



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

**“Cartografía Geomórfica Ambiental
de la Región Guaymas–Empalme,
Sonora, México”**

P R E S E N T A:

TESIS

PARA OBTENER EL
TÍTULO DE GEÓLOGO



Frida Fernanda de la Rosa Varela

Hermosillo Sonora, Noviembre del 2016

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, 01 de noviembre, 2016

M.C. GRISEL ALEJANDRA GUTIÉRREZ ANGUAMEA
DIRECTORA DE TESIS
P R E S E N T E.-

Por este conducto, les comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted intitulado:

**"CARTOGRAFÍA GEOMÓRFICA AMBIENTAL DE LA REGIÓN
GUAYMAS-EMPALME, SONORA, MÉXICO"**

Esto es con el fin de que la alumna: **FRIDA FERNANDA DE LA ROSA VARELA** con Expediente No. **210205858**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo le comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

PRESIDENTE	M.C. JOSÉ ISMAEL MINJÁREZ SOSA
SECRETARIO	M.C. ALBA LUCINA MARTÍNEZ HAROS
VOCAL	M.C. GRISEL ALEJANDRA GUTIÉRREZ ANGUAMEA

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO.



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS:

**"CARTOGRAFÍA GEOMÓRFICA AMBIENTAL DE LA REGIÓN
GUAYMAS-EMPALME, SONORA, MÉXICO"**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

FRIDA FERNANDA DE LA ROSA VARELA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


M.C. JOSÉ ISMAEL MINJÁREZ SOSA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


M.C. ALBA LUCINA MARTÍNEZ HAROS

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


M.C. GRISEL ALEJANDRA GUTIÉRREZ ANGUAMEA

**ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"**


**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO**



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGÍA

C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

A quien corresponda:

Por medio de la presente y de la manera más atenta, hago constar que la alumna de Licenciatura en Geología **Frida Fernanda de la Rosa Varela** con **No. de Expediente 210205858** no tiene adeudos pendientes de equipo y material de campo en el Departamento de Geología de esta Institución.

Se extiende la presente a petición del interesado para los fines legales que juzgue convenientes en la Ciudad de Hermosillo, Sonora a los treinta días del mes octubre del dos mil diez y seis.

Atentamente

"El Saber de mis Hijos hará mi Grandeza"




M.A. Norah O. Armenta Icedo
Secretaría Administrativa



Dra. Silvia Martínez Retama
Jefa del Departamento

C.c.p. Archivo.

ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN.....	1
<i>I.1.- Presentación</i>	<i>1</i>
<i>I.2.- Objetivo general.....</i>	<i>3</i>
<i>I.3.- Objetivo particular</i>	<i>4</i>
<i>I.4.- Metas</i>	<i>4</i>
<i>I.5.- Enfoque metodológico</i>	<i>4</i>
<i>I.6.- Antecedentes.....</i>	<i>4</i>
I.6.1.- Mapas geomorfológicos ambientales.....	4
I.6.2.- Trabajos previos del área de estudio.....	7
II.- METODOLOGÍA.....	10
<i>II.1.- Cartografía geomorfológica</i>	<i>10</i>
II.1.1- Tipos de cartografía geomorfológica ambiental	12
<i>II.2.- Cartografía hidrológica</i>	<i>13</i>
<i>II.3.- Cartografía geológica.....</i>	<i>13</i>
<i>II.4.- Cartografía de uso de suelo y vegetación.....</i>	<i>14</i>
<i>II.5.- Cartografía climatológica.....</i>	<i>15</i>
<i>II.6.- Cartografía edafológica.....</i>	<i>15</i>
<i>II.7.- Cartografía geomorfológica - ambiental.....</i>	<i>16</i>
III.- USO DE CARTOGRAFÍA AMBIENTAL	17
<i>III.1.- ¿Por qué una cartografía geomórfica ambiental?.....</i>	<i>18</i>
<i>III.2.- Utilidad de las unidades geomorfo ambientales.....</i>	<i>19</i>
III.2.1.- Difusión a la población.....	20
IV.- GEOMORFOLOGÍA AMBIENTAL DE LA REGIÓN	
GUAYMAS-EMPALME, SONORA.....	22
<i>IV.1.- Localización y vías de acceso.....</i>	<i>22</i>
<i>IV.2.- Fisiografía.....</i>	<i>24</i>

<i>IV.3.- Fuentes de información.....</i>	<i>26</i>
<i>IV.4.- Base cartográfica.....</i>	<i>27</i>
<i>IV.5.- Productos de sensores remotos.....</i>	<i>27</i>
IV.5.1.- Selección del tipo de imagen.....	28
<i>IV.6.- Criterios para la definición de las unidades geomorfo ambientales.....</i>	<i>29</i>
IV.6.1.- Origen de las geoformas.....	29
IV.6.2.- Proceso de modelado del relieve.....	30
IV.6.3.- Climatología.....	34
IV.6.4.- Temporalidad (edades de las estructuras, rocas y geoformas).....	37
IV.6.5.- Geología.....	37
IV.6.6.- Hidrología.....	41
IV.6.8.- Edafología.....	46
IV.6.9.- Erosión.....	51
IV.6.10.- Uso de suelo y vegetación.....	53
<i>IV.7.- Barreras físicas, naturales o artificiales de las unidades geomorfo-ambientales.....</i>	<i>55</i>
<i>IV.8.- Unidades geomorfo ambientales de la región Guaymas-Empalme, Sonora.....</i>	<i>55</i>
IV.8.1- Sin erosión evidente.....	57
IV.8.2- Erosión hídrica laminar.....	60
IV.8.3- Erosión Antrópica.....	63
IV.8.4- Erosión eólica.....	64
V.- PRESENTACIÓN DEL MAPA.....	65
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
VI.1.- Propuestas para futuros trabajos geomorfológicos ambientales.....	71

Contenido Figuras

Figura 1. Diagrama informático sobre los efectos de la transformación del entorno.....	21
---	-----------

Contenido Mapas

Mapa 1. Mapa de localización y vías de acceso (INEGI, 2010)	23
Mapa 2. Mapa fisiográfico (INEGI, 2010)	25
Mapa 3. Mapa geomorfológico (INEGI, 2010)	33
Mapa 4. Mapa climatológico (INEGI, 2010)	36
Mapa 5. Mapa geológico (INEGI, 2010)	40
Mapa 6. Mapa hidrológico subterráneo (INEGI, 2010)	43
Mapa 8. Mapa edafológico (INEGI, 2010)	50
Mapa 9. Mapa de erosión (INEGI, 2010).....	52
Mapa 10. Mapa de uso de suelo y vegetación (INEGI, 2010)	54
Mapa 11. Mapa geomorfológico ambiental del área de estudio	67
Mapa 12. Localidad de Guaymas.....	69
Mapa 13. Localidad de Empalme	70

Contenido Fotos

Foto 1. Ladera de montaña alta	81
Foto 2. Lomerío industrializado.....	81
Foto 3. Lomerío y piedemonte urbanizado	81
Foto 4. Ladera de montaña alta	81
Foto 5. Lomerío y piedemonte urbanizado	82
Foto 6. Lomerío del área	82
Foto 7. Ladera montañosa alta	82
Foto 8. Lomerío y piedemonte urbanizado	82
Foto 9. Lomeríos con piedemonte urbanizado	83
Foto 10. Ladera montañosa alta y piedemonteurbanizado	83
Foto 11. Ladera montañosa alta y piedemonte.....	83
Foto 12. Lomeríos	83
Foto 13. Ladera montañosa alta y piedemonte.....	83
Foto 14. Ladera montañosa alta con su piedemonte con normales.....	84
Foto 15. Lomeríos y Lomeríos urbanizados, con sus respectivos piedemonte	84
Foto 16. Ladera montañosa alta con su piedemonte del área de estudio.....	84
Foto 17. Ladera montañosa alta y piedemonte de la zona	84

I.- INTRODUCCIÓN

I.1.- Presentación

Las unidades ambientales se definen como una entidad espacial que ofrece oportunidades para la identificación, la aplicación de opciones de manejo de los recursos naturales y son una herramienta base para la toma de decisiones durante el proceso de planeación territorial. Estas unidades se derivan de la información ambiental y socioeconómica disponible, su dinámica está dada por las intervenciones humanas que dan como resultado el paisaje actual (Dumaskiy Craswell, 1998).

En este sentido, se entiende por el término de unidad ambiental como una porción de territorio delimitado por barreras físicas, naturales o artificiales que presenta características climáticas determinadas, con un posible gradiente continuo, en el que tienen lugar procesos y efectos mecánicos propios. En dicha unidad, se asienta un conjunto de individuos pertenecientes a diversas especies, en el que la litología del área demuestra una gran importancia para los agentes erosivos y el relieve, donde se establecen una serie de interacciones entre los organismos y el medio (Martínez, 1997).

Las unidades ambientales se individualizan, en una primera aproximación, por consideraciones morfogenéticas. Una cartografía geomórfica ambiental combina las formas de terreno, los tipos de relieve y sus límites tangibles, dados por estructuras geológicas elementales, edades de las rocas, procesos geomorfológicos, hidrogeología, rasgos antrópicos, ubicación de algunos puntos altimétricos, así como de riesgos y peligros naturales ocasionados por el hombre.

La geomorfología ambiental es el conocimiento de las formas de la superficie terrestre aplicada a la investigación del ambiente, normalmente denominada georriesgos, donde se incluye un diagnóstico de los diferentes contaminantes del medio (agua, aire y suelo). También se engloba el desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes erosivos y/o por degradación ambiental que modifican las condiciones de equilibrio natural del entorno; además, contiene los peligros y riesgos por fenómenos naturales y antrópicos que exponen al ecosistema que se cartografía (Varela y Blanco, 1998).

Actualmente, las investigaciones geomorfológicas ambientales resultan ser de gran interés humano para el reconocimiento y caracterización de los procesos que corresponden a la continua modificación de la Tierra, considerando al hombre como el principal factor de esa transformación, efectuando juicios de carácter geomorfológico, derivados de las relaciones causa - efecto de los procesos actuales que predominan en las áreas urbanas y rurales. El realizar un estudio de este tipo generalmente incluye información cartográfica sobre el origen de las geoformas,

posición topográfica, erosión, clima, hidrología, vegetación, suelo y geología; la combinación de estos factores se muestra en la nomenclatura y jerarquía de las unidades que se expresan en un mapa geomórfico ambiental.

En el presente trabajo se elabora una cartografía geomórfica ambiental de la región de Guaymas-Empalme, Sonora, con el fin de caracterizar las condiciones del área de estudio, enfatizando la influencia de los agentes modeladores ambientales sobre el terreno que modifican el funcionamiento natural del entorno y como las actividades antrópicas resultan ser un factor determinante en el ciclo geomórfico normal del paisaje, que al mismo tiempo se involucra en la intensificación de riesgos y peligros que afectan a las comunidades locales.

La clasificación de unidades geomorfo ambientales está dada, inicialmente, por el tipo de erosión que predomina en el área de estudio, y se subdivide por su morfogénesis. Las categorías de los bloques del tipo de erosión, expresados en la leyenda del mapa geomórfico ambiental de Guaymas-Empalme, se explica como sigue:

1) Sin erosión evidente. Las unidades que corresponden a este bloque no presentan alteraciones significativas en su relieve y se encuentran en su etapa natural sin alteración inducida de ningún tipo; de acuerdo a su origen, contiene a las entidades volcánicas denudativas, denudativas acumulativas y denudativas volcánicas.

2) Erosión hídrica laminar. Este grupo de unidades se observa modificada por la degradación que provocan las escorrentías superficiales sobre el terreno; dentro de esta subclasificación se ubican las unidades de origen fluvial, lacustre, volcánico denudativo y denudativo volcánico.

3) Erosión antrópica. La delimitación de regiones que han sido alteradas por la acción humana en áreas del desarrollo de la sociedad, ocasiona un cambio en el uso del suelo y una modificación territorial del paisaje inmediato. Este tipo de degradación de génesis antrópica reúne todas las zonas planas urbanizadas y cultivadas, así como los piedemonte urbanizados de origen denudativo acumulativo antrópico urbanizado.

4) Erosión eólica. Este tipo de erosión tiene lugar cuando las partículas sueltas que se hallan sobre la superficie del suelo son barridas, arrastradas o levantadas por el aire. Este proceso actúa donde la superficie del terreno está completamente seca y recubierta de pequeños granos de arena sueltos procedentes de la meteorización de la roca o previamente depositadas por el agua en movimiento, el hielo o las olas. Este grupo de desgaste se derivó por tener un origen antrópico, aglomerando las planicies divergentes inferiores que se encuentran hacia el este del área de estudio.

Se realizó un análisis integral de la geoformas existentes en el área de estudio, delimitadas en función de la interpretación del relieve apoyado en imágenes del satélite Landsat ETM y las cartas geológico-mineras Guaymas G12-2 (SGM, 2002) y Sierra Libre H12-11 del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2002), a escala 1:250, 000. Estos materiales fueron interpretados desde el punto de vista geológico-geomorfológico para la diferenciación del paisaje. Además de esto, se empleó el conjunto de datos digitales de erosión (Centro Regional de información sobre desastres en América Latina y el Caribe, 2008 y SAGARPA, 2009), edafología (INEGI, 2010), uso del suelo y vegetación (INEGI, 2010), climatología (INEGI, 2010), vegetación (INEGI, 2010), hidrología subterránea (INEGI, 2013) y superficial a escala 1:250,000 (INEGI, 2013); esta clasificación comprende las características geológicas, geomorfológicas y morfogenéticas, expresadas en cada unidad geomorfo-ambiental.

La clasificación del terreno elaborada en el presente trabajo de tesis, resultó del cruce, manipulación e interpretación de los datos mencionados en diversos sistemas de información geográfica, como ArcGIS y Global Mapper, para conformar la nomenclatura de las unidades geomorfo ambientales de la región de Guaymas-Empalme, Sonora.

La delimitación de las unidades geomorfo ambientales se llevó a cabo en base al criterio principal de homogeneidad relativa y su caracterización incluye cuatro aspectos principales: 1) origen de la geoforma; 2) tipos de relieve (laderas montañosas, lomeríos, piedemontes y planicies); 3) temporalidad (edades de las rocas, estructuras y geoformas); 4) geometría del relieve por clases (parámetros morfométricos principales por unidad); 5) factores ambientales.

También, se señalan los medios y agentes contaminantes del área de estudio que constantemente modifican el paisaje, alterando la estabilidad del terreno y cambiando el funcionamiento natural del ecosistema local. Las fuentes de contaminación se encontraron en sus 3 diferentes ambientes: aire, agua y tierra; que se aprecian en la cartografía de la región de acuerdo a sus agentes contaminadores, denominados como industrias, gasolineras, basureros, zonas de cultivo, comunidades urbanas y rurales, medios de transporte, lagunas de oxidación, intrusiones marinas hacia el continente, aguas residuales y granjas acuícolas.

1.2.- Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es obtener un mapa geomórfico ambiental de la zona Guaymas-Empalme, partiendo de las características del relieve, climáticas, edáficas, hidrológicas y antropogénicas con el propósito de proyectar en

una sola plataforma gráfica un mapa temático que presente tanto en entorno natural como sus agentes modificadores.

1.3.- Objetivo particular

Delimitar las unidades geomorfo ambientales de la región de Guaymas-Empalme, Sonora y caracterizarlas, a partir de indicadores físicos, naturales y modificadores del terreno.

Generar un Sistema de Información Geográfica que contenga la información imágenes del satélite Landsat ETM y datos georeferenciados topográficos, geomórficos, geológicos, hidrográficos, edafológicos, climáticos, fisiográficos, de uso del suelo y vegetación, cabeceras municipales, vías de comunicación y pendientes generales del terreno.

1.4.- Metas

Un mapa que combine información del terreno y la influencia del ambiente sobre las geoformas.

Un sistema de información geográfica que reúna todas las características geomorfo ambientales del área de Guaymas-Empalme, Sonora.

Un documento que explique los factores naturales y/o antropogénicos causantes de las diferentes transformaciones o modificaciones del entorno.

1.5.- Enfoque metodológico

- Recopilación de trabajos previos de la zona, relativos a la descripción fisiográfica del área.

- Recopilación de mapas geomorfológicos ambientales a nivel internacional y nacional.

- Con el apoyo de datos cartográficos, obtener una definición de las unidades geomorfológicas ambientales.

- Elaboración de un SIG con información espacial del área de estudio.

- Determinación y propósito de los criterios geomorfológicos ambientales.

- Delimitación y clasificación de las unidades geomorfológicas ambientales en su primera fase de investigación.

- Ubicación de los agentes contaminantes dentro del área de estudio.

1.6.- Antecedentes

1.6.1.- Mapas geomorfológicos ambientales

La representación de un mapa geomorfológico ambiental varía dependiendo de los métodos utilizados y de la cantidad de información obtenida. Debido a la

escasez de cartografías de este tipo, cada región geográfica se ha visto limitado en la realización de sus mapas geomorfológicos ambientales.

En los próximos subcapítulos se abordarán artículos de diferentes zonas de México y Argentina, definiendo diversas características para la delimitación de las unidades geomorfológicas ambientales. Algunos de ellos toman como rasgo principal la morfogénesis y en otros la posición topográfica; estos trabajos se utilizaron como referencia para la elaboración del mapa geomórfico ambiental del área Guaymas-Empalme.

I.6.1.1.- México

Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (al norte de la ciudad de México) y su relación con peligros naturales (Lugo y Montes, 1996).

Este estudio geomorfológico de la Sierra de Guadalupe revela que se trata de una unidad volcánica neogénica conformada por domos volcánicos y volcanes compuestos. Los resultados de esta investigación son sintetizados en tres mapas principales: morfogenéticos, morfotectónicos y de peligros naturales. En el primero, se reconocen 18 elementos distintos que muestran la transformación del relieve volcánico y tectónico neogénico por la erosión, principalmente del Cuaternario. En el segundo, se aprecian las estructuras geológicas (domos volcánicos, fracturas y fallas) con una clara expresión en el relieve, ya que la erosión los ha expuesto con claridad y no ha avanzado a una etapa donde desaparecen los rasgos originales. El tercero, señala los frecuentes riesgos naturales (inundaciones y caída de rocas) que causan daños a viviendas construidas en zonas de alto riesgo.

Unidades geomorfológico - ambientales de las Tierras Bajas Mayas de Tabasco-Chiapas en el río Usumacinta: un registro de los procesos aluviales y pedológicos durante el Cuaternario (Solís et al., 2014).

En el año 2014, se elaboró el mapa geomorfológico-ambiental de las Tierras Bajas Mayas de Tabasco-Chiapas en el río Usumacinta y la identificación de sus unidades se realizó con los criterios de: a) génesis de las geoformas, b) configuración y arreglo de las geoformas, c) procesos de modelado del relieve y d) temporalidad (edades de las estructuras y formas), usando un análisis pedoestratigráfico. El resultado fueron ocho unidades enumeradas del 1 al 8; de éstas, cuatro (1, 2, 3, 5) se presentan en la porción sur, en la Sierra de Chiapas. Estas unidades son las más antiguas de la zona de estudio y son controladas por la erosión, siguiendo las estructuras tectónicas originales (unidad 1), por procesos de disolución en las rocas calcáreas (karsticidad – unidad 2), por erosión de las rocas sedimentarias clásticas (unidad 3) y por acumulación coluvial en los piedemontes

(unidad 5). Por su parte, las unidades dentro de la planicie aluvial (4, 6, 7, 8) son más jóvenes (Pleistoceno-Holoceno Tardío) y se exhiben en un sistema de terrazas.

Caracterización de unidades biofísicas a partir de indicadores ambientales en Milpa Alta, Centro de México (Gamiño y Blanco, 2006).

El mapa geomorfológico ambiental biofísico se elaboró a partir de rasgos ambientales que tienen como base el trazo de las unidades morfogenéticas. Se realizó toma de muestras de suelo y levantamientos botánicos en campo, determinando en laboratorio las propiedades físicas y químicas de los suelos. Las unidades ambientales biofísicas (UAB) se caracterizaron considerando los indicadores de relieve, pendiente y altitud, clima, temperatura, precipitación, suelo, humedad, materia orgánica, densidad aparente, pH, vegetación, densidad de la cobertura vegetal y uso de suelo. Las unidades clasificadas son de origen endógeno volcánico acumulativo de flujos lávicos. Los tipos de relieve que predominan en los sitios muestreados son laderas de montaña superiores, medias e inferiores, de flujos lávicos; laderas de montaña superiores, internas y externas, de cono cinerítico; laderas superiores e inferiores de lomeríos medios y bajos; piedemonte acumulativo local; piedemonte acumulativo de lomeríos medios y bajos y planicie aluvial. Estas UAB permiten contar con información básica para la toma de decisiones en el manejo adecuado de los recursos naturales y en la planeación socio-ambiental del área de estudio.

Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacís de Buenavista, Morelos (García y Blanco, 2005).

En la elaboración del mapa del piedemonte volcánico del Glacís de Buenavista, dentro de la subcuenca del río Colotepec, estado de Morelos, México, se aplicó el enfoque geomorfológico morfogenético para delimitar y caracterizar a las unidades ambientales biofísicas (UAB). Los criterios para la delimitación corresponden a un procedimiento geomorfológico analítico y posteriormente a uno sintético, apoyándose en una base cartográfica temática de geología, climatología, edafología, hidrología y vegetación. En el mapa se representan 65 UAB y debido a su morfogénesis, se identifican siete categorías: 1. Laderas de montaña de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Pliocuaternario, 2. Lomeríos de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Pliocuaternario, 3. Piedemontes generales de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Pliocuaternario, 4. Superficies cumbrales interfluviales con barrancos adyacentes de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Pliocuaternario, 5. Piedemontes locales de origen exógeno acumulativo aluviales del Cuaternario (Holoceno), 6.

Planicies aluviales de origen exógeno acumulativo del Cuaternario (Holoceno) y 7. Laderas de barrancos de origen exógeno denudatorio del Cuaternario (Holoceno) con planicies aluviales acumulativas marginales.

