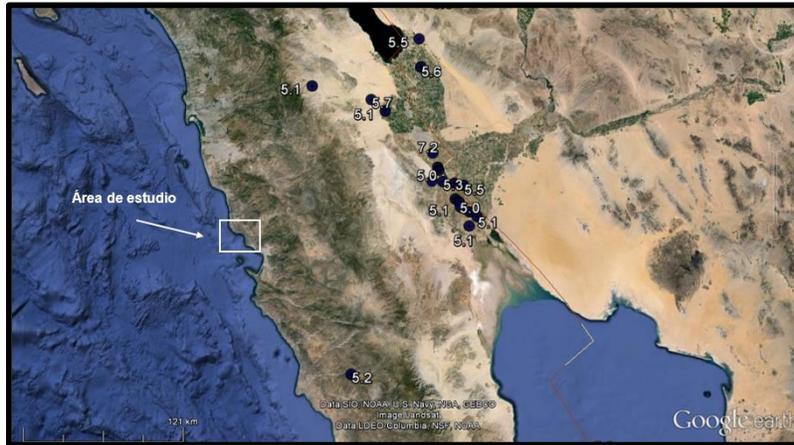


Figura 3.17 Localización de sismos de magnitud mayor a 5.

En cuanto a sismos de magnitud 3.5 a 5.0 se registraron 82. El año 2010 es cuando ocurrió la mayor parte de estos eventos; sumándolos, junto con los sismos de magnitud mayor a 5, dan un total de 37 sismos ocurridos durante este año (Figura 2.18).

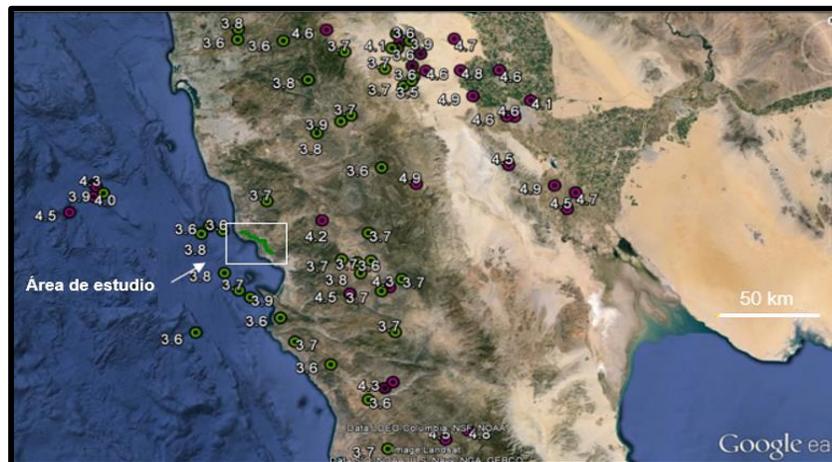


Figura 2.18 Localización de sismos de magnitud 4.0 a 5.0.

Los sismos menores a 3.5 tienen una ocurrencia alta, se contabilizaron 11 epicentros del año 2013 al 2014 cercanos al área de estudio (Figura 2.19).

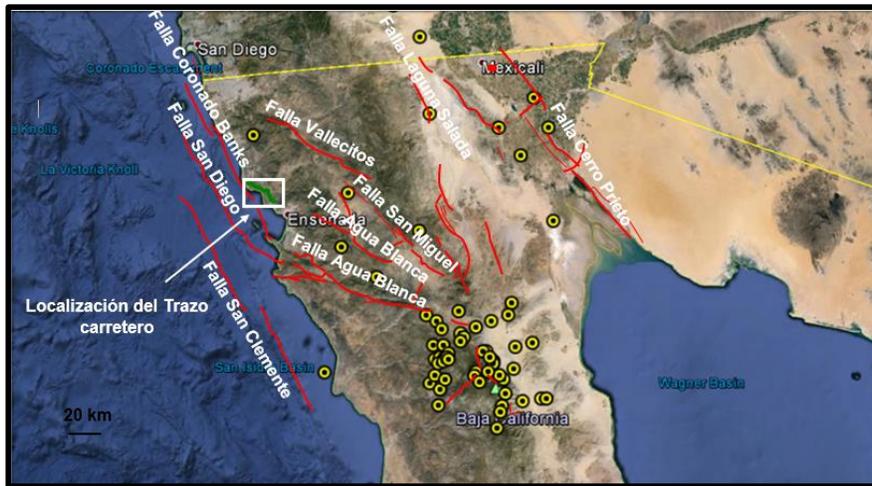


Figura 2.19 Localización de sismos de magnitud menor a 3.5.

Sobresale la sismicidad asociada a la Falla de San Miguel y el enjambre sísmico en la Bahía de Todos Santos. El patrón predominante para la región de Salsipuedes es de algunos enjambres típicos se muestra en la figura 2.20.

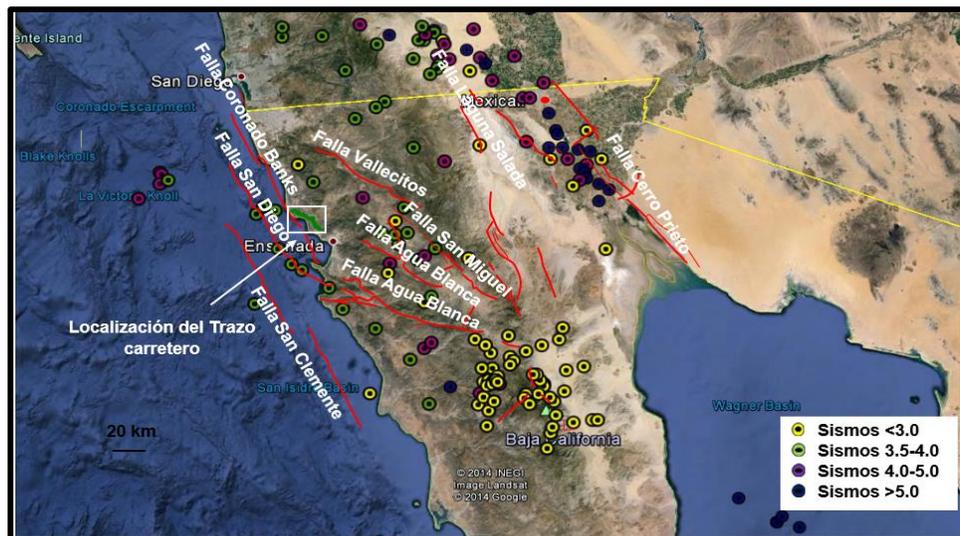


Figura 2.20 Localización de todos los sismos registrados desde 2010.

La actividad sísmica actual con mayor magnitud de la región, se concentra en el límite de la placa Norteamericana y la placa del Pacífico. Resultando el sistema Imperial-Cerro Prieto y la falla Laguna Salada son las únicas fallas que han presentado sismos con $M > 7$. Por su carácter somero se vuelven fallas con

sismicidad muy peligrosa para las ciudades de Mexicali, Tijuana y Ensenada; en particular Tijuana se encuentra sobre la posible continuación de la falla San Miguel-Vallecitos (Castillo, 2002).

