



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática

Décima promoción

“Análisis Espacial para determinar la Susceptibilidad a Fenómenos geológicos en la zona costera Veracruzana, para el emplazamiento de Plantas energéticas: Caso de estudio, porción sur del Estado”.

Ponente: Francisco Noé Popoca Vázquez

COMITÉ:

Tutor Académico: Dr. Alexis Ordaz Hernández

Tutor Adjunto 1: Dra. Norma Angélica Dávila Hernández

Tutor Adjunto 2 (Externo): Mtro. Raúl Eduardo Murillo Olvera



RESUMEN

La presente investigación, forma parte de un proyecto del Centro Mexicano de Innovación en Energía (CEMIE-OCEÁNO), con un fondo sectorial CONACYT-SENER y liderado por el instituto de Ingeniería de la UNAM. De este proyecto se desprenden diversas líneas de trabajo, por tanto, este trabajo surge bajo la línea de investigación denominada: “Evaluación geólogo-geomorfológica detallada de sitios potencialmente idóneos para el emplazamiento de plantas energéticas en la Zona Costera Veracruzana”.

La tesis en particular ofrece un consistente apoyo en materia de análisis de peligros geológicos y especialmente frente a deslizamientos y desprendimientos. Este producto deberá contribuir significativamente a la selección de emplazamientos seguros para la ubicación de plantas generadoras de energías para el área de estudio o a la adopción de medidas de prevención según sea el caso y de acuerdo con las características particulares de cada zona.

Para el caso de los deslizamientos, se observó que en general las cuatro áreas representan zonas seguras para la construcción de este tipo de plantas de energía. Sólo en Montepío hay una pequeña porción al NW que no sería muy factible para la construcción de este tipo de obras. En Balzapote, una pequeña porción al centro representa una susceptibilidad alta, pero no representa un peligro debido a que la construcción de este tipo de plantas es sobre la línea de costa.

En el caso de los desprendimientos, se observó que las cuatro áreas representan una susceptibilidad media - muy alta en todos los casos, por lo cual es importante que a la hora de construir estas plantas se ubiquen dentro de las zonas seguras existentes que se plasmaron en los mapas, o bien, se tomen medidas que ayuden a mitigar los efectos dañinos de este tipo de eventos.

KEYWORDS: susceptibilidad, peligros geológicos, deslizamientos y desprendimientos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL	4
1.1 Antecedentes	4
1.1.1. <i>Las energías alternativas</i>	4
1.1.2. <i>Energías Oceánicas</i>	4
1.1.3. <i>Análisis de peligros geológicos en la zona costera de Veracruz</i>	7
1.2. Marco teórico	12
1.2.1. <i>Metodologías en el análisis de los movimientos gravitacionales con énfasis en zonas acantiladas</i>	12
1.3. Marco conceptual	14
1.4. Marco jurídico	18
1.4.1. <i>Leyes y reglamentos que definen espacios territoriales</i>	18
1.4.2. <i>Leyes y reglamentos que definen espacios territoriales procesos de planeación y ordenación del territorio</i>	23
1.4.3. <i>Leyes y reglamentos relacionados con infraestructura</i>	24
1.4.4. <i>Leyes y reglamentos relacionadas con actividades no extractivas</i>	25
1.4.5. <i>Leyes y reglamentos relacionados con uso, conservación y aprovechamiento de recursos vivos y no vivos</i>	29
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA	30
2.1. Área de estudio	30
2.2. Aspectos físico-geográficos	31
2.2.1. <i>Clima</i>	31
2.2.2. <i>Fenómenos meteorológicos extremos</i>	33
2.2.3. <i>Geomorfología</i>	34
2.2.4. <i>Geología</i>	36
2.2.5. <i>Hidrología</i>	39
2.2.6. <i>Elementos Socioeconómicos</i>	43
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.1 Trabajo de gabinete	45
3.2. Trabajo de campo	48
3.3. Ponderación e Integración de la información	48

CAPÍTULO 4. RESULTADOS	53
4.1. Cartografía de susceptibilidad de deslizamientos	53
4.1.1. Mapas temáticos vinculados al análisis de deslizamientos.....	53
4.1.2. Mapas de susceptibilidad a los deslizamientos	67
4.2. Cartografía de susceptibilidad a los desprendimientos	73
4.2.1. Mapas temáticos vinculados al análisis de desprendimientos	73
4.2.2. Mapas de susceptibilidad a los desprendimientos.....	77
CONCLUSIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra es un cuerpo dinámico en constante movimiento, el cual, desde su origen, ha pasado por diversos eventos geológicos que lo han transformado, tal como lo propuso James Hutton (1785) en su principio del uniformitarismo, que afirma: *-La Tierra desde su formación, ha sufrido distintos procesos geológicos que han generado y moldeado el paisaje terrestre, tales fenómenos han sido y serán cíclicos-*.

Caballero (2016), sostiene que los procesos geológicos, según su naturaleza, se pueden clasificar en procesos geológicos endógenos (tectónicos) y exógenos (procesos sedimentarios modeladores del relieve), que afectan todo el planeta y representan amenazas constantes para la población. La sociedad está en continuo crecimiento y construye asentamientos urbanos en zonas que la hacen susceptible a distintos peligros geológicos, esto, debido a la falta de un plan de ordenamiento territorial eficaz que prevea estos eventos.

El Estado de Veracruz se localiza al sureste de la República mexicana y representa un 3.7% de la superficie total del territorio nacional (INEGI, 2014), abarcando en su zona costera una porción importante del Golfo de México. Esta zona desde el punto de vista geológico es una franja en que las características morfológicas, dinámicas; así como su evolución, están regidas por la interacción constante entre la plataforma marina y continental (Correa, 2013). Geográficamente entonces, es de suponer que la franja costera es susceptible a diferentes procesos geológicos como deslizamientos, subsidencias, sismos, inundaciones, fallas, erosión y diapirismo, además de procesos geoquímicos como intemperismo físico, químico y biológico.

Como anteriormente se expuso los escenarios costeros son espacios geográficos muy complejos. Pero al mismo tiempo muy ricos, no solo en biodiversidad; sino también debido a las fuentes de energía que pueden proporcionar. Estas últimas provenientes del oleaje, mareas, además de la salinidad. La combinación de todos estos elementos establece un reto para el adecuado uso de estos espacios geográficos.

Justamente, la presente investigación forma parte de un proyecto conjunto entre el Centro Mexicano de Innovación en Energía-Océano (CEMIE-OCEÁNO), mediante un fondo sectorial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Secretaría de Energía (CONACYT-SENER), liderado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Del proyecto antes mencionado, se desprende una línea de investigación denominada: **PROYECTO (LT-EIA-03-01) “Evaluación geológico-geomorfológica detallada de sitios potencialmente idóneos para el emplazamiento de plantas energéticas en la Zona Costera Veracruzana”**. Esta línea transversal, puntualmente se enfoca en el estudio de prefactibilidad del emplazamiento seguro de los prototipos de plantas generadoras de energía undimotriz. Para este estudio, se empleará un enfoque disciplinario de la geografía física y ambiental, donde se considerarán parámetros cuantitativos y cualitativos.

De acuerdo a lo antes mencionado, el objetivo principal de este trabajo será evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de peligros geológicos en la zona costera veracruzana. Para lograr el objetivo expuesto, el investigador empleará técnicas de levantamientos geológicos de campo, así como herramientas de análisis espacial; Sistemas de Información Geográfica (SIG). Lo anterior, con la finalidad de reconocer los peligros geológicos presentes en la zona, identificar sus causas y posibles consecuencias, en un primer momento. En segunda instancia, se elaborarán recomendaciones que ayuden a mitigar los efectos dañinos en los sitios sugeridos para la futura ubicación de plantas generadoras de energías alternativas (mareomotriz).

Dentro de la zona costera de Veracruz, los trabajos se enfocarán en los sitios: Roca Partida, Playa Hermosa, Montepío y Balzapote. Sitios ya preseleccionados en una etapa previa del proyecto de investigación antes citado. Se pretende, en los citados sitios, realizar un análisis detallado de susceptibilidad a deslizamientos y desprendimientos, como principales fenómenos geológicos que pudieran afectar el uso del sitio en el futuro emplazamiento de tecnologías generadoras de energía marina.

Objetivo General:

Evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de peligros geológicos en los puntos conocidos como; Roca Partida, Playa Hermosa, Montepío, así como Balzapote; esto, con la finalidad de sugerir sitios óptimos para la futura ubicación de plantas generadoras de energía Oceánica (Undimotriz).

Objetivos específicos:

- Caracterización física-geográfica del área de estudio
- Definir los fenómenos geológicos que pueden afectar el sector de la zona costera seleccionada, mediante recopilación bibliográfica y levantamientos de campo.
- Definir las variables físicas que influyen en los fenómenos geológicos identificados.
- Elaborar la cartografía temática para cada variable física. (Mapas de inventario).
- Elaborar mapas de susceptibilidad a la ocurrencia de los fenómenos geológicos identificados, mediante la combinación de mapas temáticos. (Multicriterio).
- Integrar los diferentes mapas de susceptibilidad obtenidos, con la finalidad de delimitar espacialmente los sitios menos propensos a la ocurrencia de peligros geológicos, sitios que, inicialmente serán propuestos para la futura ubicación de plantas generadoras de energía oceánica.
- Mapas de susceptibilidad a diferentes procesos gravitacionales (deslizamientos y desprendimientos) relacionados con la estructura geológica y las características litoestratigráficas del subsuelo local.

CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes.

A partir de los objetivos de la tesis, los antecedentes se enfocarán en dos ámbitos. Primeramente, se realizará un breve resumen del comportamiento del uso de las energías alternativas con especial énfasis en México. Posteriormente, los antecedentes abordarán los fenómenos gravitacionales, especialmente deslizamientos y desprendimientos en la zona costera de Veracruz.

1.1.1 Las energías alternativas.

En el planeta, han existido diversas iniciativas internacionales, las cuales apoyan el uso de energías sostenibles, entre las cuales destacan:

- ✓ La iniciativa latinoamericana y caribeña para el desarrollo sostenible (2002)
- ✓ Renewable energy and energy efficiency partnership (REEEP, 2002)
- ✓ Coalición de Johannesburgo sobre energía renovable (2003).
- ✓ Conferencia Mundial sobre Energías Renovables (2004)

Las energías alternativas en México representan una respuesta importante a la demanda generalizada de un modelo sustentable de progreso que no afecte a generaciones futuras. La Secretaría de Energía (2006), sostiene que los beneficios económicos de las energías renovables han adquirido creciente relevancia, pues éstas, contribuyen a reducir los riesgos asociados con la volatilidad de precios, diversificando el portafolio energético, además de reducir el impacto ambiental e impulsar el desarrollo sustentable en el país.

1.1.2. Energías Oceánicas

En función del objeto de trabajo en esta tesis, donde se pretende analizar en detalle sitios predefinidos para el emplazamiento de infraestructura generadora de energía a partir de la

incidencia del mar, se hará a continuación un breve resumen de las citadas fuentes de energías proveniente del océano.

Energía Mareomotriz

Álvarez, en 2014 realiza una propuesta metodológica para aprovechar la energía generada por las mareas (mareomotriz) en México, realiza además un análisis del funcionamiento de las diversas tecnologías disponibles para su obtención, así como las ventajas que otorgarían tanto por cantidad de energía que podría obtenerse como por su bajo impacto socioeconómico. Sostiene que actualmente la implementación y desarrollo de medios para la obtención de energía de manera renovable o “limpia” se ha convertido en un área de interés a nivel mundial por el efecto del ritmo de vida actual produce sobre el medio ambiente. Álvarez menciona algunos prototipos como lo son:

- Rotech Tidal Turbine
- Smdhydrovision Tidel Proyect
- AWS - Archimedes Wave Swing
- Oyster
- Ocean Power Technologies
- Hidroflot
- Seaflow

Álvarez menciona que en México actualmente no se cuenta con este tipo de tecnología y que sería muy viable emplear este tipo de energía en el Golfo de California, debido a que el tiempo que tarda en subir y bajar la marea, es el mismo de la onda de marea en ir y regresar hasta el fondo del golfo, sobre todo en puerto peñasco que cuenta con una diferencia entre mareas de 8 metros.

Entre las ventajas que menciona Álvarez resalta que; las centrales que ocupan estas plantas presentan las mismas características convencionales de cualquier central hidroeléctrica, además que responden de forma rápida a los cambios de carga, generando así energía libre

de contaminación. Sin embargo, este tipo de plantas presentan también algunas desventajas como lo son; que los lugares óptimos suelen ser poco accesibles, además que los costos suelen ser altos y están en función del tipo del método o la instalación que se ocupe.

Energía Undimotriz

Por su límite con el Océano Pacífico, México tiene un potencial muy importante de desarrollar la energía producida por olas del mar, por lo que podría convertirse en el primer país en América en impulsar este sector. La empresa finlandesa AW-Energy Wave Roller, negocia actualmente con el gobierno federal y local para desarrollar un proyecto piloto de energía por olas del mar en Baja California, lo que permitiría a México lanzarse en el mercado de tecnologías limpias y ser pionero en el continente americano en este negocio energético.

El potencial de la energía por olas del mar en México es igual o mayor a la energía solar y eólica, ya que el potencial de esta energía en el Pacífico es de siete gigawatts, por lo que ya iniciaron a principios de este año, discusiones con distintas autoridades federales, estatales y municipales para un proyecto de 20 megawatts, lo que se traduce en la construcción de 60 unidades en el estado de Baja California. Esto significaría una inversión de 50 a 60 millones de dólares para este proyecto piloto que podría eventualmente transformarse en una nueva industria de energía limpia en todo el Pacífico. Con un megawatt producido se puede alimentar entre 500 y 600 casas, por lo que con el proyecto propuesto de 20 megawatts estamos hablando de alimentar de 10 mil a 12 mil casas.

Energía Termohalina

Circulación termohalina son los movimientos internos de agua en el océano profundo ocasionados por las diferencias de densidad de las masas de agua que se ordenan las menos densas sobre las más densas. Su nombre deriva del hecho de que la densidad del agua de mar está determinada por la temperatura y la salinidad. Es una característica importante del

presente estado climático oceánico ya que permite el intercambio de calor y gases de efecto invernadero a través del interior del océano.

Hasta el momento, los estudios e implementación de tecnologías para el aprovechamiento de la energía termohalina es limitado en México.

1.1.3. Análisis de peligros geológicos en la zona costera de Veracruz.

Peligros geológicos en Veracruz

Las erupciones volcánicas, temblores, hundimientos del terreno, deslizamientos de tierra y flujos de lodo, son fenómenos naturales que han ocurrido a lo largo de la historia geológica del estado de Veracruz (Rodríguez-Elizarrarás y Morales-Barrera, 2010; Rodríguez et al., 2009; Rodríguez et al., Inédito) y en muchos aspectos son inevitables y algunos de ellos, imprevisibles; sin embargo, las transformaciones al entorno hechas por el hombre influyen de manera determinante en su agravamiento. Entre las alteraciones de mayor impacto al medio ambiente se encuentra la deforestación, especialmente en las zonas altas, la cual ha provocado un incremento considerable de sedimentos disueltos en el agua de los ríos, resultado de la intensa erosión de suelos y rocas.

Otros aspectos de origen antrópico que influyen de manera determinante en el impacto ambiental son: uso inadecuado del suelo, cortes inestables de talud; obras de infraestructura como carreteras, presas, fraccionamientos, centros comerciales, tuberías de drenaje en mal estado, fugas de fosas sépticas y descargas de aguas negras en arroyos, ríos y “resumideros”. Estos factores, en combinación con fenómenos destructivos de origen natural, entre los que destacan los hidrometeorológicos, contribuyen a la ocurrencia de desastres de consecuencias catastróficas para los habitantes del estado de Veracruz.

El objetivo del Atlas de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos del estado de Veracruz (Mora, I. *et. al.* 2015), es integrar la información cartográfica del estado de Veracruz, tanto la de carácter básico que incluye curvas de nivel, hidrología, ubicación de poblaciones y

toponimia, así como la especializada, que consiste en mapas de peligros geológicos e hidrometeorológicos tales como: deslizamiento, hundimiento, licuefacción, vulcanismo, curvas de microzonificación sísmica, trayectoria de huracanes y zonas de inundación. Toda esta información se incorpora a un Sistema de Información Geográfica, lo que permite su actualización permanente.

La aplicación de la información derivada del Atlas de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos del estado de Veracruz, puede ser utilizada para la realización de estudios más detallados, los cuales deben tener como finalidad la determinación de los peligros a escalas locales, y en una etapa más avanzada, la cuantificación del riesgo. Este último aspecto, implica la evaluación de parámetros como vulnerabilidad y grado de exposición en zonas específicas, así como la ubicación de instalaciones de servicios vitales y estratégicos.

El movimiento de laderas o procesos de remoción en masa es el peligro geológico que presenta mayor grado de recurrencia en el Estado de Veracruz. Dentro de los principales factores que condicionan la inestabilidad de laderas en el estado se tienen: una compleja topografía, rocas intensamente fracturadas y falladas, alternancia de lutitas y areniscas, rocas intrusionadas por diques, potentes espesores de suelo, escurrimientos y una intensa erosión.

Por su parte, los principales factores desencadenantes son: la intensa precipitación pluvial o lluvias extraordinarias y la influencia de la actividad humana; entre los segundos puede mencionarse la modificación de la pendiente natural para uso agrícola o habitacional, la deforestación y los cortes inadecuados en los taludes de las carreteras y caminos secundarios. Los tipos de movimientos de ladera más frecuentes en el estado son: deslizamientos rotacionales y traslacionales, caídos de roca o derrumbes, volteos y flujos.

Con la finalidad de poder determinar con mayor detalle las zonas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de laderas, protección civil dividió al Estado en tres zonas: Zona norte, zona centro y zona sur. La primera, abarca desde Pánuco hasta Martínez de la

Torre, la segunda de Tlapacoyan a Tres Valles y la tercera de Alvarado a Las Choapas. A partir de esta división se generó un mapa para cada región, los cuales muestran las zonas con diferentes niveles de peligro, expresados de forma cualitativa en; muy alto, alto, medio y bajo (Protección civil de Veracruz 2017). Las Figuras muestran el porcentaje territorial que abarca cada grado de peligro y las tablas el número de municipios que caen en las diferentes zonas (**Figuras 1.1, 1.2 y 1.3**).

PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA ZONA NORTE

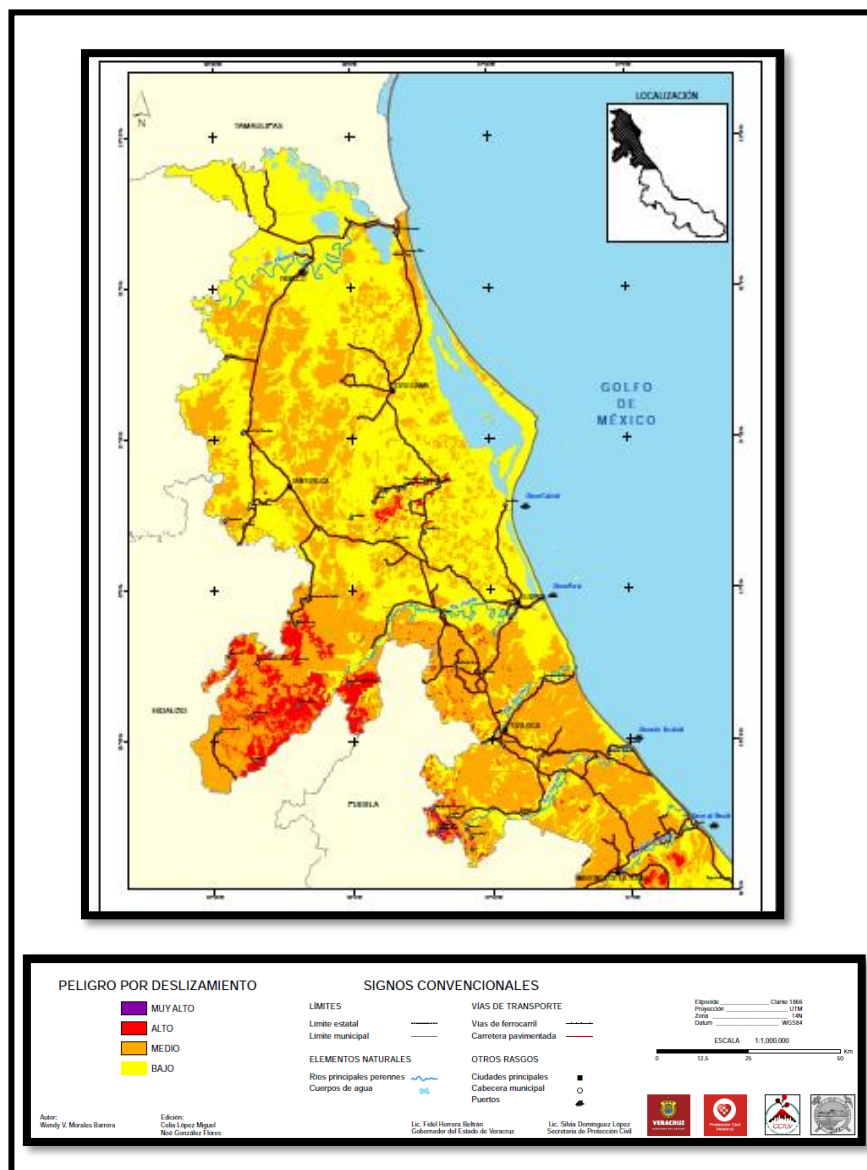


Figura 1.1. Peligro por deslizamiento en zona norte de Veracruz

Tomado de Protección civil de Veracruz (2017) escala 1: 1, 000,000.

PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN ZONA CENTRO

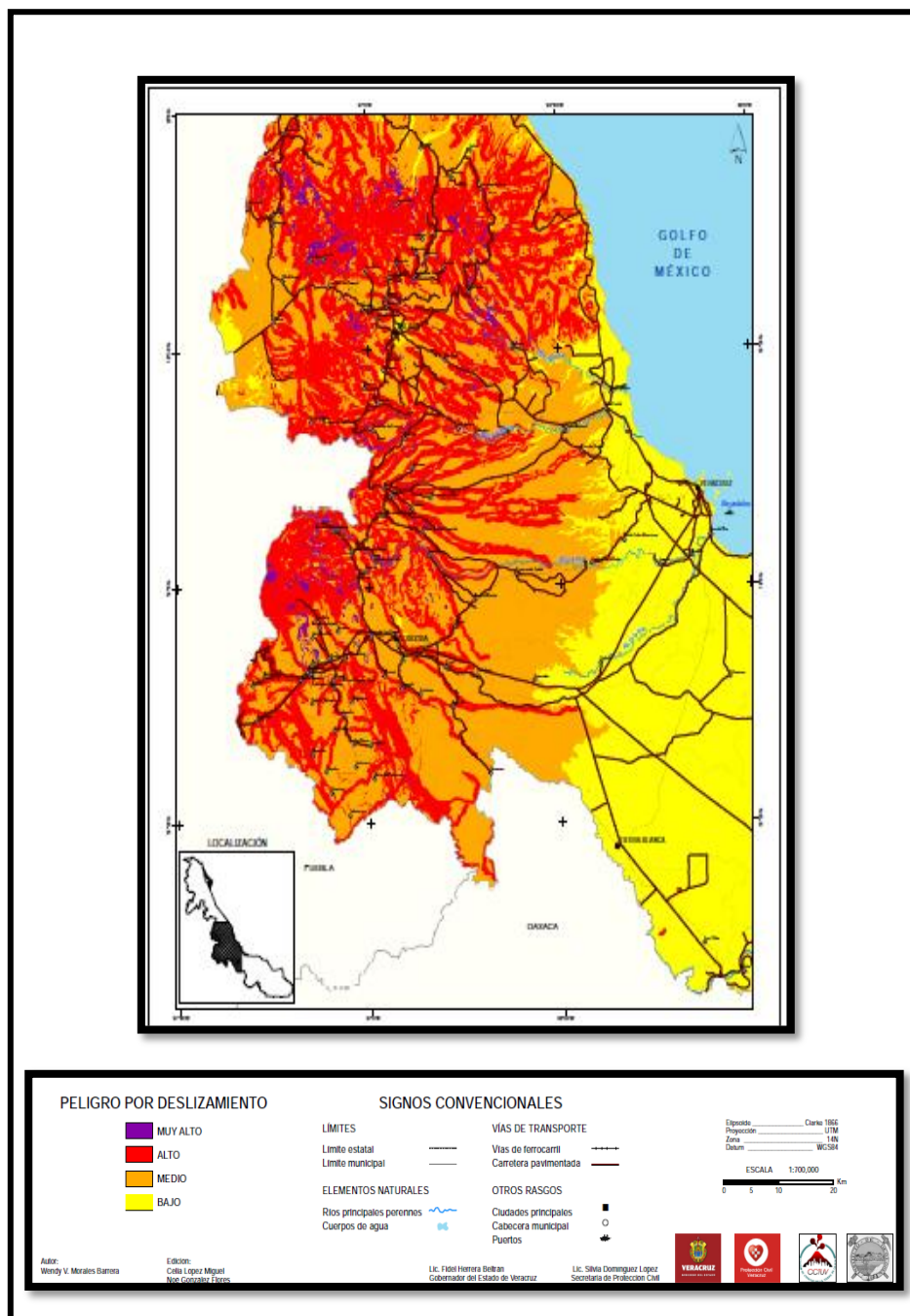


Figura 1.2. Peligro por deslizamiento en zona centro de Veracruz.