I.6.1.2.- Argentina

Unidades geomorfológicas ambientales del sur del oasis de Tulum, Andes Centrales de Argentina (Suvires y Luna, 2008).

En la región central de los Andes se realizó una clasificación geomorfológica de unidades cuaternarias. El área de estudio se encuentra ubicada en el sector sur de la depresión tectónica de Tulum, entre las dos provincias geológicas: la precordillera oriental al oeste y las sierras pampeanas occidentales al este. El estudio geomorfológico realizado mediante fotointerpretación de imágenes satelitales y los diferentes apoyos obtenidos en campo, permitieron la diferenciación de 25 unidades geomorfológicas de diferentes jerarquías, donde la clasificación tomada fue hecha por paisajes: 6 Grandes Paisajes (GP) o principales unidades morfogenéticas con 12 Paisajes (P), de acuerdo a sus posiciones en la topografía local y 7 Subpaisajes (SP), en función del uso actual de las tierras, agrupándolos en cuatro unidades cuaternarias (Q1, Q2, Q3 y Q4), tomando criterios genéticos de los depósitos correlativos de cada geoforma. Se clasificaron las unidades cuaternarias de la siguiente manera, Q1: depósitos coluvio-aluviales de piedemonte, Q2: depósitos de planicie aluvial abandonada (ca. 36.0 ka-10.0 ka), Q3: depósitos eólicos (ca. 3.5 ka - 1400 a AP) y Q4: depósitos fluviales actuales; cada una presenta diferentes procesos morfodinámicos y amenazas para el uso de la tierra.

I.6.2.- Trabajos previos del área de estudio

Con el fin de elaborar el mapa de unidades geomorfo ambientales de la región Guaymas-Empalme, se realizó una investigación bibliográfica exhaustiva para recopilar información relativa al tema de estudio y del área en cuestión. A continuación se enlistan los documentos consultados:

Zonificación por medio de unidades ambientales de área contigua al estero del Soldado, Guaymas, Sonora, México (Guzmán, 1993).

En este trabajo de tesis se presenta una zonificación por medio de la descripción de unidades ambientales del área contigua al Estero del Soldado, en Guaymas. Con el fin de establecer un sistema de combinación de características para definir las unidades ambientales en base a atributos físicos bióticos y proporcionar una representación de las entidades definidas.

Se utilizó como material de apoyo las propiedades de las aguas superficiales y subterráneas, geología, edafología y vegetación para la definición de 14 unidades ambientales agrupadas en 7 sistemas mayores, donde cada sistema presenta sus particularidades propias.

Geología urbana de la región de Guaymas y San Carlos, Sonora (Vega et al., 2004).

En el año 2004, varios profesores de la Universidad de Sonora presentaron un trabajo donde aportaron nuevos datos geológicos para incrementar el conocimiento y desarrollo urbano de esta zona costera. La investigación incluyó cuatro capítulos principales: un reconocimiento de la geología básica con la determinación de las unidades litológicas, geología estructural y tectónica de la región; el estudio de los procesos costeros, donde se elaboró un mapa geomorfológico base con el fin de determinar las direcciones prevalencias de transporte de sedimentos en los diferentes muestreos y playas, identificando las zonas más susceptibles a cambios naturales que significan un riesgo; también se realizaron evaluaciones hidrológicas superficial y subterránea, además de la revisión de los fenómenos naturales que afectan a los asentamientos urbanos.

Clasificación Geomorfológica de la Zona Costera de Guaymas-Empalme, Noroeste de México (Pedrín et al. 2007).

En este trabajo se elaboró un mapa geoambiental de clasificación del sistema costero Guaymas-Empalme a una escala semidetallada, utilizando una cartografía topográfica a escala 1:50, 000, cartas temáticas sobre edafología (INEGI, 2010), uso del suelo y vegetación (INEGI, 2010), geología (INEGI, 2010), vegetación (INEGI, 2010), geología (SGM, 2002), hidrología subterránea (INEGI, 2013) y superficial (INEGI, 2010) a escala 1:250,000 (INEGI, 2013) y fotografías aéreas a 1:75,000. Las características geomorfológicas que se definieron en Guaymas-Empalme son zonas de montañas de origen volcánico y en menor proporción de pequeños cerros intrusivos, así como planicies aluviales formadas por el acarreo de sedimentos que son transportados por los cauces permanentes e intermitentes de la región.

Regionalización geomorfológica y de paisajes de la zona costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México (Mendoza, 1997).

En esta tesis se propuso un modelo de regionalización para la geomorfología y el paisaje costero, formulando y describiendo leyendas a diversas escalas, que son susceptibles de operar como modelos espaciales para los esquemas

cartográficos a nivel regional, formulando leyendas ligadas al nivel nacional; también se describen las estrategias para bajar en forma anidada (jerárquica) al nivel de semidetalle.

Las islas de Guaymas, Sonora: entorno natural y deterioro por el hombre (Avilés y Avendaño, 2008).

Este artículo indica de manera general la geología, el ambiente y la geomorfología de Guaymas y su zona costera. Se tomaron criterios morfológicos y sedimentológicos para dividir el área en cuatro subregiones: 1) Bahía interior, comprendida básicamente en el puerto de Guaymas, conteniendo la mayoría de pequeñas islas y otras que dejaron de serlo, ya sea por factores naturales o antrópicos; 2) Bahía exterior, comprendidas las áreas de canales de acceso; 3) Laguna de Empalme, utilizada para verter los desechos de la comunidad de Empalme y descargas de la Central Termoeléctrica de Guaymas; 4) Estero El Rancho.

También presenta información sobre el deterioro humano ocurrido en las diferentes islas de la bahía de Guaymas que afecta la circulación del agua y ocasiona un deterioro ecológico considerable hasta llegar al punto de tener una disminución de islas, ya sea por unión o por desaparición.

Atlas de riesgos naturales del municipio de Empalme (Atondo, 2011).

Este trabajo se realizó para el municipio de Empalme, con la participación y financiamiento de SEDESOL a través del Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos. Es considerado como un instrumento técnico para la identificación de los riesgos y vulnerabilidades provocadas por asentamientos humanos ante la presencia de peligros de origen natural. Tiene la finalidad de emplearse en la planeación y programación de las obras preventivas de protección y mitigación, con criterios claros para evitar el crecimiento de zonas no aptas y contar con la información confiable para dar una rápida y efectiva respuesta a la población civil en situaciones de emergencia.

Un atlas de riesgo es elementalmente un conjunto de mapas y metodologías para la ubicación espacial y temporal del peligro, donde además se puede localizar geográficamente la vulnerabilidad física y social, así como dar a conocer el riesgo existente en un lugar de interés para la población que lo habita.

Atlas de riesgos naturales del municipio de Guaymas (ArqCo, 2011).

En este documento se explica, de manera general, información sistemática y cartográfica sobre los peligros, la vulnerabilidad y el riesgo, ante fenómenos

naturales; también hace una identificación de sus principales centros de población y zonas designadas de alto riesgo, basándose en los antecedentes históricos, el análisis del territorio y los elementos afectables en él presentes.

II.- METODOLOGÍA

En este trabajo se muestra la importancia y la utilización de las unidades geomorfo ambientales en el área comprendida entre Guaymas y Empalme, Sonora; ya que las condiciones del terreno han estado sujetas a varios procesos ambientales debido a la presencia de las diferentes transformaciones del entorno, tanto por acción del hombre como por causas naturales.

Para la construcción del mapa geomorfológico ambiental se hizo un análisis de la información previa del área, posteriormente se elaboró la identificación geomorfológica mediante la interpretación de imágenes satelitales Landsat ETM; posteriormente, con la ayuda de los sistemas de información geográfica como ArcGIS 10.3 y Global Mapper 17, se realizó la definición de las unidades geomorfo ambientales con el apoyo de datos establecidos en las cartas geológico-mineras Guaymas G12-2 (SGM, 2002) y Sierra Libre H12-11 del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2002), a escala 1:250, 000. Esta clasificación fue complementada con el conjunto de datos digitales de erosión (Centro Regional de información sobre desastres en América Latina y el Caribe, 2008 y SAGARPA, 2009), edafología (INEGI, 2010), uso del suelo y vegetación (INEGI, 2010), climatología (INEGI, 2010), vegetación (INEGI, 2010), hidrología subterránea (INEGI, 2013) y superficial a escala 1:250,000 (INEGI, 2013).

La nomenclatura de las unidades geomorfo ambientales está basada en el criterio principal de homogeneidad relativa, y su caracterización se debe a 5 aspectos principales: 1) origen de la geoforma; 2) tipos de relieve (laderas de montañas, lomeríos, piedemontes y planicies); 3) temporalidad (edades de las rocas, estructuras y geoformas); 4) geometría del relieve por clases (parámetros morfométricos principales por unidad); 5) medios y agentes contaminantes dentro del área de estudio.

II.1.- Cartografía geomorfológica

La cartografía geomorfológica es una técnica de levantamiento y diseño de mapas temáticos cuyo objeto es la definición, delimitación, jerarquización y localización de las formas de relieve. En ella se toman en cuenta las características descriptivas, topográficas, naturaleza u origen de las formas, su edad relativa y el marco ambiental en el que se han desarrollado (Gutiérrez, 2012).

El procedimiento para la elaboración de un mapa geomorfológico comienza con la interpretación de la información obtenida en consulta bibliográfica y visual de los rasgos topográficos del paisaje de manera indirecta y directa (fotointerpretación y trabajo de campo), para realizar la delimitación de unidades de terreno que serán plasmadas en un plano general, sobre las que se ubicarán rasgos geomorfológicos lineales que detallen la configuración de las geoformas del área de estudio.

Gracias a la elaboración de estos tipos de cartografía, es posible diferenciar y clasificar las geoformas que se ven directamente relacionadas con la estructura geológica, los procesos endógenos y exógenos resultantes del modelado de la Tierra.

El análisis de las relaciones de los procesos endógenos y exógenos constituye una base sólida para establecer los procesos relacionados con la dinámica interna y externa que producen el entorno; además, permiten la identificación de la cronología relativa de los episodios tectónicos, climáticos o volcánicos y de los diversos sistemas morfogénicos, así como el ritmo y el modo de sustitución de éstos (Gutiérrez, 2012).

No existe una normalización generalmente aceptada en la publicación de mapas geomorfológicos, coexisten métodos propios con variantes o adaptaciones de diferentes métodos y en gran medida dependen del tipo de investigación geomorfológica que se requiere. A continuación, se muestra un listado con la descripción de algunas de propuestas internacionales que los autores de este tipo de trabajos utilizan:

La leyenda internacional de la Unión Geográfica Internacional (UGI, 1960 y Gellert, 1972). El grupo de científicos de la UGI consideraba a los mapas geomorfológicos detallados como una considerable contribución al uso planificado del territorio, y a la utilización eficiente del entorno geográfico considerando las leyes que controlan el desarrollo del relieve, y de esta forma, de todo el entorno natural.

El método holandés del International Institute for Aerospace Survey and Earth. Aparecen los levantamientos geomorfológicos sintéticos, en el ámbito de una geomorfología medioambiental, y los levantamientos geomorfológicos pragmáticos para fines concretos como una evaluación de distintos riesgos naturales. Este método incluye al mismo tiempo los avances en la segunda generación de satélites de teledetección, la cartografía digital y los sistemas de información geográfica. Sciences (ITC), (Verstappen y Van Zuidam, 1991).

El método francés (Tricart, 1981). Una unidad geomorfológica para estar bien definida necesita precisarse los siguientes elementos: su localización espacial (coordenadas y altitud), su contexto estructural, la edad de la forma inicial, la naturaleza genética de las formas, las características morfológicas propias de las formas y las formaciones superficiales.

La propuesta de la Sociedad Española de Geomorfología (SEG) (Peña et al, 1997). Estableciendo: "una serie de elementos ordenados en una leyenda, establecida previamente, siguiendo unos criterios metodológicos, y que son aplicados a la elaboración de un mapa geomorfológico".

El sistema de clasificación del relieve propuesto por Sayago (1982) – Argentina. Propone una cartografía donde las unidades geomorfológicas se usen como base para la evaluación integrada del paisaje natural,

El método utilizado para este trabajo fue el desarrollado por International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), (Verstappen y Van Zuidam, 1981) para los aspectos morfodinámicos y geomorfológicos. Este tipo de cartografía geomorfológica establece las relaciones ecológicas del ecosistema, entre las características de las formas del relieve y los factores ambientales del modelado. Este tipo de análisis se lleva a cabo obteniendo información sintética, que se aplica en un esquema de análisis multidisciplinario (Verstappen y Zuidam, 1991).

Este aporte sintético corresponde a la relación entre la expresión del terreno y agentes, como el clima, el tipo de relieve, la litología, los suelos, la hidrología y la vegetación. La descripción geomórfica del área Guaymas-Empalme corresponde con esta categorización que incluye a las geoformas como resultado de las condiciones medio-ambientales, utilizando como característica principal el origen del paisaje y la erosión existente para la delimitación de las unidades, con el propósito de obtener un mapa base que sea útil en futuras investigaciones ambientales, así como en la actualización de atlas de riesgos.

II.1.1- Tipos de cartografía geomorfológica ambiental

La finalidad de una cartografía de este tipo es el facilitar la información sobre las geoformas de la superficie, los rasgos geomorfológicos y ambientales, y los fenómenos naturales implicados.

Los tipos de cartografía geomorfológica existentes son los analíticos, sintéticos y pragmáticos (Tapia y López, 1998).

Los planos analíticos son mapas temáticos que representan las geoformas de una superficie y sus procesos, destacando la morfogénesis y la morfochronología de sus unidades; los mapas de carácter sintético son temáticos que representan el conjunto de los estudios vinculados a relaciones ambientales entre la expresión del terreno y otros factores modeladores del paisaje, como el clima, el relieve, la litología, los suelos y la vegetación; finalmente, los mapas pragmáticos representan el resultado de investigaciones geomorfológicas guiadas por un propósito específico (Gutiérrez, 2012).

Debido a las características que se reúnen en las unidades geomorfo ambientales de la región Guaymas-Empalme, este tipo de cartografía corresponde a los mapas sintéticos. Asimismo, ya que no existe un mapa previo que sirva como guía para la elaboración de un plano geomórfico ambiental en el área de estudio, se optó por utilizar como característica principal el origen de las geoformas y la erosión incidente sobre cada unidad (hídrica laminar, eólica y antrópica) para elaborar un mapa base que puede ser utilizado en investigaciones futuras.

II.2.- Cartografía hidrológica

La clasificación de las unidades geohidrológicas presentadas por INEGI (2007), toma en cuenta los parámetros físicos de la roca y de los materiales granulares, donde es posible realizar una estimación de la capacidad de cada material de contener agua. La definición de estas unidades se divide en dos grupos: material consolidado o no consolidado con posibilidades altas, medias o bajas de funcionar como un acuífero. Además se presenta de forma general el uso del agua en cada aprovechamiento que se encuentra en la zona de estudio.

En la carta de hidrología superficial RH09 referida a la cuenca del río Mátape, se presentan cuerpos de agua y las corrientes de agua con sus diferentes transportaciones de los flujos (INEGI, 2007).

II.3.- Cartografía geológica

La finalidad de la carta geológica es proporcionar la información referente a la naturaleza y las características de las rocas de acuerdo con su origen, composición mineralógica y estructuras, siendo los sistemas de fallas y fracturas producidas por movimientos tectónicos (INEGI, 2005).

Son varias las actividades humanas que pueden ser condicionadas por la naturaleza de las rocas; tal vez sea más fácil apreciarlo en la explotación de minerales o del petróleo, que solamente se realiza en cierto tipo de rocas; y por tanto, es requisito previo la localización de dichos afloramientos antes de iniciar la exploración a nivel de detalle y de la toma de muestras para el análisis físico-químico (INEGI, 2005).

La geología de la zona está representada en 11 paquetes diferentes de rocas, clasificadas por rocas plutónicas, volcánicas, conglomerados, calizas y cuarzo-arenita-limolita. Las calizas representan las rocas más antiguas y son intrusionadas por diques de composición granodiorítica-tonalítica y porfídica-riodacítica. Sobreyaciendo se encuentran tres paquetes de andesita-dacita, basalto-andesita y toba riolítica-riolita, del más antiguo al más joven; intrusionando a las calizas y a éstas rocas volcánicas se localiza un dique de composición granítica, seguido por rocas basálticas y detríticas, como un conglomerado polimíctico; en los sedimentos más jóvenes se tienen limos y arcillas.

II.4.- Cartografía de uso de suelo y vegetación

En la clasificación de uso de suelo y vegetación, dada por INEGI (2013), es necesario tomar en cuenta el clima de la región y los agentes naturales y antrópicos que lo rodean, por lo que en el área de estudio se observa una vegetación de tipo matorral sarcocaula, mezquital desértico, vegetación halófila xerófila, dunas costeras y pastizal inducido.

Para el uso de suelo se identifican algunas actividades antrópicas que por su impacto y características resaltan en el territorio, clasificándolas para este estudio como zonas urbanas, asentamientos humanos y zonas de cultivo.

Este tipo de cartografía tiene como finalidad dar un pronóstico de la situación de los recursos vegetales y los cambios en el uso de suelo; también, el representar programas para la protección ambiental, en la planeación de actividades de reforestación, en la conservación del hábitat de las especies, apoyar en la planeación y ejecución de acciones encaminadas al uso óptimo de los recursos naturales, renovables y no renovables, frenar el deterioro ambiental y prevenir desastres ecológicos. Estos últimos son los principales retos que se presentan en la actualidad, pues el equilibrio logrado por la naturaleza durante millones de años se ha visto seriamente afectado por la intervención humana, provocando insuficiencia de producción alimenticia, sobreexplotación en los acuíferos, pérdida y degradación del suelo, contaminación atmosférica, pérdida de biodiversidad, etc.

II.5.- Cartografía climatológica

El 48% de Sonora presenta clima seco y semiseco en la región de la Sierra Madre Occidental, el 46.5% se clasifica muy seco en las Llanuras Costera del Golfo y Sonorense, un 4% pertenece a la categoría de templado subhúmedo ubicado hacia el este del Estado y el restante 1.5% al clima cálido subhúmedo en el sureste de la Entidad (INEGI, 2009).

La temperatura media anual estatal es alrededor de los 22°C, la máxima promedio es de 38°C y se presenta en los meses de junio y julio, y la mínima promedio es de 5°C, durante el mes de enero (INEGI, 2009).

La precipitación media estatal es de 450 mm anuales, las lluvias se presentan comúnmente en verano, en los meses de julio y agosto (INEGI, 2009).

II.6.- Cartografía edafológica

En las cartas edafológicas Guaymas G12-2 y Empalme H12-11 se muestran los mismos marcos de referencia que en la carta topográfica, así como otros elementos propios de ella. En todas las escalas se señala la distribución de los suelos, clasificados de acuerdo con el sistema FAO/UNESCO (1970): la hoja con mapas que comprende el Mapa de Suelos de México y América Central se ha trazado sobre los mapas topográficos base de la serie a escala 1: 5 000 000 de la American Geographical Society. Las unidades del mapa son asociaciones de unidades de suelos divididas en clases texturales topográficas o de inclinación. Se indican en el mapa por medio de símbolos. Los suelos dominantes se muestran por colores, mientras que las diferentes fases se indican con sobreimpresiones; modificado por la Dirección General de Geografía (INEGI, 2004).

Las unidades edafológicas se denominan en función de la clasificación de los perfiles y factores morfogenéticos (clima, geología, vegetación, uso del suelo, topografía y geomorfología), por medio de una clave jerarquizada constituida por uno, dos o hasta tres tipos de suelo, siendo la predominante la primera. En dicha clasificación se indica la textura o cantidad de arena, limo y arcilla de la parte superficial del suelo; la presencia de fases químicas como salinidad y sodicidad; y la existencia de fases físicas como roca o estratos cementados cercanos a la parte superficial del suelo o fragmentos de ellos (INEGI, 2004).

El suelo es el medio en donde las plantas obtienen los nutrientes que requieren para su desarrollo; por tanto, el conocimiento que se tenga de las características morfológicas, físicas y químicas de este elemento es de vital importancia para planear su uso más racional, especialmente en las actividades relativas a la explotación agrícola y pecuaria, así como en las labores de reforestación (INEGI, 2004).

II.7.- Cartografía geomorfológica - ambiental

Un plano geomorfológico ambiental en una primera fase de investigación es el resultado del estudio de las geoformas de la superficie terrestre en sus aspectos descriptivos, evolutivos, genéticos y ambientales en el ecosistema. En este tipo de cartografía es fundamental el desarrollo de una ordenación, planificación y manejo de un territorio (Martínez, 1997).

La ordenación de un territorio estima las calidades de sus unidades ambientales, en función de las cuales se planificará. La planificación territorial resulta de un análisis tendiente a identificar las posibles intervenciones sustentables o usos equilibrados que podría soportar una unidad ambiental (Martínez, 1997).

La gestión o manejo de un territorio se basa en la toma de decisiones a partir de una planificación y puede ocurrir que en esa "toma de decisiones" concurren consideraciones o parámetros socioeconómicos.

En este contexto de ordenación, planificación y manejo de un territorio, Martínez (1997) sugiere que la utilización de la cartografía geomorfológica ambiental es muy necesaria en los siguientes casos:

- La determinación de las áreas de la zona que necesitan protección, que requieren restauración y las que deben ser conservadas.
- Delimitar y caracterizar fisiográficamente unidades ambientales, en relación con propuestas de recomendaciones y usos.
- Identificar, delimitar y caracterizar geológicamente las zonas que han sufrido modificaciones, respecto a determinados usos del terreno.
- Identificar y cuantificar la diversidad topográfica del entorno.

Para la confección de las unidades delimitadas en este mapa, se ha hecho una reclasificación de los atributos esenciales de las cartografías de edafología, climatología, geomorfología, uso de suelo y vegetación, hidrología y geología. Esto consistió en sintetizar las unidades cartografiadas teniendo en cuenta aquellos parámetros visibles de homogeneidad relevantes para obtener las unidades geomorfo ambientales de la región de Guaymas-Empalme.