La zona de estudio es afectada por sismos de menor magnitud, pero con una frecuencia alta, producidos por la falla San Miguel, la falla Tres Hermanas y la falla San Diego. La zona con mayor actividad microsísmica, resulta de la falla Ojos Negros. Aunque la actividad sísmica en el área de estudio es de baja magnitud, ésta es importante por la inestabilidad propia del terreno dada las altas pendientes y la poca competencia de las rocas volcánicas y sedimentarias (Castillo, 2002).

4. Evolución Geológica

4.1 Patrón Tectónico Regional

Las rocas de Baja California contienen el registro de dos fases de evolución geológica importantes (Gastil et al., 1975):

1) Evento del Mesozoico Medio: se produjo a partir del Jurásico medio hasta el Cretácico. Está representado por tres secuencias litológicas asociadas metamorfismo regional, arco de islas y emplazamiento de rocas graníticas. Se trata de una profunda deformación estructural, con levantamiento y erosión, dando como resultado importantes cambios geomorfológicos.

2) Evento del Cenozoico Medio: implicó la acumulación de una amplia variedad de rocas volcánicas y la formación del Golfo de California, un cinturón tectónico móvil. Este evento que se inició antes del comienzo del Mioceno y está activo siendo las fallas laterales las más evidentes en esta fase de deformación.

4.2 Arco Mesozoico

Las rocas mesozoicas de la Península de Baja California son evidencia de la existencia de un margen convergente, debido al choque entre la placa Farallón y la placa Norteamericana. Estas rocas están bien expuestas al Norte y al Oeste de Baja California, mientras que al sur y sureste, están cubiertas por rocas volcánicas y sedimentarias del Cenozoico Tardío.

Este margen convergente muestra una tendencia evolutiva que puede ser típico de los sistemas de arcos que enfrentan las grandes cuencas oceánicas: una progresión desde muy extensional, a ligeramente extensional, regímenes de deformación por compresión (Busby, 2004) y los fases de transcurencia en que se forman las fallas laterales y normales. A continuación se describen sus principales características:

a) Fase uno (220–130 Ma): sistemas arco-ofiolitas.

Las primeras etapas de subducción en Baja California están representadas por sistemas de arco-ofiolítico intraoceánico en el centro y oeste de Baja California. Estas ofiolitas están expuestas al norte y al sur de la Península de Vizcaíno y en la Isla Cedros (Moore, 1985); están asociadas a una zona de subducción formadas en ambientes de antearco e intra-arco, ya que tienen firmas geoquímicas de arco (Moore, 1985; Kimbrough, 1984) y están sobrepuesta en rocas volcánicas-volcanoclasticas de arco (Figura 4.1).

La primera etapa de subducción en Baja California inicia por el rápido hundimiento de corteza oceánica, en esta fase el arco es altamente extensional debido a que la trinchera retrocede más rápido de lo que avanza la placa Norteamericana (Figura 4.1).

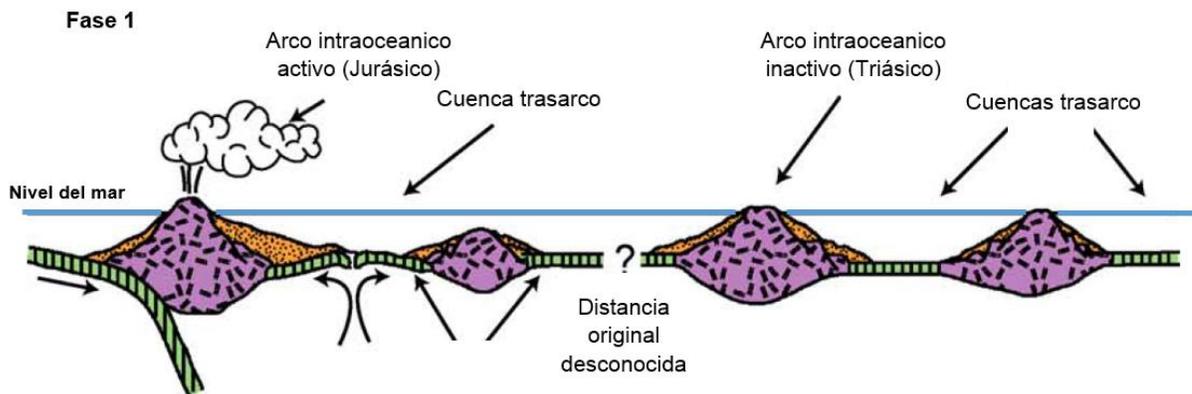


Figura 4.1 Fase 1 de subducción en Baja California (Modificado de Busby, 2004).

b) Fase dos (130–100 Ma): arco extensional.

La extensión fue moderada en la fase 2 debido a un menor ángulo de subducción. La cuenca de antearco de esta fase se sobrepone a los terrenos amalgamados del arco ofiolítico de la fase 1 y está caracterizada por presentar fallas normales sindeposicionales (Busby & Boles, 1986), (Figura 4.2). En la segunda fase de subducción un arco volcano-plutónico extensional se desarrolló en el occidente de

Baja California (Formación Alisitos), y una cuenca de antearco extensional se formó en la actual Península de Vizcaíno (Formación Asunción).

Fase 2

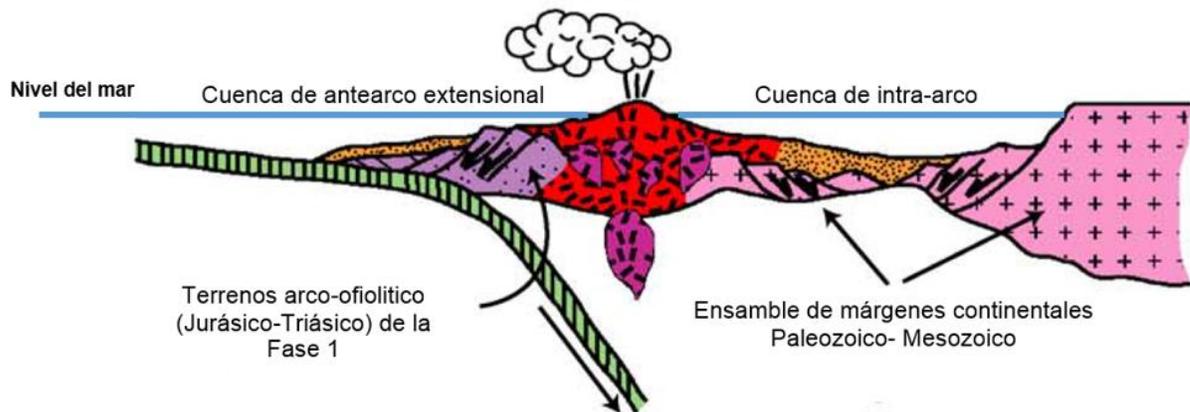


Figura 4.2 Fase 2 de subducción en Baja California (Modificado de Busby, 2004).