Tomado de Protección civil de Veracruz (2017) escala 1: 700,000.

PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN ZONA SUR

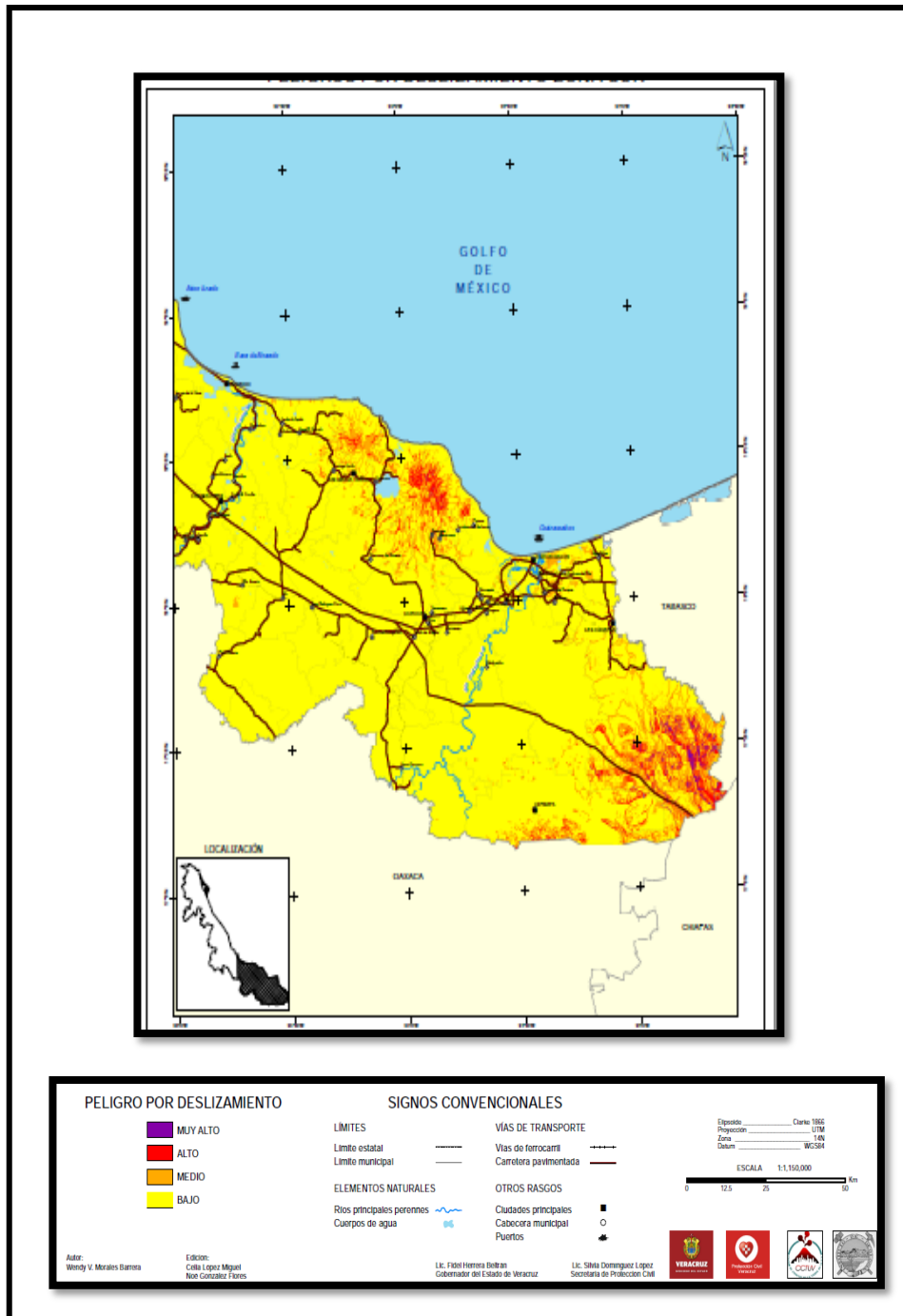


Figura 1.2. Peligro por deslizamiento en zona sur de Veracruz.

Tomado de Protección civil de Veracruz (2017) escala 1: 1, 150,000.

1.2. Marco teórico.

1.2.1. Metodologías en el análisis de los movimientos gravitacionales con énfasis en zonas acantiladas.

A partir de la revisión de antecedentes, el levantamiento de campo y del tiempo disponible dentro del cronograma de la maestría. Se definió a **los movimientos gravitacionales (deslizamientos y desprendimientos)**, los procesos geológicos a tratar en esta tesis. Evidentemente, no son los únicos eventos de índole geológica que afectan los sitios de estudios preseleccionados (Roca Partida, Playa Hermosa, Montepío y Balzapote). Pero si constituirá un aporte significativo, luego que en etapas posteriores del proyecto (LT-EIA-03-01), se conjuguen los resultados alcanzados en este trabajo, con los análisis de otros peligros naturales que paralelamente se están realizando.

Atendiendo a lo anterior, el marco teórico estará dirigido a explicar la evolución reciente de las metodologías dedicadas a los estudios de movimientos gravitacionales. Los últimos, con énfasis en zonas acantiladas.

A partir de una revisión bibliográfica, se lograron definir las técnicas y métodos más empleadas en los análisis de deslizamientos y desprendimientos, las que conformaron un importante referente para la elaboración de la metodología de esta investigación.

En 1983, Hsü acuña un principio geológico denominado “Principio de la simultaneidad de eventos”, el cual sostiene que *-La historia geológica de la Tierra, se ha caracterizado por un cambio gradual y pausado a lo largo de grandes periodos de tiempo, pero dichos periodos, han sido interrumpidos por eventos bruscos y de gran magnitud, que han afectado simultáneamente a todo el planeta-*.

Considerando este principio, Bryant (2005), propone una clasificación para los riesgos naturales generados a partir de estos eventos. Propone dos tipos: geológicos y climatológicos. En los riesgos geológicos contempla: Erupciones volcánicas, terremotos, maremotos, subsidencia, deslizamientos, plegamientos y fallas. Mientras que para los

climatológicos menciona: Precipitaciones intensas, huracanes, tornados, tormentas, tormentas de arena, sequías, incendios, oleaje y cambios en el nivel del mar.

Desde el punto de vista geológico, la zona costera es una franja en la que diversas características como la morfología, dinámica y evolución están regidas por la interacción de agentes marinos (oleaje, mareas y corrientes marinas) y continentales (vientos, ríos y glaciares). Por lo tanto, estas zonas pueden ser afectadas por procesos como deslizamientos, subsidencias, sismos, inundaciones, fallas, índice de erosión.

Correa (2013), realizó un trabajo de estudios de caso denominado: Manual de Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral. En el que destaca el estudio de la zona costera del Atlántico Europeo. En este caso de estudio propone una metodología mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), esto, con el fin de elaborar mapas temáticos en los que se visualizó los diferentes usos del territorio y los cambios a través del tiempo. Posteriormente, los integró y determinó así la exposición al peligro. Además, calculó las cotas de inundación futuras a partir de la altura y periodo del oleaje en relación con la pendiente de la playa, considerando tasa actual de ascenso del nivel medio del mar, así como la aceleración de esta misma.

Múltiples autores han abordado la temática de los peligros geológicos en escenarios costeros (Correa, 2013, Friess, 2013, Álvarez, 2014), desde diversos enfoques.

En 2017, protección civil del estado de Veracruz, realizó un atlas de peligros geológicos e hidrometeorológicos que afectan o han afectado al estado, utilizando sistemas de información geográfica, delimitando así, zonas susceptibles a fenómenos como procesos de remoción en masa, sismos, vulcanismo, huracanes e inundaciones.

En la **tabla 1** se realiza un resumen de todos ellos, presentando los métodos empleados y los resultados alcanzados.

Tabla 1. Algunos trabajos que abordan los riesgos geológicos en zonas costeras.

Correa, 2013	Análisis mediante SIG	Determinó la exposición al peligro por inundación, en la zona costera del Atlántico Europeo
Friess, 2013	Tecnología LiDAR	Calculó la velocidad de retroceso de los acantilados costeros, así como el volumen del material erosionado
Álvarez, 2014	Estudio de prefactibilidad, estudio de impacto ambiental.	Propone un sitio para construir una planta mareomotriz en Puerto Peñasco, Golfo de California
Protección civil Veracruz, 2017.	Análisis de peligros geológicos e hidrometeorológicos en el Estado de Veracruz mediante SIG.	Mapas de susceptibilidad a peligros geológicos e hidrometeorológicos en Veracruz.

1.3. Marco conceptual

El riesgo, se refiere a la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una amenaza o peligro; entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores (CENAPRED, 2014).

El riesgo, se puede definir también como la probabilidad de que se produzcan pérdidas humanas o materiales debido a la ocurrencia de un evento catastrófico. En este contexto, podemos dividir los riesgos en dos grupos: Naturales y antrópicos. Los riesgos naturales, son todos aquellos que se originan a partir de procesos cíclicos y continuos originados por procesos naturales y dinámicos del planeta. Los riesgos antrópicos, son aquellos que se

originan a partir de actividades con las cuales el hombre interfiere, alterando así, los procesos naturales del planeta (Correa, 2013).

Por su parte González (2002), define los *Riesgos Geológicos* como los procesos geodinámicos, que afectan a la superficie terrestre y dan lugar a movimientos del terreno de diferente magnitud y características, los cuales pueden afectar de una forma directa o indirecta, las actividades humanas que se realizan normalmente.

La susceptibilidad

La susceptibilidad se refiere a cuando una zona determinada, puede ser más favorable para la ocurrencia de un peligro dado, sin tomar en consideración los periodos de retorno. Las categorías utilizadas regularmente para estudios de susceptibilidad son: 1) Muy Alta (existen condiciones muy favorables y hay varios eventos registrados), (2) Alta (existen condiciones favorables y hay eventos esporádicos registrados), (3) Moderada (existen algunas condiciones favorables) y (4) Baja/Nula (zona muy poco favorable) (Rauld, *et. Al* 2015)

La peligrosidad

La peligrosidad, según se ha definido, puede expresarse como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de determinada intensidad en un lapso de tiempo dado, pero también se puede expresar a partir del periodo de retorno T (años transcurridos entre 2 eventos o procesos de semejantes característica), que es la inversa de la probabilidad anual de excedencia, P:

$$T = 1/P$$

La probabilidad de P de que un valor determinado de intensidad (un valor de aceleración en caso de terremotos) correspondiente a un periodo de retorno medio T (años) sea excedido durante un periodo de tiempo determinado t se expresa como:

$$p = 1 - (1 - 1/T)^t$$

El tiempo t (años) puede ser el tiempo de vida de una presa o de un edificio, esto es, el tiempo de exposición o periodo de vida de la estructura.

La vulnerabilidad

La vulnerabilidad (V), es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno; suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños.

Por último, los elementos expuestos pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona.

Sobre las clasificaciones de los riesgos geológicos

En general los riesgos naturales se pueden clasificar en dos grandes grupos: Geológicos y Meteorológicos. Dentro de los riesgos geológicos se contemplan: Terremotos, deslizamientos y riesgos volcánicos. Para los riesgos meteorológicos se consideran: Ciclones, tornados, inundaciones y avalanchas (UNDRO, 1980).

Bryant (2005), en su libro "Introduction to Natural Hazards", propone una clasificación para los riesgos naturales, de acuerdo a su origen. De acuerdo a esto, el propone, que estos riesgos pueden ser de dos tipos: geológicos y climatológicos. En los riesgos geológicos contempla: Erupciones volcánicas, terremotos, maremotos, subsidencia, deslizamientos, plegamientos y fallas. Mientras que para los climatológicos menciona: Precipitaciones intensas, huracanes, tornados, tormentas, tormentas de arena, sequías, incendios, oleaje y cambios en el nivel del mar.

Mientras que Caballero (2016), hace una clasificación de los riesgos geológicos, los clasifica de acuerdo a su origen en: Geomorfológicos, tectónicos y ambientales por exposición a materiales geológicos dañinos.

Geomorfológicos: En estos, engloba los riesgos originados por subsidencias, inestabilidad de laderas, inundaciones y fluctuaciones costeras. Se le denomina subsidencia al colapso de un bloque de superficie terrestre, debido a un hueco en el subsuelo, el cual puede ser debido a causas naturales como karsticidad, sin embargo, puede originarse debido a obras ingenieriles hechas por el hombre, como, por ejemplo, la minería.

La inestabilidad de laderas tiene que ver con la ausencia de estabilidad de cierto material geológico en un área determinada, para esto, incluyen varios factores como lo son: pendiente del terreno, naturaleza del sustrato rocoso, relación contenido de agua vs movilidad del material y vegetación. Generalmente para que exista esta inestabilidad, debe existir cierto factor detonante como lo pueden ser: sismos, explosiones y aumento del nivel de agua.

Las inundaciones, tiene que ver con el incremento atípico en el nivel medio del agua, que afecte construcciones o ponga en peligro la vida de las personas. Este fenómeno se lleva a cabo cuando se presentan fenómenos de gran magnitud como tormentas, huracanes, tifones y derretimiento de nieve.

Las fluctuaciones costeras se refieren a levantamientos, hundimientos, erosión de la línea de costa, etc. Estos eventos, pueden deberse a fenómenos meteorológicos y tectónicos. Los Riesgos tectónicos, se refiere a los riesgos causados debido a procesos internos de la Tierra, derivados de la dinámica terrestre, que hace que las placas tectónicas estén en constante movimiento. Un ejemplo de estos fenómenos, son los terremotos, los cuales, son causados en los distintos límites de placas tectónicas existentes y, de acuerdo a su naturaleza los podemos clasificar en; someros y profundos. Cabe mencionar que la composición del sustrato rocoso determinara la magnitud y, por ende, los efectos dañinos causados por este fenómeno.

Dentro de este grupo, se incluyen también a los Tsunamis, que son olas de gran magnitud, las cuales, son generadas por sismos en el interior de la corteza oceánica, que generan oleaje intenso y de gran altura, que pueden afectar significativamente los asentamientos humanos establecidos en los límites de las zonas costeras, originando grandes pérdidas materiales y humanas.

El Riesgo Volcánico, está ligado a la actividad generada por edificios volcánicos activos, los cuales, dada su naturaleza, pueden tener distintas composiciones magmáticas y de esto derivará su peligrosidad. Composiciones más ácidas generaran eventos mayormente catastróficos como lo son caída de cenizas y flujos piroclásticos con columnas eruptivas de más de 20 km, los cuales provocan avalanchas y lahares que viajan a velocidades que oscilan los 300 m/s. Estos fenómenos, hacen latente el riesgo de sepultamiento, asfixia, cambio en el clima, etc.

Los Riesgos ambientales, se refiere a los efectos dañinos que cierto material geológico puede causar al medio ambiente o al hombre, debido a la acumulación de sustancias tóxicas en su composición, las cuales al entrar en contacto con el ambiente (agua, suelo), pueden causar daños a la salud de los integrantes de una población. Por ejemplo, la acumulación de As en agua y suelo, la cual puede deberse a la presencia del mineral llamado Arsenopirita. El As puede causar grandes daños al medio ambiente aun en cantidades muy pequeñas, mayores a 0.025 ppm.

1.4. Marco jurídico

1.4.1. Leyes y reglamentos que definen espacios territoriales

El derecho internacional se usa desde que Jeremías Bentham lo empleó en 1789. Es el conjunto de normas jurídicas que regula las relaciones de los Estados entre sí, el conjunto de normas jurídicas reguladoras de las relaciones entre los sujetos de la comunidad internacional o el conjunto de normas jurídicas que regulan las relaciones entre los Estados y organizaciones internacionales.

Su función es triple, establecer los derechos y deberes de los Estados en la comunidad internacional; determinar las competencias de cada Estado y reglamentar las organizaciones de carácter internacional. El territorio es la parte de la superficie terrestre perteneciente a una nación, región, provincia, etc. Es el territorio sobre el cual el Derecho Internacional reconoce a un Estado la soberanía. Es la zona geográfica limitada que pertenece a un Estado conforme a las normas jurídicas del derecho internacional y que comprende tres espacios, terrestre, marítimo y aéreo.

Sus elementos son:

1. Al establecer que el territorio estatal es la zona geográfica, significa que es la porción del globo terráqueo del planeta tierra. Es decir, la parte medular del territorio.

2. Se habla de que la zona geográfica es limitada, hay linderos terrestres, marítimos y aéreos en los que se marca el término de la potestad de cada Estado y donde empieza la potestad de otro Estado.

3. El territorio pertenece a un Estado, esa porción territorial se le atribuye a él, se trata de su territorio y no de otro Estado u otros.

4. El territorio de un Estado se delimita por normas jurídicas de derecho interno y no por normas de derecho internacional.

Partes integrantes del territorio

a. Parte terrestre. Se integra por las tierras emergidas, subsuelo, aguas y lechos de ríos y lagos nacionales.

b. Espacio marítimo nacional. Integrado por las zonas del mar.

c. Espacio aéreo nacional. Formado por las zonas atmosféricas sobre la tierra y aguas nacionales y sobre el espacio marítimo nacional.

Soberanía territorial

Es un concepto polémico, nació a finales de la edad media como sello distinto del Estado nacional, resultado de luchas entre el rey francés y el imperio, el papado y los señores feudales; nació un poder que no reconocía a otro superior o por encima de él. Es la instancia última de decisión, es la libre determinación de orden jurídico, aquella unidad decisoria que no está subordinada a ninguna otra entidad decisoria universal y eficaz.

La soberanía territorial es el conjunto de los poderes que el Estado ejerce sobre su propio territorio. El Estado ejerce facultades jurisdiccionales sobre su territorio, rige el principio de inmunidad de jurisdicción que se manifiesta por una imposibilidad de actuación directa de los jueces de otros países, lo único que pueden proporcionar los jueces nacionales a otros países es la ayuda judicial en notificaciones, emplazamientos, exhortos, etc. La soberanía territorial es el poder de actuación exclusiva que el Estado tiene sobre un territorio, con los únicos límites que el Derecho Internacional haya fijado.

Fronteras

Un Estado, al determinar su jurisdicción territorial, establece linderos que separan su territorio de sus vecinos, a partir de que parte de su territorio va a ejercer su soberanía mediante la fijación de las fronteras y alude a los confines de un Estado, formado por los términos o rayas que dividen las poblaciones, provincias o reinos y señala los límites de cada uno. Es el punto de partida, línea, señal, ya sea natural o material que divide el territorio de un Estado con otro; de qué parte a qué parte le pertenece un territorio a un Estado y qué parte le corresponde a otro. La frontera es la línea determinante de los límites del territorio terrestre y acuático del Estado, la imaginaria superficie vertical que pasa por esta línea constituye la frontera del espacio aéreo y del subsuelo del Estado.

- a. Fronteras naturales. El territorio de un Estado se divide con otro en base a elementos geográficos, montañas, ríos, lagos o mares.
- b. Fronteras artificiales. Creadas por la mano o arte del ser humano, pudiendo utilizar muros, alambradas, fosas, brechas, canales, bayas, monumentos, etc.

Derechos territoriales del estado

Los Estados ejercen su soberanía sobre su propio territorio y en ocasiones se extienden sobre ciertas áreas, por circunstancias especiales, como el espacio aéreo y marítimo.

Partes de los derechos territoriales del Estado:

1. Parte terrestre, la cual comprende el subsuelo;
2. Espacio aéreo superestante al territorio y aguas marginales, se considera como espacio aéreo el que se encuentra en el mismo territorio propiamente dicho y el que se encuentra en el mar o las aguas territoriales que le pertenezcan a un Estado;
3. Zona marítima económica exclusiva.

Territorio propiamente dicho

La parte terrestre, incluyendo el subsuelo es el territorio propiamente dicho, porque es el núcleo de la soberanía territorial, es el ámbito que el derecho Internacional reconoce a un Estado sobre el que se ejerce la soberanía plena.

Aguas nacionales

Se equiparán a la parte de la tierra cuando el Estado domina todas las riberas, cuando dos o más estados concurren en las riberas, se tiene los ríos y aguas internas, los ríos y lagos en esa circunstancia, son internacionales y se sujetan a un régimen especial en cuanto al aprovechamiento de las aguas, navegación y demás, suele estar consignado en tratados. El mar nacional forma parte del territorio del Estado, formado por las aguas dentro del límite de sus fronteras terrestres, y de las líneas de base a partir de las cuales se comienza a medir la extensión del mar territorial.

Plataforma submarina

Llamada también plataforma continental. El zócalo submarino consiste en la especie de cornisa o meseta que rebordea los continentes debajo del mar; llega hasta doscientos metros

de profundidad. En la actualidad, en la convención de Ginebra se define que plataforma submarina se usa como referencia al suelo y subsuelo de las áreas submarinas adyacentes de las costas, pero fuera del área del mar territorial, hasta una profundidad de 200 metros, o más allá de ese límite, siempre y cuando la profundidad permita la explotación de recursos naturales.

Mar territorial

El mar territorial, mar marginal o aguas territoriales es una dependencia necesaria de un territorio terrestre, es la parte del mar que el derecho internacional asigna a un Estado ribereño para que realice ciertos actos de soberanía territorial. El mar territorial es el espacio marítimo situado entre el mar nacional y alta mar, forma parte del Estado.

Lagos, ríos y estrechos limítrofes

Cada país mantiene una regulación y aprovechamiento de recursos y frente a otros Estados existen tratados que lo regulan.

Zona marítima económica exclusiva

Cada Estado ha determinado hasta qué distancia comprende la misma, existen disposiciones legales que contemplan el espacio marítimo, leyes y reglamentos de pesca, leyes y reglamentos de navegación y de Puertos, etc.

Espacio aéreo

La Conferencia sobre Aviación Civil Internacional de Chicago en 1944 debatió tres tesis: la internacionalización, o sea poner todo el problema aéreo bajo una autoridad internacional; la libertad absoluta para todos, o sea la libre competencia, y la tesis inglesa, que contenía la reglamentación de control y creación de un organismo internacional encargado de vigilar la aplicación de la convención. Se produjo una segunda Convención que creó una organización interna de naturaleza técnica-consultiva, la cual funcionaría una vez que la principal entrara en vigor. Posteriormente, surgió la Organización de la Aviación Civil Internacional (oaci), organismo técnico encargado de uniformar las reglas de la navegación

aérea. Surgió otra Convención para la represión del apoderamiento ilícito de aeronaves o convenio de la haya, el 16 de diciembre de 1970, la cual establece penas severas.

1.4.2. Leyes y reglamentos que definen espacios territoriales procesos de planeación y ordenación del territorio

La planeación de los asentamientos humanos En el campo de los estudios urbanos es un lugar común decir que la institucionalización de la planeación en el México contemporáneo inició a mediados de los años setenta con la expedición de la Ley General de Asentamientos Humanos (en El ordenamiento territorial en la legislación mexicana 49 adelante LGAH). Es innegable que fue ése el ordenamiento que por primera vez estableció un régimen de planeación que iba más allá de la simple gestión del crecimiento urbano; así como es también un hecho que, tres décadas después, la LGAH es el ordenamiento del que deriva una mayor cantidad de planes que están formalmente en vigor y que se revisan periódicamente y constituyen un referente importante de la gestión de los centros urbanos. Las limitaciones de espacio nos impiden tratar aquí todos los problemas vinculados a la puesta en práctica del régimen de planeación establecido por la LGAH.

Por ello nos limitaremos a ubicar el lugar que ha ocupado en la formación de la planeación territorial en nuestro país. En ese sentido, nos proponemos mostrar que la LGAH no creó un verdadero sistema de planeación del desarrollo regional, dado que su énfasis regulatorio ha estado siempre en el desarrollo urbano, no obstante, las sucesivas reformulaciones que ha sufrido. A pesar de esa limitación, ella sentó las bases para una gestión territorial y, sobre todo, introdujo una serie de innovaciones en el terreno constitucional que siguen vigentes hasta ahora y que sin duda serán un referente ineludible de cualquier iniciativa en la materia. Ciertamente, gran parte del alcance jurídico de la LGAH no está en la ley misma, sino en la reforma constitucional que se promovió unos meses antes para darle fundamento. Entre fines de 1975 y principios de 1976 el Congreso de la Unión y las legislaturas de los estados aprobaron adiciones a los artículos 27, 73 y 115 constitucionales. Por un lado, se modificó uno de los aspectos cruciales del régimen de la propiedad inmobiliaria y de los recursos naturales, al reformar al párrafo tercero del artículo 27 para quedar como sigue:

“La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para el fraccionamiento de los latifundios; para disponer, en los términos de la Ley Reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad agrícola en explotación; para la creación de nuevos centros de población agrícola con tierras y aguas que les sean indispensables; para el fomento de la agricultura y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad. Los núcleos de población que carezcan de tierras y aguas o no las tengan en cantidad suficiente para las necesidades de su población, tendrán derecho a que se les dote de ellas, tomándolas de las propiedades inmediatas, respetando siempre la pequeña propiedad agrícola en explotación”.