Como parte de esta investigación geomórfica ambiental, se hizo de manera general la localización y distribución de las fuentes contaminantes que afectan o modifican el medio (agua, aire y suelo) dentro del área de estudio.

El principal factor para la categorización de las unidades geomorfo ambientales es el tipo de erosión presente en cada una de ellas, seguido por el origen de las geoformas; además, se incluyen los rasgos geomorfológicos, geológicos, hidrológicos, edafológicos, climáticos, topográficos y la vegetación.

II.9.- Representación de información cartográfica

La cartografía será expuesta mediante mapas realizados, a partir de información obtenida de INEGI (2010 y 2013) y de SGM (2002), modificados y editados en la paquetería de Arcgis 10.3. A continuación, de acuerdo a su jerarquización se explican los parámetros y rasgos de relevancia para la clasificación de las distintas unidades comprendidas en el área de estudio:

- Unidades litológicas. Identifica el origen y composición de los paquetes de roca y las estructuras presentes en ellos.
- Unidades climáticas. Ofrecen información de la temperatura máxima y mínima, la dirección del viento, la lluvia apreciable en determinado rango de tiempo y el valor de precipitación (mm) anual.
- Unidades hidrológicas subterráneas y superficiales. Brindan la dirección del flujo del agua superficial y a través de ellas, se infiere la dirección de las corrientes subterráneas; asimismo, proporcionan la delimitación de las unidades geohidrológicas y los diferentes usos del agua subterránea y superficial.
- Unidades de uso de suelo y vegetación. Permiten delimitar el ecosistema por sus condiciones vegetativas y edafológicas que intervienen en el tipo de erosión y agentes que las modifican.
- Unidades geomorfológicas. Delimitan las diferentes formas de la superficie terrestre y sus tipos de relieve (ladera de montaña, lomerío, piedemonte, planicie), en función de su geoforma, posición topográfica y origen; siendo este el primer paso para la elaboración de las unidades geomorfo ambientales.

III.- USO DE CARTOGRAFÍA AMBIENTAL

El procedimiento utilizado para la elaboración de cartografías geomorfológicas ambientales es muy variado, depende de la disponibilidad de información y/o de lo que se quiera representar en el plano temático, que al combinarse constituyen el mapa final.

Como la información sobre este tipo de cartografía es muy escasa, no existe guía estandarizada en ninguna escala para la preparación de este tipo de planos, incluyendo una simbología de orientación o base, así como colores con significado específico.

Los planos geomorfológicos ambientales contienen información representando la combinación de un ecosistema con las formas de relieve, que junto con los mapas geológicos, los climatológicos, los edafológicos, los

geomorfológicos, los hidrológicos y las características de los tipos de vegetación y uso de suelo son útiles para la comprensión del sistema de unidades geomorfológicas ambientales.

La finalidad de los mapas geomorfológicos ambientales es presentar elementos topográficos básicos, las características de los factores morfogenéticos y las zonas de riesgo en las diferentes unidades de la superficie, en base a los fenómenos naturales y antrópicos; de acuerdo a la escala, pueden ser específicos o generales.

En esta investigación se representan las unidades geomorfo ambientales en una primera etapa, basadas en las características morfodinámicas del área de estudio, representadas por la configuración de categorías sistematizadas en las porciones del territorio y clasificadas de manera inicial de acuerdo a criterios geomorfológicos-geológicos para crear delimitaciones previas de unidades ambientales y sus sistemas (Martínez, 1997). Esta cartografía está complementada con descripciones de barreras físicas, químicas, biológicas, antrópicas y ambientales, expresadas en la delimitación de las unidades del área de estudio.

III.1.- ¿Por qué una cartografía geomórfica ambiental?

Se eligió elaborar una cartografía de este tipo porque engloba el conocimiento las condiciones geológicas, las características ambientales del sitio y las herramientas para visualizar una planificación territorial (geomorfología), empleando una metodología en la que se combinan aspectos de relieve, litológicos, estructurales, erosivos y ambientales para conformar una organización morfogenética. Además apoya al diagnóstico y mitigación de los problemas de contaminación para contribuir en estrategias que minimicen la posible degradación ambiental local y/o maximicen la posibilidad de implementación de programas orientados hacia el adecuado uso del ambiente, ya sea en su estado natural o modificado antrópicamente por nuestras actividades sociales (Martínez, 1997).

La geomorfología ambiental hace que el geomorfólogo busque o aprenda la forma de aplicar los conocimientos obtenidos para aplicarlos en el estudio de impactos naturales y antrópicos que modifican el ambiente, así como la implementación de técnicas y metodologías que favorezcan las condiciones óptimas del funcionamiento del ecosistema local para no llegar a situaciones de límite que ponen en riesgo a la comunidad biótica.

La geomorfología proporciona herramientas de análisis para enfrentar los problemas ambientales y sus técnicas de evaluación que se desarrollan en la búsqueda de una solución; como por ejemplo, en materia de riesgos de catástrofes

naturales o artificiales, destrucción de recursos, pérdida de valores estéticos, entre otros (Martínez, 1997).

Investigaciones descriptivas del paisaje permiten abordar de forma metódica los temas de la geomorfología, donde intervienen los procesos de meteorización, cuencas de drenaje, acción fluvial de las aguas superficiales y subterráneas, inestabilidad de vertientes, erosión eólica, erosión costera, referidos al impacto ambiental que conllevan y a las posibilidades de conservación del medio (Martínez, 1997).

III.2.- Utilidad de las unidades geomorfo ambientales

Construir un plano geomórfico ambiental aporta herramientas para la comprensión del ecosistema dentro de una comunidad como un todo (continentes y contenidos), con sus diversas interacciones multidireccionales, permite participar en la determinación de calidades y equilibrios ecológicos incluyendo sus vulnerabilidades, y facilita la medición de determinados aspectos de las sustentabilidades ante proyectos de conservación, mejora y/o desarrollo, desde una perspectiva de retro-alimentación, entre los factores, procesos y efectos de un sistema, y no según aspectos geomorfológicos aislados (Martínez, 1997; Rivas et al., 1995).

El realizar una investigación sobre una cartografía geomorfológica ambiental representa un gran beneficio para la población, ya que el tener una documentación sobre las zonas generalmente más propensas a los fenómenos naturales, a los análisis de relieve como parte del ecosistema, a las actividades antrópicas y a las transformaciones de las geoformas en la superficie, favorece a largo plazo el tener información que puede ser utilizada para crear mejores condiciones para el entorno, llevando con esto una mejor calidad de vida para los seres vivos.

En este sentido, una cartografía que muestra a las geoformas como resultado de las condiciones ambientales que modifican constantemente el paisaje y producen variaciones significativas en el modelado del relieve terrestre, que a su vez repercuten en el funcionamiento natural del ecosistema local inmediato, puede emplearse como una guía para una toma de decisiones más consciente por parte de las dependencias gubernamentales, recomendando estándares de construcción adecuados para la construcción de infraestructura que tenderán a una disminución de la vulnerabilidad de la población y a futuro minimizar los efectos nocivos del cambio de uso de suelo en el medio.

III.2.1.- Difusión a la población

Para transmitir ésta información de la manera más entendible, se realizó un diagrama sobre las consecuencias de los daños o modificación en el entorno que se pueden generar en el área (Figura 1).

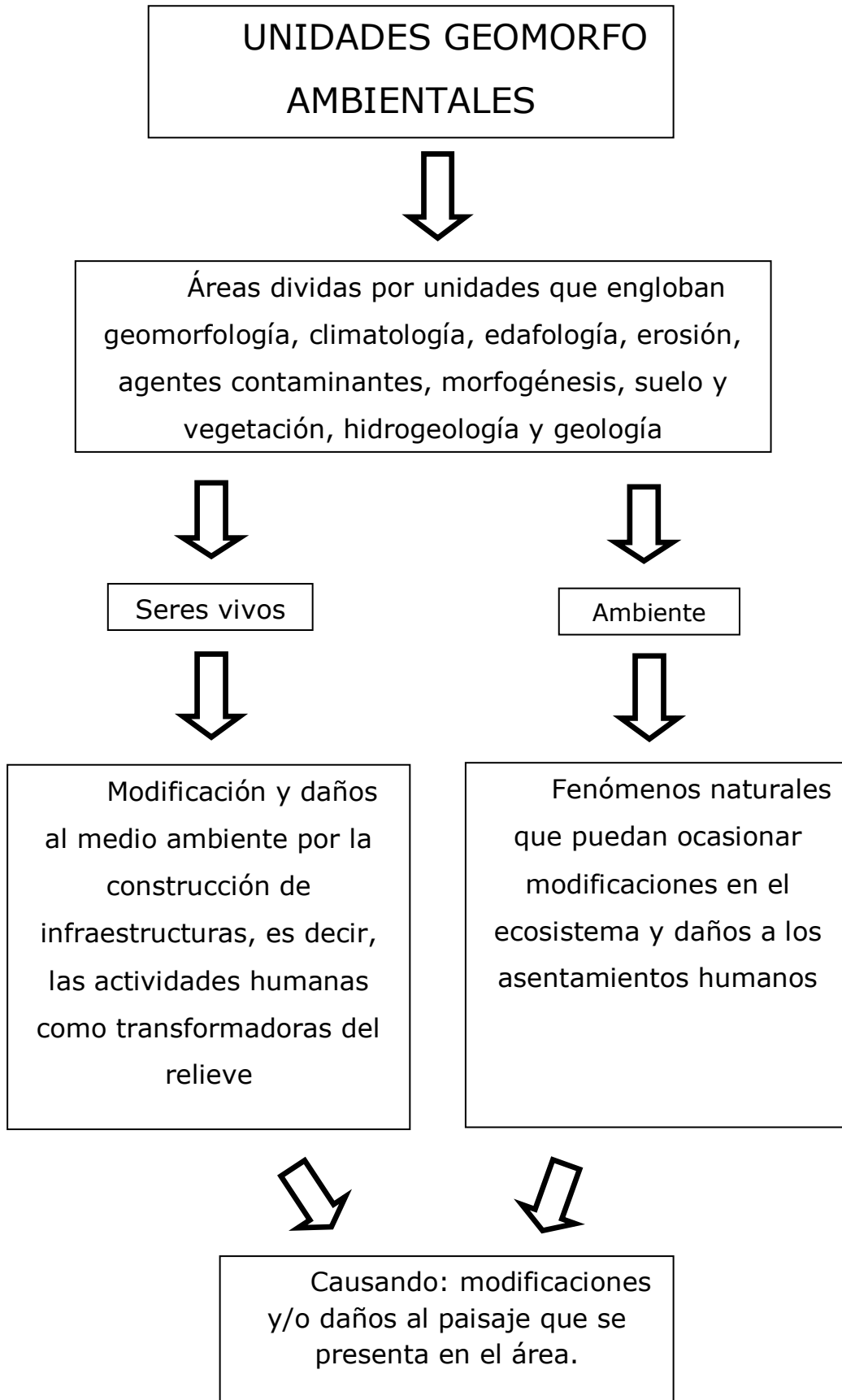


Figura 1. Diagrama informático sobre los efectos de la transformación del entorno

IV.- GEOMORFOLOGÍA AMBIENTAL DE LA REGIÓN GUAYMAS-EMPALME, SONORA

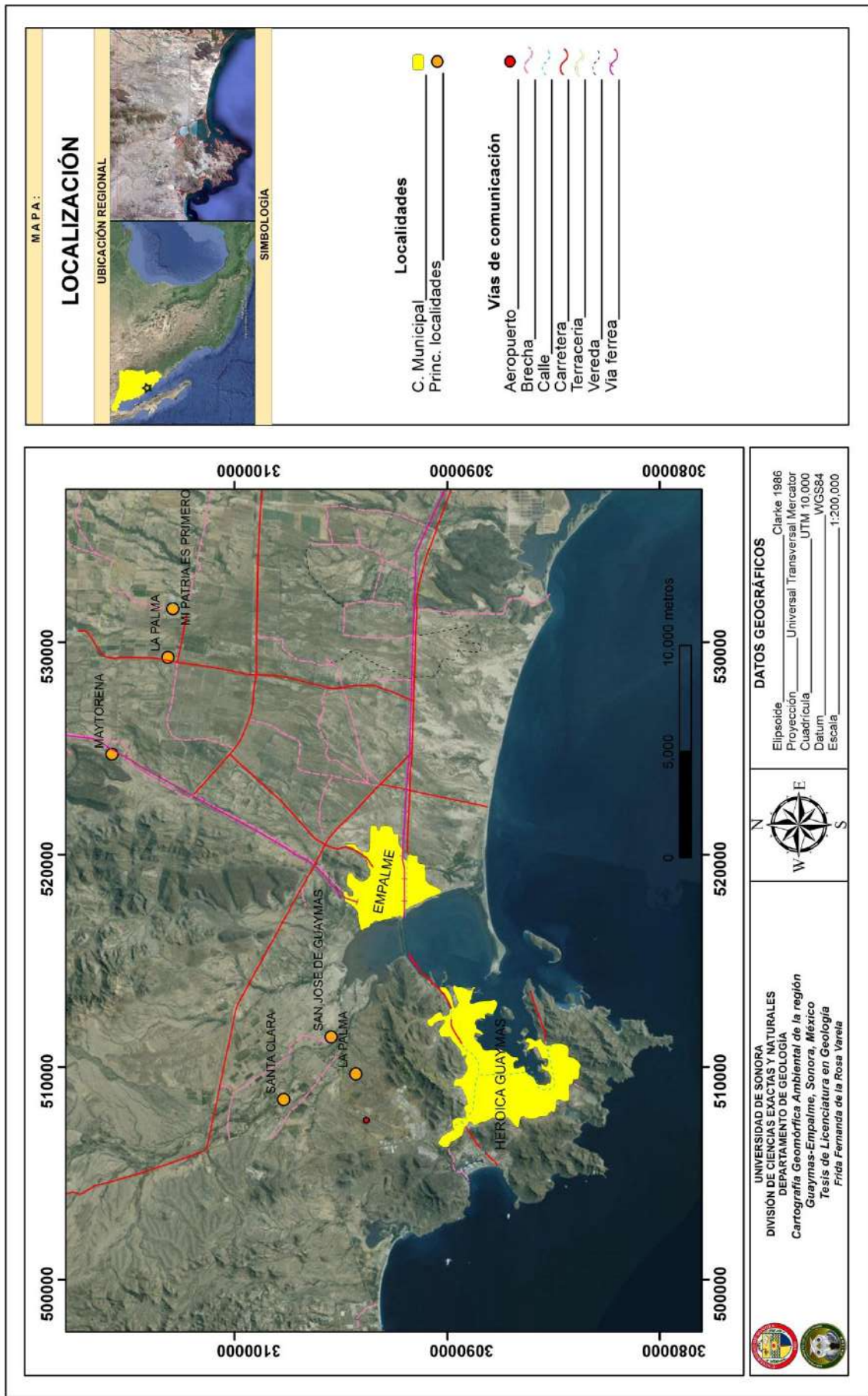
La cartografía presentada en esta investigación contiene como base las características geológicas, geomorfológicas y morfogenéticas plasmadas en un mapa que muestra un resultado geomórfico ambiental, a través de la clasificación del terreno y de sus agentes transformadores; propiedades que son apreciables en la nomenclatura, ordenación y jerarquización de sus unidades.

La clasificación de las geoformas, litología, origen, clima, vegetación, estructuras, aguas superficiales y subterráneas, suelo y posición topográfica, permiten ubicar los diferentes tipos de erosión y agentes contaminantes que se encuentran en la zona estudiada, consideradas como unas de las causantes de las transformaciones y/o cambios en el ambiente.

El aporte de este trabajo es el llamado mapa Geomórfico Ambiental de la Región Guaymas-Empalme, Sonora, donde se despliega el conjunto de unidades de terreno, sus procesos y efectos modeladores, principalmente por agentes geodinámicos y ocasionalmente antrópicos.

IV.1.- Localización y vías de acceso

El área de estudio se localiza en la porción centro-sur del estado de Sonora. La entrada viniendo desde Hermosillo, se realiza por la carretera federal no. 15 y de ésta se derivan varios caminos de terracería transitables que conducen hacia los diferentes pueblos situados en la zona (Mapa 1).



Mapa 1. Mapa de localización y vías de acceso (INEGI, 2010) Página 23

IV.2.- Fisiografía

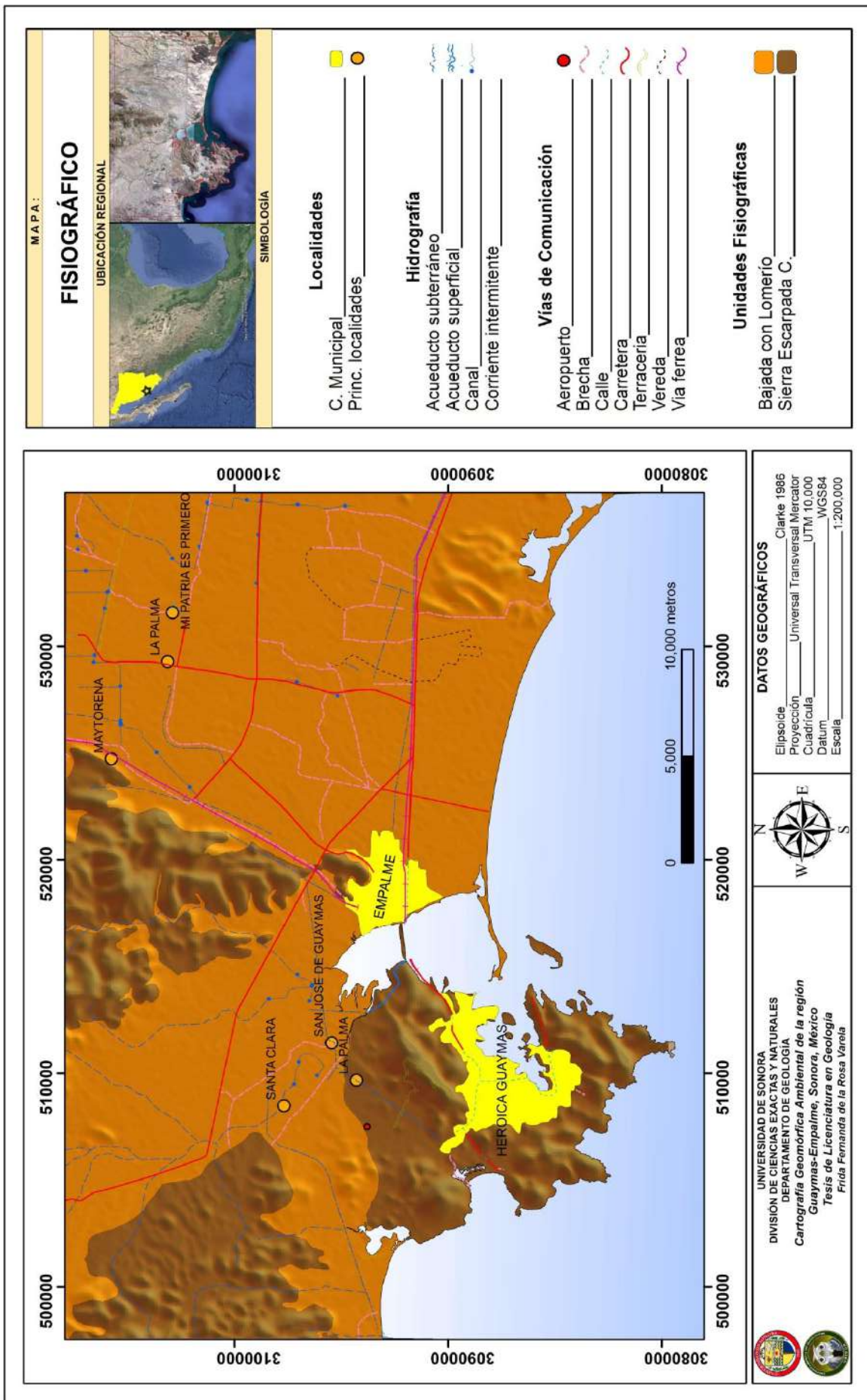
El sistema fisiográfico de clasificación del relieve ha sido creado por la Dirección General de Geografía (DGG) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). El sistema utiliza criterios geológicos y topográfico-geométricos para definir con precisión los seis niveles jerárquicos (INECC, 2009).

Una provincia fisiográfica representa la unidad más amplia definida en este sistema jerárquico; consiste de grandes conjuntos estructurales que integran un continente, generalmente conforman unidades morfológicas superficiales con características distintivas, tales como origen geológico unitario sobre la mayor parte de su superficie, un sólo patrón litológico o un mosaico litológico complejo que resulta de un origen común, morfología propia y extensa, con el fin de dividirse en subprovincias. Una subprovincia se integra por geoformas típicas de la provincia, pero su frecuencia, magnitud o variación morfológica son distintas a la anterior, pero ahora se asocian con otras que son particulares por no aparecer en forma importante en el resto de la provincia (INECC, 2009).

La zona de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de Llanura Sonorense, abarca casi la mitad del territorio estatal y se divide en tres subprovincias: Desierto de Altar, Sierras y Llanuras Sonorenses, y Sierra del Pinacate, siendo en la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses la que contiene a la región analizada en este trabajo.

Un sistema de topoformas es el conjunto de geoformas asociadas entre sí, según el patrón estructural o degradacional y presenta un mayor grado de uniformidad paisajística en relación a la unidad jerárquica que las comprende. Donde la definición de topoforma es la forma de la superficie geoméricamente reducible a un número pequeño de elementos topográficos (INECC, 2009).

En el área se presentan dos diferentes unidades de topoformas, llamadas sierras escarpadas complejas y bajadas con lomeríos (Mapa 2).



Mapa 2. Mapa fisiográfico (INEGI, 2010)

IV.3.- Fuentes de información

En el período de recopilación es necesario recurrir a diferentes fuentes de información que pueden ser de distinta naturaleza. Generalmente se dividen en primarias, secundarias y electrónicas (terciarias).