Los estratos de ambiente marino profundo de la Formación Alisitos tienen interdigitaciones de rocas sedimentarias y volcánicas de origen continental y de arco, lo que indica que el arco Alisitos representa un arco marginal separado del continente por una cuenca intra-arco (Phillips, 1993).

c) La fase 3 (100–50 Ma): compresión continental.

En la tercera fase de subducción un arco continental se estableció en lo que hoy son las Sierras Peninsulares; fue parte de una tendencia progresivamente más compresiva de esfuerzo, esta tendencia se aceleró a mediados del Cretácico (105-95 Ma), debido a un aumento de la tasa de convergencia de la placa (Engebretson et al., 1985). Este aumento de la tasa de convergencia colapso la cuña de acreción contra el continente causando fallas inversas y cuencas extensionales de antearco (Busby et al., 1998), (Figura 4.3).

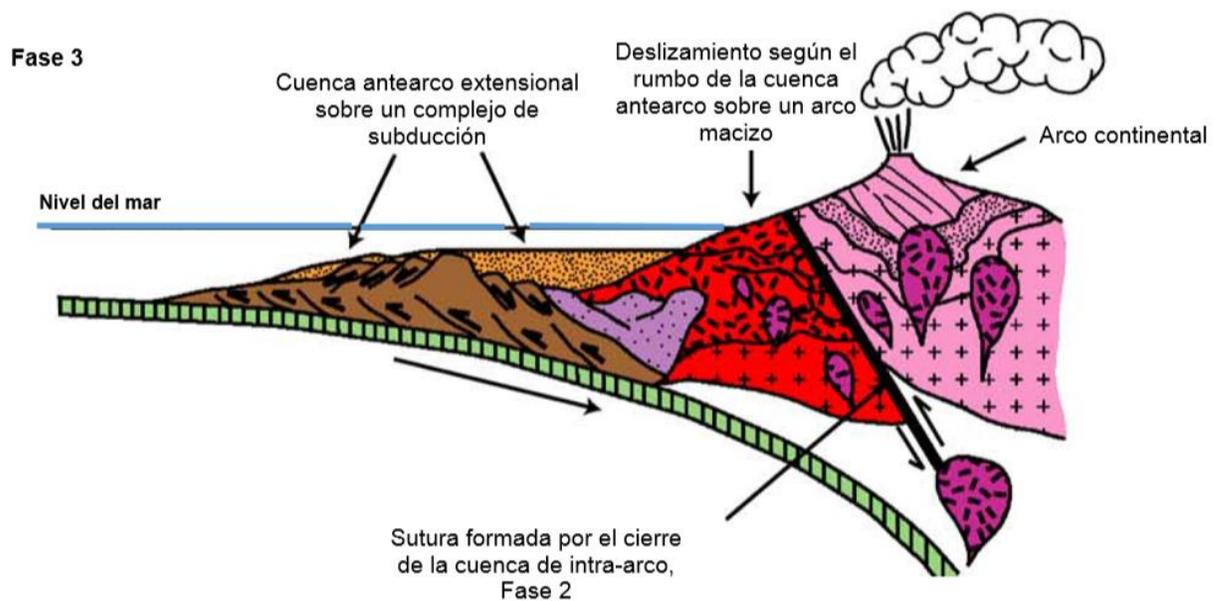


Figura 4.3 Fase 3 de subducción en Baja California

Las cuencas intra-arco de la tercera fase no se conservaron, debido a la elevación del arco y posterior erosión pero las cuencas de antearco proporcionan evidencia de un régimen de compresión en todo el Cretácico superior al Paleoceno, con una componente de deslizamiento dextral (dextral strike slip) en el Cretácico tardío.

4.3 Apertura del Golfo de California.

Se conoce que aproximadamente hace 29 Ma, comenzó un nuevo régimen tectónico pasando de subducción a transcurrencia, afectando de esta manera la margen occidental de la placa de Norteamérica (Ferrari, 2013).

El rifting del área del Golfo de California comenzó una vez que la subducción de los últimos restos de la placa Farallón terminó (16 Ma) y la paleo-dorsal del Pacífico-Este hizo contacto con la trinchera "Franciscana", aproximadamente en la latitud de California (Figura 4.4A), (Stock & Hodges, 1989). Debido a esto, la placa oceánica se separó por debajo de la placa de Norteamérica y una parte quedó acrosionada en la base del continente, mientras que la astenosfera quedó térmicamente perturbada, lo que provocó un slab windows por debajo de la placa de Norteamérica dando lugar al centro del proto-Golfo de California (Figura 4.4B).

Por otra parte la Península de Baja California comenzó a moverse con la placa Pacífico (Figura 4.4C), (Henry & Aranda-Gómez, 2000; Umhoefer et al., 2002; Fletcher et al., 2007; Lizarralde et al., 2007; Sutherland et al., 2012; Ferrari, 2012).