1.4.3. Leyes y reglamentos relacionados con infraestructura

Las personas de derecho público de carácter federal con autonomía derivada de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, así como las entidades que cuenten con un régimen específico en materia de obras públicas y servicios relacionadas con las mismas, aplicarán los criterios y procedimientos previstos en esta Ley, sólo en lo no previsto en los ordenamientos que los rigen y siempre que no se contrapongan con los mismos, sujetándose a sus propios órganos de control. Las obras públicas y servicios relacionados con las mismas, relativos a las actividades sustantivas de carácter productivo a que se refieren los artículos 3o. y 4o. de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo que realicen Petróleos Mexicanos y sus organismos subsidiarios quedan excluidos de la aplicación de este ordenamiento, por lo que se registrarán por lo dispuesto en su Ley, salvo en lo que expresamente ésta remita al presente ordenamiento. Los contratos que celebren las dependencias con las entidades, o entre

entidades y los actos jurídicos que se celebren entre dependencias, o bien, los que se lleven a cabo entre alguna dependencia o entidad de la Administración Pública Federal con alguna perteneciente a la administración pública de una entidad federativa, no estarán dentro del ámbito de aplicación de esta Ley.

Cuando la dependencia o entidad obligada a realizar los trabajos no tenga la capacidad para hacerlo por sí misma y contrate a un tercero para llevarlos a cabo, este acto quedará sujeto a este ordenamiento. No estarán sujetas a las disposiciones de esta Ley, las obras que deban ejecutarse para crear la infraestructura necesaria en la prestación de servicios públicos que los particulares tengan concesionados, en los términos de la legislación aplicable, cuando éstos las lleven a cabo. Las obras asociadas a proyectos de infraestructura que requieran inversión a largo plazo y amortizaciones programadas estarán sujetas a la aprobación de la Cámara de Diputados conforme a sus facultades constitucionales, la Ley General de Deuda, la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, así como las demás disposiciones presupuestarias aplicables.

En lo relativo a los principios que deben contener los contratos, los procedimientos de contratación y ejecución, así como las condiciones de difusión pública, se atenderán conforme a la presente Ley y la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental. Los titulares de las dependencias y los órganos de gobierno de las entidades emitirán, bajo su responsabilidad y de conformidad con este mismo ordenamiento y los lineamientos generales que al efecto emita la Secretaría de la Función Pública, las políticas, bases y lineamientos para las materias a que se refiere este artículo. Las dependencias y entidades se abstendrán de crear fideicomisos, otorgar mandatos o celebrar actos o cualquier tipo de contratos, que evadan lo previsto en este ordenamiento.

1.4.4. Leyes y reglamentos relacionadas con actividades no extractivas

Una de las principales críticas al desarrollo de la industria extractiva es que ocasiona impactos negativos en el medio ambiente. Un gran derrame de cianuro en una mina aurífera canadiense en Guyana y el desastre ambiental causado por la compañía petrolera Chevron (antes Texaco), en Ecuador, son solo dos ejemplos de América Latina. Estos incidentes

generaron oposición a dichos proyectos y en algunos casos se logró obstruir el acceso de operadores mineros a los recursos locales esenciales como el agua y la tierra. En respuesta, los gobiernos de América Latina han tomado medidas para incorporar estándares internacionales y herramientas de protección ambiental en los marcos legales del sector extractivo.

La EIA es la herramienta que más utilizan los gobiernos de América Latina para evaluar la viabilidad de un proyecto extractivo; analiza el posible impacto social, económico y ambiental de un proyecto propuesto (Cuadro 1). Esta información permite identificar estrategias para prevenir, mitigar y controlar los daños ambientales y los impactos sociales negativos. Los países de América Latina empezaron a utilizar esta herramienta a fines de los años ochenta e inicios de los noventa. En la actualidad, cada país de la región tiene una ley que establece la EIA como prerrequisito para cualquier proyecto extractivo, es decir cada proyecto extractivo aprobado debe establecer límites de emisión para el aire, agua y suelo; y planes de contingencia y protección ambiental; y debe cumplir los estándares nacionales de calidad ambiental.

El diseño y la implementación de la EIA en cada país varían en cuanto a alcance, calidad, métodos, participación pública, control ciudadano y diagnóstico del impacto y, por lo tanto, ha tenido distintos resultados. En algunos casos, los procedimientos no están bien definidos o adaptados al contexto ambiental o social. En otros casos, el sesgo político o la falta de transparencia perjudican la efectividad de esta herramienta. En este sentido, las experiencias de América Latina ofrecen diversas lecciones para otras regiones interesadas en mejorar la sostenibilidad de la industria extractiva

El sector extractivo en la normatividad mexicana: cambios introducidos en 2017

Pese a los anuncios realizados por el gobierno mexicano sobre su intención de abrir una primera licitación para la adjudicación de áreas para explotar hidrocarburos no convencionales durante el primer trimestre de 2017, esta licitación no se llevó a cabo. En principio, el gobierno había contemplado la inclusión de estas áreas y otras

correspondientes a aguas profundas dentro de la Licitación 4 de la Ronda 2 (Esquivel, 2017 y García, 2017). No obstante, cuando ésta se publicó el 20 de julio, sólo incluyó 30 áreas en el Golfo de México profundo y ninguna de hidrocarburos no convencionales en tierra. Por su parte, en el marco del Foro de Análisis de la Reforma Energética, organizado por la Revista “Energía a Debate” celebrado el 17 de agosto de ese mismo año en la Ciudad de México, el Secretario de Energía (Sener), Pedro Joaquín Coldwell, anunció que en ese mes se llevaría a cabo la apertura de la Licitación 5 de la Ronda 2, que incluiría áreas terrestres no convencionales y convencionales (Milenio, 2017). Sin embargo, dicha licitación no se publicó y, en cambio, el 29 de septiembre se abrió la Licitación 1 de la Ronda 3 para áreas en aguas someras (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2017).

En el marco de estos mismos anuncios, el gobierno federal hizo alusión a que la apertura de las licitaciones era posible gracias a que ya se contaba con la regulación necesaria en la materia, que permitiría llevar a cabo esta actividad con responsabilidad. Se refería a los Lineamientos en materia de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para realizar las actividades de Exploración y Extracción de Hidrocarburos en Yacimientos No Convencionales en tierra, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 16 de marzo de 2017. Aludía también, a los Lineamientos para la protección y conservación de las aguas nacionales en actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales, los cuales, sin embargo, no habían entrado en vigor cuando se hicieron los mencionados anuncios, ya que sólo se publicaron en el Diario Oficial de la Federación el 30 de agosto de ese año. Las declaraciones del gobierno resultan poco informadas, en el mejor de los casos, e irresponsables, en el peor y más realista de los casos, si tenemos en cuenta la evidencia que demuestra que es imposible evitar, mediante regulación, los fuertes impactos negativos de la explotación de hidrocarburos no convencionales por fractura hidráulica.

Como señalan Eduardo D’Elia y Roberto Ochandio, ingenieros petroleros argentinos con larga experiencia en este sector, la fractura hidráulica es una técnica experimental, lo que significa que “a pesar del monitoreo en superficie para controlar la evolución de las

fracturas, no se puede evitar que alcancen zonas porosas y permeables, por fuera de la formación a fracturar” (2014:25).

Esto implica que los fluidos altamente tóxicos utilizados para fracturar la roca junto con hidrocarburos de formación y otras sustancias presentes en el subsuelo, incluyendo metales pesados y elementos radioactivos, pueden escaparse y llegar a los acuíferos, la superficie e incluso a la atmósfera. El carácter experimental de esta técnica también implica que no se puede evitar la comunicación de las tremendas presiones a través de cañerías o cementaciones, que se fisuran y rompen, lo que supone otra fuente inevitable de contaminación. Por su parte, las asociaciones Concerned Health Professionals de Nueva York y Physicians for Social Responsibility revisaron en 2015 los estudios realizados por la industria y análisis independientes sobre la fractura hidráulica en Estados Unidos. De esta revisión resultó que “con los materiales y la tecnología que están disponibles en este momento, no pueden evitarse los problemas de ingeniería inherentes a este método, que incluyen sismos antropogénicos, fugas de metano y deterioro del revestimiento y la cementación de pozos” (2015:5).

A partir de su examen de la literatura médica y de salud pública avalada por expertos y expertas, tampoco encontraron pruebas de que la fractura hidráulica pueda llevarse a cabo sin poner en peligro la salud humana. Ante este contexto, el objetivo de este artículo es presentar un análisis de los citados lineamientos, que permita conocerlos más a fondo y entender mejor cuáles son sus limitantes para evitar los daños de esta técnica. Aunque, como se ha señalado, su limitación principal es que, al tratarse de una técnica experimental, la regulación es insuficiente para evitar las afectaciones que conlleva, veremos también que los lineamientos mismos tienen serios vacíos y deficiencias, por lo que los riesgos de esta técnica son aún mayores. Por otra parte, dada su reciente promulgación, todavía no son del todo constatables los impactos concretos que en la práctica podrían darse en los territorios. De ahí que, nuestro análisis hace un conjunto de inferencias sobre las posibles consecuencias a partir de la lectura de la normativa.

1.4.5. Leyes y reglamentos relacionados con uso, conservación y aprovechamiento de recursos vivos y no vivos

Las leyes y normas mexicanas son regulaciones técnicas de aplicación voluntaria expedidas por la Secretaría de Economía, las cuales prevén para un uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado. Conforme a la clasificación emitida por la Secretaría de Economía, las NMX elaboradas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y por la Comisión Nacional del Agua, y aprobadas por el Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTEMARNAT), corresponden al Sector de “Protección Ambiental” cuya letra de identificación es “AA”. Para facilitar su consulta, las NMX vigentes del Sector Ambiental fueron clasificadas por materia dentro de las siguientes categorías: Agua, Atmósfera, Fomento y Calidad Ambiental, Potabilización de Agua, Protección de Flora y Fauna, Residuos, Ruido y Suelo.

Algunas de estas leyes y normas son:

- **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)**
- **Ley General de Vida Silvestre.**
- **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)**
- **Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.**
- **Ley de Aguas Nacionales.**

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA

2.1. Área de estudio.

El estado de Veracruz, cuya capital es Xalapa, cuenta con un área de 71, 826 km², lo cual representa un 3.7% de la superficie total del país y se localiza dentro de las coordenadas 22°28'00" al norte, al sur 17°09'00" de latitud norte; al este 93°36'00", al oeste 98°39'00" de longitud oeste. Veracruz, colinda al N-Noroeste con el Estado de Tamaulipas y San Luis Potosí; al Oeste con los Estados de Hidalgo, Puebla y Oaxaca; al Sureste con los Estados de Tabasco y Chiapas y finalmente; al Este con el Golfo de México (INEGI, 2014) (Figura 2.1).



Figura 2.1. Mapa de localización del área de estudio (INEGI 2018).

En términos generales, la Zona Costera Veracruzana (ZCV), podemos definirla como un área en la cual existe una marcada interacción entre el medio marino y el terrestre (Ortiz et.al.2006), por tal motivo, los procesos naturales que ocurran dentro cualquiera de los dos medios, tendrán implicaciones en ambas zonas, teniendo implicaciones en sus procesos naturales y modelando su paisaje. Partiendo de este enfoque, debemos concebir a la zona Costera como una región en la que se presentan fenómenos físico-químicos, geológicos, atmosféricos, biológicos y socio-culturales.

Desde una perspectiva ecosistémica, podemos considerar a la zona costera de Veracruz, como una zona de transición entre dos ambientes, los cuales, se encuentran ligados entre sí a través del flujo de materia y energía, donde el agente agua es el principal responsable de estos flujos con dirección Tierra-Atmósfera e inversamente. Bajo esta visión, se puede definir a la zona costera de Veracruz con base en la presencia de unidades de escurrimiento que desembocan hacia el mar, las cuales son conocidas como cuencas hidrológicas y en la parte de plataforma marina, podemos encontrar la presencia de cuencas receptoras, las cuales, reciben el aporte de las cuencas hidrológicas. El estado de Veracruz cuenta con 13 cuencas hidrológicas, de las cuales, 11 son exorreicas, es decir, drenan directamente al golfo de México. Las cuencas emisoras, entran en contacto con la porción marina por medio de ríos y lagunas costeras a lo largo de aproximadamente 745 km de línea litoral, drenando sus aguas hacia la plataforma oceánica (Ortiz, 2006).

2.2. Aspectos físico-geográficos

2.2.1. Clima.

El Estado de Veracruz, por estar situado en la zona tórrida, su clima es Cálido en toda la costa; pero debido al relieve de su suelo tan variado, resulta de diferentes climas. En general, puede decirse que el Estado de Veracruz tiene los siguientes climas (**Figura 2.2**):

Clima Cálidos húmedos y subhúmedos. - Son los que comprenden una mayor área, aproximadamente un 80% del territorio veracruzano, se distribuyen en las llanuras costeras del Golfo Norte y Golfo Sur, a una altura máxima de 1,000 m.s.n.m. Aquí la temperatura media anual es de 22° a 26° C. Y la precipitación total anual varía de 2,000 a poco más de 3,500 mm.

Climas semicálidos húmedos. - En los lugares con altitud promedio de 1,000 a 1,600 m.s.n.m. las características físicas favorecen el desarrollo de climas semicálidos húmedos, como las imperantes en las cimas de los volcanes Tuxtlecos. La precipitación total anual en estas porciones fluctúa de 2,000 a más de 2,500 mm. Y la temperatura media varía de 18° a 22° C.

Climas Templados. Los climas templados se registran en las zonas con altitudes entre 1,600 y 2,800 m.s.n.m., sus variantes difieren a corta distancia horizontal en el grado de humedad, en la intensidad y el régimen de lluvias conforme se deja sentir la influencia de las sierras. La temperatura media anual oscila de 12° a 18° C. y la precipitación total anual de 500 a 2,500 mm.

Climas semifríos y fríos. El clima semifrío húmedo con lluvias en verano se distribuye entre los 2,800 y 3,800 m.s.n.m., en el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, respectivamente. La temperatura media y la precipitación total anual fluctúa de 5° a 12° C. y de 600 y 1,200 mm., respectivamente.

Clima semiseco. La presencia de áreas con clima semiseco-templado con lluvias en verano en los alrededores de la ciudad de Perote y al oeste de la Huasteca, obedece al obstáculo que forman las elevaciones del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental, las cuales no permiten la llegada de los vientos húmedos con igual densidad, provocando con esto que la precipitación total anual sea entre 400 a 500 mm. y su temperatura media anual de 14° C.

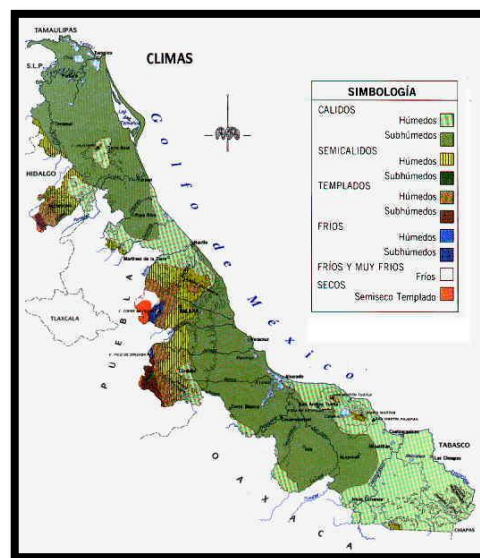


Figura 2.2. Climas del estado de Veracruz (INEGI 2014).

2.2.2. Fenómenos meteorológicos extremos.

En México, los eventos extremos han tenido un importante incremento en los últimos años. De acuerdo con estadísticas de los últimos 20 años, se presentaron y registraron 52 fenómenos naturales; de ellos, 40% han ocurrido en los últimos seis años. Si se contabiliza sólo a los extremos, se tiene que, de 28 en ese periodo, 46% de ellos sucedieron en el último lustro (Zúñiga, 2007).

Para el caso específico del Golfo de México, en su vertiente mexicana, con los datos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) se observa un incremento ligero en la intensidad de hidrometeoros y en la frecuencia de eventos extremos. Para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, la incidencia de huracanes y tormentas tropicales ha aumentado su impacto en los últimos años: en el 2000 fue el huracán *Keith* (categoría 4); en el 2005, *Emily* (4) y *Stan* (1, a sólo dos meses del paso del anterior); en el 2007, *Dean* (5) y *Lorenzo* (1); en el 2008 se presentó la tormenta tropical *Marco*, mientras que en el 2010 se sufrió la presencia del huracán *Karl* con categoría 3 e, inmediatamente después, la tormenta tropical *Matthew*.

Los años 1999, 2005 y 2010 han sido en particular severos en inundaciones. En octubre de 1999, una depresión tropical asociada al paso de un frente polar, produjo 200 mil damnificados, 12 mil viviendas averiadas, 20 cortes carreteros y 200 muertos; en el 2005 hubo 1.5 millones de damnificados, 130 mil viviendas dañadas y 170 cortes carreteros, pero no ocurrieron pérdidas de vidas humanas; la diferencia en decesos se debió a que en el 2005 ya había un incipiente sistema de alerta meteorológica. No obstante, salvo esfuerzos aislados, el estudio y la formación sistemática de bases de datos sobre inundaciones no se han arraigado en el estado y, por lo tanto, las acciones siguen siendo empíricas y poco sustentadas en información (Tejeda, 2011).

2.2.3. Geomorfología.

La geomorfología es la ciencia del relieve, investiga los procesos que lo crean, y explica su desarrollo y su transformación. La cartografía geomorfológica permite visualizar la diversidad territorial del relieve y relacionarla con otros factores ambientales. Los rasgos geomorfológicos de una región guían en gran medida el uso de los recursos naturales, la ubicación de los asentamientos humanos y las actividades básicas de la población. El medio geomorfológico es un recurso; se trata del material originado por los procesos geomorfológicos (depósitos de arena y grava) y las formas de relieve que presenten un interés ecológico, ambiental, estético, recreativo o turístico, y puede aún ser una amenaza, dada la probabilidad de que un fenómeno de inestabilidad geomorfológica de cierta magnitud ocurra en un territorio dado durante un periodo de tiempo definido (Panizza, 1996). Por estas razones, los estudios geomorfológicos son de gran importancia y utilidad en los proyectos de ingeniería civil, de ordenamiento ecológico y de impacto ambiental; de manejo de cuencas hidrológicas, de análisis de riesgo ambiental y de planeación rural y urbana, entre otros.

En Veracruz, Los edificios volcánicos sobresalientes son el Volcán San Martín Tuxtla, el cerro de Santa Marta, el cerro El Campanario en la sierra Yohualtajapan, el cerro Mono Blanco, el San Martín Pajapan, el cerro El Vigía y el cerro Blanco. El vulcanismo, que ha producido principalmente son de composición basáltica y comenzó en el terciario y continuó activo hasta la actualidad. Una síntesis de los escasos trabajos publicados sobre la geología histórica y las fases del vulcanismo de la zona es la de Martin-Del Pozzo (1997). La lava, cenizas y otros piroclastos cubren casi toda el área, aunque existen escasos afloramientos de los sedimentos marinos del Terciario. Las arenas y areniscas calcáreas de la formación Filisola se observan en acantilados, mientras que las arcillas de las formaciones Concepción superior e inferior se encuentran en una topografía suave. Los derrames de lava más recientes rellenaron los lechos de los ríos formando saltos y cascadas. En cambio, las cenizas volcánicas, que tienen una mayor distribución al este y noreste de San Andrés Tuxtla, produjeron una topografía de lomerío suave. Los volcanes conforman tres grupos: grandes estratovolcanes parcialmente erosionados, conos pequeños también

parcialmente erosionados y de pendiente suave, y conos muy recientes, poco erosionados y con pendiente abrupta. Los productos volcánicos condicionan gran parte del relieve, ya que los derrames de lava definen la estructura de los edificios, de la red fluvial y de los acantilados, mientras que las cenizas y otros productos piroclásticos forman los lomeríos.

Geomorfología en la Región de los Tuxtlas

La sierra de Los Tuxtlas se localiza en la provincia geomorfológica de la Planicie Costera del Golfo de México y en la subprovincia de la Planicie Costera de Veracruz, definidas por Lugo y Córdoba (1992). En la regionalización geomorfológica del estado de Veracruz (Geissert,1999), se reconocieron con anterioridad cuatro unidades que son: montaña de laderas abruptas con modelado de disección; lomerío con modelado de disección; lomerío formados por procesos acumulativos endógenos y; planicie baja acumulativa.

La sierra, de 80 km de largo y 55 km de ancho de acuerdo al contorno de la Provincia Ecológica 77 Sierra Los Tuxtlas (SEDUE, 1988), es de origen volcánico; se reconocen siete volcanes de importancia y cerca de 300 conos pequeños.

La variabilidad territorial de la inclinación y la orientación de las laderas, genera una diversidad de formas del terreno, en el patrón de disección creado por las corrientes fluviales, en los cambios topográficos y en otras características que se traducen en la heterogeneidad geomorfológica de la región. Esta heterogeneidad condiciona la distribución de los tipos de suelo y la variabilidad de sus propiedades, así como la distribución, riqueza y diversidad de plantas (Nichols et al., 1998).

2.2.4. Geología

La geología de Veracruz es muy variada y es famosa por ser una gran generadora del petróleo que se consume en el país, el cual representa un gran porcentaje del PIB en nuestro país, a continuación, se describen algunas características de las principales cuencas y rocas presentes en el Estado de Veracruz.

La historia geológica de Veracruz inicia su formación con la transgresión regional provocada por la apertura del Golfo de México; sin embargo, su máxima sedimentación la alcanza durante la regresión del Terciario, que estuvo acompañada por fallamientos tensionales que provocaron una fuerte subsidencia conjugada a un gran depósito de terrígenos arcillo—arenosos que más tarde produjeron un sistema de generación de hidrocarburos. La presencia de gas y condensado en las lentes y capas arenosas encajonadas por potentes cuerpos de arcillas hacen suponer que la generación fue producto de las propias arcillas que, no obstante, su limitado potencial, fueron capaces de generar y expulsar cantidades también limitadas de hidrocarburos. El fallamiento originalmente normal y posteriormente de crecimiento fue tan intenso durante todo el Terciario, que provocó el depósito de terrígenos, cuyo espesor se calcula superior a 8,000 metros en el centro de la cuenca, lo que implica una transformación térmica para las rocas mesozoicas y aún para las del Terciario. Esta cuenca, se caracteriza por tener cinco franjas de dirección norte—sur, correspondientes al Jurásico-Cretácico, Paleoceno, Eoceno, Oligoceno y Mioceno (González 1992).

Jurásico Superior

El Mesozoico se ha alcanzado solamente en los bordes occidental y sur de esta cuenca. Los estudios geoquímicos indican que en las calizas arcillosas y lutitas calcáreas del Jurásico Superior (Formación Pimienta) predominan cantidades de carbono orgánico superiores al 1 %. Los carbonatos y arcillas de esta edad fueron depositados sobre un mar abierto, extenso,

con aguas tranquilas, que propiciaron las condiciones anóxicas para la conservación de la materia orgánica marina que aún contiene.

Cretácico Superior

Dentro de la secuencia del Cretácico, las formaciones Eagle Ford y Agua Nueva (Turoniano), San Felipe (Coniaciano—Santoniano) y Méndez (Campaniano—Maastrichtiano) presentan un comportamiento geoquímico semejante en cuanto a su contenido de carbono orgánico. Estas rocas, consisten de calizas arcillosas y arcillas calcáreas depositadas sobre una plataforma abierta y extensa, durante las últimas etapas de la transgresión regional que cubrió gran parte del actual territorio mexicano.

Cuaternario

La geología del área presenta un intenso vulcanismo que ha producido principalmente basaltos y continua con actividades volcánicas más recientes, como las erupciones del Volcán San Martín Tuxtla en 1664 y 1793, y a las fumarolas del mismo volcán en 1829. Los afloramientos sedimentarios son escasos debido a la gran extensión de depósitos volcánicos más jóvenes y a la presencia de vegetación abundante. En la zona de Los Tuxtlas se localizan cerca de 300 conos volcánicos de composición basáltica, que presentan una elevación menor a los 250 m, aunque también existen volcanes de mayor altura (Martin-Del Pozzo 1997).

La sierra, de 80 km de largo y 55 km de ancho, de acuerdo al contorno de la Provincia Ecológica 77 Sierra Los Tuxtlas (SEDUE, 1988), es de origen volcánico; se reconocen siete volcanes de importancia y cerca de 300 conos pequeños. Los edificios volcánicos sobresalientes son: el Volcán San Martín Tuxtla; el cerro de Santa Marta; el cerro El Campanario, en la sierra Yohualtajapan; el cerro Mono Blanco; el San Martín Pajapan; el cerro El Vigía y el cerro Blanco. El vulcanismo, que ha producido principalmente basaltos y basanitas, comenzó en el Terciario y continuó activo hasta la actualidad. Una síntesis de los escasos trabajos publicados sobre la geología histórica y las fases del vulcanismo de la

zona es la de Martin-Del Pozzo (1997). La lava, cenizas y otros piroclastos cubren casi toda el área, aunque existen escasos afloramientos de los sedimentos marinos del Terciario. Las arenas y areniscas calcáreas de la formación Filisola se observan en acantilados, mientras que las arcillas de las formaciones Concepción superior e inferior se encuentran en una topografía suave. Los derrames de lava más recientes rellenaron los lechos de los ríos formando saltos y cascadas. En cambio, las cenizas volcánicas, que tienen una mayor distribución al este y noreste de San Andrés Tuxtla, produjeron una topografía de lomerío suave. Los volcanes conforman tres grupos: grandes estratovolcanes parcialmente erosionados; conos pequeños también parcialmente erosionados y de pendiente suave y conos muy recientes, poco erosionados y con pendiente abrupta.

Los productos volcánicos condicionan gran parte del relieve, ya que los derrames de lava definen la estructura de los edificios, de la red fluvial y de los acantilados, mientras que las cenizas y otros productos piroclásticos forman los lomeríos.