La fuente primaria está constituida por las relaciones históricas de viajeros y exploradores. Esta es una fuente que en la época actual ha caído en desuso, pero que fue muy utilizada en tiempos pasados, cuando no era posible recurrir a las otras dos fuentes mencionadas (Albites, 2006).

Una fuente primaria muy importante está representada por los levantamientos de campo, geodésicos y topográficos, constituidos por triangulaciones, poligonales geodésicas y topográficas, trilateraciones, nivelaciones de distinta índole, observaciones astronómicas, mareográficas, gravimétricas, geomagnéticas, y en los últimos tiempos las técnicas de interferometría y la geodesia satelital; en particular, dentro de esta última, se tiene el sistema de posicionamiento global o GPS, como se le conoce universalmente y que ha desplazado a la mayoría de las técnicas tradicionales (Albites, 2006).

En la actualidad, una fuente muy importante es la constituida por imágenes obtenidas a través de sensores remotos; el término se refiere a cualquier medio físico sensible por el cual se puede obtener información a distancia, el caso clásico es la fotografía aérea. Otros tipos de percepción remota responden a la radiación ultravioleta, infrarroja, radar y microondas, las cuales ya tienen una buena cuota de explotación cartográfica en los tiempos actuales.

La más importante de las fuentes secundarias de información está representada por los mapas ya existentes, de los cuales se pueden extraer datos para la generación de otros mapas, normalmente a una escala más reducida. Otra fuente secundaria de información está constituida por libros, revistas, publicaciones especializadas, artículos técnicos, datos estadísticos y socioeconómicos, etc., es decir, fuentes documentales distintas a los mapas, que pueden y deben emplearse, sobre todo en la elaboración de ciertas cartas temáticas o de carácter especializado.

El uso de fuentes secundarias no excluye el empleo de fuentes primarias donde éstas son convenientes y viceversa. La actualización topográfica puede requerir, por ejemplo, de nuevas fotografías aéreas y de visitas a campo.

Las fuentes terciarias son las que se adquieren por acceso a internet. La variedad y multiplicidad de estos materiales documentales ha ido en constante aumento; por lo tanto, la cantidad de información que proviene de ellas es enorme; comprende revistas, libros electrónicos e internet en general (Barragán, 2005).

IV.4.- Base cartográfica

Una base cartográfica es un conjunto de datos geográficos que funcionan como un gran apoyo para los sistemas de información geográfica (SIG), que se pueden emplear para cualquier aplicación y propósito. Facilita la visión del territorio, esencialmente respecto a la posición de los elementos y sus características.

El objetivo es el poder describir detalladamente la superficie terrestre junto con los rasgos geográficos que se encuentran sobre ella, ya sean naturales o producto de la actividad humana. Sirve como base para las consultas geográficas y el análisis directo, también para la creación e implantación de servicios geográficos, así como para la obtención y la actualización de productos de datos geográficos y cartográficos derivados (Olaya, 2011).

Entrando más a detalle, en el área de estudio se representan las unidades geomorfo ambientales, haciendo énfasis en que estas unidades dependen de la litología, geología, clima, tipo de relieve, suelo, vegetación e hidrología.

Se elaboró un modelo digital del terreno a partir de curvas de nivel a cada 10 metros del área de Guaymas-Empalme, obtenidas a partir de la interpolación del Modelo Digital de Elevación Universal de la plataforma de Global Mapper 15, con la finalidad de tener una mejor visualización del relieve; para los datos geográficos, se utilizó elipsoide Clarke de 1866, la proyección Universal Transversa Mercator y el datum WGS84.

IV.5.- Productos de sensores remotos

De acuerdo con la plataforma donde se ubique el sensor remoto, se distinguen tres grandes tipos de sistemas de teledetección (SRGIS, 2005):

1) Terrestre: se emplea normalmente para obtener muestras de control y datos de terreno de pequeñas zonas, con el fin de calibrar o determinar patrones de interpretación.

2) Aéreo: existen dos tipos de sensores, los ópticos y los electrónicos. En los primeros los objetos quedan plasmados en un papel fotosensible (película), luego mediante la técnica del revelado se logran los productos fotogramétricos (fotos). En los sensores electrónicos la información es almacenada en un formato digital, conocido como raster. Este consiste en una matriz de filas y columnas, donde cada celda constituye un pixel (el mínimo tamaño que puede detectar un sensor) que está definido por un valor x (columnas), y (filas) y un valor z o un número digital (ND) que es el que contiene la información de ese pixel.

3) Espacial: las plataformas que se utilizan en estos sistemas son naves espaciales, estaciones orbitales o satélites autónomos que giran alrededor de la tierra, estos últimos son los de mayor utilización. Poseen la ventaja del bajo costo por hectárea en el proceso de revelado de sus datos. Los satélites autónomos varían de acuerdo con el tipo de órbita que utilizan, éstos son: satélites de órbita polar y geoestacionaria.

Los productos de sensores remotos se emplean principalmente en la búsqueda y prospección de yacimientos minerales, delimitaciones litológicas, determinación de rasgos morfoestructurales, en la interpretación por sobre posición de éstas con otras coberturas de información, entre otras (SGM, 2013).

Esta especialidad es ampliamente utilizada en la valoración de conservación y evaluación de daños por impactos ambientales; es fundamental su uso como base en mapeos cartográficos de diferentes temas, planeación urbana, construcción de carreteras, diques, presas, etc. Sin duda, uno de los productos más importantes en el uso de esta tecnología en la elaboración de bloques diagramáticos e imágenes en tercera dimensión, que permiten realizar pruebas o simulacros en la prevención de desastres, riesgos geológicos e inundación y contaminación ambiental, solo por mencionar los de mayor relevancia.

El uso de los productos de sensores remotos es un apoyo en la evolución y complementación de la cartografía de campo y foto-interpretación. Los sensores remotos tienen como gran ventaja el delimitar, interpretar, correlacionar y definir con mayor precisión y exactitud, todos los rasgos y características encontradas en el campo; facilita las tareas propias de campo permitiendo una correcta planeación y selección de puntos y localidades, a diferencia de los métodos antiguos (SGM, 2013).

IV.5.1.- Selección del tipo de imagen

El tipo de imagen satelital que se utilizó fue Quickbird con una resolución de 0.5 metros para una mejor visión de las características y detalles del área de estudio, descargada de la plataforma de Google Earth (2016). Para las unidades ambientales se utilizó una imagen satelital Landsat ETM ya que son excelentes para aplicaciones de usos / cubrimiento del suelo, son imágenes multi-espectrales que contienen mucha información y son ideales para investigaciones ambientales, entre sus mejoras técnicas destaca una banda espectral (pancromática) con resolución de 15 metros (INEGI, 2015).

IV.6.- Criterios para la definición de las unidades geomorfo ambientales

En la elaboración del mapa geomórfico ambiental de la región Guaymas-Empalme, Sonora, los criterios utilizados para delimitación de sus unidades comprenden diversos factores y la combinación de éstos definen el relieve terrestre como producto de los agentes modeladores que actúan sobre paisaje.

Estos criterios comprenden la clasificación del terreno en base a su geoforma y la información que contienen los datos hidrológicos superficiales (INEGI, 2010) y subterráneos (INEGI, 2013), edafológicos (INEGI, 2010), uso del suelo y vegetación (INEGI, 2010), climáticos (INEGI, 2010), litológicos y estructurales (SGM, 2002), erosión (Centro Regional de información sobre desastres en América Latina y el Caribe, 2008 y SAGARPA, 2009), posición topográfica, relieve y el origen de las formas. También se localizan los agentes contaminantes y el medio que modifican (agua, aire y suelo).

Una vez obtenida la información necesaria, el primer paso para la elaboración del mapa geomórfico ambiental fue obtener elementos digitales que sirvieron de apoyo; tales como son los mapas digitales temáticos de geología, climatología, edafología, hidrología y vegetación, donde la información es extraída de diferentes fuentes.

IV.6.1.- Origen de las geoformas

Las geoformas se encuentran compuestas por materiales de roca como grava, arena, limo, arcilla y cuerpos de roca, donde cada una tiene su génesis y por lo tanto una dinámica que explica el origen de los materiales que la forman. Se entiende que la génesis de las geoformas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógeno (procesos externos), y que ambos generan relieves positivos y negativos (Gutiérrez, 2012).

Para la clasificación de las unidades geomorfo ambientales (UGA), se consideró el origen como uno de los principales factores y en el área de estudio se agruparon por sus características como siguen:

Volcánico denudativo. Son los relieves que se originaron por un proceso volcánico, siendo éste el dominante para su morfología, pero que han sufrido una degradación que ha afectado a su composición y estructura originales.

Denudativo acumulativo. Son las geoformas que han sido transformadas por agentes erosivos y posteriormente acumuladas.

Denudativo volcánico. Representa relieves clásticos erosionados producto de la degradación de cuerpos mayores y contiene materiales clásticos de origen volcánico.

Eólico. Comprende los sectores costeros de suaves pendientes y baja altimetría, donde la influencia del viento es fundamental en el modelado.

Denudativo acumulativo antrópico urbanizado. Son los relieves que constituyen los piedemonte, producto de la degradación física, química y depositación gravitacional, que han sido cambiados en su geoforma por la influencia del hombre.

Antrópico. Son todas aquellas zonas que han sido modificadas por la acción antrópica, transformándolas en áreas urbanizadas o cultivadas para su propio beneficio.

Lacustre/marino. Estas porciones de terreno están ubicados en las partes topográficamente más bajas y constantemente están bajo el modelado del agua de mar o de lago.

Fluvial. Corresponde a todas las geoformas planas que son alteradas por escorrentías superficiales de agua dulce.

Sin embargo, en cartografía dada por INEGI en 1998 de escala 1:250,000 del país, menciona de manera general que la región presenta geoformas de carácter exógeno.

IV.6.2.- Proceso de modelado del relieve.

El modelado del relieve es el conjunto de formas que son características de un proceso de erosión en particular y gracias a cada sistema de erosión, se pueden distinguir los diferentes modelados terrestres (por ejemplo: diferencia entre modelado fluvial a modelado glacial). El modelado se compone de tres procesos sucesivos: la erosión, el transporte y la sedimentación (Aller et al., 2014).

Los agentes externos, también conocidos como climáticos, son los causantes del modelado de la superficie terrestre. La energía procedente del Sol, que anima a los agentes, regula el ciclo del agua y la circulación general de la atmósfera, siempre en presencia de la gravedad, determina una secuencia de procesos físicos externos que alteran la superficie terrestre tendiendo a su nivelación, por arrasamiento del relieve (degradación) y al relleno de las depresiones (agradación). Estos procesos comienzan con la meteorización de la roca, continúan con la erosión de ésta y el transporte de los productos de la alteración, para finalizar con el depósito o sedimentación en las cuencas sedimentarias.

Este conjunto de acciones que conforman al relieve son lentas. Los factores que determinan a cada geoforma son el clima, la litología, la disposición estructural de las rocas, la acción del ser humano y la duración e intensidad de los fenómenos; es decir, el tiempo geológico (Anguita, 1993).

Los relieves de la zona estudiada incluyen a las llamadas laderas montañosas altas, lomeríos, piedemontes y planicies, siendo más abundantes en el área de estudio los lomeríos y piedemontes.

En la geomorfología de la zona se tiene una sucesión de sierras alargadas que están afectadas por grandes fallas de rumbo preferencial NW-SE y truncadas por fallas de orientación NE-SW, esta orientación es típica en la región y es atribuida al último régimen distensivo del Terciario que dislocó las unidades preterciarias, borrando gran parte de los eventos tectónicos anteriores. Las estructuras presentes son fallas normales y fracturas.

A partir de lo antes descrito, se realizó la delimitación de unidades geomorfológicas compuestas, donde se muestra su tipo de relieve, designándolas como laderas montañosas altas, lomeríos, piedemontes y planicies, según sea el caso; seguido por la pendiente natural del terreno, jerarquizándola en estable para los relieves de una inclinación inferior a 10 grados, metaestable a los que se encuentran en el intervalo de 10-25 grados e inestable para los identificados entre 25 y 35 grados; además se hace mención de las estructuras presentes (Gutiérrez, 2012).

Los grados de inclinación de las pendientes empleadas para este trabajo (expresado en porcentajes), son usadas por el Ministerio de Agricultura de España y en su relación con rangos de pendientes simples, presentan la siguiente correspondencia: pendiente llana <3%, pendiente suave 3-10%, pendiente moderada 10-20%, pendiente fuerte 20-30%, pendiente muy fuerte 30-50% y pendiente escarpada >50% (Zuñiga, 2010).

En la clasificación de la delimitación geomorfológica del área Guaymas-Empalme (Mapa 3), en la parte norte de la zona se identifican laderas montañosas altas con pendiente inestable, compuesta por rocas ígneas volcánicas intermedias y ácidas terciarias, con fracturas de origen distensivo con rumbo NE-SW. Seguido por lomeríos metaestables a estables volcánicos y plutónicos ácidos e intermedios terciarios.

En la parte noreste se tienen planicies con pendientes estables, constituidas por zonas de cultivo y algunos poblados; mientras que, en la parte sureste está constituida por lomeríos con pendientes metaestables de rocas volcánicas básicas miocénicas y volcánicas ácidas e intermedias terciarias.

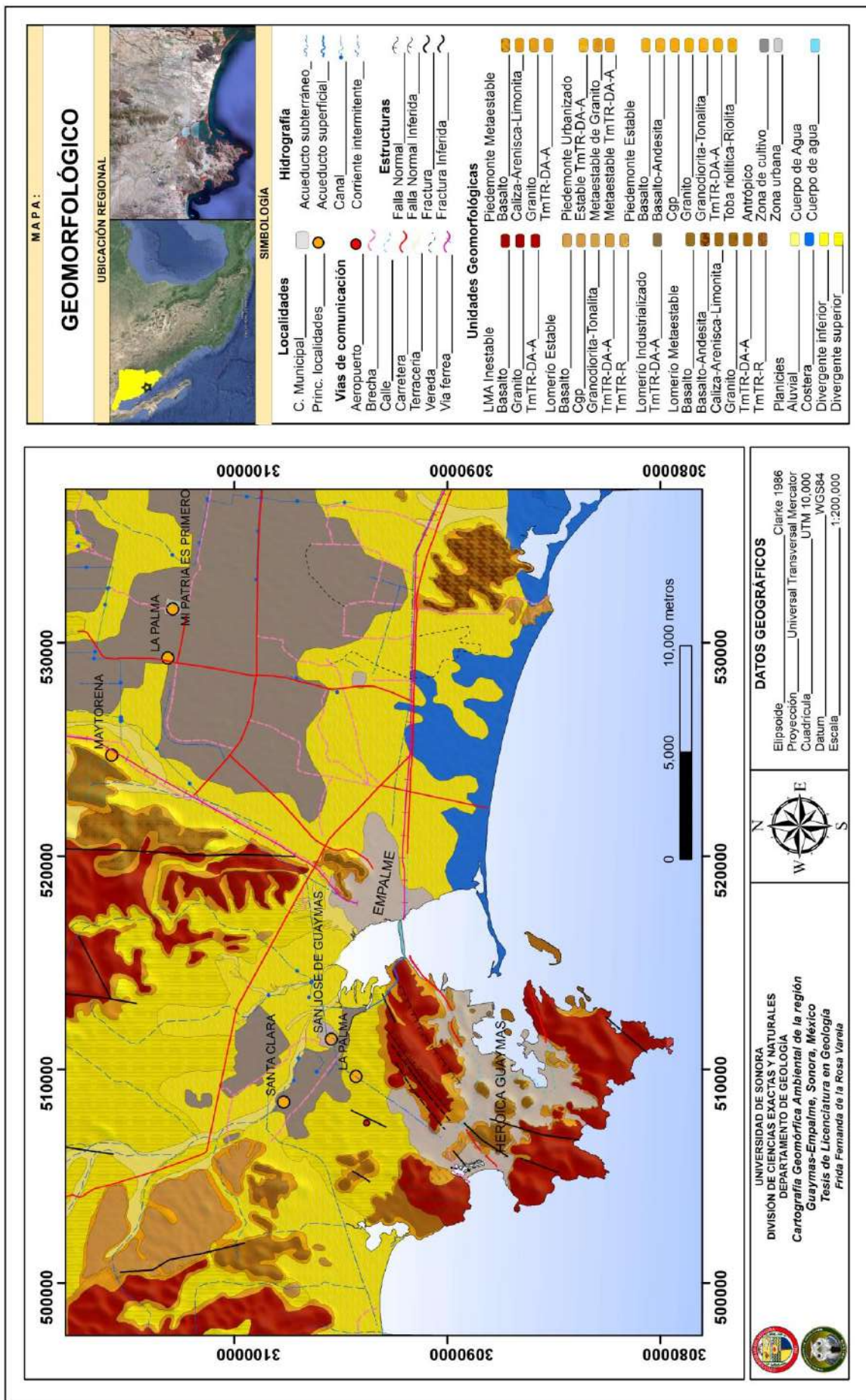
En la porción sur del área se encuentran laderas montañosas altas con pendiente inestable de rocas volcánicas intermedias y ácidas terciarias, con diversas fracturas y dos fallas normales, de las cuales una de ellas se infiere, con origen distensivo y de rumbo NE-SW. Siguiendo lomeríos metaestables y estables,

compuestos por rocas ígneas volcánicas y plutónicas intermedias a ácidas terciarias.

Al oeste del área, está constituido por una ladera montañosa alta inestable, compuesta de rocas ígneas volcánicas intermedias y ácidas terciarias. Los relieves menores, llamados lomeríos con pendientes estables y metaestables, se distribuyen en rocas de composición volcánica ácida e intermedia terciaria y en conglomerados polimícticos cuaternarios.

Estos relieves muestran sus piedemonte constituidos por rocas detríticas, siendo de composición conglomerática con pendientes estables y metaestables. Donde éstos dan paso a extensas planicies divergentes superiores e inferiores cuaternarias, identificadas por su posición topográfica.

Además, el cambio en el uso del suelo hizo posible la delimitación de planicies antrópicas cultivadas y zonas urbanizadas, puesto que las características geomórficas entre ellas es distinta, por el tipo de bioactividad y modificaciones que se desarrollan en cada una (Gutiérrez, 2012).



Mapa 3. Mapa geomorfológico (INEGI, 2010)

IV.6.3.- Climatología

La acción del clima sobre el relieve tiene gran interés para la superficie, tanto por la manifestación en la explotación por erosión diferencial de la estructura geológica y la litología, como en aspectos variables del modelado; de acuerdo a la petrografía y el clima que la intemperiza, el resultado geomórfico es distinto.

El clima puede actuar directamente sobre la superficie terrestre o bien de manera indirecta, cuando se interpone una cubierta vegetal entre la litosfera y la atmósfera. La eficacia de la influencia del clima depende de la cubierta vegetal y de los suelos que cubren los afloramientos rocosos. De acuerdo a esto, se reconocen sistemas morfogenéticos en que dominan procesos geomorfológicos con acciones mecánicas y otros, donde dominan los procesos físico-químicos y bioquímicos (Castro, 2004).

En el desarrollo y la evolución de las geoformas, la importancia climatológica del área es de primera importancia; por lo tanto, es indispensable reconocer los tipos de microclimas que se presentan en la región:

Costeros: la presencia de grandes masas de agua generan un efecto amortiguador de temperaturas, debido a la alta inercia térmica de estas masas y al aumento de presión de vapor atmosférico. Las diferencias de presión que se dan entre la costa y el mar se invierten en el día y la noche; durante el día, la tierra aumenta su temperatura más rápidamente que el agua por su menor capacidad térmica, generando una menor presión sobre la tierra que favorece la aparición de una corriente de aire desde el agua hacia la costa, denominado brisa marina o costera (Enríquez, 2013).

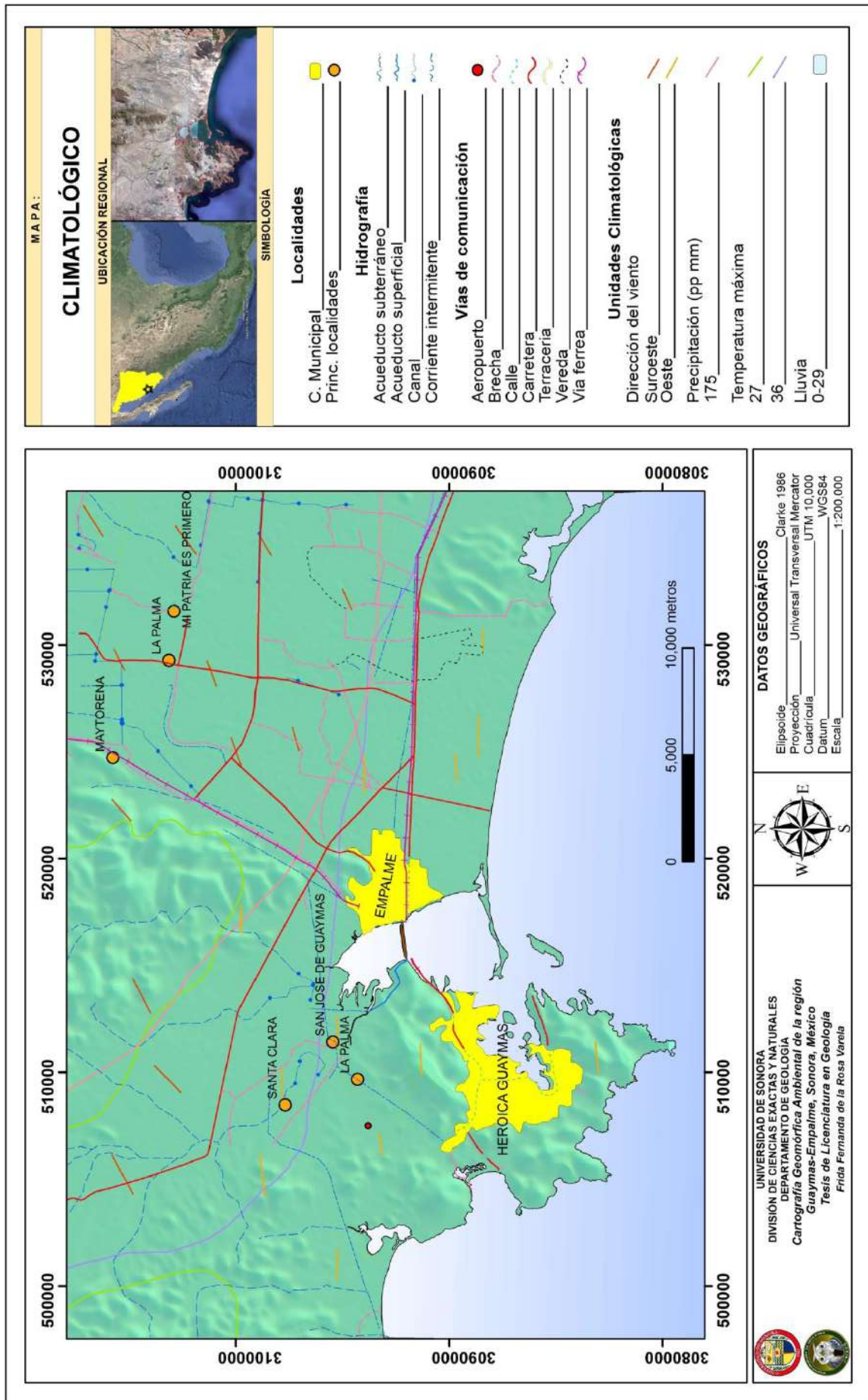
Urbano: es un tipo de microclima originado por el calentamiento del aire debido a las actividades domésticas de tipo urbano, la industria, el transporte, la calefacción y otras causas. También produce un clima más seco y con mayores extremos meteorológicos (Enríquez, 2013).