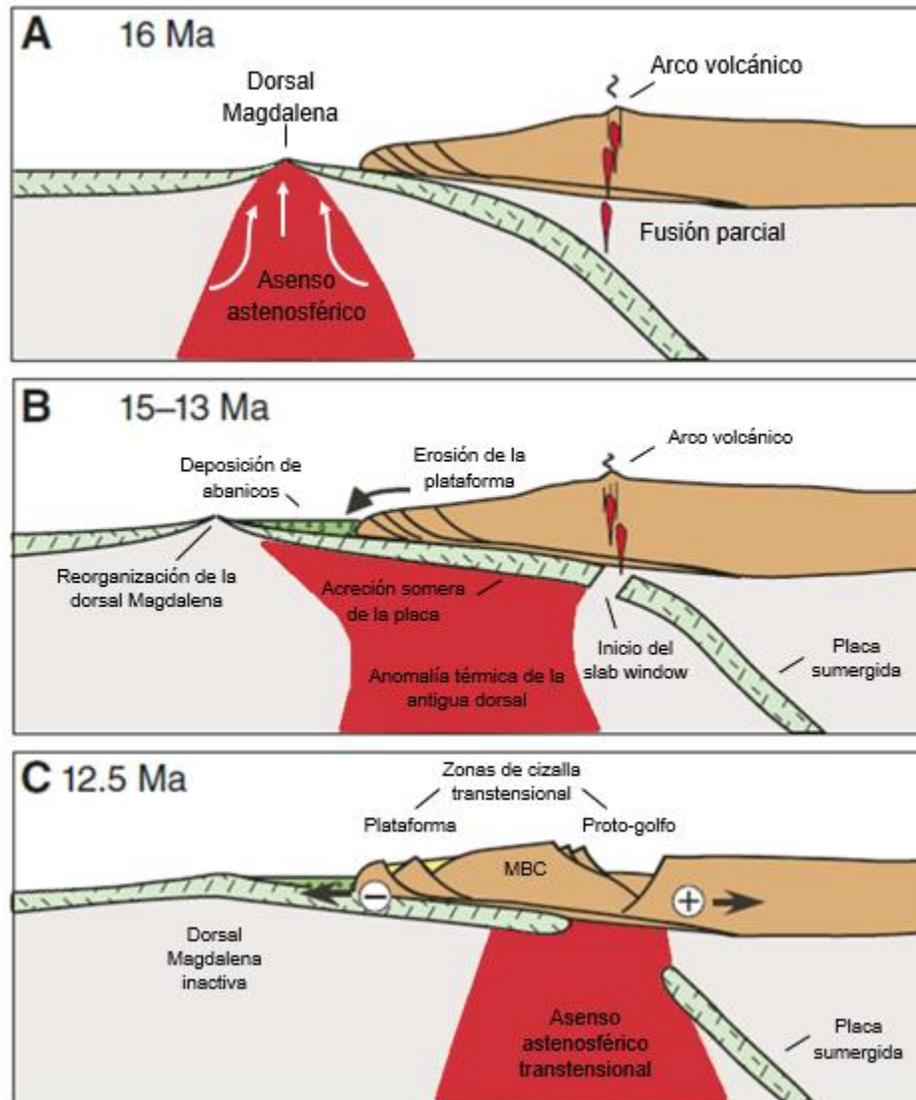


Figura 4.4 Sección transversal esquemática de la paleotrinchera (Modificado de Fletcher et al., 2007).

Los principales factores que controlan la ruptura continental son: a) espesor de la corteza, b) reología de la litosfera, c) la estructura térmica, y d) la magnitud y el ritmo de las fuerzas aplicadas a la litosfera (Ziegler y Cloetingh, 2004; Nagel & Buck, 2007). En este contexto, el Golfo de California se ha considerado un Rift

anormalmente rápido, ya que la ruptura de la corteza continental ha sido en sólo 6-10 M.a. El rápido rifting es debido a tres principales factores (Umhoefer de 2011):

- 1.- El rifting se centra a lo largo de una franja de corteza débil y caliente generada por el volcanismo de arco anterior.
- 2.- Movimiento relativamente rápido entre las placas Norteamericana y Pacífico.
- 3.- Fallamiento lateral con un ajuste oblicuo divergente.

Los estudios muestran que Baja California no está completamente unida a la placa del Pacífico, aproximadamente el 10% del movimiento entre las placas Pacífico y Norteamérica es acomodado a lo largo de la margen occidental, por lo tanto, la península se define como una microplaca (Fletcher and Munguía, 2000; Plattner et al., 2007; Fletcher et al., 2007). El modelo cinemático de la apertura del Golfo de California implica que la posición de la microplaca Magdalena restaurada para el *chron* 5^a (12.3 Ma) se sitúa con un vector de corrección de 100 km del bloque de Jalisco (Figura 4.5A). En un inicio, de 12.03 a 7.08 Ma, 75 km y 150 km de cizalla transtensional se acumularon a través de la plataforma Magdalena y la provincia extensional del Golfo de California respectivamente (Figura 4.5B). El movimiento entre la placa del Pacífico y Norteamericana mantiene una velocidad constante, pero hace 7.8 Ma el movimiento se hizo más hacia el norte (Atwater & Stock, 1998), lo que provocó que 75 km y 310 km de cizalla transtensional se acumularan a través de la plataforma Magdalena y la provincia extensional del Golfo de California, respectivamente (Ferrari, 2012). Un nuevo sistema de expansión oceánica escalonada se formó al sur de la provincia del Golfo de California con la misma orientación que el que fue abandonado (Figura 4.5C).

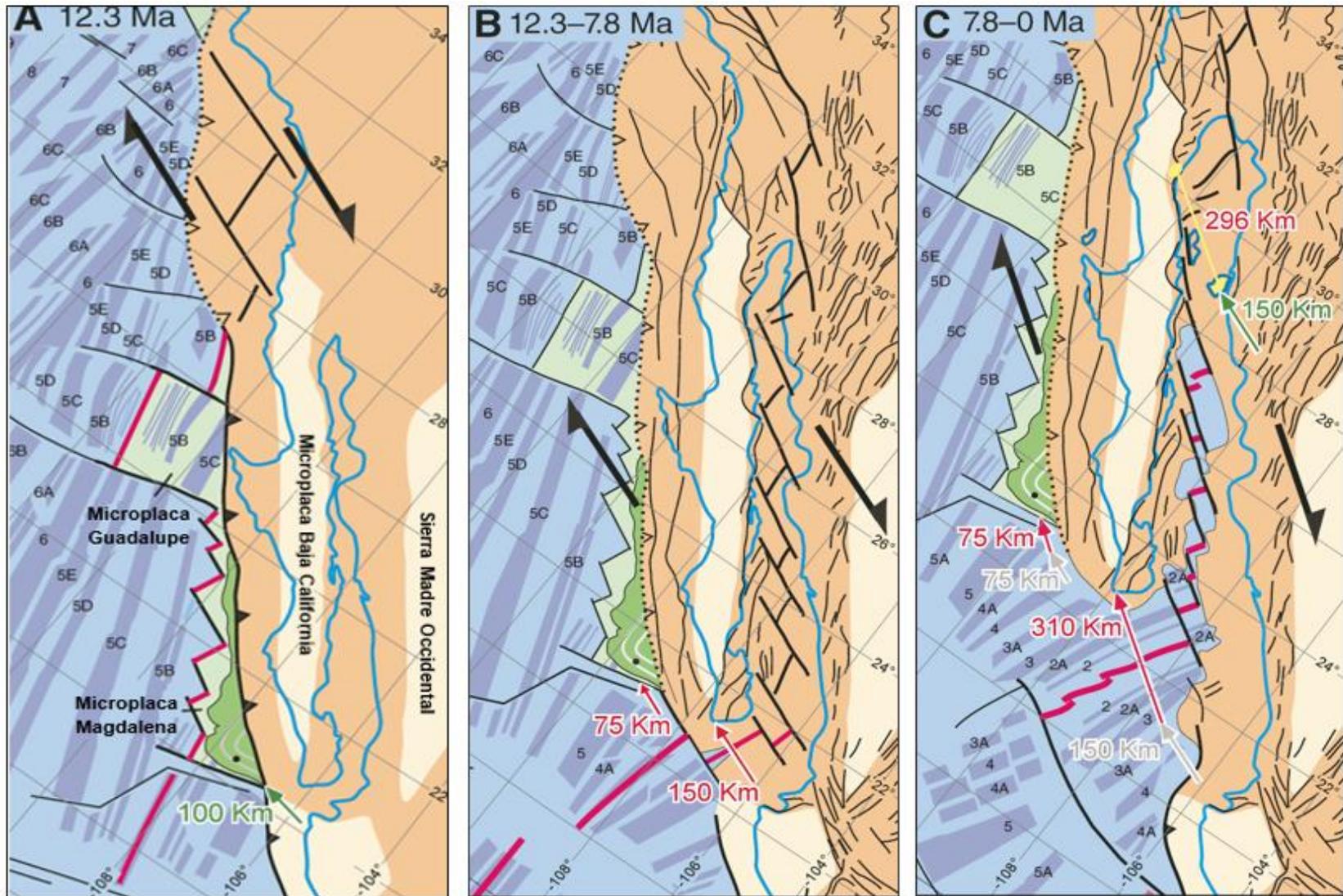


Figura 4.5 Configuración de la dorsal oceánica de Baja California (Modificado de Fletcher et al., 2007).

5. Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones.

- ❖ Se realizó un documento que actualizo el modelo geológico conceptual de la región Salsipuedes, Baja California considerando las unidades estratigráficas y estructurales, así como también se recopiló, analizó y sintetizó la información geológica, geofísica y geotécnica de la región.
- ❖ Se describieron las unidades estratigráficas considerando su litología, su ambiente sedimentario, sus relaciones verticales y en forma detallada los sistemas de fracturas y fallas que las afectan.

Sobre estratigrafía:

- ❖ En el área de estudio afloran rocas sedimentarias y rocas volcánicas del Mesozoico y Cenozoico, que se pueden separar en cuatro formaciones geológicas de acuerdo a su edad, el tipo de roca y su ambiente de depósito. Las rocas más antiguas corresponden a rocas vulcano-sedimentarias de la Formación Alisitos que se encuentran cubiertas discordantemente por rocas sedimentarias de la Formación Rosario del Cretácico Tardío; estas subyacen de forma discordante a rocas volcánicas y vulcanoclásticas de la formación Rosarito Beach del Cenozoico, y por la secuencia sedimentaria clástica correspondiente a la Formación San Diego del Plio-Pleistoceno.
- ❖ El área de Salsipuedes se tienen dos dominios geológicos contrastantes; el sector norte, constituido por derrames de rocas volcánicas de la Formación Rosarito Beach que ocupan las partes topográficamente más altas formando mesetas y lomeríos, mientras que el sector sur, formado en su mayoría por sucesiones de rocas sedimentarias detríticas de la Formación Rosario forman conjuntos de cerros con laderas de fuertes pendientes y en general está mal compactadas, por lo que son susceptibles a ocasionar deslizamientos y derrumbes.

- ❖ La región Salsipuedes presenta un clima seco templado mediterráneo, lo que propicia a la alteración insitu de basaltos, areniscas y areniscas tobáceas formando suelos de hasta 2.5 m de espesor.

Sobre geología estructural.

- ❖ Las fallas y fracturas presentes en el área han contribuido a la modelación del relieve, por lo que se formaron escarpes de metros a decenas de metros de desnivel; también se tienen arroyos con control estructura como; el Tigre con orientación N-S; Arroyo el Carmen, Arroyo el Sauzal y el Arroyo el Junco, pertenecen al sistema de fallas NE35°SW que son las responsables de la formación de valles, de bahías y de puntas presentes en el área de estudio.
- ❖ El basalto de la Formación Rosarito Beach se presenta altamente fracturado debido al enfriamiento del magma en el momento del emplazamiento. Estas fracturas permiten la infiltración de agua en temporada de lluvias, por lo que puede ocurrir saturación de agua y dado el alto nivel de fracturamiento, y la fuerte pendiente en el frente de las coladas se forman taludes inestables lo que presenta alto riesgo de deslizamiento de taludes.
- ❖ Los acuíferos del área se encuentran en la base de los derrames de los basaltos fracturados de la Formación Rosarito Beach, sobre todo cuando están en contacto con rocas de la Formación Rosario, donde en el contacto hay presencia de manantiales.
- ❖ La región Salsipuedes fue afectada por cuatro eventos de deformación que dieron lugar a cuatro sistemas de discontinuidades estructurales. El sistema de esfuerzos principal que origino las fallas laterales con componente normal es N-S, que es una condición que predomina en toda el área, donde también ocurrió extensión; ya que es un sistema transtensivo; El sistema de esfuerzos NE-SW solo se presenta en las áreas donde predominan los basaltos de la Formación Rosario. El sistema de esfuerzos NW-SE se

presenta en el centro del área donde se tienen a las fallas normales. Este sistema está asociado al sistema de fallas San Diego-Bahía Soledad y al sistema San Clemente-San Isidro. El sistema E-W está asociado a la Falla lateral derecha Agua Blanca.

Recomendaciones.

- ❖ Se recomienda el uso de las diferentes herramientas de QSIG para analizar, visualizar y procesar la información del área de estudio, a mayor detalle.
- ❖ Es recomendable considerar la poca compacidad de las rocas de la Formación Rosario, en futuros trabajos de ingeniería aplicada a obras civiles ya que son susceptibles a ocasionar deslizamientos y derrumbes.
- ❖ Se recomienda para futuros trabajos de ingeniería civil (cortes, túneles, puentes, etc.), considerar la presencia de fracturas verticales de los basaltos de la formación Rosario Beach ya que pueden ocasionar deslizamientos de bloques en falla plana o volteo.
- ❖ Tomar en cuenta para futuros trabajos de ingeniería aplicada la actividad sísmica en el área de estudio, ya que ésta es importante por la inestabilidad del terreno dada las altas pendientes y la poca competencia de las rocas volcánicas y sedimentarias.
- ❖ Se recomienda realizar un mapa de riesgo geológico que tome en cuenta los sistemas de fallas y fracturas de la zona para establecer zonas de riesgo geológico y así poder tomar medidas respecto al crecimiento urbano y a la construcción de obras civiles.
- ❖ En algunos casos el riesgo en la creación de obras civiles ocurre por acciones que no consideran la presencia de amenazas como sismos, lluvias intensas, fallas, fracturas y cortes inadecuados de terreno. Por ello

se recomienda realizar estudios geológicos de forma previa a la construcción de grandes obras de ingeniería civil.

Bibliografía.

Abbott, P.L., Suárez-Vidal, F., Sangines, E. & Rendina, M., 1993, South Coast Geological Society Baja California field-trip roadlog. En: Abbott, P.L., Sanguines, E.M. and Rendina, M.A. (editores), Geologic investigations in Baja California, Mexico. Annual field-trip guide book No. 21, South Coast Geological Society, Inc., Santa Ana, C. A., 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, 457-482 p.

Allison, E. C., 1955, Middle Cretaceous gastropoda from Punta China, Baja California, Mexico: Jour. Paleontology, v. 29, no. 3, p. 400-432.

Allison, E. C., 1964, .Geology of areas bordering the Gulf of California, in Marine Geology of the Gulf of California: Van Andel, Tj. H., and Shor, G. G. Jr., Editors, Am. Assoc. Petroleum Geologists Mem. 3, p. 4-29.

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, 1988, p.41-51.