En el área de estudio, se presentó un evento volcánico denominado “La Nueva Victoria”, el cual, se caracteriza por conos cineríticos conformados por tobas basálticas, derrames basálticos, arenas y cenizas de composición básica, Aguilera (1988) reporta una edad de 0.379 ± 0.19 M.a. para este evento volcánico, lo cual nos indica que dicho evento comenzó en el pleistoceno. Cubriendo de manera parcial estas unidades se observan depósitos cuaternarios como; aluviones (grava y limo), depósitos eólicos (arenas de cuarzo), depósitos de litoral (cuarzo y magnetita), así como depósitos en pantanos (limos y arcillas).

En la zona estudiada, se observan estructuras del régimen frágil, las cuales se representan principalmente por fracturas y aparatos volcánicos, los cuales al mapearlos y al comparar diversas tendencias estructurales, se puede deducir que el vulcanismo dominante en el área es de origen fisural y está controlado por una estructura regional de rumbo N 58° W, con una longitud de aproximadamente 62 km.

Esta región se relaciona con la evolución tectónica del golfo de México, así como con la apertura del mismo, ya que en el Triásico superior se inicia la ruptura de pangea en el margen sur de la Placa Norteamericana, este evento continuó hasta el jurásico inferior y

medio. En el Kimmeridgiano ocurrió una transgresión y se acumularon carbonatos en condiciones someras y de alta energía; en el Tithoniano se depositan las facies de carbonatos arcillosos; en el Cretácico inferior se depositan calizas.

En el Paleoceno, se manifiesta un cambio en el régimen de depósito de ambiente de plataforma a cuenca y se depositó la formación Chicontepepec, posteriormente se depositan las formaciones Concepción, Filisola y Paraje Solo. Finalmente hace 5.8 M.a. se inicia el vulcanismo en la zona de los Tuxtlas, mientras que el resto continua la retirada paulatina del mar con el depósito de rocas conglomeráticas y tobas pseudoestratificadas en mares someros de la formación Cedral y rocas continentales de la Formación Jaltepec.

2.2.5. Hidrología

En la porción terrestre, la planicie costera veracruzana, cubre aproximadamente el 72.2% del Estado, representando su mayor amplitud en la porción norte, en la cuenca del Río Pánuco y en la porción sur, las cuencas del río Papaloapan y Coatzacoalcos. La parte central del Estado, se caracteriza por estribaciones de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico Transversal, lo cual, origina distintas geoformas en la zona y permite un aumento en la distribución y migración de organismos a lo largo de las planicies del Golfo de México (Ortiz, 2006).

Las aguas superficiales del Estado de Veracruz están distribuidas en cinco regiones hidrológicas: RH18 Balsas, RH26 Pánuco, RH27 Tuxpan-Nautla, RH28 Papaloapan y RH29 Coatzacoalcos (**Figura 2.3**).

La región hidrológica RH26 Pánuco

Cubre el 14.75% de la superficie estatal, drenando las aguas del extremo norte de la entidad, región denominada Huasteca Alta, hacia el río Pánuco para verter sus aguas finalmente en el Golfo de México. Las cuencas de esta región hidrológica y la porción del

territorio estatal que cobijan son: Río Pánuco (8.62%), Río Tamesí (1.44%) y Río Moctezuma (4.69%).

La región hidrológica RH27 Tuxpan-Nautla

Cubre el 22.96% de la superficie estatal, drenando las aguas del centro – norte de la entidad hacia el Golfo de México. Las cuencas de esta región hidrológica y la porción del territorio estatal que cobijan son: Río Nautla y otros (6.78%), Río Tecolutla (2.52%), Río Cazones (3.42%), Río Tuxpan (8.47%) y Río Tamiahua (1.77%). El río Nautla se forma de la confluencia de los ríos Alseseca y Bobos. Tiene una longitud de 124 km, desemboca en el Golfo de México frente a la ciudad de Nautla. Tiene una cuenca de 2.785 km² y un escurrimiento natural medio anual superficial de 2.218 millones de metros cúbicos. El río Tuxpan nace en el estado de Hidalgo con el nombre de río Chiflón. Con una longitud 150 km y atraviesa parte de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, para finalmente desembocar en el Golfo de México. Tiene una cuenca de 5.899 km² y un escurrimiento natural medio anual superficial de 2.072 millones de metros cúbicos.

La región hidrológica RH18 Balsas

Cubre el 0.88% de la superficie estatal, drenando las aguas de una porción del centro-oeste de la entidad que comprende el municipio de Perote y que a su vez es la zona más seca de la entidad. Las aguas son drenadas por pequeños arroyos a la laguna de Totolzingo, la cual es una cuenca cerrada.

La región hidrológica RH28 Papaloapan

Cubre el 41.2% de la superficie estatal, drenando las aguas del centro – sur de la entidad hacia el Golfo de México. Las cuencas de esta región hidrológica y la porción del territorio estatal que cobijan son: Río Papaloapan (27.75%) y Río Jamapa y otros (13.45%). El río Papaloapan es el segundo más caudaloso de México. Se origina en la confluencia de los ríos Santo Domingo y Valle Nacional en el estado de Oaxaca. Tiene una longitud de 354

km, una cuenca de 46.517 km² y un escurrimiento natural medio anual superficial de 42.887 millones de metros cúbicos.

El río Jamapa se origina en las vertientes del Pico de Orizaba, tiene una longitud de 368 km y desemboca en el Golfo de México, en Boca del Río, Veracruz. Tiene una cuenca de 4.061 km² y un escurrimiento natural medio anual superficial de 2.055 millones de metros cúbicos.

La región hidrológica RH29 Coatzacoalcos

Cubre el 20.21% de la superficie estatal, drenando las aguas del extremo sur de la entidad hacia el Golfo de México. Las cuencas de esta región hidrológica y la porción del territorio estatal que cobijan son: Río Coatzacoalcos (16.75%) y Río Tonalá y Lagunas del Carmen y Machona (3.46%). El río Coatzacoalcos es el tercero más caudaloso de México. Nace en el estado de Oaxaca en la Sierra Atravesada y atraviesa el estado de Veracruz para desembocar al Golfo de México en la Barra de Coatzacoalcos. Tiene una longitud de 325 km, una cuenca de 17.369 km² y un escurrimiento natural medio anual superficial de 28.679 millones de metros cúbicos.

Los principales cuerpos de Agua presentes en el estado son: Presa Paso de Piedras (Chicayán), Presa La Cangrejera, Laguna Pueblo Viejo, Laguna de Tamés (Chila), Laguna La Tortuga, Laguna El Chairel, Laguna Grande, Laguna Chica, Laguna de Tamiahua, Laguna Tampamachoco, Laguna de Alvarado, Laguna Pajarillos, Laguna Sontecomapan, Laguna Catemaco, Laguna María Lizamba, Laguna Mandinga, Laguna del Ostión y Laguna Mezcalapa. En referencia a las aguas subterráneas la CONAGUA tiene delimitados 18 acuíferos en la entidad, de los cuales solo uno está sobreexplotado. El estado presenta un balance hídrico positivo; es decir que la recarga supera la extracción, con una disponibilidad de 767 millones de metros cúbicos. Los acuíferos con más disponibilidad son: 3010 los naranjos, 3012 costera de Coatzacoalcos, 3018 jalapa-Coatepec, 3020 costera del Papaloapan. El único acuífero sobreexplotado es: 3019 cuenca río Papaloapan (INEGI, 2014).

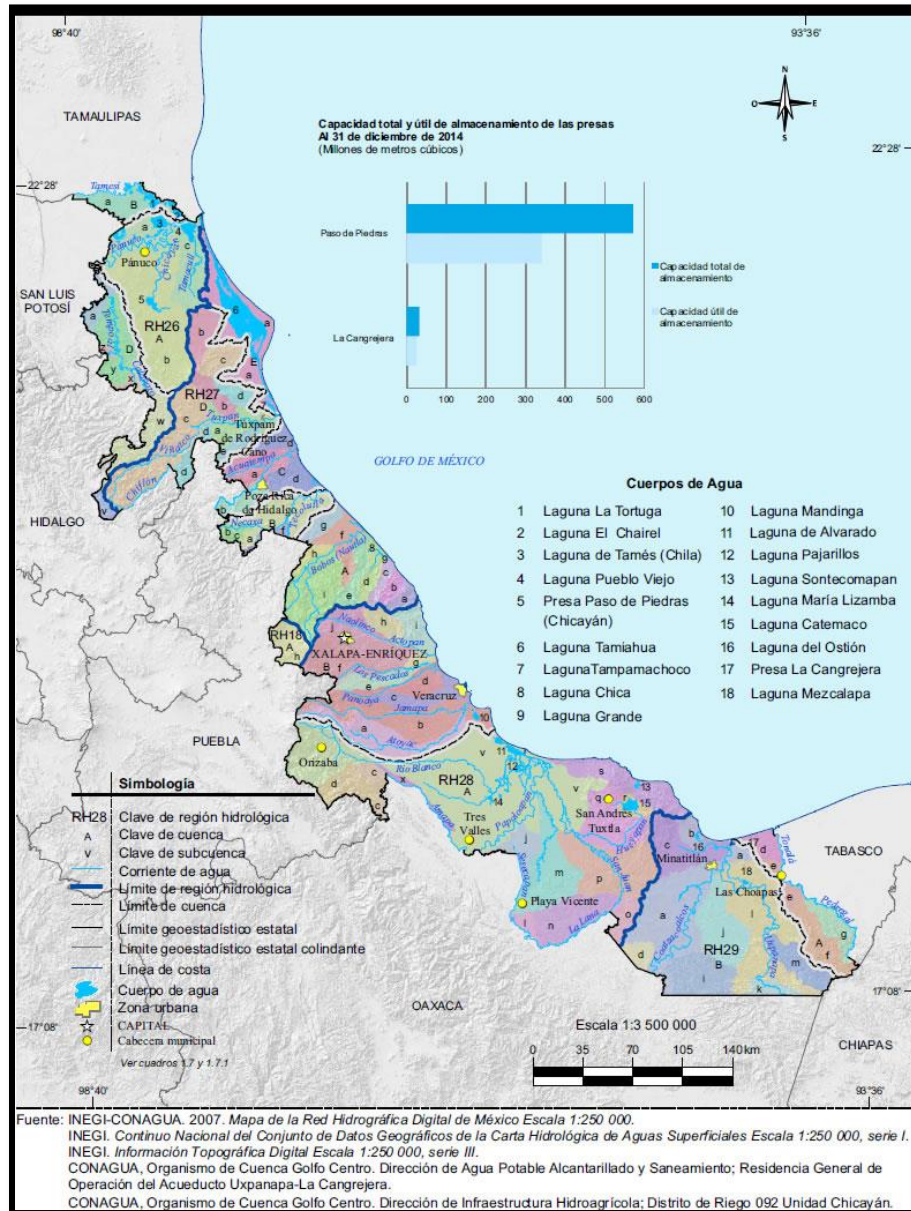


Figura 2.3. Regiones hidrológicas del Estado de Veracruz (CNA 2007).

2.2.6. Elementos Socioeconómicos.

El estado de Veracruz posee un amplio litoral costero, lo cual, posibilita que los asentamientos humanos aledaños a esta zona realicen actividades relacionadas con el aprovechamiento de los recursos costeros y marinos, principalmente. La densidad de la población que se ubica a lo largo del litoral es proporcional a la gama de actividades y la intensidad con que se realizan. Existen algunos municipios como Boca del Río, Alvarado y Coatzacoalcos, donde la densidad poblacional es alta, por tanto, las actividades también serán más intensas, algunas de estas actividades son: la pesca, combinándose frecuentemente con la agricultura, la ganadería y otras actividades. Para una gran parte de los habitantes de la costa, la pesca representa, más que un modo de vida y en muchas instancias los productos de la pesca costera tienen como destino el consumo local en pequeños negocios y restaurantes. La pesca de subsistencia es una de las principales actividades desde el punto de vista social (Ortiz, 2006).

La actividad pesquera en el área de estudio se define principalmente por su situación litoral, además de que cuenta con tradición histórica. El litoral veracruzano, posee alrededor de 745 km de longitud, lo cual representa 23.8% del total de la cuenca del Golfo de México y Mar Caribe, así como un 6% del total Nacional (González, 2002). Veracruz cuenta con 29 municipios que tienen litoral y 16 adyacentes costeros. Su hidrografía costera marina se integra por: puntas, islas, esteros, arrecifes, barras, playas, bocas, ensenadas, lagunas costeras, que constituyen hábitats con características muy particulares en los que se desarrolla una alta diversidad de recursos pesqueros. De las lagunas costeras proviene la mayoría de la captura total del estado. Tan sólo 130 especies de peces marinos estuarinos dulceacuícolas contribuyen con alrededor del 75% de la captura total. Veracruz tiene un total de 17 sistemas lagunares costeros con una superficie de más de 123,000 ha (Ortiz, 2006).

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Susceptibilidad a los procesos gravitacionales

La susceptibilidad, por lo general expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad a los procesos gravitacionales se entiende entonces; como la propiedad del terreno que indica la favorabilidad de las condiciones físicas del mismo a los deslizamientos. Un mapa de susceptibilidad nos ayuda a clasificar la estabilidad de un área determinada de manera relativa. El mapa de susceptibilidad nos muestra entonces, donde hay o no condiciones para que exista un deslizamiento.

Historia de los mapas de susceptibilidad

Por primera vez, los mapas de susceptibilidad a los deslizamientos fueron realizados por Brabb, en San Mateo County California, para el USGS en 1978. El mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifican las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, el cual, se obtiene de un análisis multivariante o multicriterio entre los factores del terreno que afectan la susceptibilidad a los deslizamientos.

Análisis Multicriterio

Barredo (1994) considera que la evaluación multicriterio son el conjunto de técnicas que pueden apoyar en el proceso de toma de decisión dentro una gran variedad de posibilidades, mientras que, para Eastman, *et. al.* (1993), este proceso multicriterio implica la evaluación de la elección de las alternativas basadas en criterios concretos.

Los conceptos de “Susceptibilidad” y “Análisis Multicriterio” son el centro medular de la metodología que se aplicará en esta tesis y a continuación se explica.

La metodología empleada para la realización de estos mapas de susceptibilidad a peligros geológicos (deslizamientos y desprendimientos), se dividió en 3 fases metodológicas que fueron:

- **Trabajo de gabinete**
- **Trabajo de campo**
- **Ponderación Integración de la información.**

3.1 Trabajo de gabinete

En esta etapa, se realizó la recopilación bibliográfica sobre estudios de susceptibilidad, primeramente, a nivel mundial y después en México, puntualmente en el Estado de Veracruz y el área de estudio.

El primer paso bien definido dentro de esta etapa de la metodología consistió en elegir el método apropiado para el análisis de susceptibilidad a movimiento de ladera. El método elegido debería estar en función del nivel de información que se tiene de los sitios objetos de estudios y de la información alcanzable durante los trabajos de campo. En este sentido el método de Mora y Vahrson (1994), se ajusta perfectamente a las condiciones.

El método Mora & Vahrson (1994), exige el análisis de indicadores geomorfológicos, mediante su observancia e interpretación en campo y su posterior representación cartográfica en el trabajo de gabinete. Según el método, los factores con mayor incidencia conducentes a la inestabilidad de las laderas son; la litología, el contenido de humedad del suelo y el grado de pendiente de la ladera. El análisis espacial de los parámetros mencionados ofrece la propuesta de susceptibilidad por elementos pasivos.

Mora-Vahrson, en el diseño original del método, consideran los factores pasivos y desencadenantes. En este caso, para esta investigación exclusivamente analizaremos los factores pasivos, es decir aquellos que permanecen aproximadamente inalterados al paso del tiempo.

La propuesta de Mora & Vahrson (1994) para estimar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos, considerando elementos pasivos y los factores desencadenantes es la siguiente (Fórmula I).

$$S = P * D$$

[Fórmula I]

Dónde:

S: grado de susceptibilidad a deslizamientos

P: valor producto de la combinación de los parámetros pasivos

D: valor del factor de disparo de los parámetros desencadenantes

Los elementos pasivos se componen de los siguientes parámetros (Fórmula II):

$$P = P_1 * P_h * P_p \quad \text{[Formula II]}$$

Dónde:

P₁: valor del parámetro de susceptibilidad litológica

P_h: valor del parámetro de humedad del terreno

P_p: valor del parámetro pendiente

Esta investigación se enfocará en el análisis de los elementos pasivos. De acuerdo a los objetivos de la tesis, se pretende obtener la Cartografía referida exclusivamente a la “Susceptibilidad”, así al hacer un riguroso análisis del marco teórico, Suarez (2009), al referirse al concepto de “Mapa de susceptibilidad” dice que “... -El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos-. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como la lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad...”

De acuerdo a lo anterior, será considerada la susceptibilidad litológica (Criterio Litológico, C_l), tal como lo sugiere la metodología de Mora-Vahrson.

Posteriormente, el elemento pasivo “valor del parámetro pendiente” se modificará sustituyéndolo por “criterio geomorfológico, C_g” obtenido del producto de los indicadores “pendiente” tal como lo contempla Mora-Vahrson e incorporando el “aspecto de la pendiente”. En este sentido Esquivel (2018), ya comprobó la eficacia de este ajuste al método, con muy buenos resultados en su proceso de validación. Finalmente, el aspecto de la pendiente o dirección de las pendientes del terreno se confrontará espacialmente con la tendencia de la dirección de buzamiento de los estratos, fracturamiento y los flujos de lavas (**Figura 3.1**).



Figura 3.1. Ejemplo de estratos buzando en la misma dirección de las pendientes. Ofrece un carácter de alta susceptibilidad al talud, tomado de Cuanalo et al. (2011).

Como cartografía base, se utilizaron imágenes spot de 5 m. de resolución de cada una de las cuatro áreas de estudio, ya que, por ser un área pequeña, se requería una escala muy detallada la cual no está disponible, ya que la cartografía con la que cuenta el INEGI y el SGM se encuentra en escala 1:250 000 y 1:50 000.

Debido a lo anterior, se optó por realizar y digitalizar la cartografía propia requerida para este proyecto de investigación. Así mismo entonces, se elaboraron mapas temáticos de las cuatro áreas de estudio: Playa hermosa, Roca partida. Montepío y Balzapote, mediante el Software Arc map 9.2.

De acuerdo al método seleccionado, se elaboraron los mapas temáticos correspondientes a: litología, pendiente, aspecto de la pendiente y uso de suelos. En el caso específico de la litología, fue necesario la realización de trabajo de campo específico para este fin.

3.2. Trabajo de campo

En esta fase de la investigación consistió en la visita a campo en el Estado de Veracruz, a cada una de las áreas de estudio y a sitios previamente seleccionados. El objetivo de esta visita a campo fue describir las características geológicas generales de cada sitio como; tipo de roca, alteraciones, relieve, características estructurales (planos de fallas, fractura, estratificación, rumbo y echado de las capas, dirección de flujo de lavas). Estas características como planos de fallas, estratificación y fracturas, se georreferenciaron mediante un Global Position System (GPS). Además, se reconocieron las principales características geomorfológicas de la zona y se tomaron algunas fotografías del área. Se pudo ver cuál de ellas representaba un peligro a deslizamiento o desprendimientos y se posiciono geográficamente, para después ser ubicada en el mapa y zonificar así las zonas potencialmente seguras para la construcción de estas plantas de energía oceánica.

3.3. Ponderación e Integración de la información.

Definida la cartografía necesaria durante **Trabajo de gabinete (Fase 1)** y en función del método ya descrito (Mora & Vahrson, 1994), se decidió integrarlos mediante un análisis multicriterio (álgebra de mapas), dándole un peso pertinente a cada uno de los factores. A cada factor se le dio un valor de acuerdo a las características que más adelante se describen. **Valor de susceptibilidad:** (1) Muy baja, (2) baja, (3) media, (4) alta y (5) muy alta.

Geología

Para este factor condicionante, se utilizó la clasificación propuesta por Gonzales de vallejo (2002) en su libro “*INGENIERIA GEOLÓGICA*”, donde clasifica las rocas en varios grupos de acuerdo a su resistencia geotécnica a la compresión simple.

En este trabajo, se reclasificó en solo 3 grupos de acuerdo a las litologías presentes en la zona, la **tabla 3.1** muestra esta clasificación.

Tabla 3.1. Litologías identificadas en los 4 casos de estudio, pesos asignados, según el nivel de susceptibilidad a los deslizamientos. Modificado a partir de la propuesta de Mora y Vahrson (1991).

Litología	Valor/Ponderación
Aluvión/Arenas	5
Tobas	2
Basalto	1

Pendiente

Para este factor condicionante, se tomó en cuenta la clasificación descrita por Mora, R. *et al.* (1992), en la cual el considera la pendiente como un detonante pasivo para los deslizamientos. A continuación, se describe la tabla modificada y su clasificación (**tabla 3.2**).

Tabla 3.2. Clasificación de la pendiente, modificado de Mora, R. *et al.* (1992).

Clasificación de la pendiente (°)	Descripción	Valor/Ponderación
0-4	Pendiente muy baja, peligro de erosión.	1
4-16	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo.	2
16-35	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos). Peligro extremo de erosión de suelos.	3
35-55	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.	4
>55	Extremadamente fuerte. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.	5

Aspecto de la pendiente

Para esta variable, se utilizó el método propuesto por Van Zuidam, R.A (1986) en “*AERIAL PHOTO-INTERPRETATION IN TERRAIN ANALYSIS AND GEOMORFOLOGIC MAPPING*” en el que contrasta la relación entre dirección de la pendiente y la dirección de los principales rasgos estructurales (**Tabla 3.3**).

Tabla 3.3. Aspecto de la pendiente; relación entre dirección de la pendiente y dirección de rasgos estructurales como fallas, fracturas, estratificación y dirección de flujo.

Coincidencia entre aspecto de la pendiente y datos estructurales	Valor/Ponderación
NO	1
SI	5

Uso de suelo

Para esta variable, se tomó en cuenta la vegetación y demás factores que influyen en el uso de suelo y cuáles de ellos hacen más proclive el área a un deslizamiento y/o desprendimiento.

A continuación, se muestra la tabla donde se generaron 5 grupos de acuerdo a la susceptibilidad a los movimientos gravitacionales (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Tipos de vegetación presentes en los casos de estudios.

Tipo de vegetación	Valor/Ponderación
Bosque	1
Pastos y vegetación	2
Vivienda	3
Vías de acceso y calles	4
Cuerpos de agua	5

Los pesos asignados y descritos hasta aquí, en función de cada factor condicionante, son comunes para el procesamiento de la información tanto para el análisis de susceptibilidad de “Desprendimientos” como para “Deslizamientos”, excepto para la variable “litología”. En el caso de los desprendimientos o caídas de rocas, el carácter frágil o dúctil de los materiales geológicos juegan un rol esencial. Los desprendimientos son un fenómeno exclusivo de los materiales consolidados (rocas) y agrietados (**Foto 3.2**). Donde las fracturas delimitan bloques de diferentes dimensiones susceptibles a caer por acción de la gravedad y en ocasiones inducidos por sismos u otros eventos. En este sentido los pesos asignados a las litologías, en función de la susceptibilidad a los desprendimientos que de la forma que se muestra en la **tabla 3.5**.

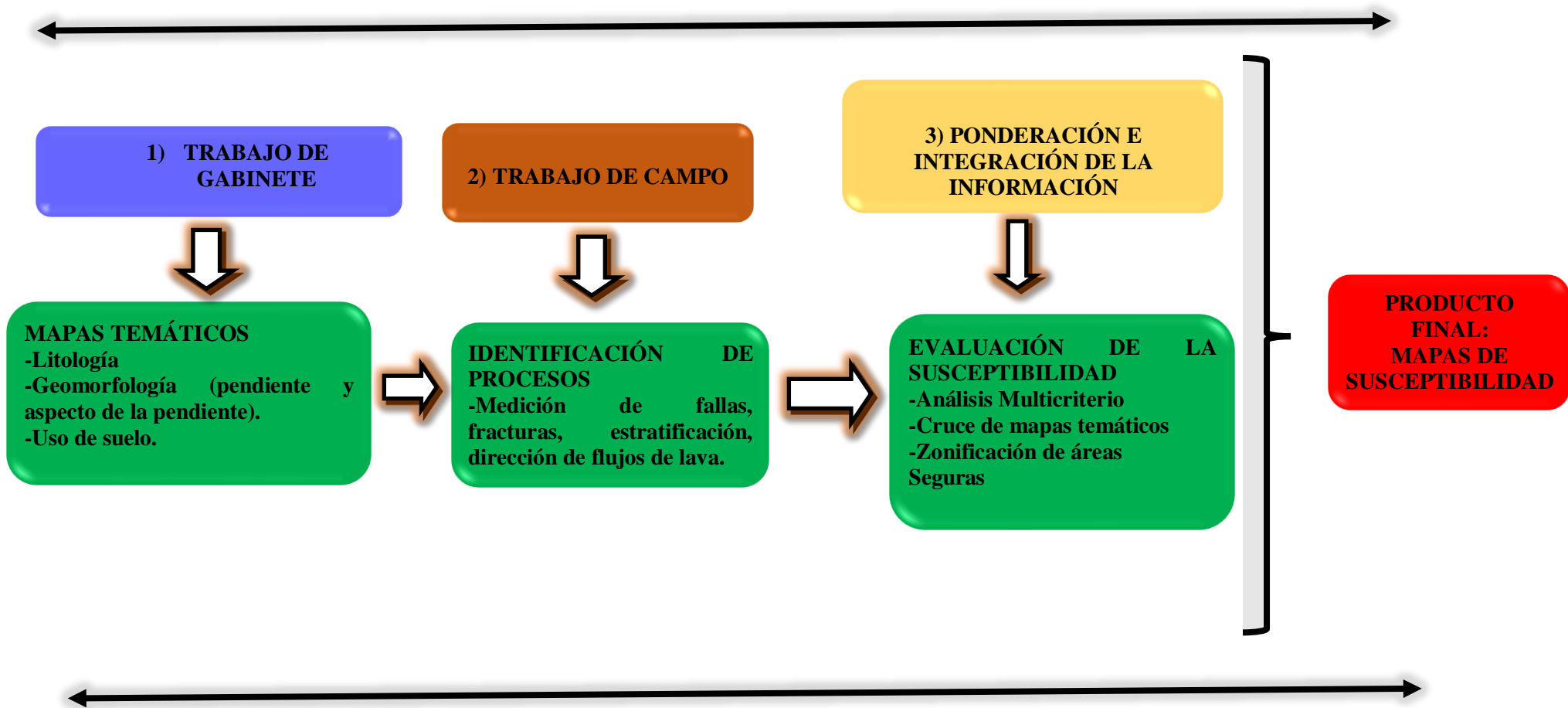


Foto 3.2.- Fracturamiento y caída de rocas del área Balzapote.