El clima es un factor que incide directamente sobre planificación de programas de protección ambiental, actividades agrícolas, ganaderas, urbanísticas y de salud pública, entre otras. El clima puede servir de base para realizar diferentes tipos de estudios sobre el calentamiento global y fenómenos hidrometeorológicos extremos, como apoyo a la toma de decisiones encaminadas a la mitigación y adaptación al cambio climático (SEMARNAT, 2008).

El rango de clima en Guaymas (Mapa 4) es muy seco a cálido en un 63.59%; muy seco a semicálido (12.87%); seco a cálido (12.01%); seco a semicálido (11.47%); y semisecho a semicálido (0.06%); en el caso de Empalme, el rango de clima es muy seco a cálido en toda la zona (INEGI, 2009).

La temperatura promedio anual es de 19° C, una máxima de 31° C los meses de julio y agosto y una mínima de 18° C en los meses de enero y febrero, para la ciudad de Guaymas; y una temperatura promedio de 0°C en el mes de enero y 22°C en los meses de junio, julio y agosto, para Empalme. Presentándose precipitaciones menores a los 300 mm (INEGI, 2009).

En el área de estudio se presentan vientos con dirección suroeste y oeste, temperaturas máximas en una variación de los 27 - 36 grados centígrados, con un rango de temporalidad de lluvia apreciada de 0 - 29 días y una precipitación de 175 mm.



Mapa 4. Mapa climatológico (INEGI, 2010)

IV.6.4.- Temporalidad (edades de las estructuras, rocas y geoformas)

El saber la edad de las rocas y estructuras es de importancia para conocer el origen y el por qué esa roca junto con sus estructuras se encuentran en determinado lugar, así como también son relevantes los efectos que dicha estructura pueden representar.

Para la datación de las rocas existen diferentes métodos:

Datación relativa. Se basa en el principio geológico de la estratigrafía, en situaciones normales se considera que los niveles (llamados estratos), que están por debajo son más antiguos (es decir, que se forman antes) que aquellos que están por encima. Una auténtica seriación cronológica, según este principio, sólo debería hacerse en un mismo corte estratigráfico. De todos modos, podemos establecer analogías cronológicas en diferentes yacimientos, gracias a los llamados fósiles directores o "fósiles guía" (Pericot y Lorenzo, 2005).

Datación absoluta. Mediante este tipo de datación es posible obtener fechas absolutas, es decir fiables, para los acontecimientos del pasado geológico; estos métodos proporcionan edades numéricas (SGM, 2013).

La temporalidad de las rocas en el área de estudio varía del Ordovícico al Holoceno; principalmente se distinguen afloramientos rocosos del Cretácico Tardío, Mioceno, Pleistoceno y por supuesto, Holoceno en todas las partes bajas y planas.

La temporalidad de las unidades geomorfológicas ambientales datan desde el Mioceno al Holoceno, relativamente representan una edad joven, debido a la constante modificación en el terreno y ambiente a causa de la acción del hombre principalmente.

Es importante mencionar que existe una diferencia entre la temporalidad de la roca y de las geoformas. Para tener las edades de las rocas se utilizan varios métodos, ya antes mencionados; y las actividades humanas, transformadoras del relieve, dan las edades de las geoformas.

IV.6.5.- Geología

La geología es la ciencia que estudia la Tierra, su composición, su estructura y los fenómenos de toda índole que en ella tienen lugar, incluyendo su pasado, mediante los rasgos que han quedado en las rocas. Gracias a la geología hoy en día se puede saber la litología presente en cualquier lugar del mundo (Rojas et al., 2008).

De manera general, la geología de la zona presenta rocas ígneas volcánicas-plutónicas y sedimentarias detríticas, que son tobas riolíticas-dacita-andesita, tobas riolíticas-riolita, también granodiorita-tonalita, conglomerados polimícticos, granito, basalto-andesita, basalto y caliza-arenisca-limonita. Se ubican en el área

fallas normales, fallas normales inferidas, fracturas y fracturas inferidas cuyos lineamientos se distinguen en los cerros que se ubican en la ciudad de Guaymas y en la parte norte de la zona estudiada.

Más a detalle, la geología del área de estudio, mostrada en el Mapa 5, empieza con una unidad geológica paleozoica (siendo la más antigua), con un rango del Cámbrico medio hasta el Pérmico, representadas por calizas y areniscas con lentes de pedernal. Los afloramientos son de poca extensión y se localizan en el límite norte del área, al noroeste de la ciudad de Guaymas.

La caliza está intrusionada por un cuerpo intrusivo granítico y granodioríticos de edad Cretácico-Terciario (granodiorita - tonalita), cuyo afloramiento es de poca extensión y se ubica en la región sureste del límite del área de estudio.

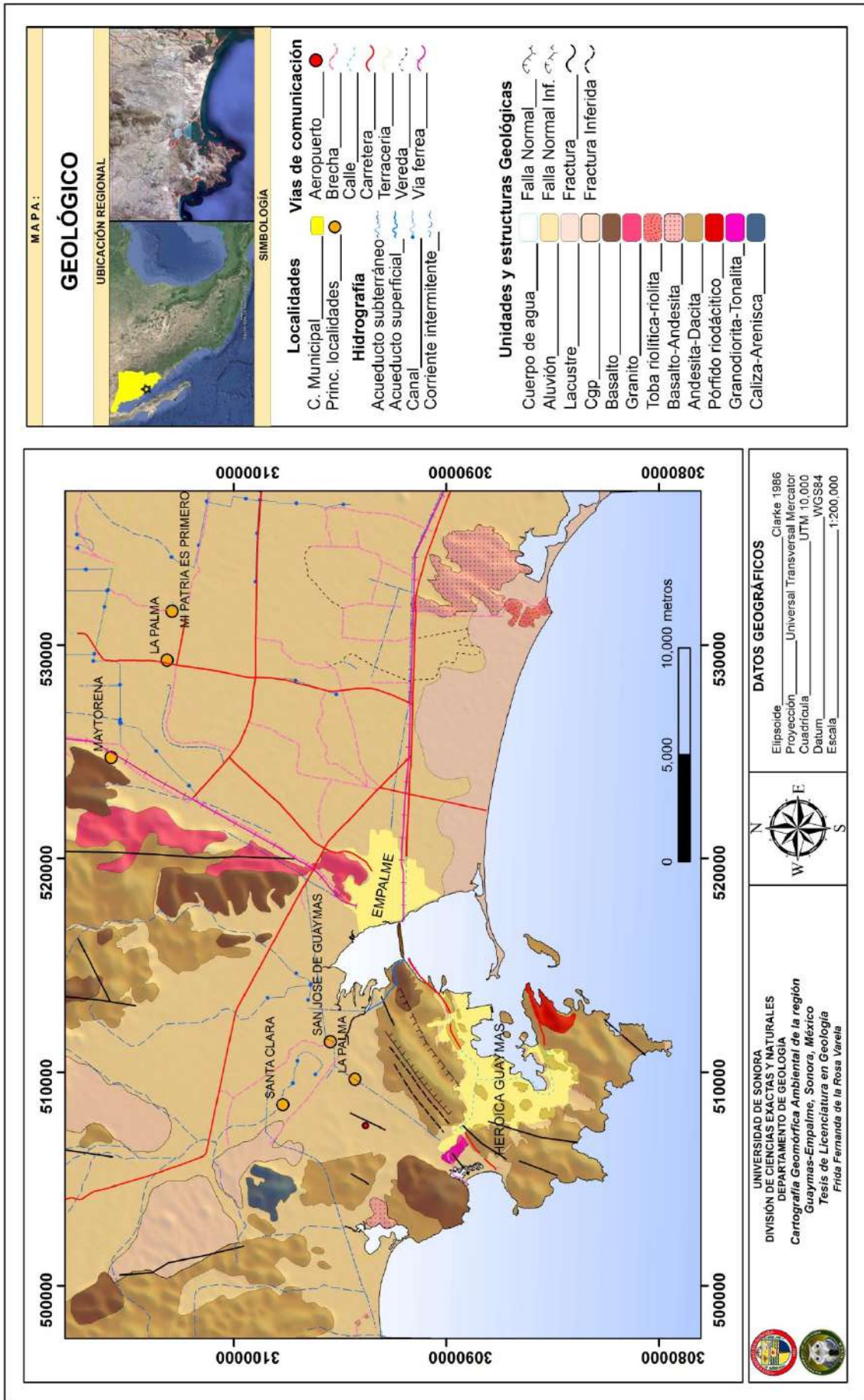
El Oligoceno está representado por riolitas, dacitas y latitas; estas unidades se consideran como la primera emisión de un evento volcánico oligomiocénico; intrusivos riodacíticos (pórfido riodacítico) afectan a estas unidades. Se hace mención de éstas unidades por que el intrusivo riodacítico está presente en el área de estudio.

Sobreyaciendo discordantemente a la unidad de latitas, aflora una secuencia volcánica de andesitas y dacitas del Mioceno, se distribuye aisladamente en las porciones norte, noreste y sureste del límite del área de estudio. Estas rocas se pueden correlacionar con las andesitas La Espuela y la unidad dacítica El Mezquite del Mioceno 15.3-22.7 Ma (Mora A.G., 1992) de la Sierra de Santa Úrsula, localizada inmediatamente al norte de Guaymas.

A las anteriores, las sobreyace una unidad de basaltos-andesitas, también del Mioceno. Discordantemente a éstas, aflora una unidad volcánica ácida de tobas riolíticas-riolitas miocénicas en el límite sureste. Las tobas riodacíticas están fechadas por McDowell (1979) en 10-11.5 Ma, en el cerro El Vigía y es correlacionable con las edades de la Sierra de Santa Úrsula (unidad félsica La Ventana), ubicada al norte de Guaymas (SGM, 2010).

En el Mioceno se intrusiona el granito, donde su afloramiento principal es en la porción norte del área de estudio. La naturaleza y origen del granito ha generado controversia, Cocheme (1981) lo consideró un granito subvolcánico genéticamente relacionado a los flujos félsicos del área de Guaymas, mientras que Johnpeer (1977), lo interpretó en Empalme como tobas desvitrificadas soldadas, similares a las tobas del cerro El Vigía. Las observaciones de campo dadas por el Servicio Geológico Mexicano indican que se trata de un cuerpo intrusivo somero con diques asociados, coincidiendo en principio con Cocheme. Discordantemente, basaltos con edad miocénica (SGM, 2010) cubren a basaltos y andesitas.

En el Pleistoceno se presentó una depositación de sedimentos clásticos de conglomerados polimícticos, donde generalmente se clasifican como mal consolidados; las gravas y arenas están distribuidas en grandes extensiones por toda el área de estudio. El Holoceno se representa como la depositación de materiales de tipo aluvión y lacustre (SGM, 2010).



Mapa 5. Mapa geológico (INEGI, 2010)

IV.6.6.- Hidrología

La hidrogeología subterránea considera las posibilidades de las rocas y materiales de contener agua, tomando en cuenta las características físicas, litológicas y estructurales; además de la influencia en el comportamiento hidrogeológico dentro de cada unidad (Gutiérrez, 2012).

Dependiendo de los materiales que constituyen las diferentes unidades en la cartografía geomórfica ambiental, se determinan dos grupos: consolidados y no consolidados. Además, tomando como base su capacidad transmisora y de almacenamiento de agua, se definen clasificaciones con posibilidades alta, media y baja (Gutiérrez, 2012).

En el área de estudio, la hidrología subterránea se clasifica como material consolidado con posibilidades bajas y material no consolidado con posibilidades altas, medias y bajas. La ubicación de los materiales se puede observar en el Mapa 6 y a continuación se describen sus propiedades:

Material consolidado con posibilidades bajas

Esta unidad está representada por diferentes tipos de rocas, hacia el SW del área se presentan rocas que en su mayoría son andesita-dacita y en su minoría se presentan pórfido riódacítico y granodiorita-tonalita. Hacia el NW de la carta principalmente es andesita-dacita y en minoría se tiene conglomerado polimíctico, basalto, caliza y basalto-andesita.

Hacia el norte, se registra andesita-dacita y en menor proporción granitos y basaltos. Por último, hacia el SE de la carta se tiene basalto-andesita y toba riolítica-riolita. Estas rocas ígneas y sedimentarias quedan limitadas de contener agua por sus características primarias de formación y su permeabilidad secundaria, ya que por sus características de origen volcánico y grado de permeabilidad se aprecia una posibilidad muy escasa de contener agua.

Material no consolidado con posibilidades altas

Esta unidad está constituida por sedimentos clásticos, generalmente de limos a gravas y en su grado de compactación constituyen acuíferos libres. Este material es el formador de valles, ya que siempre se encuentra rellenando las partes bajas de la cuenca.

Material no consolidado con posibilidades medias

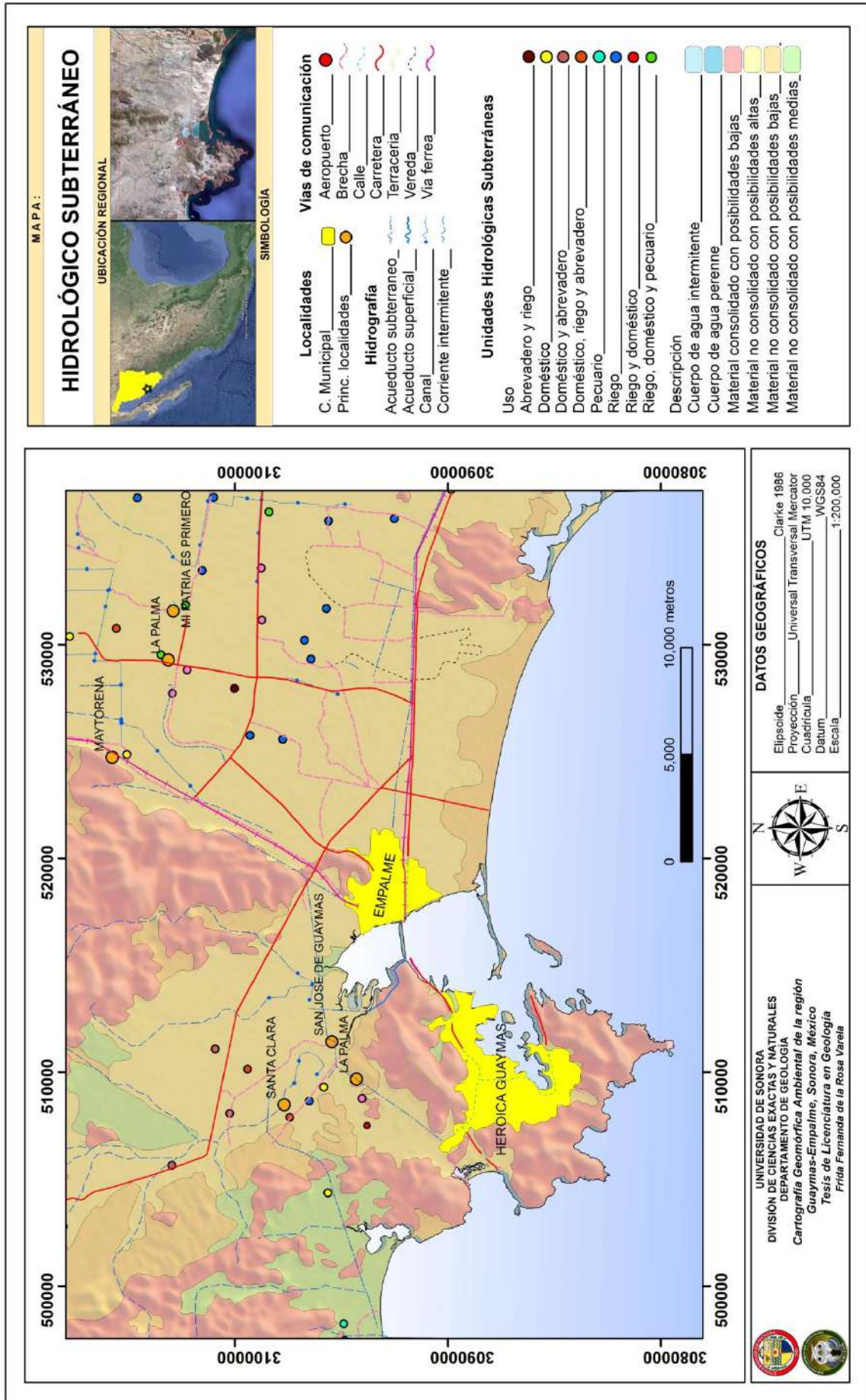
En esta unidad se presentan abanicos aluviales recientes y conglomerado polimíctico, es aquí es donde se desarrollan los acuíferos libres. Ésta unidad posee

posibilidades medias debido a su poco espesor y al volumen de agua reducido que se extrae del mismo.

Material no consolidado con posibilidades bajas

Esta unidad está constituida por conglomerados polimícticos que constituyen los suelos aluviales recientes de espesor limitado. Este material se localiza al pie de las sierras y en los valles intermontanos.

Los usos del agua son para riego y doméstico principalmente; pecuarios y abrevaderos en menor proporción (Mapa 6).



DATOS GEOGRÁFICOS

Elipsoide — Clarke 1986

Proyección — Universal Transversal Mercator

Cuadrícula — UTM 10,000

Datum — WGS84

Escala — 1:200,000

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
*Cartografía Geomórfica Ambiental de la región
Guaymas-Empalme, Sonora, México*
Tesis de Licenciatura en Geología
Frida Fernanda de la Rosa Varela

Mapa 6. Mapa hidrológico subterráneo (INEGI, 2010)

La hidrología superficial de la zona a estudiada se encuentra dentro de la gran cuenca del río Mátape, que a su vez está subdividida en las subcuencas Guaymas y Río Mátape-Empalme.

Los cuerpos de agua contenidos en el área de estudio son de tipo intermitente y perrene; en los primeros el agua fluye en un curso superficial pero sin ser constante su descarga, en los segundos el cauce natural fluye sin tener pausas o zonas de sequedad (Mapa 7).

Los flujos de las corrientes de agua se transportan en cuatro diferentes variantes:

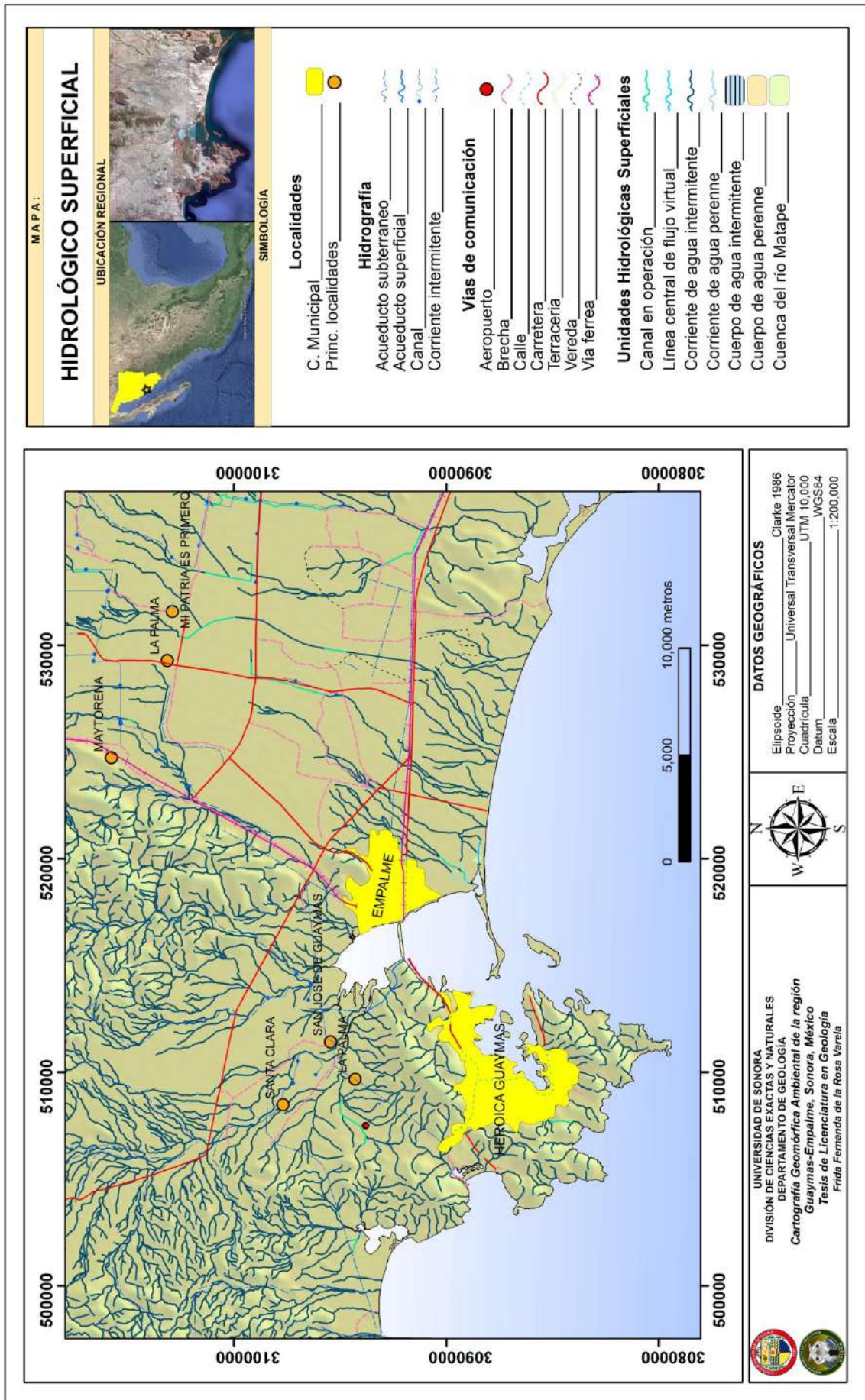
Canal en operación: corrientes de agua que normalmente se encuentran en la ciudad dentro de canales para el uso doméstico, agrícola y cultivo.