Alsleben H., Wetmore P.H., Schmidt K.L., Paterson S.R. & Melis E.A., 2008, Complex deformation during arc continent collision: Quantifying finite strain in the accreted Alisitos arc, Peninsular Ranges batholith, Baja California. Journal of Structural Geology 30, 220236.

Angelier J., Colletta B., Chorowicz J., Orliet L. & Rangin C., 1981, Fault tectonics of the Baja California Peninsula and the opening of the Sea of Cortez, Mexico. Journal of Structural Geology, Vol 3, No. 4. 347-357.

Aragón M. J., 1994, Evaluación de riesgo geológico debido a movimientos de laderas en la ciudad de Tijuana, BC., México. Tesis de Maestría, CICESE. Ensenada, México; p. 124.

Aranda, F.J.M. 1983, Estudio de Minerales Pesados como Trazadores de la Corriente Litoral en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de

Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC Ensenada, B.C. México.

Armijo, R. and Suárez, 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: P.L. Abbott (editor), *Geologic studies in Baja California*. Book 63, October, USA, p.37-45.

Atwater, T.M., and Stock, J., 1998, Pacific-North America plate tectonics of the Neogene southwestern United States-an update: in press for *International Geological Review*.

Avila, G.E.S. 1983, Volumen de Sedimento Aportado Anualmente a la Bahía de Todos Santos, Baja California por los Arroyos El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas, 1972-1983. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC Ensenada, B.C. México.

Axen, G. & Romero, H., 1994, Cambios de dirección en el buzamiento de los sistemas de fallamiento basal de la parte Norte del Escarpe Principal del Golfo de California. *GEOS*, v. 14, No. 5, p. 74.

Busby C. 2004. Continental growth at convergent margins facing large ocean basins: a case study from Mesozoic convergent-margin basins of Baja California, Mexico. *Tectonophysics* 392; 241– 277.

Busby C., Adams B. F., Mattinson J. & Deoreo S. 2006, View of an intact oceanic arc, from surficial to mesozonal levels: Cretaceous Alisitos arc, Baja California. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 149;1– 46 pp.

Busby, C.J., Smith, D.P., Morris, W.R., Adams, B., 1998. Evolutionary model for convergent margins facing large ocean basins: Mesozoic Baja California (Mexico). *Geology* 26 (3), 227–230.

Busby-Spera, C.J., Boles, J.R., 1986. Sedimentation and subsidence styles in a Cretaceous forearc basin, southern Vizcaino Peninsula, Baja California, Mexico. In: Abbott, P.L. (Ed.), *Cretaceous Stratigraphy, Western North America*. Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles. 79–90 pp.

Carranza E., 1998, Beach sands from Baja California Península, Mexico. *Sedimentary Geology* 119; 263–274 pp.

Castillo C. M., & Argote D. L.A., 2000, Los deslizamientos de la carretera de cuota Tijuana-Ensenada, Baja California. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C.

Castillo C. M., Delgado A. A., 2009, Descripción geológica y estructural de la zona de deslizamientos Salsipuedes-Cíbola del Mar, Ensenada, Baja California. GEOS, Vol. 19, No. 3, p. 159-174.

CNA, 1997, Registro Mensual de Temperatura Media. Anuario Estadístico del Estado de Baja California.

Cruz C. M. & Argote L. A. D. 2000, Los deslizamientos de la carretera de cuota Tijuana- Ensenada, Baja California. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C.

Cruz C.M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el Norte de Baja California, Mexico. GEOS, Unión Geofísica Mexicana. 37-42 pp.

Cruz C.M. & Delgado-A. 2002, Descripción geológica y estructural de la zona de deslizamientos Salsipuedes-Cíbola del Mar, Ensenada, Baja California. GEOS, Unión Geofísica Mexicana. 159-174 pp.

Darton N. H. 1921, Geologic reconnaissance in Baja California. The Journal of Geology, Vol. 29, No. 8. 720-748 pp.

Delgadillo, J. 1992, Florística y Ecología del Norte de Baja California. Facultad de Ciencias, UABC Ensenada, B.C. México.

Delgado-Argote et al., 1993, Estudio de riesgo geológico en Tijuana con base en análisis geomorfológicos estructurales y la respuesta del terreno en las áreas el Pasteje, el Pato y Cañada Verde. Departamento de geología. CICESE, México: División Ciencias de la Tierra.

Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, Ensenada H 11-2 1: 250,000.

Dixon, T., Decaix, J., Farina, F., Furlong, K., Malservisi, R., Bennett, R., Suárez-Vidal, F., Fletcher, J., Lee, J., 2002, Seismic cycle and rheological effects on estimation of present-day slip rates for the Agua Blanca and San Miguel-Vallecitos faults, northern Baja California, México Journal of Geophysical Research, vol. 107, No. B10, 226

El Colegio de la Frontera Norte. Km 18.5 carretera escénica Tijuana-Ensenada, San Antonio del Mar. Tijuana, Baja California, México. Tel (52-6) 6 31 35 35. Fax (52-6) 6 31 35 60. Mtro Rafael Vela. Programa SIGEF. email rvela@colef.mx

Engebretson, D.A., Cox, A., Gordon, R.G., 1985, Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific Basin. Special Paper - Geological Society of America, vol. 206. 59 pp.

Fendy, S.S. & Gastil, R.G., 1991, A seismic-tectonic map of the Gulf of California and surrounding areas, in Dauphin, J.P. and Simoneit, B.R., eds., The Gulf and Peninsular Provinces of the Californias, American Association of Petroleum Geologists Memoir 47, p. 79-83.

Ferrari, L., López-Martínez, M., Orozco-Esquivel, T., Bryan, S.E., Duque-Trujillo, J., Lonsdale, P., Solari, L. 2013, Late Oligocene to middle miocene rifting and synextensional magmatism in the southwestern sierra madre occidental, Mexico: The beginning of the Gulf of California rift: *Geosphere*, 9(5), 1161-1200.

Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., and Manea, M., 2012, The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone: *Tectonophysics*, v. 522–523, p. 122–149, doi:10.1016 /j.tecto.2011.09.018.

Fife, D. L., Minch, J. A., & Crampton, P. J., 1967, Late Jurassic age of the Santiago Peak Volcanics, California: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 78, p. 299-304.

Fletcher, J.M. & Munguía, L., 2000, Active continental rifting in southern Baja California, Mexico: Implications for plate motion partitioning and the transition to seafloor spreading in the Gulf of California. *Tectonics* 19: doi: 10.1029/1999TC001131. issn: 0278-7407.

Fletcher, J.M., Grove, M., Kimbrough, D., Lovera, O., and Gehrels, G.E., 2007, Ridge-trench interactions and the Neogene tectonic evolution of the Magdalena Shelf and southern Gulf of California; insights from detrital zircon U-Pb ages from the Magdalena Fan and adjacent areas: *Geological Society of America Bulletin*, v. 119, p. 1313–1336, doi:10.1130/ B26067.1.