Tabla 3.5. Litologías identificadas en los 4 casos estudio, pesos asignados, según el nivel de susceptibilidad a los desprendimientos.

Litología	PONDERACIÓN	Nivel de Susceptibilidad
Aluvión/Arenas	1	Muy baja
Tobas	4	Alta
Basalto	5	Muy Alta

FASES DE INVESTIGACIÓN:



CAPÍTULO 4. RESULTADOS

En este capítulo, se muestran y se interpretan los principales resultados obtenidos en esta investigación. Los resultados se dividen en dos grupos:

1)Cartografía de susceptibilidad de deslizamientos

2)Cartografía de susceptibilidad a los desprendimientos

Cada uno de los dos grupos, cubren las cuatro áreas de estudios: **Roca Partida, Playa Hermosa, Montepío y Balzapote.**

4.1. Cartografía de susceptibilidad de deslizamientos

4.1.1. Mapas temáticos vinculados al análisis de deslizamientos

De acuerdo a la metodología empleada, fue necesario el uso de tres variables físicas en la susceptibilidad a los deslizamientos, por lo tanto, se realizó un mapa temático para cada una de ellas, las variables utilizadas fueron: Geología, Geomorfología y finalmente, el uso de suelo. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada una de las áreas de estudio, así como sus variables físicas y mapas obtenidos durante la investigación.

Roca Partida

Geología

Se realizó el recorrido del área, donde se identificaron los siguientes paquetes litológicos; principio una fractura no tiene movimiento, sino sería una falla. Uno constituido por basaltos prismáticos, otro segundo grupo por derrames lávicos de igual composición, ambas unidades sobreyaciendo a varios horizontes de flujos piroclásticos de caída libre (tobas) (**Foto 4.1**). En ocasiones, la secuencia se invierte o intercala, esto podría deberse a la

presencia de diversos sistemas de fracturamiento, que podrían deberse a fallamientos en la zona, ya que estos que afectan a toda la columna estratigráfica.

Se observaron también, flujos de caída libre con fragmentos de tamaño de bombas, las cuales formas “*estructuras de caída*” sobre el material ya depositado (**Foto 4.2**), en el área de estudio se encontró también un depósito aluvial, así como arenas de grano grueso constituida principalmente por granos de cuarzo y líticos de distinta composición.

Se definió un rumbo para el flujo en los depósitos de lava, así como en los flujos piroclásticos, las dos unidades muestran una dirección preferencial con un rumbo N 120° y echado al SW con 36° de inclinación predominantemente. Se observa además un sistema de fracturamiento principal con rumbo N° 306 NE 70° que afecta a las dos unidades volcánicas.

Mediante los trabajos de campo realizados, se pudo elaborar el mapa geológico para el área “Roca Partida” (**Figura 4.1, A**). Posteriormente, se agruparon las litologías según su predisposición a deslizarse, de esta forma en la **Figura 4.1, B**, se muestran los sitios donde afloran las rocas menos resistentes y con mayor susceptibilidad a deslizarse.

En el mapa geológico, se observan los paquetes litológicos anteriormente descritos los cuales constan de; derrames y prismas basálticos, tobas de composición básica de igual manera, una porción de aluvión y algunas porciones de arenas (**Figura 4.1 A**).

Como podemos observar en la figura **4.1 B**, de acuerdo a la naturaleza de la roca, se agruparon en tres paquetes; El primero, constituido por los materiales de origen basáltico como lo son los derrames lávicos y los prismas, los cuales debido a su naturaleza representan una “*muy baja*” susceptibilidad a los deslizamientos, en segundo plano y con una susceptibilidad “*media*”, se observan a las tobas de origen basáltico, finalmente el tercer grupo con una susceptibilidad “*muy alta*” está representado por el paquete de aluvión y las arenas, las cuales debido a su estado de no consolidación muestran el mayor peligro en el área.

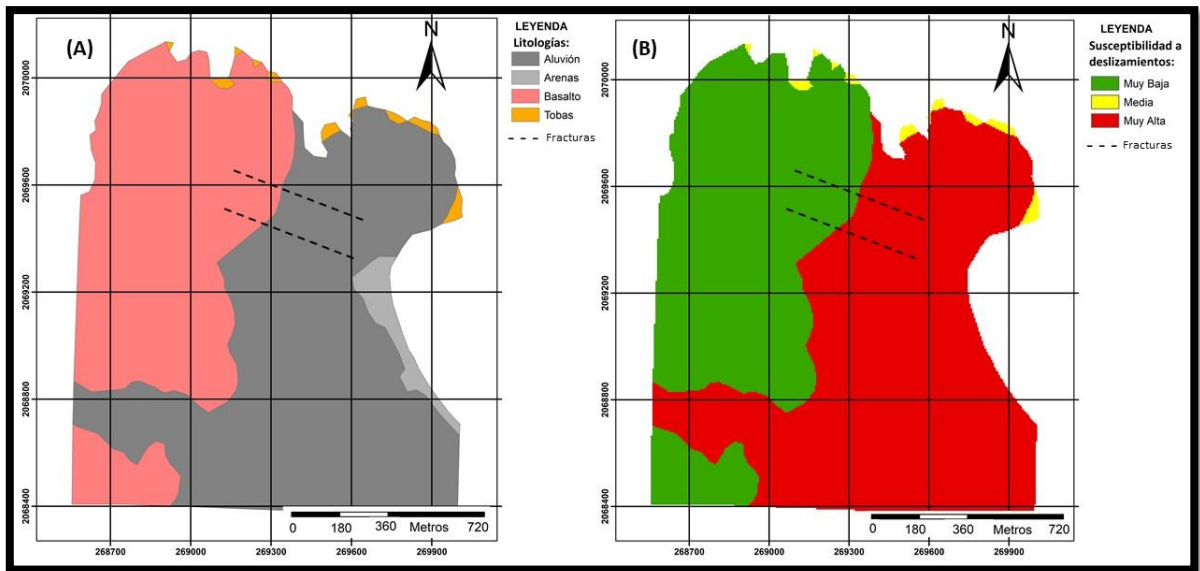


Figura 4.1. (A) Mapa Geológico de Roca Partida.

(B) Mapa donde se muestra el agrupamiento de las litologías según su predisposición a los deslizamientos.

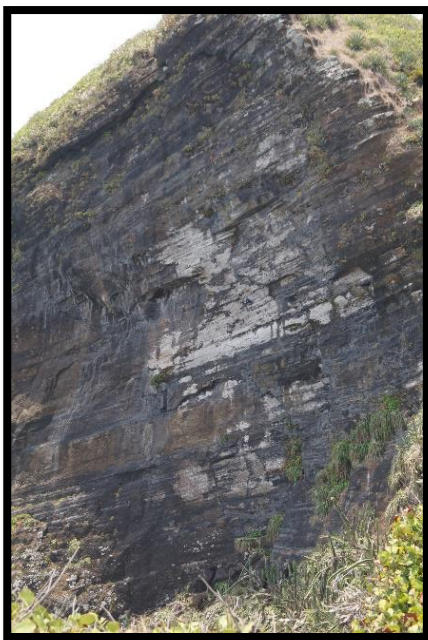


Foto 4.1.- Flujos piroclásticos de caída



Foto 4.2.- Flujos piroclásticos formando Estructuras de caída.

Geomorfología

El Mapa temático “Geomorfológico”, resalta en tonos de rojos, los sitios donde las pendientes del terreno son superiores a los 27° , y además el aspecto de las pendientes (dirección de la inclinación de las pendientes) coincide con la dirección de buzamiento de algunos elementos estructurales medidos (planos de fallas, fracturas, buzamientos de los estratos y dirección de flujo).

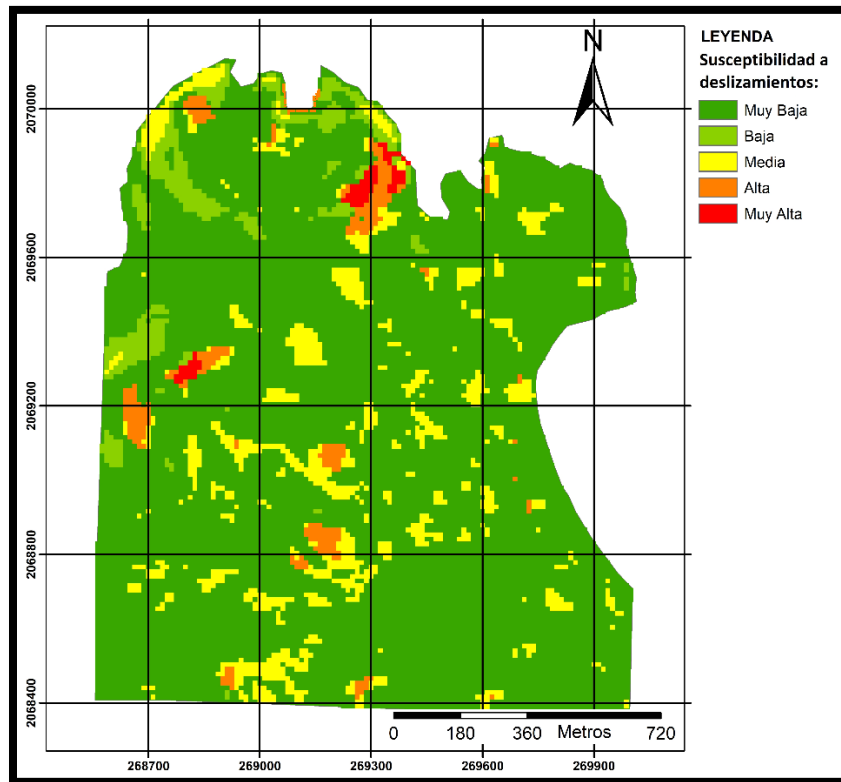


Figura 4.2. Mapa “Geomorfológico” de Roca Partida.

Uso de suelo

Los usos y tipos de ocupación de la superficie identificados en Roca Partida son; Agrícola, Bosque denso, Zona construida, Pastizal y Zona de Playa. De los usos citados, el pastizal es el predominante en el área de estudio, el confiere un nivel de alta susceptibilidad a la mayor parte de la zona, por lo cual se entiende que esta área de estudio y de acuerdo a su uso de suelo, se encuentra en una zona de alta susceptibilidad en aproximadamente un 60-70% del total del área.

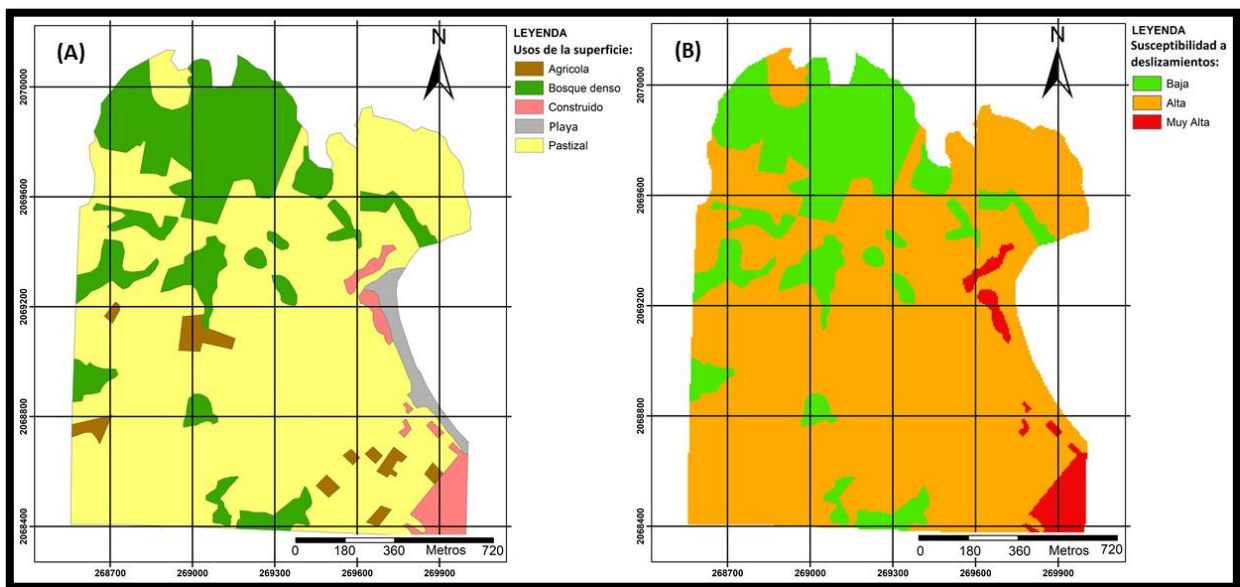


Figura 4.3. Mapa de “Uso de suelos”. (A) Muestra los distintos usos de suelo
(B) Agrupamiento de los usos, según su influencia en la ocurrencia de los deslizamientos.

Playa Hermosa

Geología

Se realizó el reconocimiento geológico del área Playa Hermosa, la cual se caracterizó por tener una extensión de playa de aproximadamente 400 m y un ancho de 30 m. Geológicamente está caracterizada por flujos piroclásticos de caída libre, de composición basáltica y con dirección de flujo N ° 110 y un echado al SW 8°. En algunas ocasiones se

observó derrames de lava tipo pillow (**foto 4.3**), lo cual hace notar que se trató de un vulcanismo en ambiente marino. Se observaron además arenas de grano grueso a medio, conformadas por cuarzo y líticos de distinta composición. En las rocas volcánicas, se identificaron 3 sistemas preferenciales de fracturamiento; 1) N 85° SE 80°, 2) N 309° SE 87° y 3) N 188° NW 76° (**foto 4.4**).

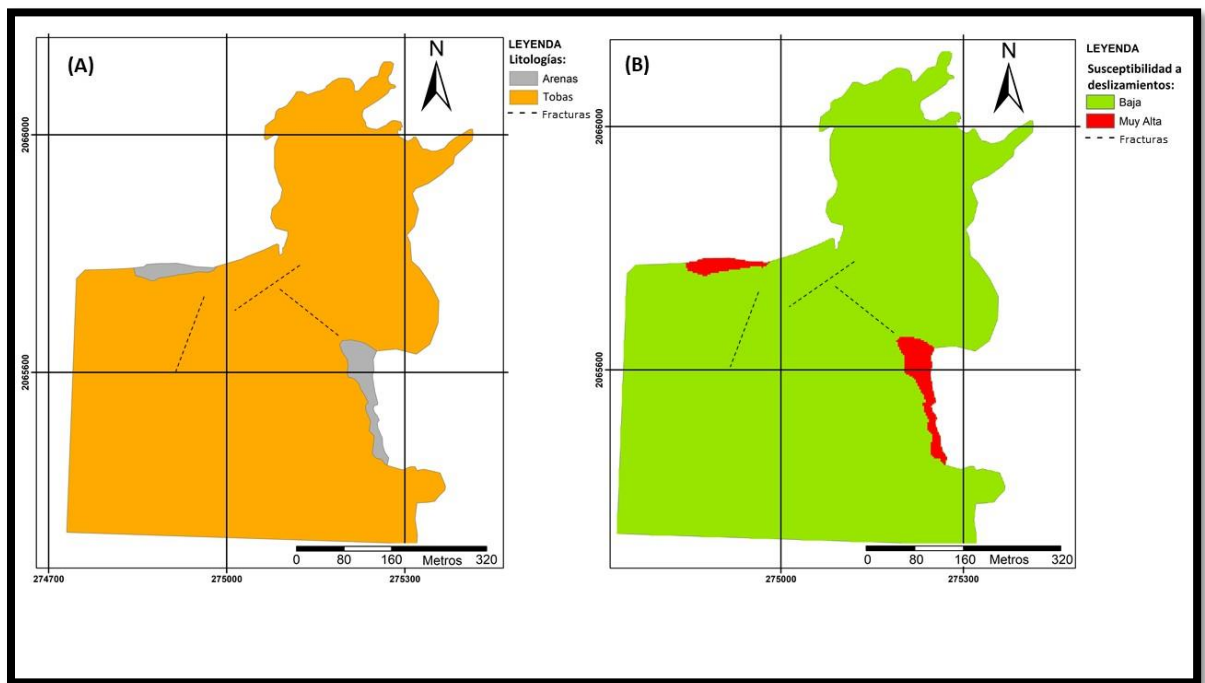


Figura 4.4. (A) Mapa Geológico Playa Hermosa.

(B) Mapa donde se muestra el agrupamiento de las litologías según su predisposición a los deslizamientos.



Foto 4.3.- Derrames con estructura pillow



Foto4.4.- Sistemas de fracturamiento

Geomorfología

En el área de estudio, se observaron principalmente distintos niveles de terrazas submarinas y algunas dunas por acción eólica. Se pueden visualizar en el mapa en tonos rojizos, las áreas donde las geoformas tienen pendiente $>27^\circ$ y los datos estructurales como estratificación, sistemas de fracturamiento o dirección de flujo coinciden, generando así una alta susceptibilidad a los deslizamientos.

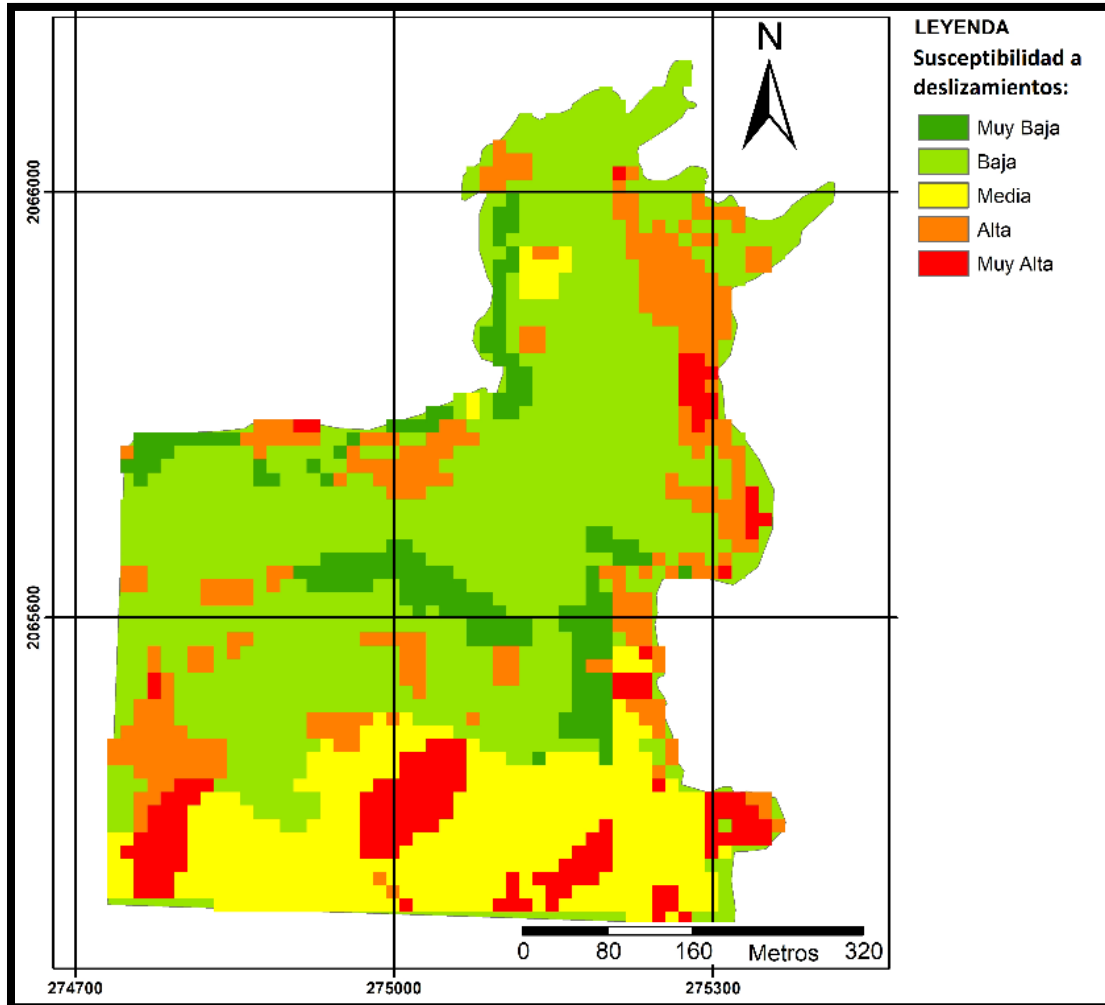


Figura 4.5. Mapa “Geomorfológico” Playa Hermosa.

Uso de suelo

En el mapa de usos de suelo, se muestran los principales usos que se le da a el suelo del área, se observa que los principales usos de suelo son los pastizales, en segundo plano lo construido y en tercer lugar la playa. A su vez, la zona con muy alta susceptibilidad a deslizamientos, son las áreas construidas y con una alta probabilidad se encuentran además los pastizales y las zonas arenosas de playa.

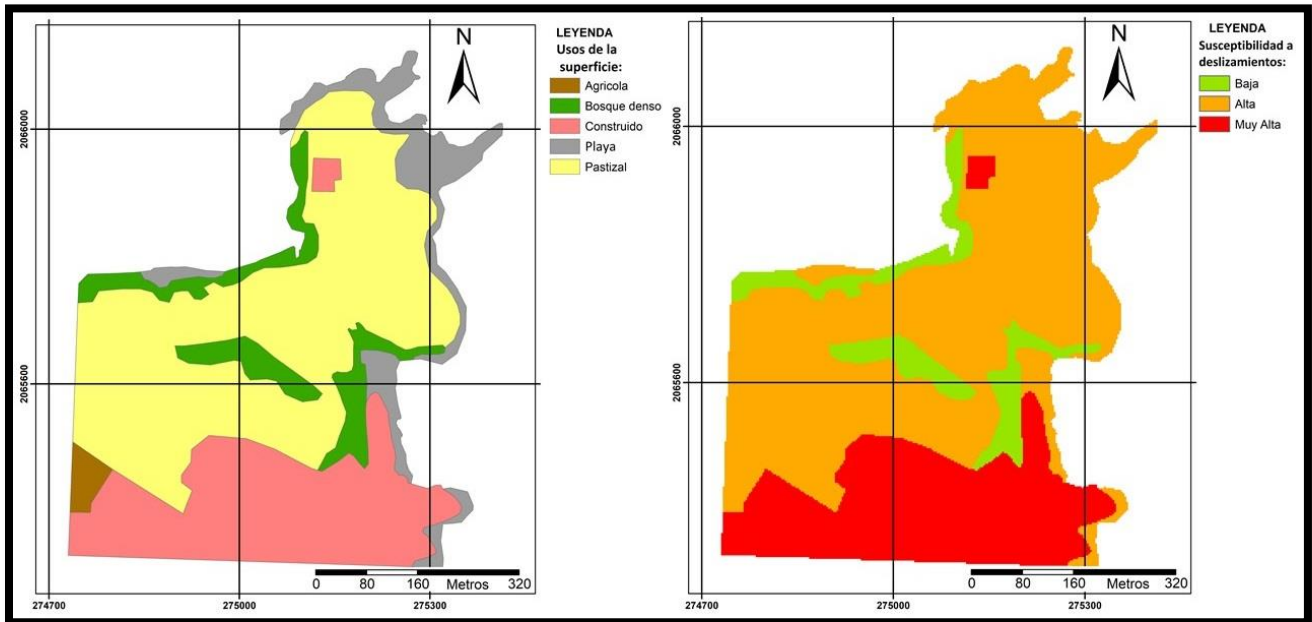


Figura 4.6. Mapa de “Uso de suelos”. A la izquierda se muestran los distintos usos de suelo y a la derecha se agrupan los usos según su influencia en la ocurrencia de los deslizamientos en el área de Playa Hermosa.

Montepío

Geología

Se realizó el reconocimiento geológico del área mediante un caminamiento por la playa Montepío, en la cual se encontraron principalmente derrames de composición basáltica con textura vesicular y con visible dirección de flujo con rumbo N ° 110° SW 8°. En algunas ocasiones se observó derrames de lava tipo pillow (**Foto 4.5**), lo cual hace notar que se trató de un vulcanismo en ambiente marino, se encontraron también cuerpos de arena y de aluvión. Además, se identificaron 3 sistemas preferenciales de fracturamiento en el área: 1) N 85° SE 80°, 2) N 309° SE 87° y 3) N 188° NW 76° (**foto 4.6**).