Línea central de flujo virtual: corrientes manejadas por el hombre para uso industrial.

Corriente de agua intermitente: flujo que tiene agua sólo durante alguna parte del año, por lo general, en la época de lluvias o deshielo (INEGI, 2013).

Corriente de agua perenne: flujo de agua que escurre todo el año (INEGI, 2013).

En toda la costa se observa el drenaje de la cuenca, que vierte sus aguas hacia el Golfo de California.



Mapa 7. Mapa hidrogeológico superficial (INEGI, 2013)

IV.6.7.- Posición topográfica

La posición topográfica se considera una variable ligeramente definida para caracterizar el territorio local con relación a su contexto espacial. Numerosos procesos físicos asociados con el crecimiento y ocurrencia de especies vegetales, propiedades del suelo y tipos de suelos, están correlacionados con la posición topográfica (Coops et al., 1998).

Blaszczynski (1997) considera que cada geoforma presenta características particulares de suelo, topografía, material geológico y condiciones hídricas, que cada una puede ser descrita y reconocida en términos de rasgos típicos en cualquier lugar que ocurre. En este principio estará basado el análisis de parámetros morfométricos e hidrológicos derivados de un MDE (modelo digital de elevación).

Aun cuando es difícil acordar límites exactos en los rasgos del terreno de tercer orden, es más fácil identificar y delinear porciones de dichos rasgos, puesto que ellos representan una parte de una superficie continua.

Cada superficie continua consta de facetas planas, cóncavas y/o convexas. Las primeras se pueden subdividir de acuerdo con su pendiente, las cóncavas se pueden subclasificar en depresiones, laderas, cuencas abiertas y cerradas, y las áreas convexas en crestas y laderas. La mayoría de estos rasgos del relieve están presentes en cualquier terreno y pueden ser útiles para el análisis de la representación digital de una superficie.

En el área de estudio se clasificó la posición topográfica según Blaszczynski, teniendo planos, cóncavos y convexas.

IV.6.8.- Edafología

La edafología es una ciencia estudiada por el geólogo donde su principal y exclusivo oficio es el de evaluar, estudiar y comparar los distintos tipos de suelos, saber la composición de cada uno y cómo influyen los organismos vivientes que se desarrollan sobre él, por ejemplo las plantas (INEGI, 2004).

La edafología de la zona (Mapa 8) se clasificó en 7 tipos primarios de suelos, como litosol, regosol, vertisol, fluvisol, solonchak, yermosol y xerosol. A continuación se describen las propiedades de cada uno de ellos:

Fluvisol. Son suelos que se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua, muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan generalmente estructura débil o suelta. Se encuentran en todos los climas y regiones de México, cercanos siempre a lechos de los ríos. Los ahuehuetes, ceibas y sauces son especies típicas que se desarrollan sobre estos suelos. Los fluvisol se presentan en capas alternadas de arena con piedras o gravas

redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas de agua en los ríos. Sus usos y rendimientos dependen de la subunidad de que se trate (INEGI, 2004).

Litosol. Son los suelos más abundantes del país, se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable dependiendo de otros factores ambientales (INEGI, 2004). El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado y en algunos casos se destinan a la agricultura, en especial al cultivo de maíz o el nopal, condicionado a la presencia de suficiente agua.

Regosol. Son suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve, tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí; en general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México, constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión. Muchas veces están asociados con leptosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. Se incluyen en este grupo los suelos arenosos costeros y son empleados para el cultivo de coco y sandía con buenos rendimientos. Para uso forestal y pecuario tienen rendimientos variables. Este suelo se encuentra nada más en la localidad de Guaymas en un 16.43% de su superficie y se emplea para rendimientos pecuarios. Este tipo de suelo se encuentra solamente en la parte sur de la ciudad de Guaymas (INEGI, 2004).

Vertisol. Suelo que se revuelve o que se voltea. Son suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural va de selvas bajas a pastizales y matorrales. Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas, y que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad. Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Ocupan gran parte de importantes distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. En estos suelos se produce la mayor parte de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. Este suelo en cantidad se encuentra en un

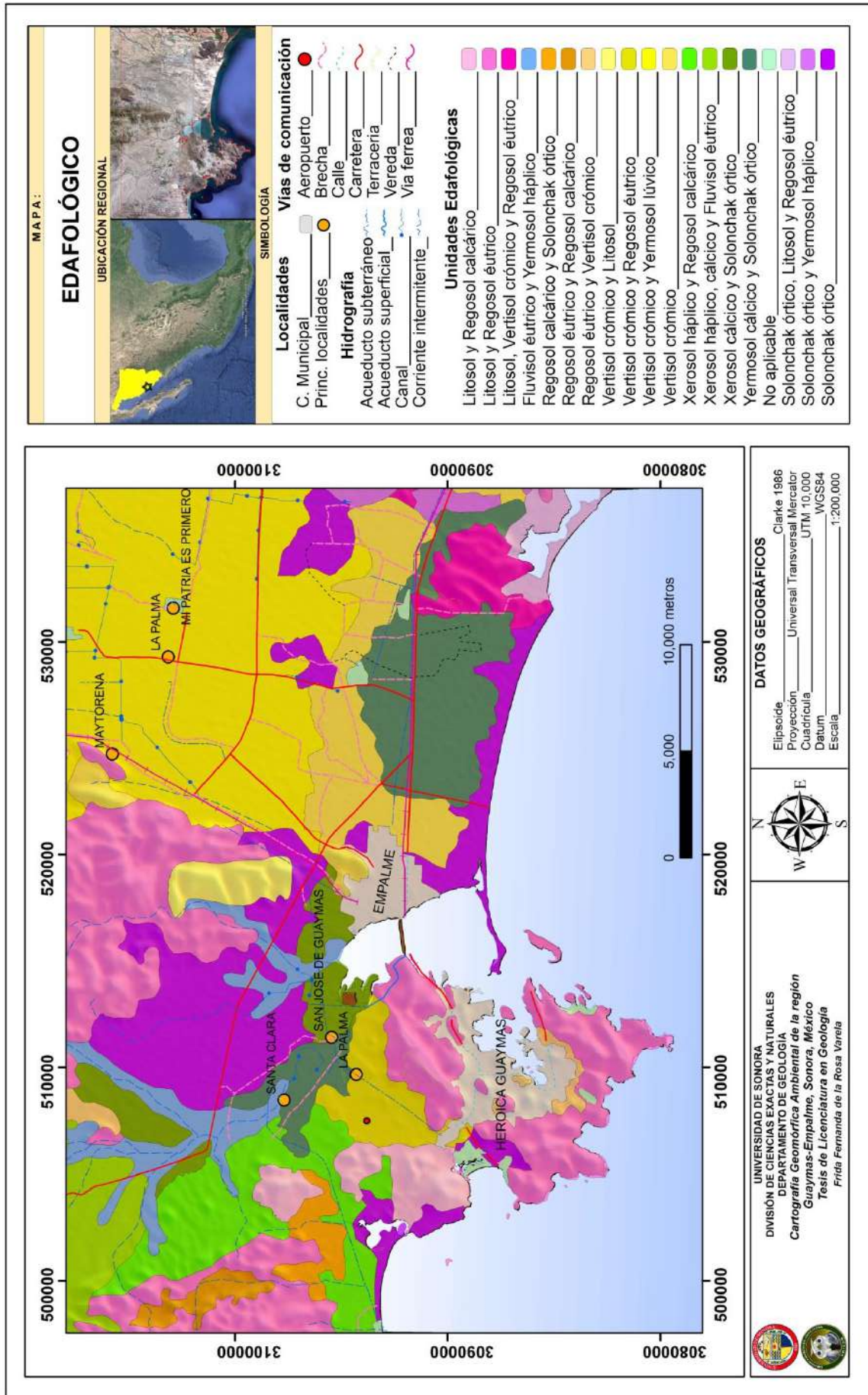
15.27% en la localidad de Guaymas y un 64.85% en Empalme, su uso es para la agricultura. Este tipo de suelo se encuentra mayormente en la localidad de Empalme y hacia el norte del área de estudio (INEGI, 2004).

Solonchak. Corresponden a suelos salinos, se presentan en zonas donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos o en las partes más bajas de los valles y llanos de las regiones secas del país. Tienen alto contenido de sales en todo o alguna parte del suelo. La vegetación típica para este tipo de suelos es el pastizal u otras plantas que toleran el exceso de sal (halófilas). Su empleo agrícola se halla limitado a cultivos resistentes a sales o donde se ha disminuido la concentración de salitre por medio del lavado del suelo. Su uso pecuario depende del tipo de pastizal pero con rendimientos bajos. Es el segundo más abundante en la zona de estudio, se encuentra en un 13.04% en la localidad de Guaymas y en un 15.09% en Empalme, el uso que se le da es pecuario. Se encuentra distribuido en casi toda el área de estudio, excepto en el noroeste (INEGI, 2004).

Xerosol. Son suelos que se localizan en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México. Su vegetación natural es de matorral y pastizal y son el tercer tipo de suelo más importante por su extensión en el país (9.5%). Tienen por lo general una capa superficial de color claro por el bajo contenido de materia orgánica. Debajo de esta capa puede haber un subsuelo rico en arcillas, o bien, muy semejante a la capa superficial. Muchas veces presentan a cierta profundidad manchas, aglomeraciones de cal, cristales de yeso o caliche con algún grado de dureza. Su rendimiento agrícola está en función de la disponibilidad de agua para riego. El uso pecuario es frecuente sobre todo en los estados de Coahuila, Chihuahua y Nuevo León. Son de baja susceptibilidad a la erosión, salvo en laderas o si están directamente sobre caliche o tepetate a escasa profundidad (INEGI, 2004).

Yermosol. Son suelos localizados en las zonas más áridas del norte del país como los Llanos de la Magdalena y Sierra de la Giganta en Baja California Sur, Llanuras Sonorenses, Bolsón de Mapimí y la Sierra de la Paila en Coahuila. Ocupan el 3% del territorio nacional y su vegetación típica es el matorral o pastizal. En ocasiones presentan capas de cal, yeso y sales en la superficie o en alguna parte del subsuelo. Su uso agrícola está restringido a las zonas donde se puede contar con agua de riego. Cuando existe este recurso y buena tecnología los rendimientos esperados normalmente son muy altos. La explotación de especies como la candelilla, nopal y lechuguilla son comunes en estos suelos. Es el tercero más abundante del área de estudio, abarca casi toda la zona de planicie, se encuentra en las localidades aledañas a las ciudades de Guaymas y Empalme, su uso es para

la agricultura. La ubicación de este tipo de suelo es principalmente en las planicies de la zona norte del área de estudio (INEGI, 2004).



Mapa 7. Mapa edafológico (INEGI, 2010)

IV.6.9.- Erosión

La erosión es el desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra. La erosión implica movimiento y transporte del material; en contraste, la alteración y disgregación de las rocas, fenómeno conocido como meteorización, es uno de los principales factores del ciclo geográfico. Entre los agentes erosivos están la circulación de agua o hielo, el viento, o los bruscos cambios térmicos. La erosión produce el relieve de los valles, gargantas, cañones, cavernas y mesas; misma que puede ser incrementada por actividades humanas (antrópicas) (Ibañez, 2006).

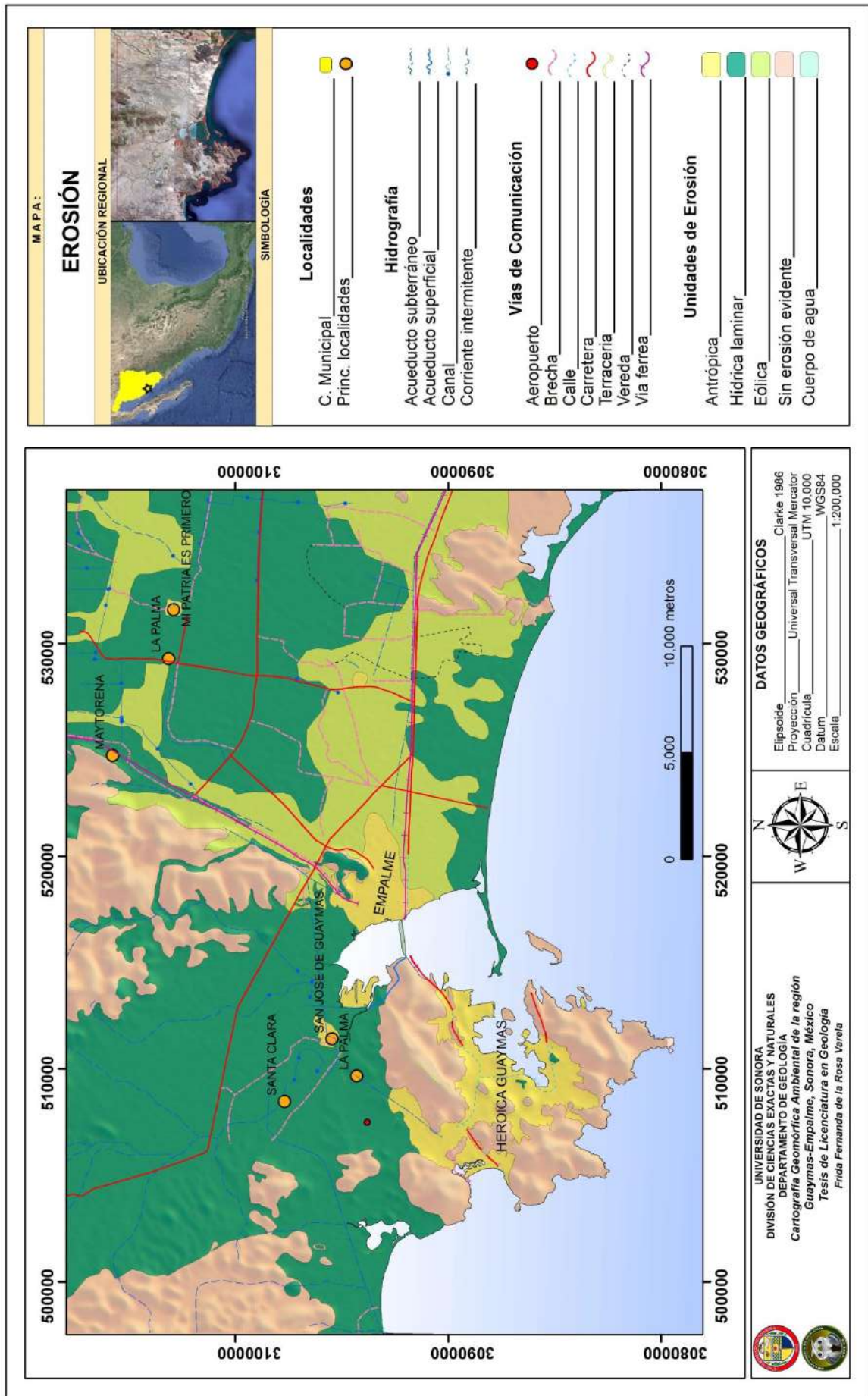
Los tipos de erosión existentes en el área de estudio (Mapa 9), ordenados de mayor extensión superficial a menor se describen como sigue:

Erosión hídrica laminar: provocada por el agua que sirve de vehículo para el arrastre de partículas. Dentro de este tipo se diferencian varios subtipos, se da por el arrastre uniforme de la capa superficial del suelo. Es un proceso gradual y acumulativo, perceptible solo en el tiempo cuando se evidencia por los parches en donde aflora el horizonte sub-superficial una vez se ha perdido el horizonte agrícola (UNAD, 2012).

Sin erosión evidente: no se presenta algún desgaste del suelo por factores antropogénicos principalmente, es decir, las condiciones del suelo y los procesos ambientales de el entorno son aún completamente naturales, sin sufrir alguna transformación en el paisaje o ecosistema.

Erosión eólica: es la remoción del suelo por acción del viento y a mayor medida provoca una disminución de la cubierta vegetal, al existir menor resistencia para que se inicie el movimiento (SAGARPA, 2009).

Erosión antrópica: degradación de la tierra causada o acelerada por la excesiva deforestación, que a su vez provoca la degradación de las capas superiores del suelo (CRID,2008).



Mapa 8. Mapa de erosión (INEGI, 2010)

IV.6.10.- Uso de suelo y vegetación

Las unidades de vegetación se representan por ecosistemas vegetales, que es la agrupación de los tipos de vegetación en función de grandes similitudes ecológicas o florísticas, clasificándolas como una comunidad vegetal, tomando como base sus características predominantes. Los tipos de vegetación presentes en el área son los siguientes:

Ecosistema matorral xerófilo

Matorral sarcocaulé. Vegetación arbustiva mixta con abundancia de plantas de tallos carnosos (sarcocaulés). La condición natural o semi natural de la vegetación se presentó en un dominio primario; es decir, no está afectada por factores antrópicos o naturales (INEGI, 2012). Esta vegetación se encuentra en gran cantidad en la porción sur del área de estudio.

Mezquital desértico. Vegetación arbórea formada principalmente por mezquites en zonas semiáridas, sobre suelos planos y profundos (INEGI, 2012). La condición natural o semi natural de la vegetación es de dominio primario; aunque también incluye secundario; es decir, se ve afectada por factores antrópicos o naturales y gran parte se encuentra en el centro del área estudiada.

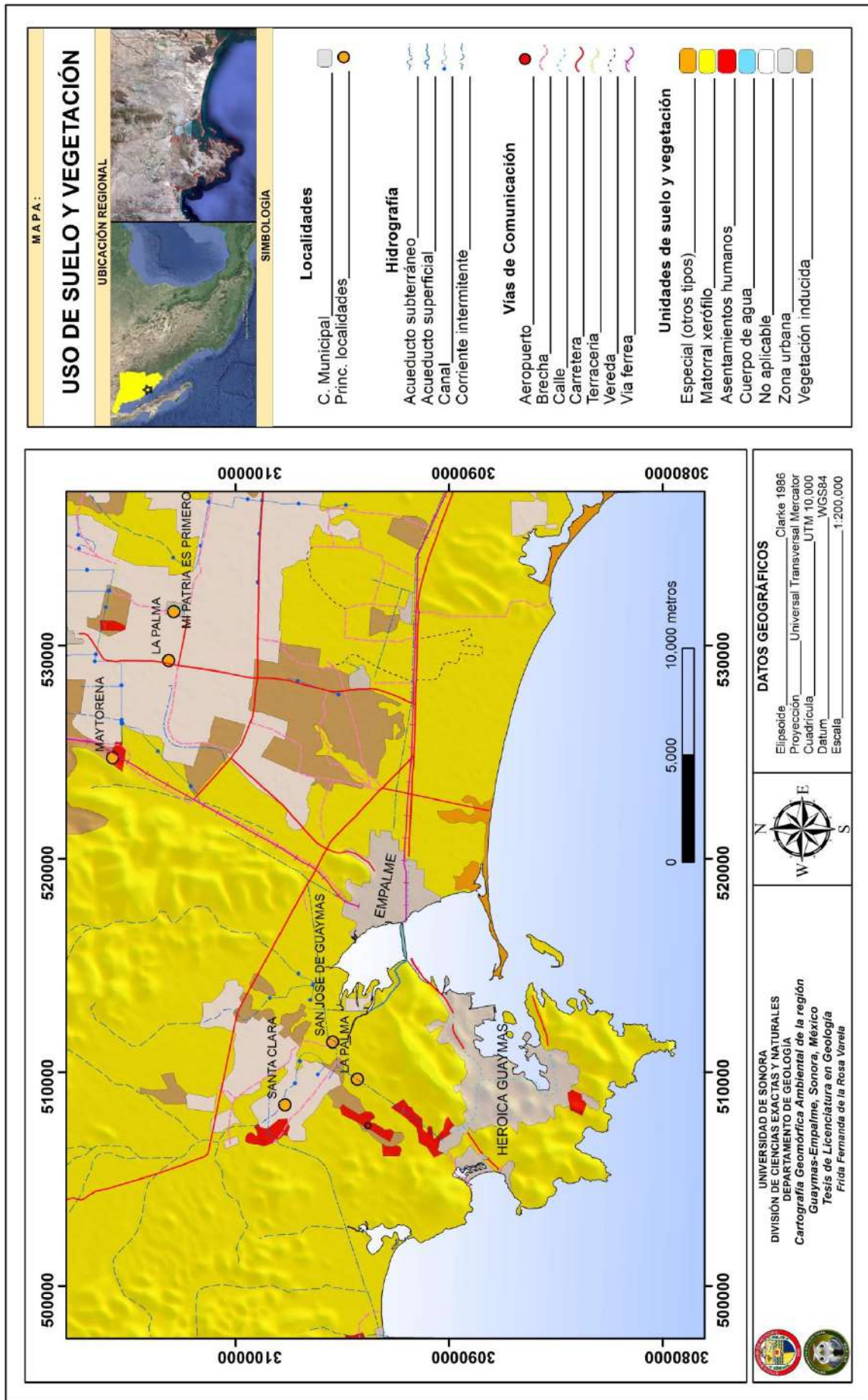
Vegetación halófila xerófila. Vegetación arbustiva o herbácea (no con gramíneas), desarrollada sobre suelos con alto contenido de sales, en zonas áridas y semiáridas (INEGI, 2012). La condición natural o semi natural de la vegetación es de dominio primario. Este tipo de vegetación se encuentra principalmente y en gran cantidad en el centro de la zona.