Flynn C. J. 1970, Post-Batholithic Geology of the La Gloria-Presa Rodríguez Area. *Geological Society of America Bulletin*; 81, no. 6; 1789-1806 pp.

Flynn Clinton J., 1970, Post-batholithic geology of the la Gloria-Presa Rodríguez area, Baja California, México. *Geol Soc Am Bull*; 81:1789–806 pp.

Frez, J. & González, J.J., 1991, Crustal structure and seismotectonics of northern Baja California. In: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, 261-283 pp.

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.

Geofísica Internacional. Vol. 26, Núm. 3, México, 459-478 p.

González F. A., Martín A. B. & Paz L. S., 2000. Identificación de fallamiento en la península Punta Banda, B.C, a partir de datos de topografía, magnetometría y gravimetría. GEOS, Vol. 20 No. 2, p. 98-106

Hancock, P.L., 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*, V.7-3/4, 437-457 pp.

Harrison D. J. & McGuigan P. J. 2010, Technical report, Ensenada property, Baja California, México. Mayen Minerals LTD.

Helenesa, J. & Carreño A. L., 1999, Neogene sedimentary evolution of Baja California in relation to regional tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*; Vol. 12,589–605

Henry, C. D., Aranda-Gómez, J. J., 2000, Plate interactions control middlelate Miocene, proto-Gulf and Basin and Range extension in the southern Basin and Range: *Tectonophysics*, 318, 1-26 pp.

Hirabayashi, K., Rockwell, T., Steven, Wesnoousky, S., Stirling, M., Suárez-Vidal, F. 1996, A Neotectonic Study of the San Miguel-Vallecitos Fault, Baja California, Mexico. *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 86, No. 6, 1770-1783 pp.

Jiménez J. 1972, Embankment failures on the Tijuana-Ensenada turnpike in the lower California Peninsula, Mexico Twenty-third anual highway Geology Symposium.

Johnson S. E., Paterson S. R. & Tate M. C., 1999, Structure and emplacement history of a multiple-center, cone-sheet-bearing ring complex: The Zarza Intrusive Complex, Baja California, Mexico *Geological Society of America Bulletin*;111, no. 4;607-619

Kimbrough, D.L., 1984, Paleogeographic significance of the Middle Jurassic Gran Canon Formation, Cedros Island, Baja California. In: Frizzell, V.A. (Ed.), *Geology of the Baja California Peninsula*. Book 39. Pacific Section Society Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles, pp. 107– 118.

Kurczyn R. J. A., Kretschmar T. & Hinojosa C. A. 2007, Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B.C., México,

usando el método de curvas numeradas y datos de satélite. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 24, núm. 1, 1-14 pp.

Langenheim V.E. & Jachens R. C. 2003, Crustal structure of the Peninsular Ranges batholith from magnetic data: Implications for Gulf of California rifting *Geophysical Research Letters* , Vol. 30, No. 11.

Larsen, E. S. Jr., 1948, Batholithic and associated rocks of Corona, Elsinore and San Luis Rey quads, southern California: *Geol. Soc. America Mem.* 29, 182 pp.

Legg, M.R., Wong, V. and Suárez, F., 1991, Geologic structure and tectonics of the inner Continental Borderland of northern Baja California, in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47. 145-177 pp.

Lesage, Ph. y Frez, J., 1990, Estudio comparativo de las fuentes de los temblores de Victoria, junio 9, 1980, del Valle Imperial, octubre 15, 1979 y de El Golfo, agosto 7, 1966. *Geofísica Internacional*, v. 29, No. 3. 149-169 pp.

Lewis C. J. & Stock J. M., 1998, Late Miocene to Recent transtensional tectonics in the Sierra San Fermín, northeastern Baja California, Mexico. *Journal of Structural Geology*, Vol. 20, No. 8, pp. 1043 a 1063.

Lizarralde, D., Axen, G.J., Brown, H.E., Fletcher, J.M., González-Fernández, A., Harding, A.J., Holbrook, W.S., Kent, G.M., Paramo, P., Sutherland, F., and Umhoefer, P.J., 2007, Variable styles of rifting in the Gulf of California: *Nature*, v. 448, p. 466–469, doi:10.1038/nature06035.

Luyendyk, B.P., Kamerling, M.J., & Terres, R., 1980, Geometric model for Neogene cristal rotations in southern California: *Geological Society of America Bulletin*, v.91. 211-217 pp.

Mayer L. & Vincent K., 1999, Active tectonics of the Loreto area, Baja California Sur, Mexico *Geomorphology* (27) 243–255.

Minch John A., 1967, Stratigraphy and structure of the Tijuana-Rosarito Beach area, Northwestern Baja California, México. *Geol soc Am Bull* 78:1155–78.

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. *American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 54, 33-46 pp.

Minch, A.J., Schulte, K.C., & Hofman G., 1970, A Middle Miocene Age for the Rosarito Beach Formation in Northwestern Baja California, Mexico: Geological Society of America Bulletin; 81, no. 10;3149-3154.

Minch, John A., 1967, Stratigraphy and Structure of the Tijuana-Rosarito Beach Area, Northwestern Baja California, Mexico. Geological Society of America Bulletin, Vol. 78, 1155-1178 pp.

Moore, T.E., 1985, Stratigraphy and tectonic significance of the Mesozoic tectonostratigraphic terranes of the Vizcaino Peninsula, Baja California Sur, Mexico. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Sciences Series, vol. 1. 315–329 pp.

Morán Z. D. J. 1990, Geología de la República Mexicana. INEGI

Mueller, K. & Rockwell, T., 1991, Late quaternary structural evolution of the western margin of the sierra Cucapa, Northern Baja California. in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47. 249-260, pp.

Nagel, TJ and Buck, W.R., 2007, Control of rheological stratification on rifting geometry: a symmetric model resolving the upper plate paradox. Int J Earth Sci (Geol Rundsch) DOI 10.1007/s00531-007-0195-x.

Normark W. R. & Curray J. R., 1968, Geology and Structure of the Tip of Baja California, Mexico. Geological Society of America Bulletin, v. 79, p. 1589-1600.

Oliva G.A., Jimenez M.D., Garcia A.I.N., Gonzalez N. C., & Alvarez V. A., 2014., Hillside instability in the Tijuana metropolitan area. Analysis of landslide-provoked building collapse, Mexico., Engineering Failure Analysis 46,166–178

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 de Educación Superior de Ensenada, 146 pp.

Phillips, J.R., 1993, Stratigraphy and structural setting of the Mid-Cretaceous Olvidada Formation, Baja California Norte, Mexico. In: Gastil, R.G., Miller, R.H. (Eds.), The Prebatholithic Stratigraphy of Peninsular California. Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 97– 106.

Plattner, C., Malservisi, R., Dixon, T.H., LaFemina, P., Sella, G.F., Fletcher, J., and Suarez-Vidal, F., 2007, New constraints on relative motion between the Pacific

plate and Baja California microplate (Mexico) from GPS measurements: *Geophysical Journal International*, v. 170, p. 1373–1380, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03494.x.