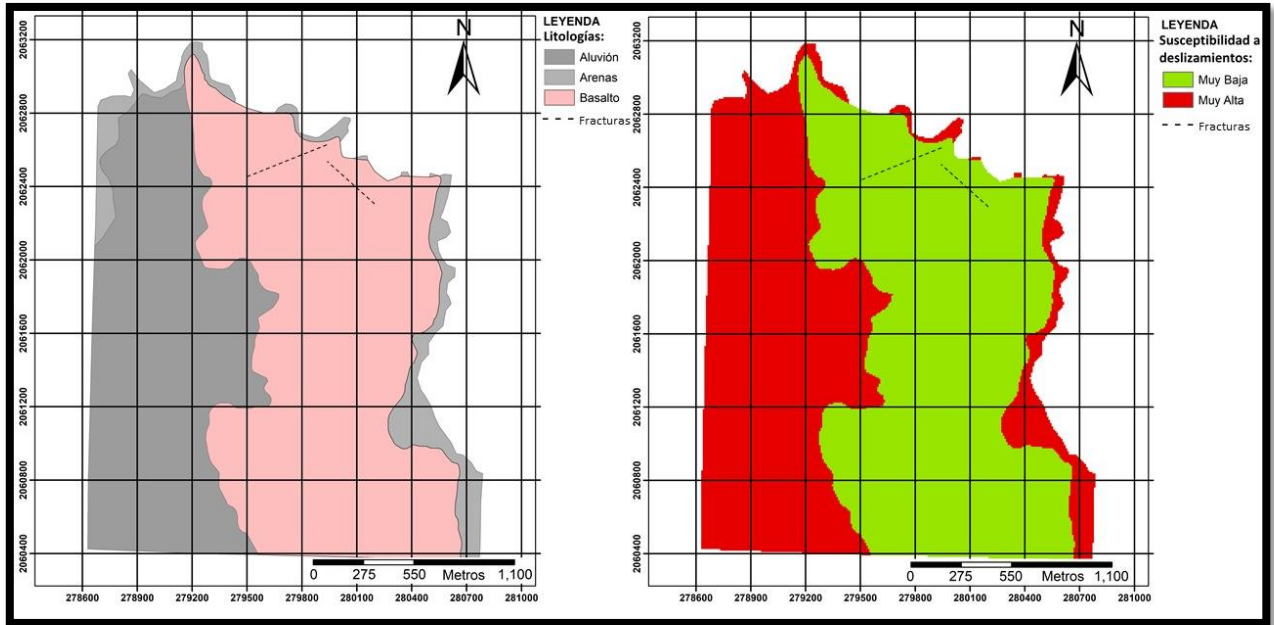


Figura 4.7. A la izquierda se observa el mapa geológico en el área de Montepío. A la derecha se agrupan las litologías según predisposición a los deslizamientos.



Foto 4.5.- Lavas tipo pillow



Foto 4.6.- Sistemas de fracturas

Geomorfología

En esta área, se localizaron principalmente una amplia zona de escarpes de tamaño considerable, los cuales representan un alto riesgo a deslizamientos en la zona, debido a que la inclinación de la pendiente coincide además en la mayoría de las ocasiones con la dirección de buzamiento de los datos estructurales del área como lo son; planos de fallas, fracturas, pseudoestratificación.

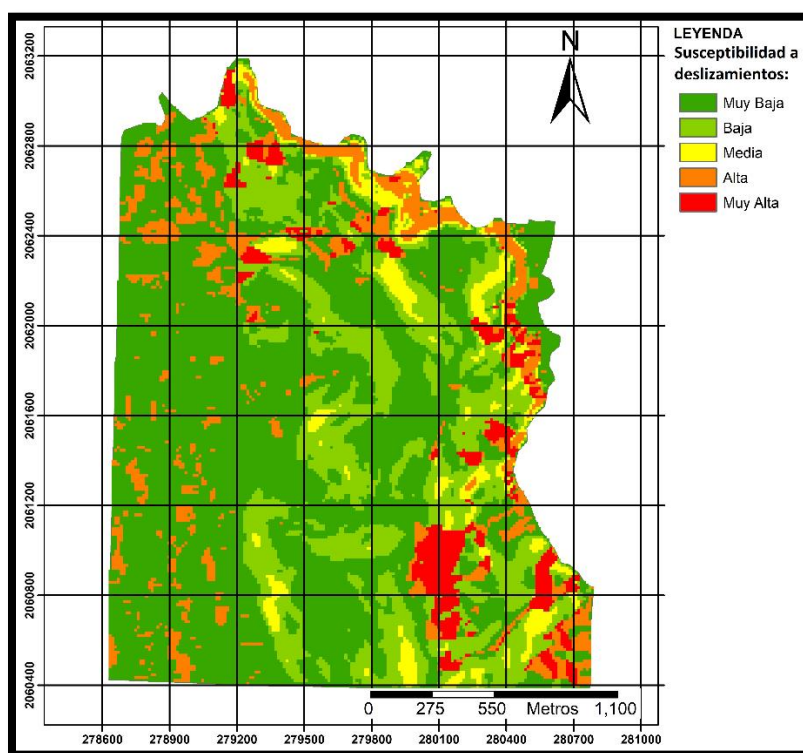


Figura 4.8. Mapa “Geomorfológico” Montepío.

Uso de suelo

En el mapa de uso de suelos para Montepío, se dividió en 6 usos de suelo; Agrícola, bosque denso, bosque semidenso, construido, playa y pastizal. Siendo de esta forma lo construido y el pastizal lo que resulta con muy alta y alta susceptibilidad a deslizamientos respectivamente. Se observa además que el bosque denso es el menos susceptible a

deslizamientos y que el bosque semidenso muestra una susceptibilidad media a este tipo de eventos.

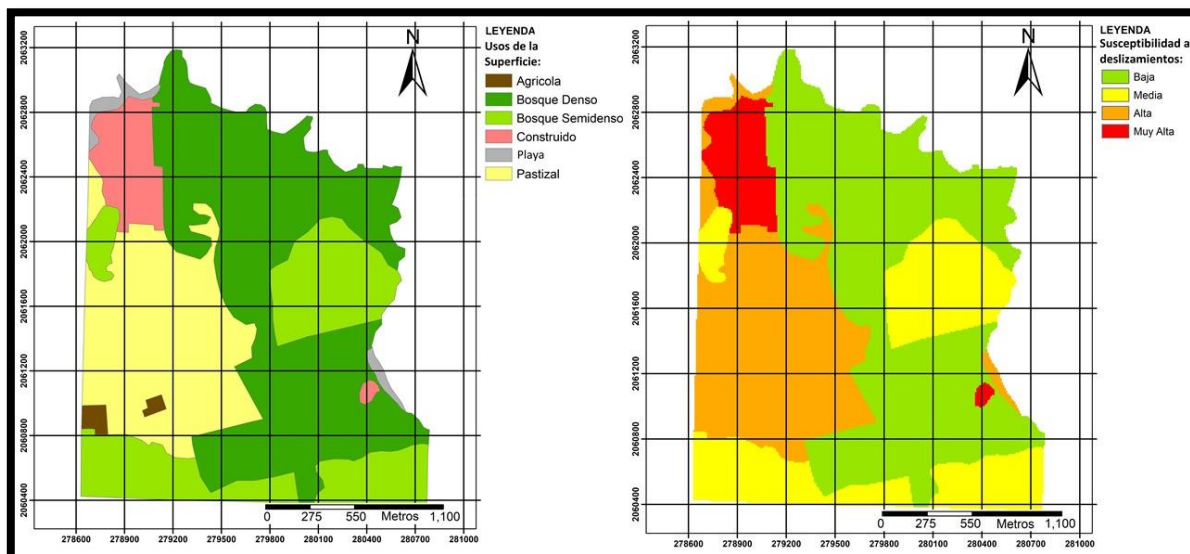


Figura 4.9. Mapa de “Uso de suelos”. A la izquierda, se muestran todos los usos de la superficie y a la derecha se agrupan los usos según su influencia en la ocurrencia de los deslizamientos en el área de estudio Montepío.

Balzapote

Geología

En el área de Balzapote se identificaron principalmente tres paquetes litológicos que a continuación se describen:

Primeramente, en la base se localiza derrames de composición básica (**Foto 4.7**), sobre el cual se sobrepone un aluvión y un abanico aluvial. Los derrames de composición basáltica y de origen cuaternario en ocasiones son de tipo pillow, sobre estos, se presentan dos sistemas de fracturamiento principal: N 280° NE 80° y N 142° SW 82° (**Foto 4.8**). En el mapa geológico se observan las distintas unidades litológicas del área, así como su predisposición a deslizarse según su naturaleza (**Figura 4.10**).

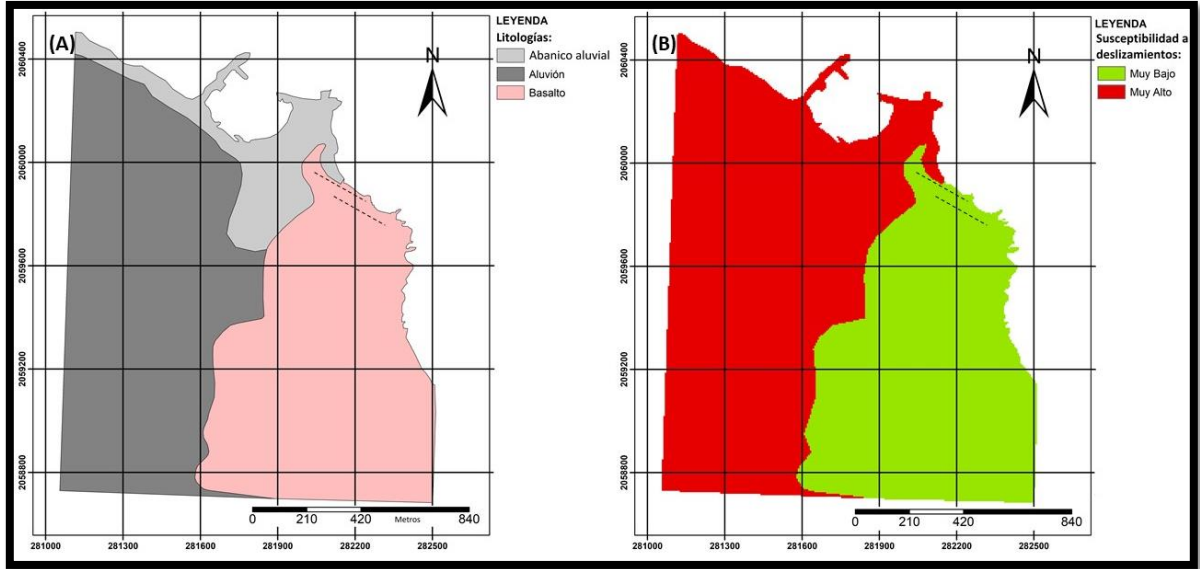


Figura 4.10. (A) Afloramiento de los diferentes tipos litol3gicos en Balzapote.
 (B) Agrupamiento de las litologías seg3n predisposici3n a los deslizamientos.



Foto 4.7.- Dep3sitos de tipo pillow



Foto 4.8.- Sistemas de fracturamiento

Geomorfología

En el mapa geomorfológico, se observan con rojo las pendientes con una inclinación $>27^\circ$ además en estos sitios, los datos estructurales coinciden con el echado de las capas o de los sistemas de fracturamiento, flujo de lava, etc. Se observa que en las 3 unidades hay porciones que muestran alta susceptibilidad al deslizamiento. En la porción W del área de estudio se observa menor susceptibilidad a deslizamiento para esta variable.

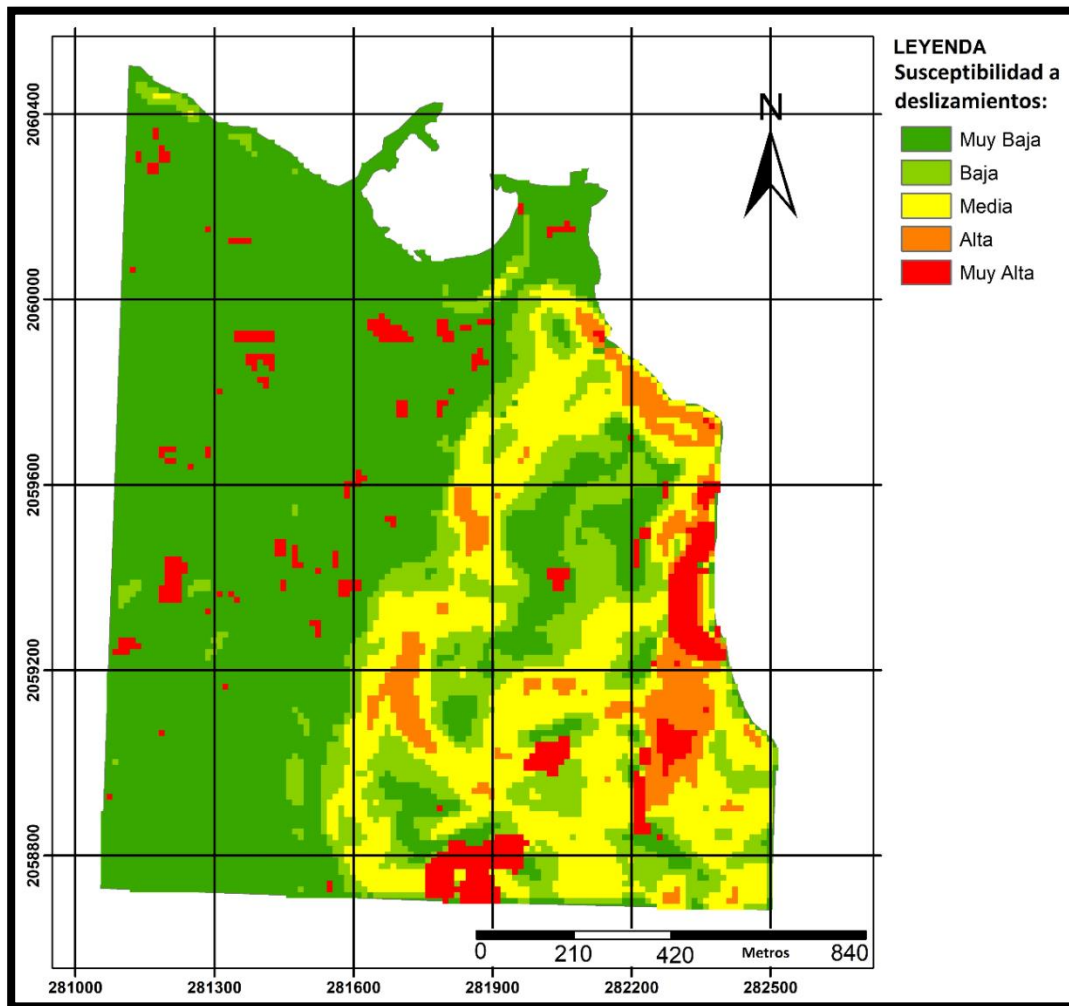


Figura 4.11. Mapa “Geomorfológico” de Balzapote.

Uso de suelo

El área de estudio se dividió en seis usos de suelo; Agrícola, bosque denso, bosque semidenso, construido, playa y pastizal. Siendo las zonas de construido las más susceptibles a deslizarse, solo seguidas por las zonas de pastizal, agrícola y de playa, las cuales, representan una alta probabilidad para este tipo de eventos.

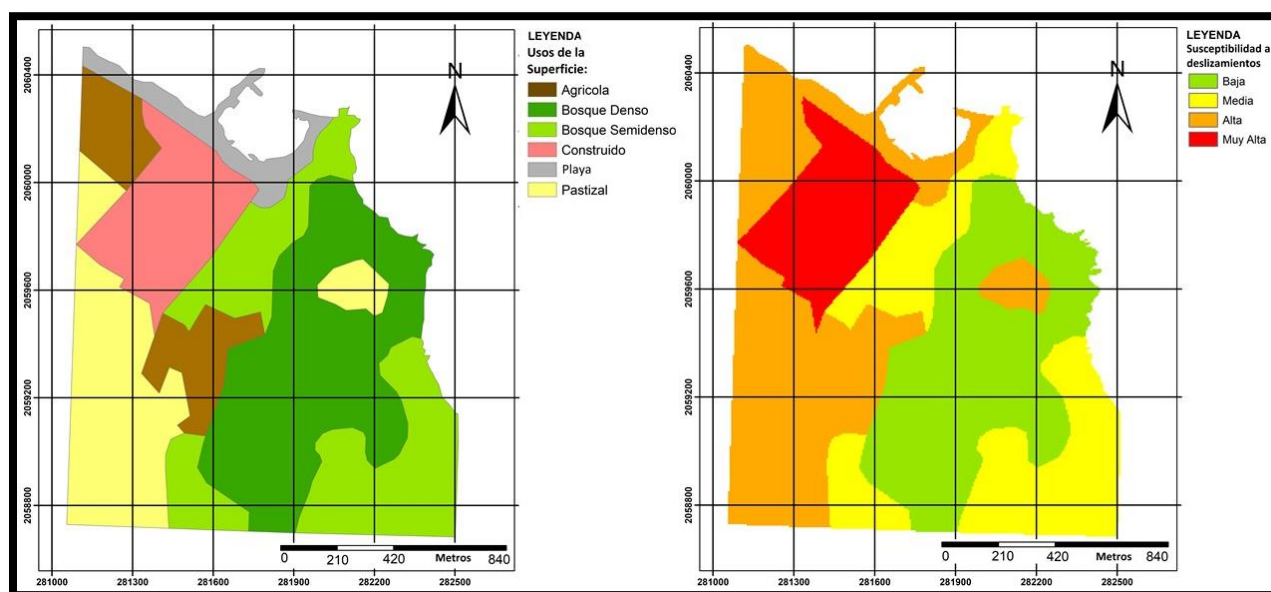


Figura 4.12. Mapa de “Uso de suelos”. A la izquierda se muestran todos los usos de suelo y a la derecha se agrupan los usos según su influencia en la ocurrencia de los deslizamientos en el área de Balzapote.

4.1.2. Mapas de susceptibilidad a los deslizamientos

En este apartado se realiza las respectivas interpretaciones a los mapas de susceptibilidad a los deslizamientos de los cuatro casos de estudio abordados, así como también se hacen algunas recomendaciones para el uso de este escenario geográfico.

Roca Partida

En este mapa, se conjugan las 3 variables; geología, geomorfología y uso de suelo. Se realizó un álgebra de mapas y se le asignó el peso a cada variable, con esto se obtuvo como resultado, un mapa final que muestra las zonas susceptibles a los deslizamientos. Se observa que en general, la zona es muy factible para la construcción de estas plantas de energía oceánica ya que casi toda el área se encuentra con baja y muy baja susceptibilidad. Solo se encuentran algunas áreas muy pequeñas con media y alta susceptibilidad en la parte central del área, lo cual no afecta a la construcción de estas plantas ya que estas, se construirán pegadas a la línea de costa.

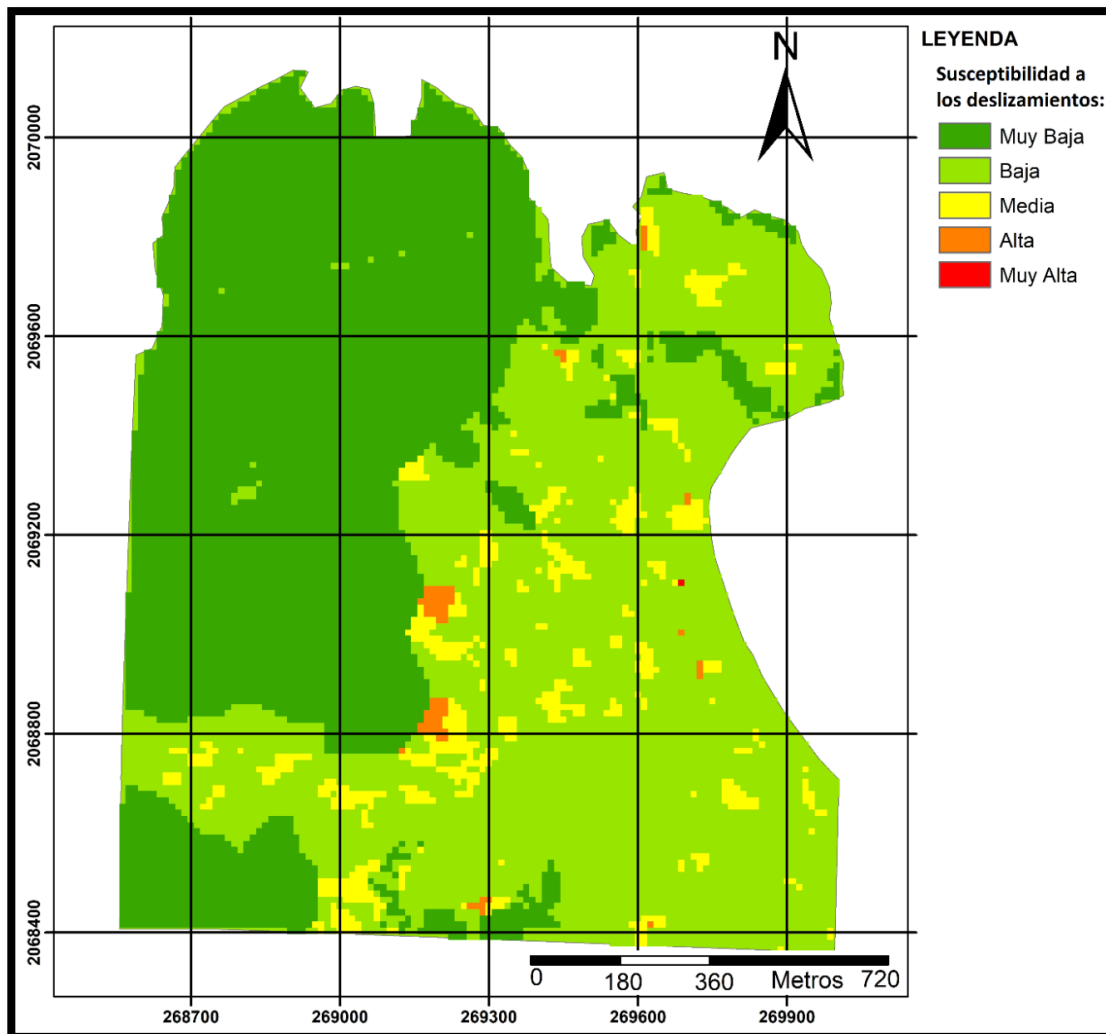


Figura 4.13. Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos. Roca Partida.

Playa Hermosa

Para el caso de playa hermosa, se realizó de igual manera el álgebra de mapas y se le asignó un peso a cada variable, obteniendo como resultado que; Una gran porción del área de estudio se encuentra con una susceptibilidad baja a los deslizamientos en general, algunas porciones con muy baja y otras porciones con media. Solo una pequeña parte pegado a la línea de costa se observó con una muy alta susceptibilidad.

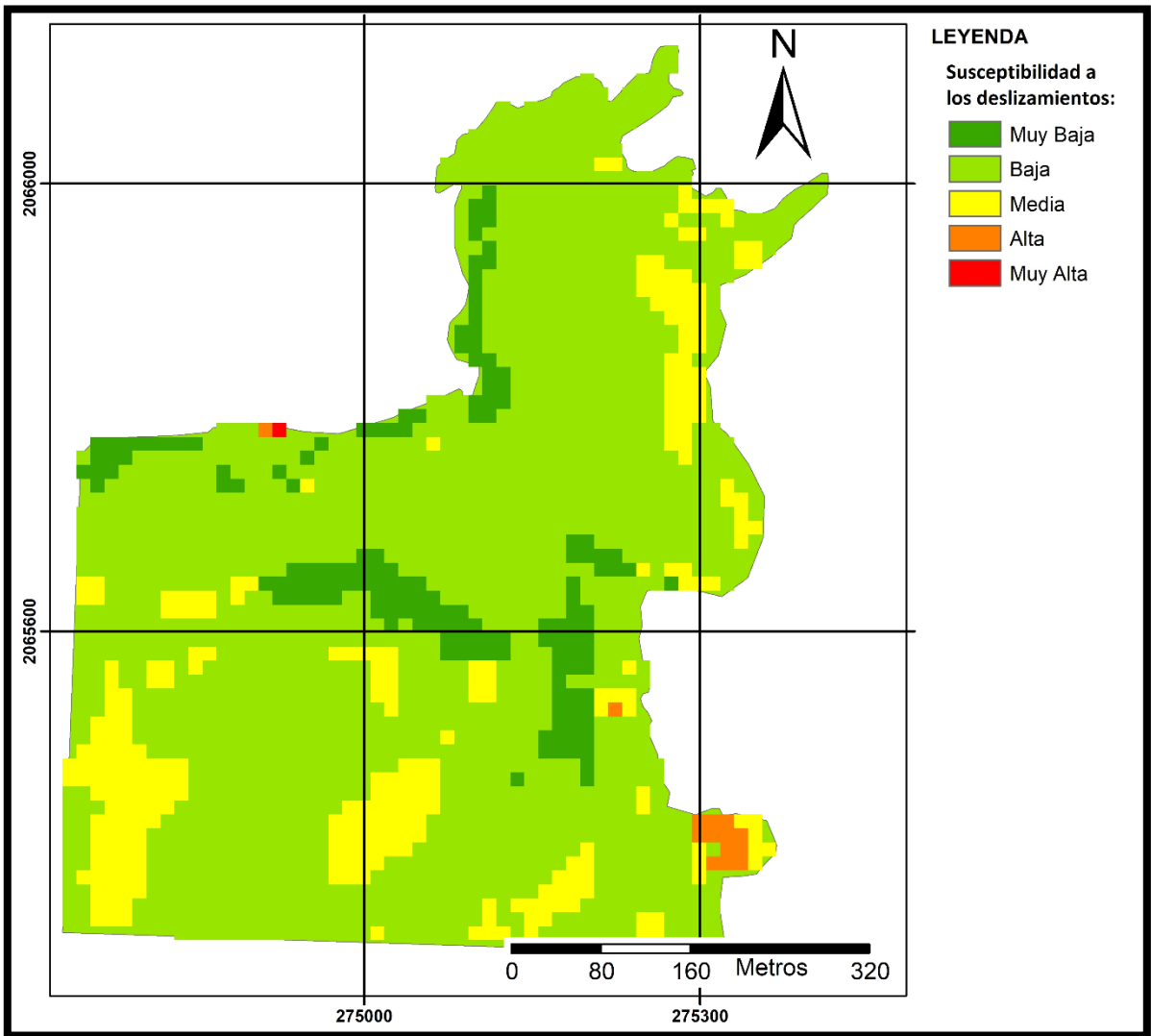


Figura 4.14. Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos. Playa Hermosa.