Ecosistema especial (otros tipos): el tipo de vegetación es desarrollada sobre dunas de arena costeras, de densidad y altura variable (INEGI, 2012). La condición natural o semi natural de la vegetación es dominio primario, generalmente en las costas.

Ecosistema de vegetación inducida

Pastizal inducido: se desarrolla al eliminarse la vegetación original (bosque, selva, matorral, otros) o en áreas agrícolas abandonadas. No se tiene información sobre la condición natural o semi natural de este tipo de vegetación (INEGI, 2012).

Según información obtenida por el Atlas de Riesgos Geológicos (2011), para los municipios de Guaymas y Empalme se identifican algunas actividades de uso de suelo que por su impacto y características resaltan en el territorio; tal es el caso del área clasificada como zona urbana, correspondiente a las áreas que abarcan los municipios de Guaymas y Empalme, la primera ocupa 0.46% del territorio y Empalme el 2.07%, y se caracterizan por el predominio de elementos construidos sobre los naturales y por la concentración de actividades, infraestructuras y equipamientos para el desarrollo de la población.



Mapa 9. Mapa de uso de suelo y vegetación (INEGI, 2010)

IV.7.- Barreras físicas, naturales o artificiales de las unidades geomorfo-ambientales

La delimitación de las unidades geomorfo ambientales, clasificada en grupos, se encuentra dividido por barreras que se basan en los rasgos de degradación y erosión; las características climáticas presentan generalmente una homogeneidad constante con un clima árido a semiárido.

Los lomeríos ubicados en Guaymas actúan como barreras físicas en el ecosistema, provocando una sensación térmica mucho mayor a la temperatura del lugar teniendo daños colaterales para los seres vivos y el entorno. El desgaste de suelos que ocurre en ellos se encuentra sin erosión evidente y una degradación física por pérdida de la función productiva, es decir, un deterioro interno del suelo por utilización en actividades no biológicas (por ejemplo construcción de infraestructura, minería o canteras).

Las demás geoformas que se encuentran en el área y las zonas de costa funcionan como barreras naturales en el entorno, haciendo que el ambiente se mantenga en equilibrio. El deterioro del suelo originado en ellas, se percibe sin erosión evidente y de erosión hídrica laminar, presentando una degradación física por compactación, hídrica con pérdida de suelo superficial, degradación química por salinización y eólica con pérdida de suelo superficial por la acción del viento.

Las áreas de cultivo activas y urbanizadas se desempeñan como barreras artificiales, ya que el hombre se ha visto involucrado, causando diversas transformaciones en el ecosistema. La denudación del suelo que se muestra en estas barreras está definida por la erosión antrópica y eólica, con una degradación física por pérdida de la función productiva.

IV.8.- Unidades geomorfo ambientales de la región Guaymas-Empalme, Sonora

Un plano geomorfológico ambiental es un documento descriptivo que contiene un análisis de los factores geológicos, geomorfológicos y morfogenéticos de un área, así mismo, delimita unidades del terreno con características homogéneas que las distinguen entre sí. Los mapas de esta clase generalmente son el conjunto de polígonos, gamas de colores, tramas y símbolos que definen las condiciones particulares de la zona estudiada.

Esta clasificación de las unidades geomorfo ambientales se elaboró en base a las características de suelo, vegetación, litología, edad, estructuras, hidrología, tipo de relieve, clima y posición topográfica, con énfasis en la morfogénesis y procesos erosivos que las modelan, puesto que estos últimos reflejan su influencia en la

superficie terrestre provocando una constante evolución en ella y por supuesto, en el ambiente.

Los espacios próximos al área que comprende esta investigación se encuentran equilibradas y puras, es decir, sin contaminación antrópica; mientras que, en las ciudades de Guaymas y Empalme se aprecia un entorno modificado por actividades humanas, principalmente.

Las unidades se delimitaron por interpretación visual de las imágenes de Landsat ETM, apoyada en la información contenida en y las cartas geológico mineras Guaymas G12-2 y Sierra Libre H12-11 del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2002). También se empleó el conjunto de datos digitales de erosión (Centro Regional de información sobre desastres en América Latina y el Caribe, 2008 y SAGARPA, 2009), edafología (INEGI, 2010), uso del suelo y vegetación (INEGI, 2010), climatología (INEGI, 2010), vegetación (INEGI, 2010), hidrología subterránea (INEGI, 2013) y superficial a escala 1:250,000.

La base de esta cartografía es la clasificación de cuatro grupos mayores definidos por el proceso de desgaste del suelo a causa de eventos geológicos, fenómenos naturales o acciones antrópicas. Los tipos de erosión generales están determinados como:

1) Sin erosión evidente. En este apartado, la categorización del origen se realizó de la siguiente manera: primero se describe el origen volcánico denudativo, constituido de laderas de montañas y lomeríos de rocas volcánicas e intrusivas cretácicas-miocénicas; después, el origen denudativo acumulativo, compuesto de piedemonte conglomerático cuaternario; seguido por el origen denudativo volcánico, clasificado como lomeríos y piedemonte de rocas volcánicas y detríticas carbonatadas ordovícicas-miocénicas.

2) Erosión hídrica laminar. Las morfogénesis que corresponden a esta clasificación están representadas por: origen fluvial, compuesto de planicies divergentes y aluviales holocénicas; origen antrópico, constituido de planicies cultivadas holocénicas; origen lacustre, definido por la planicie costera holocénica; origen volcánico denudativo, integrado por lomeríos conglomeráticos pleistocénicos; origen denudativo volcánico, conformado por piedemonte conglomerático pleistocénico.

3) Erosión antrópica. El grupo morfogenético que presenta este tipo de erosión se constituye de: origen antrópico, compuesto por planicies urbanizadas holocénicas; origen denudativo acumulativo antrópico urbanizado, clasificado por un relieve de piedemonte conglomerático holocénico.

4) Erosión eólica. Este tipo de agente modelador del suelo provocado por el aire influye sobre las geoformas derivadas por tener un origen antrópico,

constituido por planicies divergentes inferiores y zonas cultivadas localizadas hacia el este de la zona de estudio.

El resultado de esta investigación son 30 unidades delimitadas en el área de estudio, agrupadas de acuerdo a sus características de erosión, origen, uso y tipo de suelo, vegetación, relieve, posición topográfica, estructuras, propiedades hidrológicas, características climáticas, litología y temporalidad, distribuidas en cuatro grupos mayores de unidades ambientales, organizados por el tipo de erosión que las modela.

Las unidades geomorfo ambientales (UGA) cartografiadas se describen con un origen volcánico denudativo, denudativo acumulativo, denudativo volcánico, fluvial, lacustre, antrópico y denudativo acumulativo antrópico urbanizado. La temporalidad para las rocas del área inicia en el Ordovícico, siguiendo en el Cretácico Tardío, Mioceno y Pleistoceno hasta tener las rocas más jóvenes de edad holocénica conformadas por volcánicas, intrusivas y detrítico-carbonatadas. Los tipos de relieve que se presentan son laderas montañosas volcánicas y plutónicas; lomeríos volcánicos, plutónicos, detrítico-carbonatados y conglomeráticos; piedemonte de conglomerados y planicies aluviales.

A continuación se describen los cuatro grupos mayores de unidades geomorfo ambientales; en cada uno de ellos se explica su génesis y se describen sus rasgos geomorfológicos, naturales y ubicación dentro del área de estudio:

IV.8.1- Sin erosión evidente

IV.8.1.1.- Volcánico denudativo. Clasificados como laderas montañosas bajas con pendientes inestables y lomeríos con pendientes estables a metaestables. Estas unidades están constituidas por litologías volcánicas e intrusivas de toba riolítica-dacita-andesita, basalto y granito del Mioceno; y granodiorita-tonalita del Cretácico Superior de composición andesítica-basáltica-dacítica.

Las estructuras de fallas y fisuras se encuentran marcadas en los cerros de BacoChibampo, El Vigía, El Cabezón (localizados al norte de la ciudad de Guaymas), Las Pirinolas y La Navaja (ubicados hacia el oeste del área), con una posición topográfica de convexos y cóncavos. Por lo que, en términos geomorfológicos se denominan montañas fisuradas y lomeríos de rocas volcánicas e intrusivas. De la misma manera, estas estructuras se verán reflejadas en las siguientes unidades geomorfo ambientales de origen denudativo acumulativo.

Los cerros de esta unidad presentan una altitud entre los 100 y los 400 m.s.n.m, con un grado de inclinación generalmente menor a los 10° (suave), con excepción de una pendiente localizada en los cerros Las Pirinolas y La Navaja, al

oeste del área de estudio, con una inclinación mayor a los 30°, pero menor a los 50° (abrupta).

La edafología de esta unidad consiste de litosol y regosol éutrico, vertisol crómico, solonchak órtico, xerosol háplico, fluvisol éutrico y xerosol cálcico, que han sido utilizados para elementos de urbanización.

En este tipo de erosión se tiene una vegetación de tipo matorral xerófilo abarcando casi toda la zona con poca vegetación inducida, especialmente en la porción norte.

Respecto al almacenamiento de agua de estas unidades, se identifican como sedimentos consolidados con posibilidades bajas de contener agua, a causa de las características de origen y permeabilidad de las rocas ígneas que las constituyen; sin embargo, en los cerros El Colorado, La Bandera, Las Pirinolas y La Navaja se tiene material no consolidado con posibilidades bajas de acumulación, debido a la presencia de conglomerados con clastos subredondeados y mal clasificados en matriz areno-arcillosa, medianamente cementados y por suelos aluviales recientes de espesor limitado. Estas aguas se utilizan para uso doméstico y abrevadero.

El área se encuentra dentro de la cuenca del río Mátape, cuyo drenaje se ubica en la costa de Guaymas y vierte sus aguas hacia el Mar de Cortés. Los cuerpos de agua superficiales de esta unidad son intermitentes, donde la transportación de las corrientes de agua son llamados por INEGI (2013) como "canal en operación", "corriente de agua intermitente", "línea central de flujo virtual" y "corriente de agua perenne", distribuidas en los cerros localizados en diversos sitios, como la ciudad de Guaymas, los relieves al norte y parte de los cerros que se encuentran al oeste.

En los cerros El Colorado y La Bandera, ubicados al norte, presentan una degradación hídrica con pérdida del suelo superficial en grado moderado a causa de la deforestación y remoción de la vegetación. En el oeste, una parte de los cerros Las Pirinolas y La Navaja, presentan una degradación física por compactación en un grado moderado a causa del sobrepastoreo. Los cerros Baco-chibampo, El Vigía, El Potrerito, El Narizón, El Frentón y El Cabezón, en la ciudad de Guaymas, tienen una muy alta degradación física por pérdida de la función productiva a causa de la urbanización.

IV.8.1.2.- Denudativo acumulativo. Se encuentra constituido por geoformas llamadas piedemonte con pendientes metaestables a estables, conformado por rocas detríticas, de tipo conglomerado polimíctico pleistocénico-holocénico.

Estas unidades topográficamente se ubican en las faldas de los cerros de sus homólogas anteriores.

La edafología contiene una amplia variedad de tipos de suelo, como litosol, regosol éutrico, regosol calcárico, vertisol crómico, solonchak órtico, xerosol háplico, xerosol cálcico y fluvisol éutrico, siendo útil para las zonas urbanas.

La vegetación registrada es de tipo matorral xerófilo, comprendida en casi toda la clasificación de origen denudativo acumulativo y de acuerdo a INEGI (2012), identifica a Guaymas y Empalme como zona urbana.

Estos conglomerados se encuentran constituidos de material consolidado con posibilidades bajas de almacenamiento de agua, debido a sus características primarias de formación y permeabilidad secundaria, limitándolas de contener agua. No se presenta algún uso urbano en ellas.

La composición de la hidrología superficial está basada en cuerpos de agua intermitentes y los diferentes tipos de transportación de estas corrientes son los denominados por INEGI (2013) como "canal en operación", "corriente de agua intermitente", "línea central de flujo virtual" y "corriente de agua perenne", distribuidas por toda la ciudad de Guaymas, la parte norte del área de estudio y en los cerros que se encuentran al poniente.

La degradación que se exhibe por pérdida del suelo superficial en los cerros El Colorado y La Bandera es causado por la deforestación y remoción de la vegetación; en cambio, la degradación física que se tiene por pérdida de la función productiva en los cerros El Vigía, El Cabezón, El Frentón, El Potrerito, Narizón, ubicados en la ciudad de Guaymas, es consecuencia de la urbanización.

IV.8.1.3.- Denudativo volcánico. Representado por lomeríos con pendiente metaestable y piedemonte estable, constituido por rocas volcánicas de toba riolítica-riolita, toba riolítica-dacita-andesita, basalto-andesita del Mioceno, distribuidas en los cerros Calera, El Bachoco y Cruz de Piedra, ubicados en el suroriente y rocas detrítico-carbonatadas, como caliza-arenisca-limonita del Ordovícico en el cerro Los Hornitos en el oeste.

Los lomeríos de este origen se caracterizan por tener una altura relativa entre los 100 y 150 metros con pendientes generalmente suaves (inclinación menor a los 10°) y una posición topográfica convexa.

Las estructuras distribuidas en el lomerío Los Hornitos (zona oeste) son pequeñas fracturas; en términos geomorfológicos se refiere a lomeríos de volcánica ubicados en la parte sureste, lomeríos de carbonatados detríticos localizados al oeste y piedemonte volcánico en el sureste.

En las características edafológicas comprenden variedades de litosol, vertisol crómico, regosol éutrico, xerosol háplico, regosol calcárico, fluvisol éutrico y xerosol cálcico, sin tener alguna utilización de estos suelos.

En toda la unidad de origen denudativo volcánico, la única vegetación existente es matorral xerófilo.

Los lomeríos y piedemonte de rocas volcánicas se encuentran constituidos por suelos de material consolidado con posibilidades bajas de almacenamiento de agua; mientras que los lomeríos carbonatados detríticos se componen de material no consolidado con posibilidades bajas de acumulación de agua. No se tiene algún uso urbano de estas aguas subterráneas.

La hidrológica superficial del área se compone por cuerpos de agua intermitente, donde la transportación de las corrientes se denomina por INEGI (2013) como "canal en operación" para los cerros ubicados en el sureste y "corriente de agua intermitente" para el cerro Los Hornitos, al oeste.

Se aprecia una degradación física por compactación en un grado moderado a causa del sobrepastoreo en el cerro Los Hornitos.

IV.8.2- Erosión hídrica laminar

IV.8.2.1.- Fluvial. Constituido por planicies aluviales y planicies divergentes inferiores y superiores, con una composición detrítico-carbonatada, conglomerados polimícticos del Pleistoceno, limos y arcillas del Holoceno.

Este grupo tiene una altura relativa menor a los 100 metros y están representados por planicies; de acuerdo a su posición topográfica se clasifica por planos con inclinación menor a los 3°.

Los suelos de esta unidad se identifican como xerosol háplico, xerosol cálcico, regosol éutrico, fluvisol éutrico, solonchak órtico, litosol, vertisol crómico, yermosol lúvico y yermosol háplico. Sin documentación existente sobre la utilidad para estos suelos.

La única vegetación presente para la unidad es matorral xerófilo.

Debido a las características físicas de las rocas detríticas carbonatadas y de sus materiales granulares, los materiales se definen como no consolidados con posibilidades altas para su almacenamiento; hacia el oeste del área estudiada se clasifican como posibilidades medias en acumulación de agua, utilizadas para uso doméstico, abrevadero, pecuario y riego.

Las zonas fluviales se componen de un cuerpo de agua intermitente y los diferentes tipos de transportación de los flujos de las corrientes de agua son

nombrados por INEGI (2013) como "canal en operación" y "línea central de flujo virtual", distribuidas por toda la parte norte.

En la parte noreste se presenta una degradación eólica con pérdida del suelo superficial por acción del viento en un grado ligero, a causa de las actividades agrícolas y en la región suroriente se presenta una degradación física por disminución de la disponibilidad de agua en grado moderado por las actividades agrícolas.

IV.8.2.2.- Antrópico. Las formas de la superficie terrestre incluidas en este apartado son las llamadas planicies antropogénicas, como las áreas de cultivo, compuestas de limos y arcillas del Pleistoceno-Holoceno, con una altura relativa menor a los 100 m, geomorfológicamente plana y una inclinación menor a los 3°.

Los tipos de suelos encontrados en las planicies antrópicas son xerosol cálcico, solonchak órtico, fluvisol éutrico, yermosol háplico, yermosol cálcico, vertisol crómico y yermosol lúvico, empleándose para las actividades de cultivo.

La hidrología subterránea se compone de materiales no consolidados con posibilidades altas de acumulación de agua, por lo que se les da uso doméstico, abrevadero, pecuario y riego.

Al igual que las anteriores, se presenta un cuerpo de agua intermitente y el tipo de transportación de los flujos de agua para las zonas de cultivo, ubicadas al noreste son llamados por INEGI (2013) como "canal en operación".

La degradación de las zonas de cultivo es eólica con pérdida del suelo superficial por acción del viento en un grado bajo, a causa de las actividades agrícolas.

IV.8.2.3.- Lacustre. La clasificación de las geoformas para este bloque de unidades de origen lacustre, corresponde a planicies costeras activas, conformadas por limos y arcillas holocénicas. Los altos topográficos son menores a los 100 metros de altura relativa y una posición geodésica de planos y cóncavos con una inclinación menor a los 3°.

Los suelos que se encuentran en las planicies costeras son solonchak órtico, litosol y regosol éutrico, sin tener registro de la utilidad de éstos suelos.

En esta grupo, la vegetación se dividió en dos tipos, llamados matorral xerófilo y dunas costeras.

Por las buenas características de permeabilidad que ofrecen los limos y arcillas, se consideran suelos de material no consolidado con posibilidades bajas para el almacenamiento de agua.

De igual manera, la zona dispone de un cuerpo de agua intermitente donde la transportación de sus aguas es denominada por INEGI (2013) como "línea central de flujo virtual".

La degradación física es debida a la disminución de la disponibilidad de agua en grado moderado a causa de las actividades agrícolas.

IV.8.2.4.- Volcánico denudativo. El cerro El Venado está constituido por piedemonte con pendientes estables de rocas detrítico-carbonatadas, siendo conglomerado polimíctico del Pleistoceno. Se tiene una diferencia altitudinal entre los 100 – 200 metros, con pendientes generalmente suaves inclinaciones menores a los 10° y mayores a los 3°; y con una posición topográfica de convexos.

Los suelos que se presentan son xerosol háplico, regosol calcárico, fluvisol éutrico y xerosol cálcico. No se muestra ninguna utilidad para estos suelos y la vegetación se identifica como matorral xerófilo.

Las características de los conglomerados, ubicados en el cerro El Venado, por tener una constitución de materiales granulares no consolidados con posibilidades bajas para la acumulación de agua. El uso que se le da al agua subterránea es para doméstico, riego y abrevadero.

Así mismo, se tiene un cuerpo de agua intermitente en el área de estudio y los diferentes tipos de transportación de los flujos de las corrientes de agua son los llamados por INEGI (2013) "corriente de agua intermitente" y "línea de central de flujo virtual". La hidrografía de la cuenca del río Mátape limita con el Mar de Cortés.

El cerro El Venado presenta una degradación física por compactación en un grado moderado, esto a causa del sobrepastoreo; al igual que en el siguiente bloque de unidades.

IV.8.2.5.- Denudativo volcánico. Relieves de piedemonte estables constituidos por conglomerados polimícticos del Pleistoceno.

Los altos topográficos se caracterizan por presentar una altura relativa aproximada de 100 metros, con pendientes generalmente suaves ($3^{\circ} > x < 10^{\circ}$ de inclinación), además contienen estructuras fisuradas y una posición topográfica en forma convexa.

Los suelos representativos de este origen son xerosol háplico, regosol calcárico y litosol, sin documentación sobre su utilidad y una vegetación de matorral xerófilo.

Los suelos muestran un material no consolidado con posibilidades bajas en acumulación de agua, con una utilidad para uso doméstico, riego y agrícola.

La hidrología superficial de esta unidad se define, de la misma manera que los demás orígenes, por tener un cuerpo de agua intermitente donde las transportaciones de agua son llamadas por INEGI (2013) como "corriente de agua intermitente" y "línea central de flujo virtual". El drenaje de la cuenca del río Mátape se puede observar hacia la línea de costa, en el Golfo de California.

IV.8.3- Erosión Antrópica

IV.8.3.1.- Antrópico. Representa las localidades de Guaymas y Empalme constituidas por planicies antropogénicas, compuestas por limos y arcillas del Holoceno, una altura relativa menor a los 100 metros y geoforma plana, por lo que la inclinación del terreno será menor a los 3°.

Para el norte de la ciudad de Guaymas, el tipo de edafología se divide en xerosol cálcico y solonchak órtico; mientras que en la zona de Empalme y Guaymas no es aplicable algún tipo de suelo. Dichas condiciones repercuten en la flora, provocando que estas planicies no tengan vegetación.

La hidrología subterránea indica materiales no consolidados con posibilidades bajas de almacenar agua, empleadas para uso urbano.