Reyes, A., Brune, J. and Barker, T., 1975, A microearthquake survey of the fault zone, Baja California, Mexico. *Geophysical Research Letters*, Vol. 2, No. 2. 56-59 pp.

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, Bilingüe, México, 213 pp.

Rzedowski, J. 1992, Diversidad del universo vegetal de México: perspectivas de un conocimiento sólido. En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (comps.). México ante los retos de la biodiversidad. Conabio. México.

Santillan, M., & Barrera, T., 1930, Las posibilidades petrolíferas en la costa occidental de la Baja California, entre los paralelos 30° y 32° de latitud norte: *Inst. Geol. Mexico Anales*, v. 5, p. 1-37.

Schmidt K. L., Paterson S. R., Blythe A.E. & Kopf C. 2009, Mountain building across a lithospheric boundary during arc construction: The Cretaceous Peninsular Ranges batholith in the Sierra San Pedro Martir of Baja California, Mexico *Tectonophysics* (477) 292–310

Schmidt, K.L., Wetmore, P.H., Alsleben, H., and Paterson, S.R., 2014, this volume, Mesozoic tectonic evolution of the southern Peninsular Ranges batholith, Baja California, Mexico: Long-lived history of a collisional segment in the Mesozoic Cordilleran arc, in Morton, D.M., and Miller, F.K., eds., *Peninsular Ranges Batholith, Baja California and Southern California: Geological Society of America Memoir 211*, doi:10.1130/2014.1211(20).

Shor, Jr. G. G. and Roberts, E., 1958, San Miguel, Baja California Norte earthquakes of February 1956. *Seismological Society of America, Bulletin*, V. 48, 101-116 p.

Silva, R. G., Mendoza, R. C.C., Campos, M. E., 2010, Elementos de cartografía geológica. Mexico, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 97 pp.

Sliter, W. V., 1968, Upper Cretaceous Foraminifera from southern California and northwestern Baja California, Mexico: *Kansas Univ. Paleont. Contr.*, v. 49, Art. 7, p. 1-141.

Smith D. L. 1977, A Northeast trending Trans-Peninsular Lineament across Baja California Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol.1, núm. 2 138-143.

Stock, J.M., Hodges, K.V., 1989, Pre-Pliocene extension around the Gulf of California and the transfer of Baja California to the Pacific plate. *Tectonics* 8, 99-115 pp.

Suárez, F., 1995, Paleosismicidad y Evolución de la Falla San Miguel, Resumen, Compendio de actividades 1994, CICESE.

Suárez, F., Armijo, R., Morgan, G., Bodin, P. and Gastil, G., 1991, Framework of recent and active faulting in northern Baja California. in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47. 285-300 pp.

Suárez-Vidal, F., 1993, Marco estructural de la Falla Agua Blanca, Baja California, México. *Unión Geofísica Mexicana*, Monografía No. 1, 24-39 pp.

Suárez-Vidal, F., Armijo, R., Morgan, G., Bodin, P. and Gastil, G., 1991, Framework of recent and active faulting in northern Baja California. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, 285-300 pp.

Sutherland, F.H., Kent, G.M., Harding, A.J., Umhoefer, P.J., Driscoll, N.W., Lizarralde, D., Fletcher, J.M., Axen, G.J., Holbrook, W.S., González-Fernández, A., and Lonsdale, P., 2012, Middle Miocene to early Pliocene oblique extension in the southern Gulf of California: *Geosphere*, v. 8, p. 752–770, doi:10.1130/GES00770.1.

Tchalenko, J.S., 1970, Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geological Society of America Bulletin*, V. 81, p. 1625-1640.

Umhoefer P. J. & Dorsey R. J. 1997, Translation of terranes: Lessons from central Baja California, *Mexico Geology*; v. 25; no. 11; p. 1007–1010.

Umhoefer, P.J., 2011, Why Did the Southern Gulf of California Rupture So Rapidly? Oblique divergence across hot, weak lithosphere along a tectonically active margin: *GSA today*, v. 21, no. 11, p. 4-10, doi: 10.1130/G133A.1.

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).

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, Stratigraphic sections of the northern Baja California field area. En: P.L. Abbott (editor), *Upper Cretaceous Depositional Systems, Southern California-Northern Baja California (field trip) April 18-21, 1984*: Los Angeles CA, Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 36, p.121-140.

Ziegler & Cloetingh, 2004, Dynamic processes controlling the evolution of rifted basins. *Earth Science Reviews*, v. 64, doi: 10. 1016/S0012-8252(03)00041-2, p. 1-50.



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



| UNIDAD LITOLOGICA | LITOLÓGICA |
|-------------------|---|
| Qal Qsr Qta | Depósitos recientes, Aluvión, Suelos residuales. |
| Tsd-og | Conglomerado heterotológico. |
| Tri-b-a | Miembro superior, Basaltos |
| Tri-br | |
| Tri-br | Miembro inferior, basaltos y brechas volcánicas y depósitos piroclásticos. |
| Tri-ba | |
| Kra-ar | Miembro Superior Unidad de areniscas, limolitas y tobos. |
| Kir-og | Miembro Conglomerados heterotológicos inferior |
| Ka-ig | Ignimbritas de coloración pardo-morada, con una matriz fina con filicos que van de angulosos a subredondeados y de tamaño variable. |
| Ka-ly | |

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructura primaria

- Vesicular
- Brecha
- Masivo
- Bloques
- Lajas
- Lajas

Estructura secundaria

- Superficie de deslizamiento
- Rancho y estado
- Fractura local
- Fallo de derrames
- Falla normal
- Falla lateral
- Falla con mecanismo combinado
- Estrato horizontal
- Continuidad de la falla
- Lineamiento

VÍAS DE COMUNICACIÓN

Caminos

- Camino
- Carretero
- Cruce/Estaciones

Carretera

- Acceso
- Actual libre 2C)
- Actual libre 4C)
- En operación (costa 4C)

HIDROLOGÍA

- Corriente de agua
- Cuerpo de agua

LOCALIDADES

- Localidad rural
- Localidad urbana

Curva de nivel (INEGI)

- Maestra
- Intermedia

GEOLOGÍA

Contorno litológico

- Qal
- Qsr
- Qta
- Tsd-og
- Tri-b-a
- Tri-br
- Tri-ba
- Tri-la
- Tri-lr
- Kra-ar
- Kir-og
- Ka-ig
- Sin información

NOTA

La equidistancia entre curvas de nivel 1:25 000, es a cada 20 m. En tanto que, la cuadría UTM es cada 100 m y el datum es WGS84 en la zona 13 Norte.



Tesis: Análisis estratigráfico y estructural de la región Salsipuedes, Baja California.

PLANO: Mapa estratigráfico y estructural de la región Salsipuedes, Baja California.

ESCALA: 1:25 000 Elaboró: Muñoz Hernández Selene Sarai MÉXICO D.F., 2015