Montepío

En esta área de estudio, se observa que la mayor parte representa una muy baja y baja susceptibilidad a los deslizamientos, sin embargo, existen porciones importantes que muestran susceptibilidad media hasta muy alta, sobre todo en la línea de costa en la porción NW y SE de nuestro mapa, sobre las cuales, no sería factible construir este tipo de plantas de generación de energía oceánica.

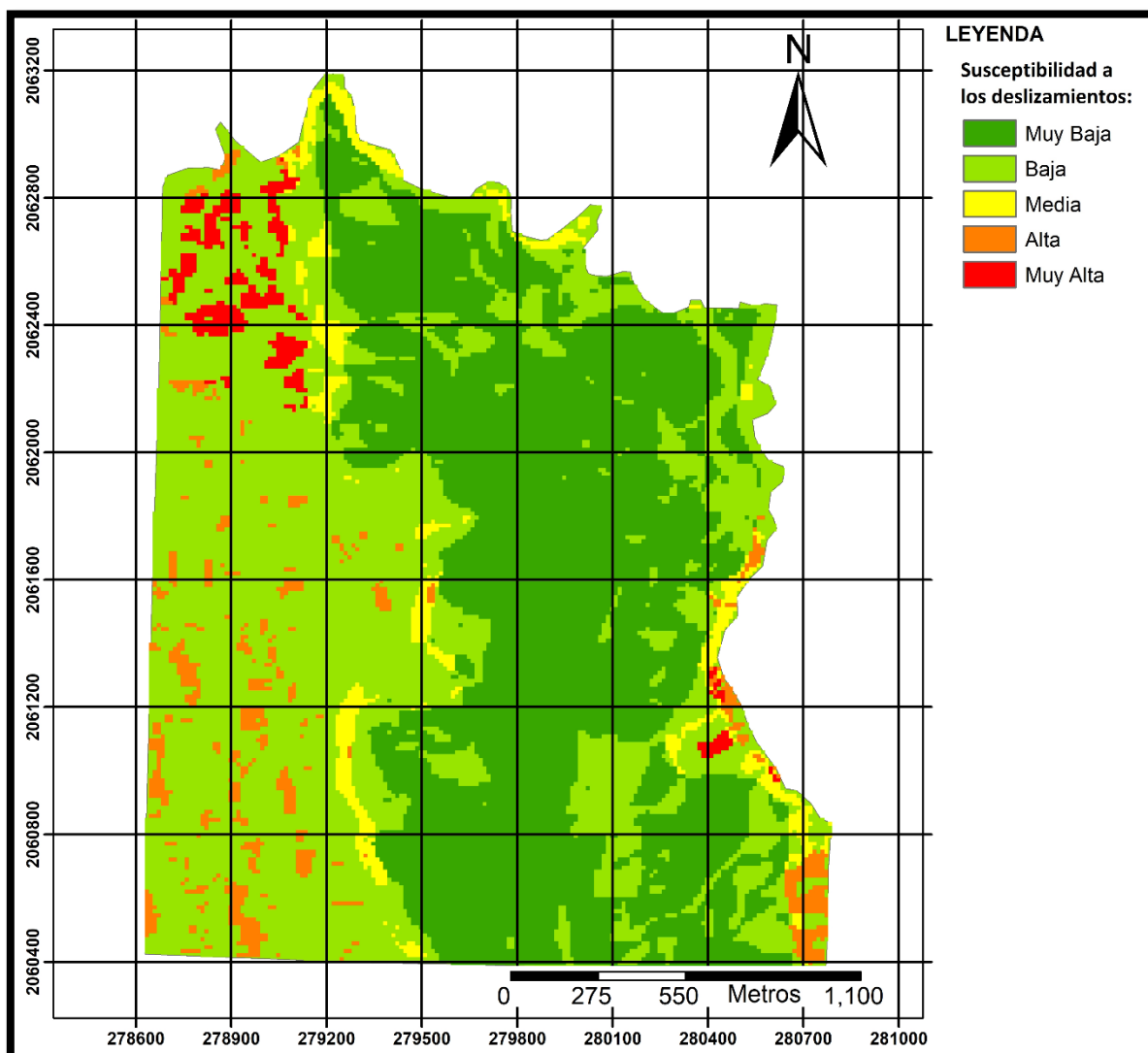


Figura 4.15. Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos en Montepío.

Balzapote

En esta área de estudio, se puede observar que la mayor porción está representada por áreas seguras ya que, se encuentra con una muy baja y baja susceptibilidad en casi el total de su área. Hay algunas pequeñas porciones que muestran una susceptibilidad alta y muy alta, pero, se localizan en la parte central de área y no afectarían a las plantas de energía ya que como se mencionó anteriormente, estas se pretenden construir sobre la línea de costa.

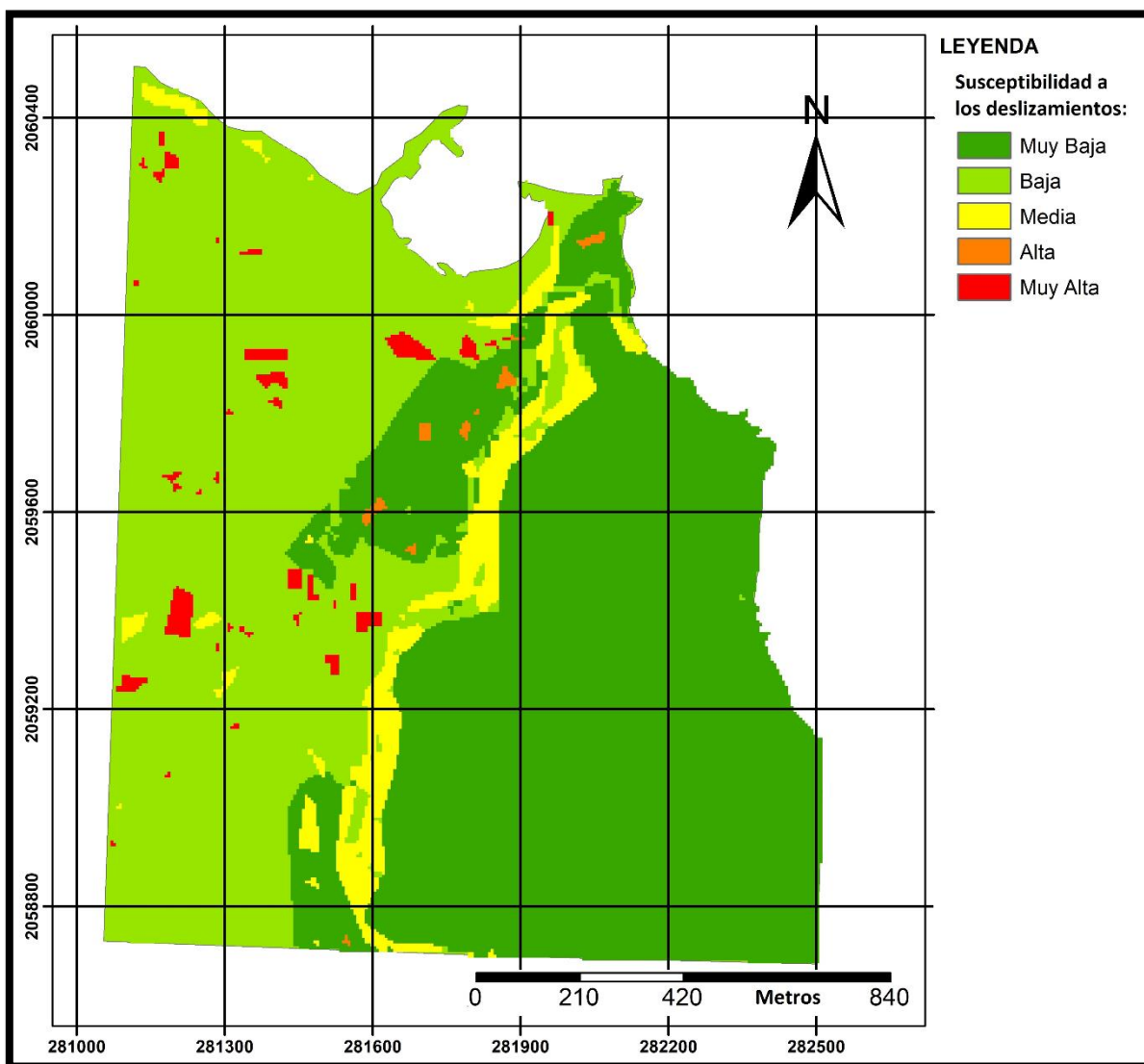


Figura 4.16. Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos en Balzapote.



Foto 4.9.-Área Roca Partida



Foto 4.10.-Área Playa Hermosa

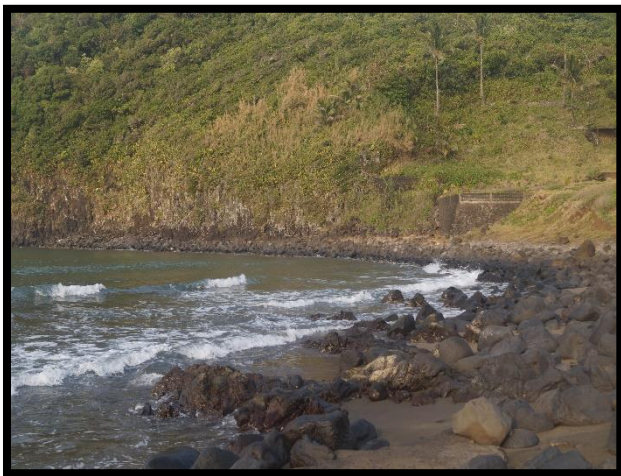


Foto 4.11.-Área Montepío



Foto 4.12.- Área Balzapote

4.2. Cartografía de susceptibilidad a los desprendimientos

4.2.1. Mapas temáticos vinculados al análisis de desprendimientos

Según la metodología empleada, fue necesaria la confección de tres mapas temáticos que representan espacialmente los parámetros físicos con influencia directa en los desprendimientos, los cuales son:

- Geología
- Geomorfología
- Uso de suelo

De acuerdo al método empleado, las variables geomorfológicas y uso de suelo, son comunes tanto para el análisis de susceptibilidad a los deslizamientos, como para el análisis de susceptibilidad a los desprendimientos. Pero en el caso de **la litología**, la lógica fue inversa en el análisis de ambos fenómenos. Para el caso de los deslizamientos, los materiales geológicos más susceptibles eran los menos consolidados, sin embargo, los materiales más proclives a la ocurrencia de desprendimientos, son los consolidados debido a su carácter y naturaleza rígida.

Roca Partida

Geología

En este caso de estudio, se dividió en tres grupos de acuerdo a su predisposición a tener algún tipo de desprendimiento; el primer grupo con muy baja predisposición a desprendimientos son el aluvión y las arenas, el segundo grupo con una susceptibilidad alta, está constituido por los derrames basálticos y, finalmente, el tercer grupo se compone por las tobas, las cuales, representan una muy alta susceptibilidad a los desprendimientos en la zona y por tanto, no sería recomendable construir los prototipos en estas unidades litológicas.

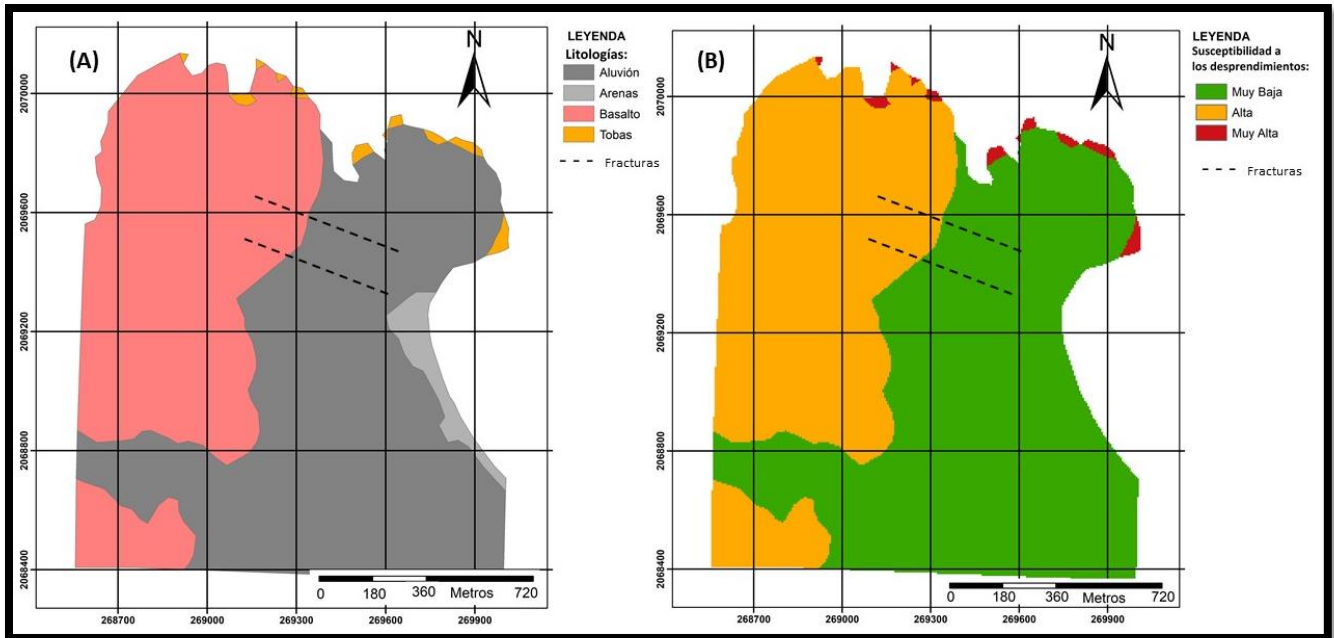


Figura 4.17. (A) Mapa geológico de Roca Partida.

(B) Agrupamiento de las litologías según predisposición a los desprendimientos.

Playa Hermosa

Geología

En esta área de estudio, al hacer la reclasificación, se encontraron principalmente dos grupos según su predisposición a los desprendimientos, el primero que consta de las arenas y muestra una muy baja susceptibilidad a los desprendimientos debido a su naturaleza no consolidada. Se observó un segundo grupo, constituido por las tobas basálticas, las cuales, muestran una muy alta susceptibilidad a los desprendimientos de acuerdo a su comportamiento rígido.

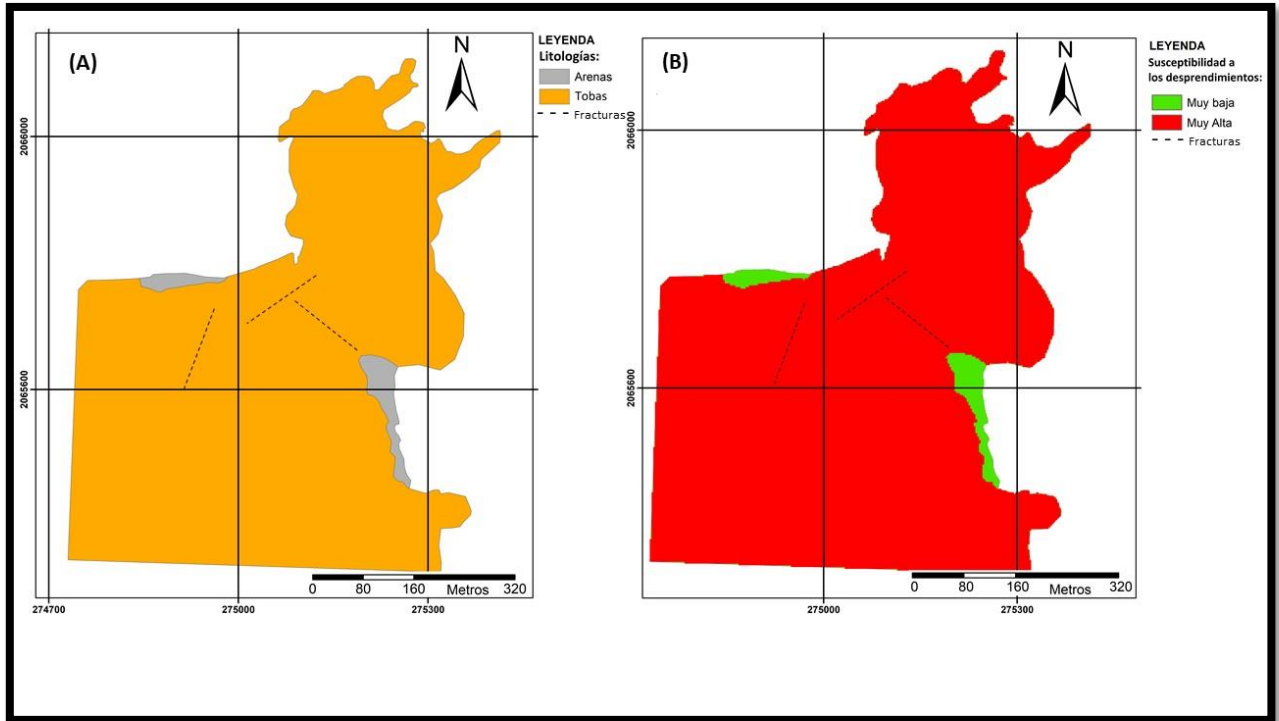


Figura 4.18. (A) Aflorabilidad de los diferentes tipos litológicos en Playa Hermosa.
 (B) Agrupamiento de las litologías según predisposición a los desprendimientos.

Montepío

Geología

En el área de Montepío, se dividió principalmente en dos grandes grupos: el primero constituido por las arenas y el aluvión, los cuales muestran una susceptibilidad muy baja a desprendimientos. En segundo plano y con una susceptibilidad alta, están está constituido por los derrames lávicos de composición básica. Esto ocurre debido a la naturaleza rígida de los materiales extrusivos del área.

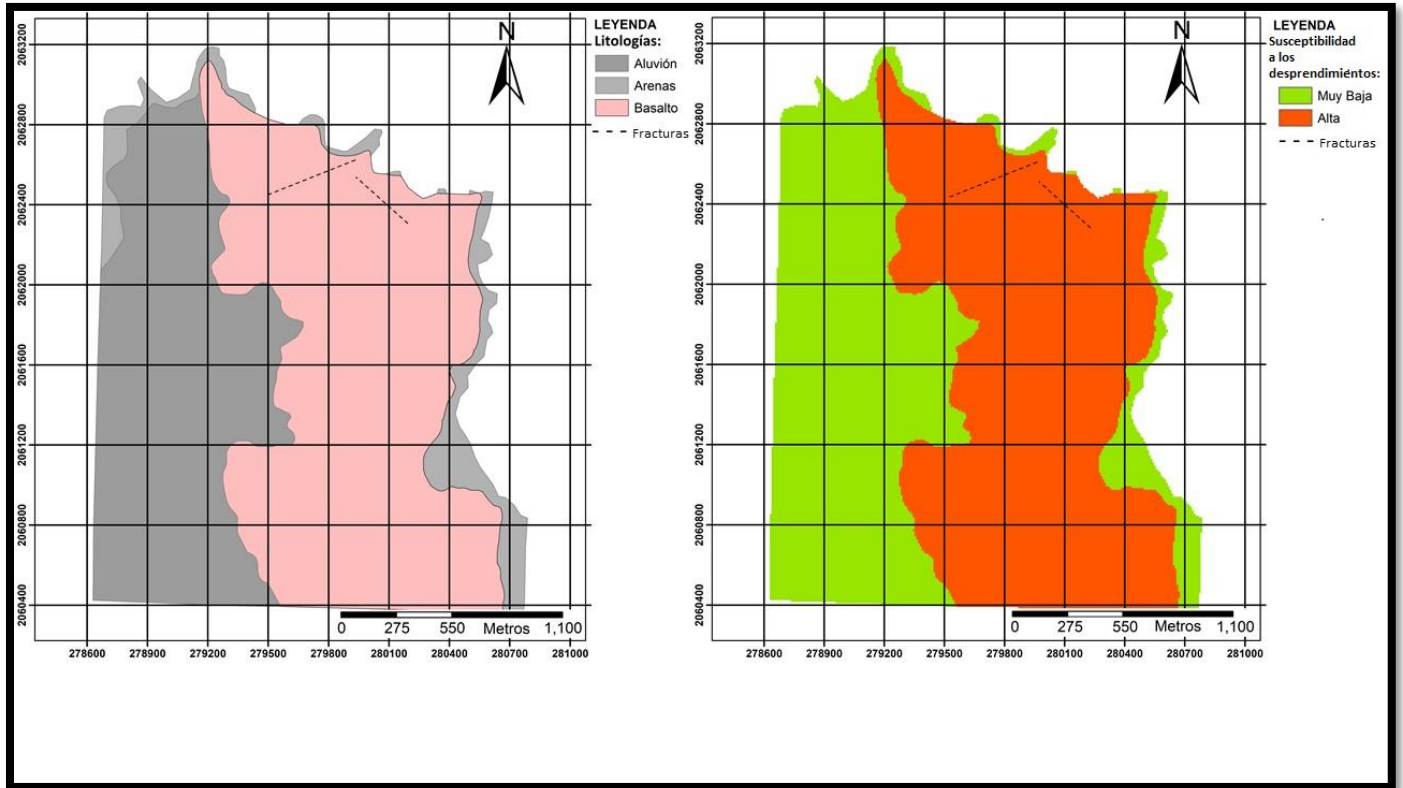


Figura 4.19. (A) Mapa Geológico en Montepío.

(B) Agrupamiento de las litologías según predisposición a los desprendimientos

Balzapote

Geología

En el caso de Balzapote, la susceptibilidad se dividió en dos grupos de acuerdo a la geología del lugar; primeramente, uno con muy baja susceptibilidad constituido por el aluvión y el abanico aluvial las cuales debido a su naturaleza no consolidada, no muestran peligro o susceptibilidad a desprenderse, contrario a los basalto los cuales, debido a su composición consolidada y rígida si son un peligro para la ocurrencia a este tipo de fenómenos de movimientos en masa y representan una susceptibilidad alta en la zona.

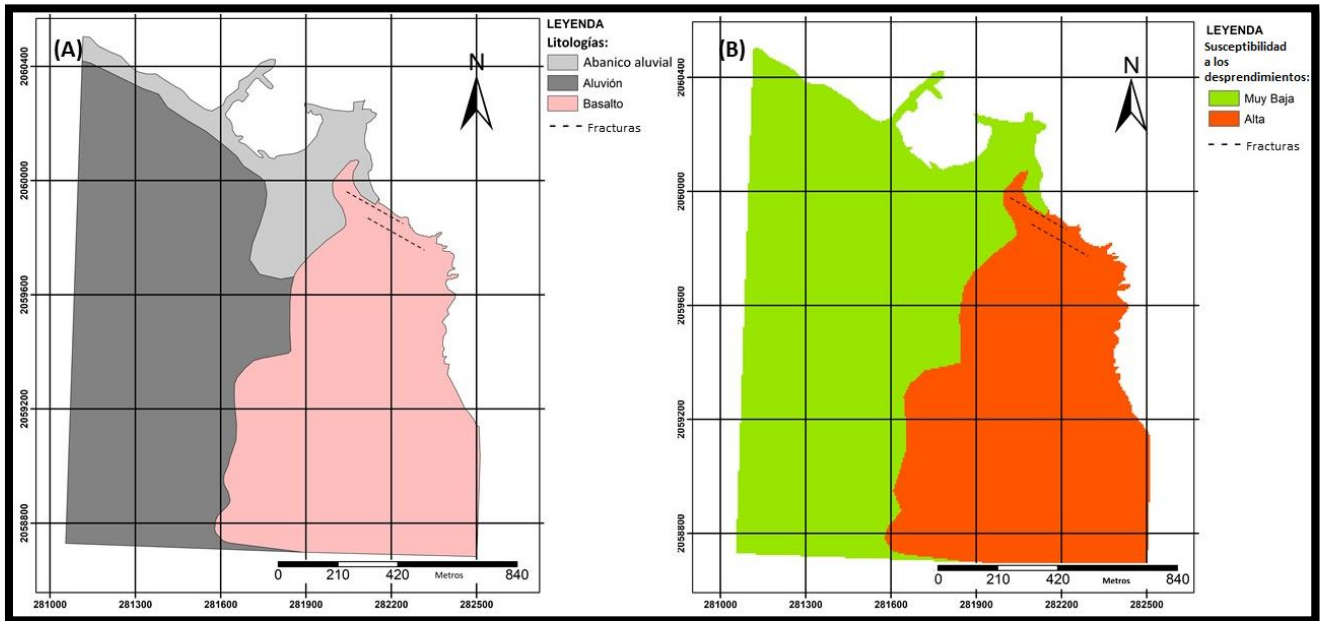


Figura 4.20. (A) Mapa geol3gico de Balzapote.

(B) Agrupamiento de las litologías seg3n predisposici3n a los desprendimientos.

4.2.2. Mapas de susceptibilidad a los desprendimientos

En este apartado se realiza las respectivas interpretaciones a los mapas de susceptibilidad a los desprendimientos de los cuatro casos de estudios abordados, así como tambi3n se hacen algunas recomendaciones para el uso de este escenario geogr3fico de acuerdo a este fen3meno.

Roca Partida

Considerando las variables f3sicas como: geolog3a, geomorfolog3a y uso de suelo, se realiz3 un 3lgebra de mapas asign3ndole la ponderaci3n necesaria o pertinente a cada variable tal y como se redact3 en el cap3tulo tres de metodolog3a, dando como resultado que, para esta 3rea de estudio de roca partida la mayor parte del 3rea se observ3 como un 3rea de susceptibilidad media a baja y s3lo una peque1a porci3n al centro y al NE y al NW del 3rea

de estudio resultó con una susceptibilidad alta a muy alta como se puede observar en la figura 4.2.1.

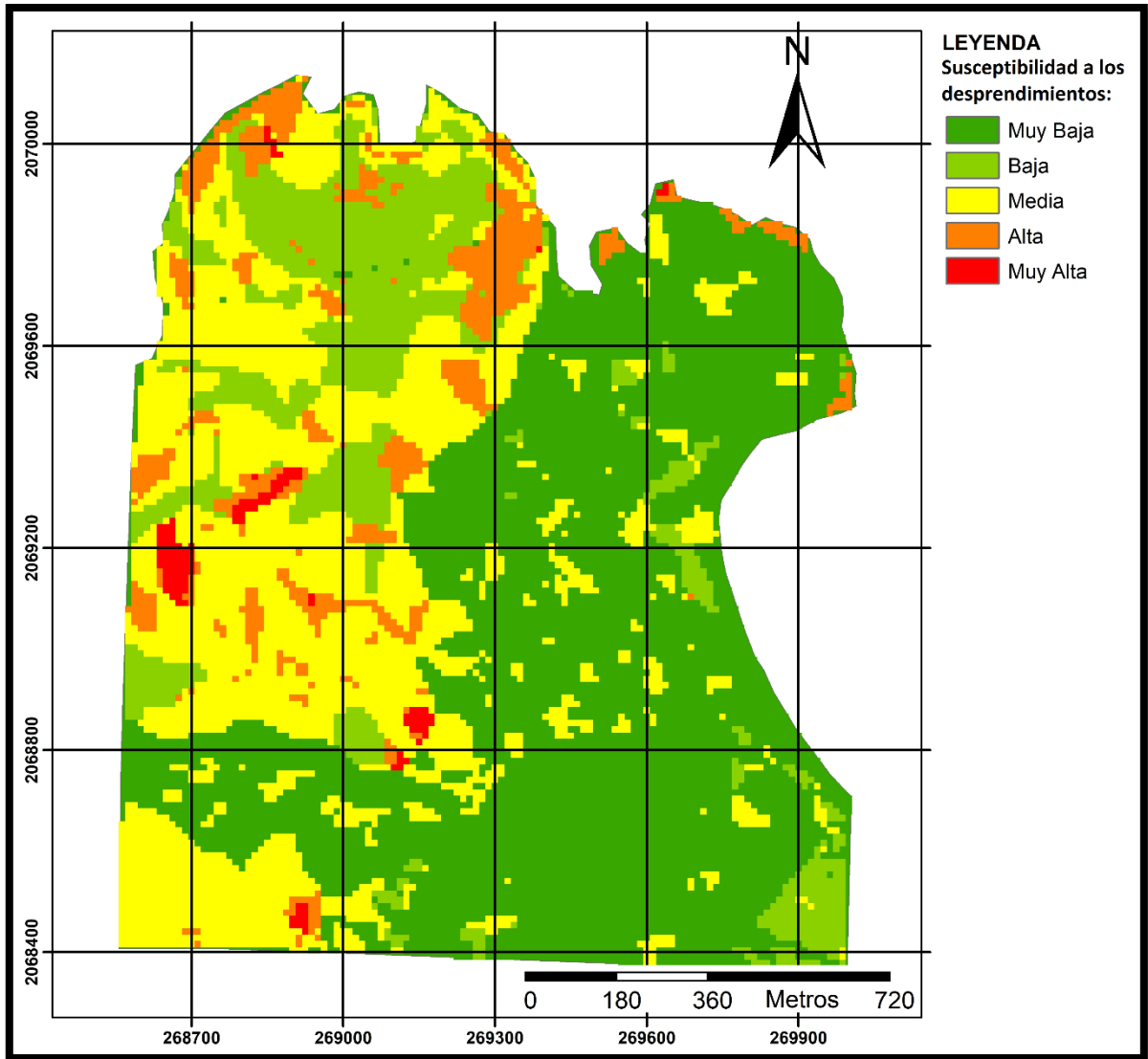


Figura 4.2.1. Mapa de susceptibilidad a los desprendimientos. Roca Partida.

Playa Hermosa

En playa hermosa, tomando en cuenta las variables antes descritas, resultó el siguiente Mapa, el cual, como podemos observar está representado por zonas de susceptibilidad baja

a los desprendimientos, solo representado por susceptibilidad alta y muy alta al NE, S y SE respectivamente. Por tanto, podemos decir que esta zona resulta favorable para la construcción de este tipo de plantas de energía oceánica ya que toda la mayor parte de la porción N y NE se encuentran con una susceptibilidad de baja a muy baja.

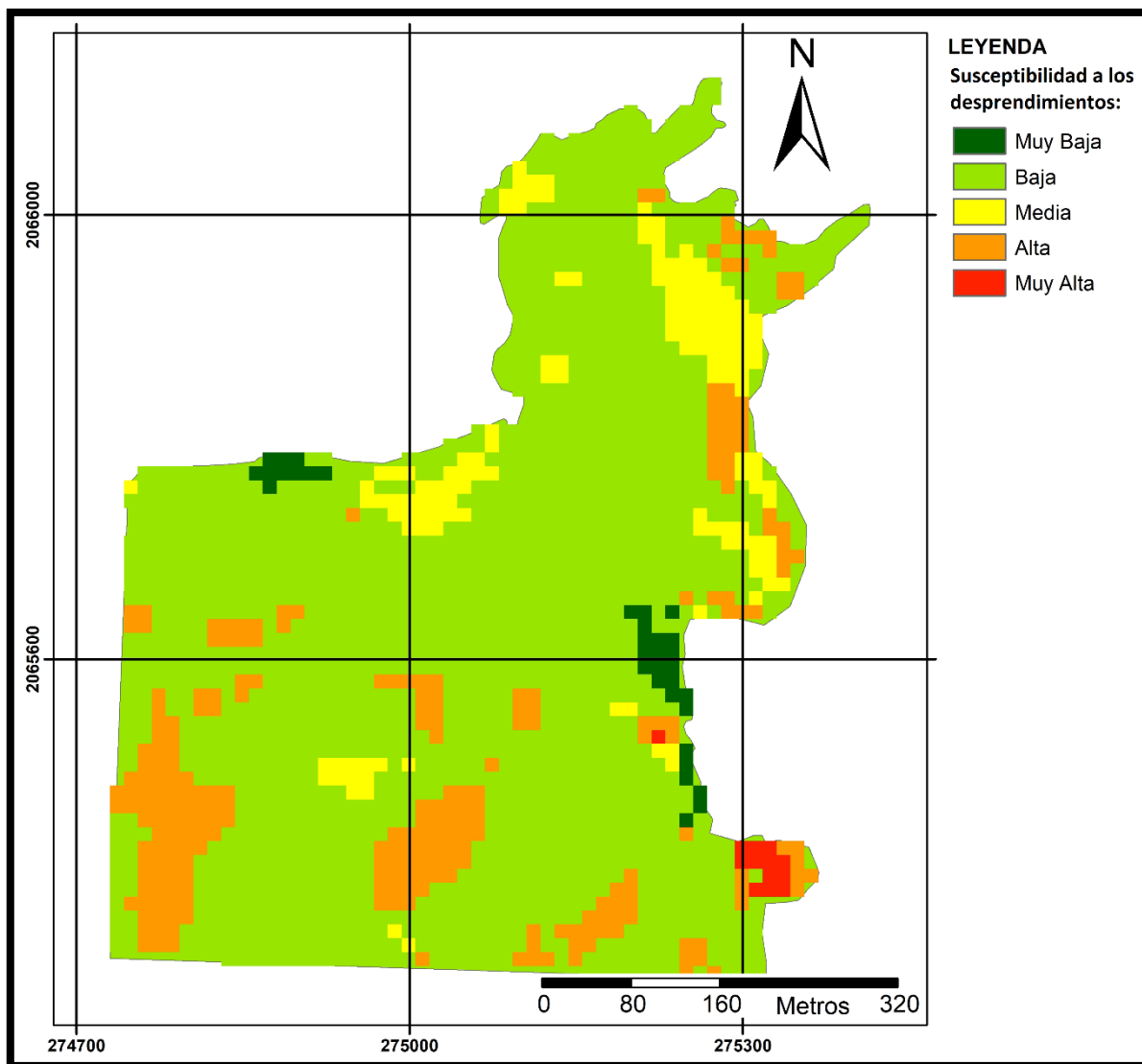
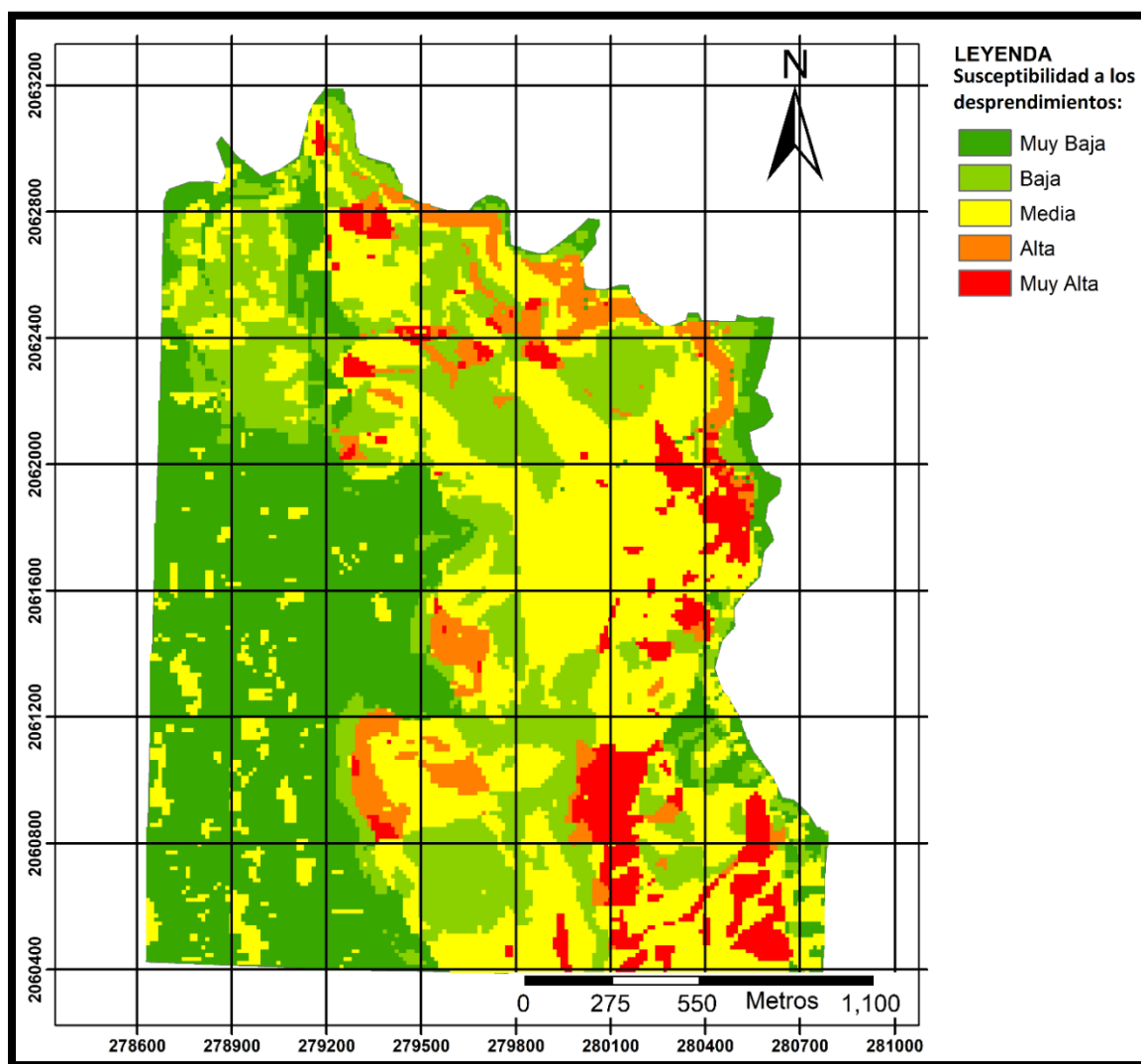


Figura 4.22. Mapa de susceptibilidad a los desprendimientos. Playa Hermosa.

Montepío

En Montepío, podemos decir que esas zonas marcadas en rojo representan zonas escarpadas en el área de estudio, en la parte N, NE Y SE y por lo tanto al realizar el álgebra de mapas resultó que esos lugares marcados en rojo son los que representan una alta susceptibilidad a desprendimientos de roca, estas áreas escarpadas corresponden a coladas de lava de composición básica las cuales, al depositarse, forman geformas abruptas y escarpadas. Por tanto, no resulta factible construir ese tipo de plantas de energía cerca de estas áreas

Figura 4.23. Mapa de susceptibilidad a los desprendimientos. Montepío.



Balzapote

En esta imagen, podemos observar como la mitad del área se encuentra con una susceptibilidad de alta a muy alta en su porción SE, por tanto es recomendable realizar la construcción de estas plantas solo en la parte NW y SW (color verde) de esta área, ya que representan zonas más estables y con baja susceptibilidad a desprenderse.

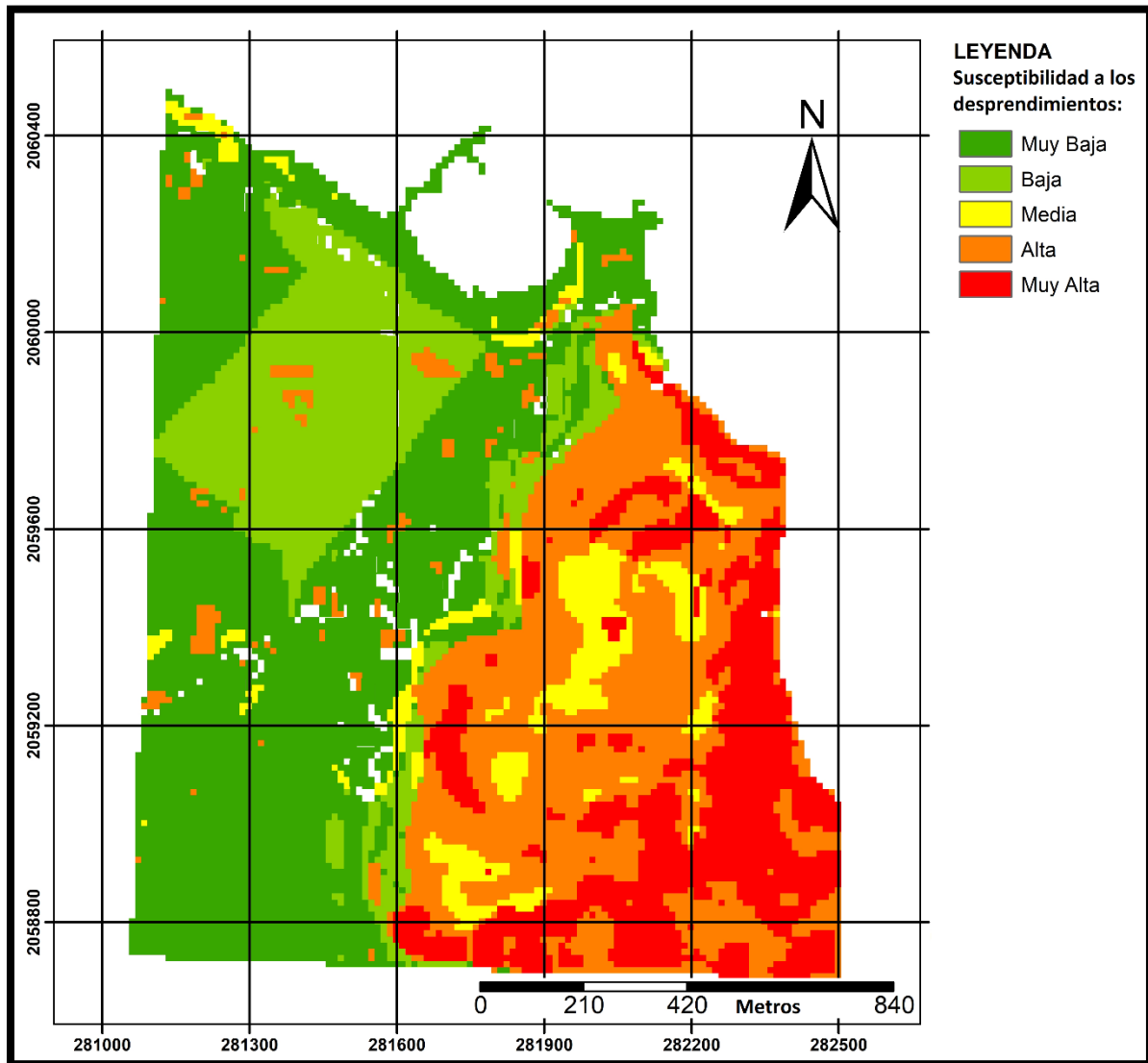


Figura 4.24. Mapa de susceptibilidad a los desprendimientos de Balzapote.

CONCLUSIONES

Podemos concluir que se caracterizó físico-geográficamente las 4 zonas de estudio en su aspecto climático, fenómenos meteorológicos extremos, geomorfológico, geológico, hidrológico y socioeconómico, describiendo los principales factores que influyen en cada uno de ellos.

Se definieron que los fenómenos presentes en la zona son principalmente los desprendimientos, ya que los deslizamientos, si se encuentran en el área pero en menor medida.

Para que existan este tipo de fenómenos son 3 las variables físicas que deben converger en el área, estas son: la geología (litología), la geomorfología (pendientes y aspecto de la pendiente) y finalmente el uso de suelo (vegetación), de acuerdo al comportamiento de estas variables será el grado de susceptibilidad que esté presente en el área estudiada.

Al realizar el álgebra de mapas, podemos concluir de manera general que las áreas representan porciones con zonas seguras para el emplazamiento y/o construcción de este tipo de plantas, ya que, con este estudio presentado, se puede elegir la zona en la que pudieran ser construidas y garantizar la duración de vida media (50 años) aproximadamente.

Para el caso de los deslizamientos; se observó que Roca partida y Playa hermosa representan zonas totalmente seguras en cualquiera de sus áreas para la construcción de este tipo de plantas de energía oceánica, mientras que Montepío y Balzapote representan una susceptibilidad alta en algunas de sus porciones; Montepío en la parte NW y SE y Balzapote en la porción centro del área, sin embargo, no representan mayor problema ya que estas plantas se pretenden construir en la línea de costa y con esta zonificación se puede discriminar los sitios donde construir las o, de lo contrario, tomar las medidas ingenieriles necesarias para mitigar posibles daños futuros por la presencia de estos fenómenos

En el caso de los desprendimientos, se observó que en todas las áreas se presenta una susceptibilidad de media a muy alta debido a la naturaleza rígida de las rocas volcánicas, que al depositarse crean geoformas muy abruptas y escarpadas. Por tanto, es importante tomar en cuenta estas consideraciones a la hora de construir estas plantas, para poder de esta forma garantizar su durabilidad y eficacia. Sobre todo en el área Montepío y Balzapote, las cuales al zonificarlas marcaron una tendencia mayor a los desprendimientos. Aunado a esto, se recomienda hacer estudios más específicos en el área donde se pretende construir este tipo de plantas. Estudios como mecánica de rocas y geológico-estructurales, para conocer así, la naturaleza y resistencia del basamento sobre el cual se pretende emplazar estas construcciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, E. (2014). Tercer concurso de investigación, desarrollo e innovación. *Energía mareomotriz, gran oportunidad para México* (págs. 15-20). México: CIDIT.
- Azuela, A. (1993). El ordenamiento territorial en la legislación mexicana. (págs. 47-77)
- Bryant, E. (2005). *Natural Hazards* . Nueva York, USA: Cambridge University.
- Brown, E.T. Ed. Comimsion on testing and monitoring. International Society for Rock Mechanics. Permon Press.
- Caballero. (2016). *Introducción a Ciencias de la Tierra* . México, D.F: Fac. de Ciencias, Lic. en Ciencias De La Tierra.
- CENAPRED. (2014). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros Y Riesgos* . México D.F. : Secretaría de Gobernación.
- (2018). Circulación termohalina. EcuRed conocimiento con todos y para todos. Recuperado de https://www.ecured.cu/Circulación_termohalina.
- Correa, I. D. (2013). *Manual De Métodos en Teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el Litoral*. España: Programa Iberoamericano de Ciencia Y Tecnología para el Desarrollo.
- Cuanalo, O. , Oliva, A. y Gallardo, R. (2011). Inestabilidad de laderas, influencia de la actividad humana. Elementos. Vol. 18 (p.39).
- Dagá, J. (. (s.f.). *Aprovechamiento Hidroeléctrico De Las Mareas Y Su Posible Desarrollo En Chile*. Universidad De Chile , Santiago de Chile .
- De Laleu, V. (2009). La Rance Tidal Power Plant, 40 year operation feedback-Lessons learnt. *BHA- Anual Conference*. Liverpool.
- Esquivel, R.K. (2018). Análisis de susceptibilidad a los deslizamientos. Caso de estudio: sector centro norte de la ciudad de Toluca, Estado de México. Tesis para obtener el título de: Licenciado en Geología Ambiental y Recursos Hídricos. UAEMEX. Inédito.

-Friess, D. (2013). El Uso De Lidar Para La Elaboración De Mapas Y Modelos De Amenazas Naturales En Zonas Costeras. En D. Correa, *Métodos En Teledetección Aplicada A La Prevención De Riesgos Naturales En El Litoral* (págs. 43-76). República De Singapur, Singapur: CYTED .

-Fundar 2017. Anuario 2017. Las actividades extractivas en México: minería e hidrocarburos hacia el fin del sexenio. 143 pp.

-González, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España : Pearson Educación , 744 pp.

-Hsü, K. (1983). *Actualistic Catastrophism Address of the retiring President of the International Association of Sedimentologist*. Zurich, Switerland.

-INEGI. 2014 . Anuario geoestadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la llave . México D.f: INEGI.

-ISRM (1981). Rock characterization. Testing and monitoring. ISRM suggested methods.

LEY DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de enero de 2000.México, 28 de mayo de 2009.

-(1988). LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE. 114 pp.

-Mora, S., y Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering and Geologist. 31(1): 49-58.

-Mora, D. C. (2004). *Guia de estudios de prefatibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos*. Bogota, Colombia: Pontifisa Universidad Javeriana . Mora, S., y Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering and Geologist. 31(1): 49-58.

-Mora, I. *et.al.* (2015). *ATLAS Peligros Geológicos e hidrometeorológicos del Estado de Veracruz*. Veracruz, México: Protección civil, 104 pp.

-Ochoa, C. 2013. Fuentes de información sobre eventos hidrometeorológicos extremos en Veracruz de Ignacio de la Llave. *REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA REALITY, DATA AND SPACE INTERNATIONAL JOURNAL OF STATISTICS AND GEOGRAPHY*. Vol. 4 Num. 3. México. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E HISTORIA.

-Ortiz, L. D. (2006). *Zona Costera*. México.

-Rauld, R. (2015). XIV Congreso geológico chileno. *Estudio de peligro, susceptibilidad, vulnerabilidad y medidas de mitigación en la ruta de alta montaña 115-Ch, Paso Internacional Pehuenche, Región del Maule (~36°S)* (págs. 170-173). Santiago, Chile.

-SEMARNAT. (2007). *Escenarios de energías renovables en México bajo el cambio climático*. Ciudad de México: SEMARNAT.

-SENER. (2006). *Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México*. Ciudad de México: SENER.

-Soldano. (2009). Conceptos sobre Riesgo. *Foro virtual de la RIMD creado para la capacitación en teledetección aplicada a la Reducción del Riesgo por inundaciones*, (pág. 5). Falda Del Carmen, Cordoba, Argentina.

-Suárez, J. (2009). Zonificación de Susceptibilidad, Amenaza y Riesgo. En *Deslizamientos. Análisis Geotécnico* Vol. 1(p. 533). Colombia: U.I.S. Escuela de Filosofía.

-UNDRO. (1980 Office of the United Nations Disasters Relief Co-ordinator). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Geneva, USA.: UNDRO.