De la misma forma, esta unidad cuenta con un cuerpo de agua intermitente y los diferentes tipos de transportación de los flujos de las corrientes de agua son los denominados por INEGI (2013) como "corriente de agua intermitente" y "línea central de flujo virtual".

Los suelos de la comunidad de Guaymas tienen una degradación física por pérdida de la función productiva de un grado muy alto a causa de la urbanización.

IV.8.3.2.- Denudativo acumulativo antrópico urbanizado. Constituido por piedemontes con pendientes metaestables y estables, que se encuentran ubicados en los lomeríos fisurados de la ciudad de Guaymas (cerros El Vigía, La Cantera, Candareno, Bacochibampo y Cabezón), compuesto de conglomerados polimícticos de edad Pleistoceno-Holoceno.

Este grupo de unidades se registran entre los 100 y 300 m.s.n.m con pendientes generalmente suaves ($3^\circ < x < 10^\circ$ de inclinación), en una posición topográfica convexa.

Los suelos de este origen pertenecen a litosol, regosol éutrico, vertisol crómico y solonchak órtico.

El ecosistema vegetativo es el llamado matorral xerófilo con zonas urbanizadas.

El comportamiento de las aguas subterráneas dentro de estas unidades se define por las características físicas de la roca, que en este caso son rocas detrítico-

carbonatadas y por material granular están identificadas como consolidados de posibilidades bajas para el almacenamiento, y por sus suelos, de material no consolidado con posibilidades altas de acumulación de agua, utilizadas para uso doméstico.

En el área de estudio, como en todas las demás unidades, se tiene un gran cuerpo de agua intermitente y de acuerdo a la clasificación de los diferentes tipos de transportación de agua, nombrados por INEGI (2013), como "corriente de agua intermitente" y "línea central de flujo virtual".

En los cerros El Vigía, La Cantera, Candareno, Bacochibampo y Cabezón, localizados en la ciudad de Guaymas, muestran una degradación física por pérdida de la función productiva en un grado muy alto a causa de la urbanización. Los cerros La Cruz y Batamotal, ubicados al norte de la ciudad de Empalme, presentan una degradación química por salinización/alcalinización en un grado moderado, derivado de las actividades agrícolas.

IV.8.4- Erosión eólica

En esta zona de estudio, se localizan planicies cultivadas y planicies divergentes inferiores, constituidas de limos y arcillas del Holoceno, con una diferencia altitudinal menor a los 100 metros y su geoforma es plana con una inclinación menor a los 3°.

Estas planicies se componen de una edafología diversa, que presenta solonchak órtico, yermosol cálcico, vertisol crómico, yermosol háplico y yermosol lúvico.

En gran parte del territorio se aprecia una erosión eólica y no aplica ningún tipo de vegetación; sin embargo, en el este del área de estudio florece una vegetación de pastizales.

En este apartado, la presencia de suelos de material no consolidado indica que en la delimitación de estas unidades, las posibilidades de almacenamiento de aguas subterráneas son bajas y se distribuyen en diversos usos, como riego, doméstico y pecuario.

El área se encuentra dentro de la cuenca del río Mátape, por lo que al igual que en los demás grupos, se compone de un cuerpo de agua intermitente. Los diferentes tipos de transportación de los flujos son denominados por INEGI (2013) como "canal en operación" y "línea central de flujo virtual".

En las zonas de cultivo se tiene una degradación eólica con pérdida del suelo superficial por acción del viento en un grado bajo, producto de las actividades agrícolas.

V.- PRESENTACIÓN DEL MAPA

Después de la recopilación de información obtenida de diferentes autores citados en este trabajo, se logró realizar el mapa geomórfico ambiental, destacando 2 factores como los más importantes para la clasificación de unidades: 1) los agentes erosivos que modelaron a las geoformas del área de estudio, siendo éste el de mayor importancia, ya que cada tipo de erosión comprende un área de gran magnitud (denominándolo como bloque), pudiendo así clasificar las unidades que se encuentran en cada componente y exponer sus características; y 2) el origen de las geoformas expuestas en la zona (Mapa 11).

En los relieves más pronunciados y potentes no se observa erosión evidente, debido a la escasa o muy poca urbanización. Las clasificaciones morfogenéticas encontradas en esta situación incluyen a las variedades volcánico denudativo, denudativo acumulativo y denudativo volcánico, constituidas de rocas ígneas extrusivas e intrusivas, sedimentarias y un cuerpo intrusivo granítico y granodiorítico (granodiorita – tonalita).

Las zonas de planicie, costa y en algunas faldas de los cerros del NW, corresponden al bloque de erosión hídrica laminar, debido a que su modelado superficial se debe a la presencia de algún cuerpo de agua sobre estos sitios. Las entidades de este apartado son de origen fluvial, antrópico, lacustre, volcánico denudativo y denudativo volcánico, compuestos de material sedimentario (conglomerado polimíctico, limos y arcillas).

Las áreas urbanas y rurales están dentro de los bloques de erosión antrópica y eólica, a causa de la constante remoción de suelo por acción del viento, del ser humano o ambas. La morfogénesis se clasifica en antrópico y denudativo acumulativo antrópico urbanizado compuesto de conglomerado, limos y arcillas.

Como se observa en el mapa final, los colores rojos simbolizan los relieves de mayor altura relativa, siguiéndole las tonalidades de rosa que figuran relieves de poca altitud, luego las tonalidades de verdes fuertes representan las faldas de los cerros y por último los colores amarillo, gris y azul conforman las planicies naturales y antrópicas.

La contaminación atmosférica se entiende por cualquier sustancia que, añadida o quitada a la atmosfera, provoca daños apreciables en la salud humana y en el ecosistema. De forma natural, muchas de las sustancias contaminantes están presentes en la atmósfera debido a los procesos biológicos y a los fenómenos naturales (González, 2012).

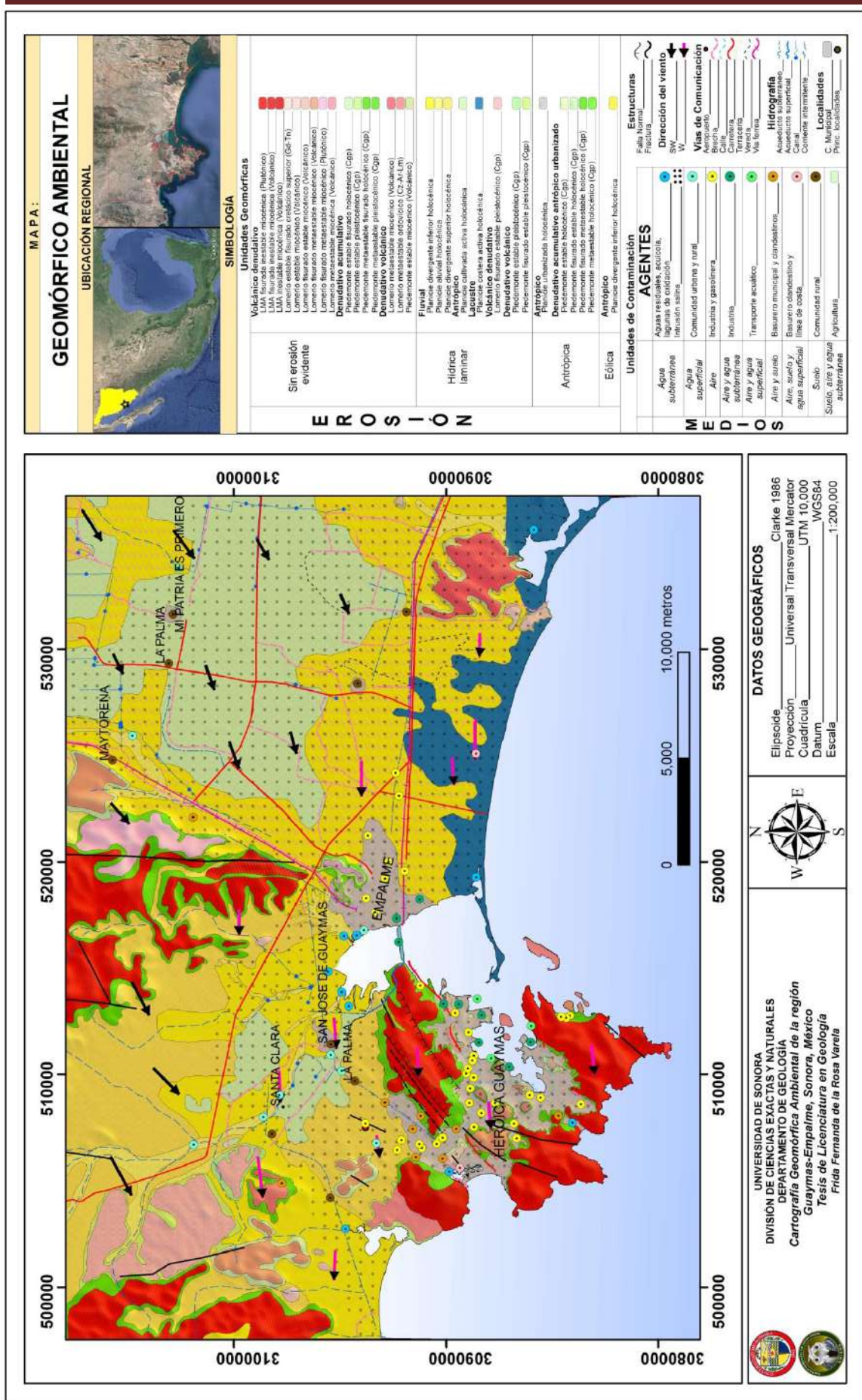
Los seres humanos producimos desechos que se acumulan en la atmósfera y si la situación se sale de control puede provocar devastación de grandes áreas del planeta y la extinción de cualquier ser vivo (González, 2012).

Las fuentes contaminantes que se localizan en el área de estudio son el suelo, el agua y el aire; donde cada una se encuentra subdividida por los diferentes agentes contaminantes de esa zona específica:

Aire. Incluye elementos de origen natural y emisiones resultantes de actividades humanas (SEMARNAT, 2007). Los agentes que contaminan al aire en el área de estudio son la agricultura, las industrias (por ejemplo la termoeléctrica en Guaymas), la zona de costa, los basureros, el transporte y las gasolineras.

Agua. La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas (PRIM, 1998). Para el área de estudio, los agentes que contaminan las aguas superficiales son el transporte acuático, las comunidades rurales y urbanas, la agricultura y la zona de costa; y para las aguas subterráneas los agentes contaminantes son las intrusiones marinas, aguas residuales, lagunas de oxidación, agricultura acuícola, industrias y la agricultura.

Suelo. Hay dos tipos de causas principales de contaminación del suelo, las provocadas por el hombre y las de origen natural (SEMARNAT, 2007). Siendo la agricultura, los basureros, las comunidades rurales y urbanas como los agentes contaminantes del suelo en el área estudiada.





DATOS GEOGRÁFICOS

Elipsoide Clarke 1986

Proyección Universal Transversal Mercator

Cuadrícula UTM 10.000

Datum WGS84

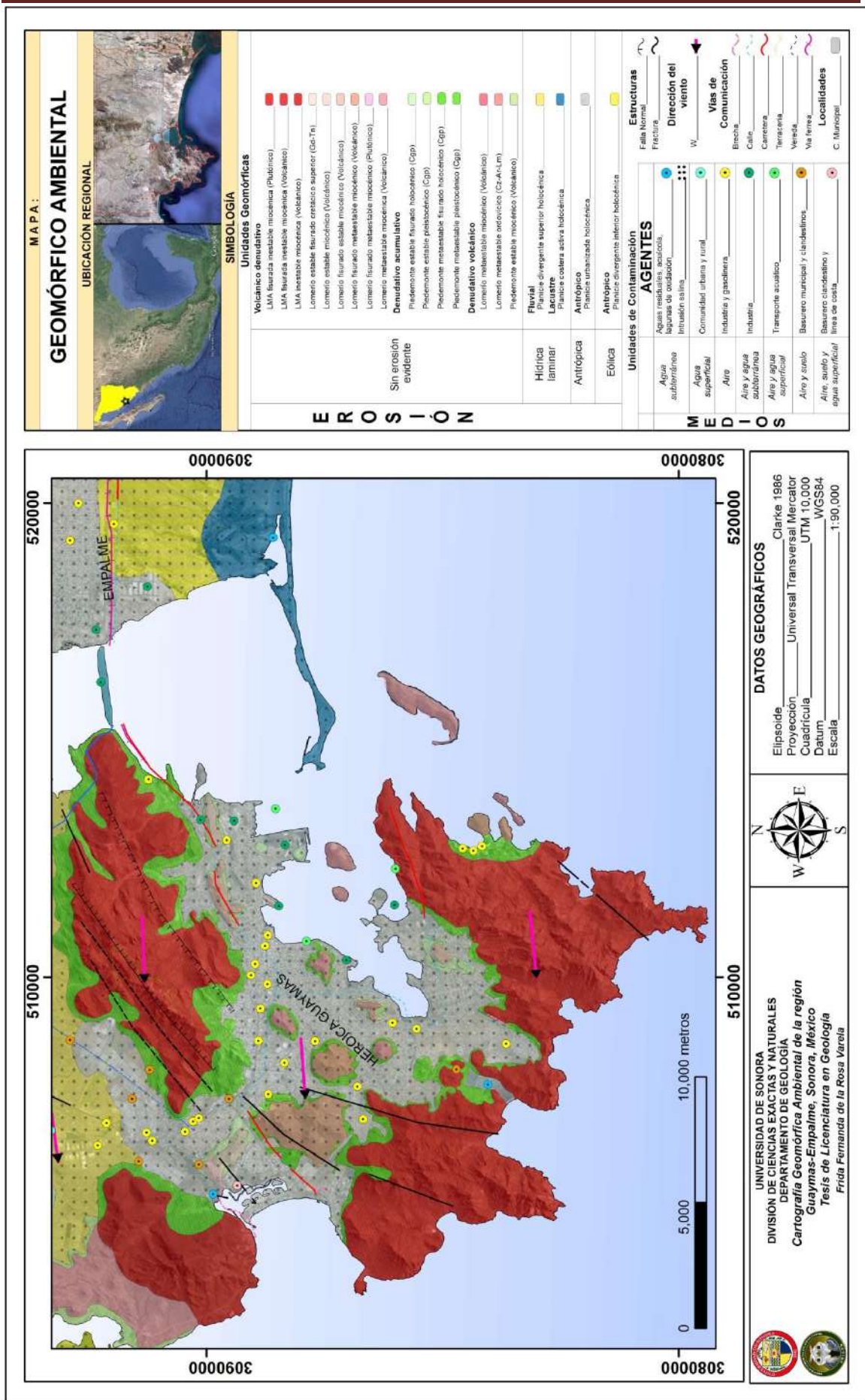
Escala 1:200.000



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
**Cartografía Geomórfica Ambiental de la región
Guaymas-Empalme, Sonora, México**
Tesis de Licenciatura en Geología
Frida Fernanda de la Rosa Varela



Para una mejor visualización de las unidades geomorfológicas ambientales en el área de estudio, se hizo una ampliación al plano resultante para las localidades de Guaymas y Empalme (Mapas 12 y 13).



DATOS GEOGRÁFICOS

Elipsoide: Clarke 1986

Proyección: Universal Transversal Mercator

Cuadrícula: UTM 10,000

Datum: WGS84

Escala: 1:90,000

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Cartografía Geomórfica Ambiental de la región Guaymas-Empalme, Sonora, México
Tesis de Licenciatura en Geología
Frida Fernsanda de la Rosa Varela

Mapa 11. Localidad de Guaymas

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una comparación general entre el presente trabajo y las cartografías consultadas, arroja que en el caso de los extranjeros no se consideran los factores de suelo, clima, hidrología superficial-subterránea, uso de suelo y vegetación, propiedades que sí se abordan en el conjunto geomorfo ambiental de Guaymas-Empalme, Sonora.

Este proyecto se puede manejar como una plataforma de información que contiene datos de índole geomorfológico, geológico, climático, hidrológico, edafológico, vegetativo y de uso de suelo, su utilidad es prácticamente nula por separado.

En cambio, si la compilación de 31 unidades de geformas clasificadas por su morfogénesis y el tipo de erosión que las modela se comprende desde el punto de vista del funcionamiento de un sistema ecológico y cómo sus actividades naturales y antrópicas modifican el terreno, su visualización incluirá los elementos que fungen como contaminantes del medio (agua, aire y suelo) y su distribución en el área de estudio.

Se considera que el mapa producto de esta investigación geomorfo ambiental puede formar parte de trabajos posteriores más ambiciosos, como una herramienta en la actualización de atlas de riesgos o enriquecerlo con más información de campo en secciones transversales y encuestas de zonas problemáticas con registro de caída de roca, inundaciones, nubes de polvo y el aumento de enfermedades respiratorias, entre otros.

Realizar un análisis geomorfo ambiental es viable en la elaboración de programas para la protección ambiental, como planeación de actividades de reforestación, conservación del hábitat de las especies, planeación y ejecución de acciones encaminadas al uso óptimo de los recursos naturales, renovables y no renovables, frenar el deterioro ambiental y prevenir desastres ecológicos, siendo estos últimos los principales retos que se presentan en la actualidad.

VI.1.- Propuestas para futuros trabajos geomorfológicos ambientales

Existen diversas líneas de que quedan abiertas y en las que es posible continuar trabajando. Algunas de ellas, están directamente relacionadas con este proyecto y son el resultado de cuestiones que surgieron durante la realización del mismo. Otros son temas más generales que, aunque no son objeto de esta tesis, pueden servir para retomarlas como una opción de consulta y análisis para diversos investigadores que necesiten una base geomórfica ambiental para sus propios trabajos.

A continuación se presentan algunas opciones que pueden desarrollarse como resultado de esta investigación:

- Crear un atlas de geomorfología ambiental para el estado de Sonora, ya que además de proporcionar la geología y la geomorfología de todo el estado, también se incluyen las cuestiones y rasgos ambientales, que actualmente estos dos elementos son dependientes uno del otro.
- Elaborar mapas temáticos sobre la geomorfología ambiental, principalmente en las zonas más propensas a la llegada de algún fenómeno natural de nivel considerable en el país.
- Realizar investigaciones más específicas, como por ejemplo geomorfología ambiental urbana, geomorfología ambiental botánica y zoológica, geomorfología ambiental en minas ubicadas en la zona, etc.
- Desarrollar una clasificación de la importancia y variación de la geomorfología ambiental en climas cálidos, templados y fríos.

Elaborar trabajos de geomorfología ambiental para los diferentes ecosistemas en el país.

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

- Dumanski, J. and E. Craswell (1998), "Resource management domains for evaluation and management of agro-ecological system", in Syers, J. K. (ed.), Proceedings of Conference on Resources Management Domains, Kuala Lumpur, International Board for Soil Research and Management (IBSRAM), Proceedings 16, pp. 1-16.

- Martínez, (1997), Geomorfología ambiental: Universidad Las Palmas de Gran Canaria publ. ISBN 84-89728-16-X, 96 p.

- Tapia- Varela G., López-Blanco, J., 1998, Cartografía geomorfológica morfogenética a escala 1:100,000 de la Vertiente Tributaria Oriental del exLago de Texcoco, in Álvarez, S.A.; Ferrari, L., Nieto Samaniego, A.F., Ortega Rivera, M.A. (eds.), Primera reunión nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes: México, Sociedad Geológica Mexicana, Instituto Nacional de Geoquímica, Sociedad Mexicana de Geomorfología, Sociedad Mexicana de Mineralogía, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, p.49 (resumen).

- Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2002), Carta geológico-minera Guaymas G12-02, escala 1:250,000.

- Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2002), Carta geológico-minera Sierra Libre H12-11, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2010), Carta climatológica Guaymas G12-02, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2010), Carta climatológica Sierra Libre H12-11, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2010), Carta edafológica Guaymas G12-02, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2010), Carta edafológica Sierra Libre H12-11, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2013), Carta hidrológica de aguas subterráneas Guaymas G12-02, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2013), Carta hidrológica de aguas subterráneas Sierra Libre H12-11, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2013), Metodología de actualización de los conjuntos hidrológicos serie II, aguas superficiales, escala 1:250,000: México.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2010), Carta uso del suelo y vegetación Guaymas G12-02, escala 1:250,000.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2010), Carta uso del suelo y vegetación Sierra Libre H12-11, escala 1:250,000.

- Gutiérrez, (2012), "Metodología para la elaboración del mapa hidrogeomorfológico de la cuenca del río Asunción"; Tesis Maestría en Ciencias-Geología; Departamento de Geología, Universidad de Sonora, México.

- Lugo et. al. Salinas – Montes (1996). "Geomorfología de la sierra de Guadalupe (al norte de la ciudad de México) y su relación con peligros naturales": Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen 13, número 2, p. 240-251. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México, D.F.

- Solís – Castillo et. al. (2014). "Unidades geomorfológico-ambientales de las Tierras Bajas Mayas de Tabasco-Chiapas en el río Usumacinta: Un registro de los procesos aluviales y pedológicos durante el Cuaternario", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 66, núm. 2, p. 279-290.

- Gamiño y Blanco (2006). "Caracterización de unidades biofísicas a partir de indicadores ambientales en Milpa Alta, Centro de México", Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611, Núm. 60, pp. 46-61.

- García y Blanco (2005). "Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacís de Buenavista, Morelos", Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 58, 2005, pp. 34-53

- Suvires et. al. Luna (2008). "Unidades geomorfológicas ambientales del sur del oasis del Tulum, Andes Centrales de Argentina", *Multequina* vol.17 no.2 Mendoza.

CONICET. Instituto de Geología. Gabinete Geología ambiental. FCFN Universidad Nacional de San Juan. graciela_suvires@yahoo.com.ar.

Instituto de Geología. Gabinete Geología ambiental. FCFN. Universidad Nacional de San Juan. lunapatriciaines@hotmail.com

- GUZMAN N., M. C. (1993), "Zonificación por medio de unidades ambientales de área contigua al estero del Soldado, Guaymas, Sonora, México". Tesis de maestría. ITESM Campus Guaymas. 70 p.

- Vega et al. (2004), "Geología urbana de la región de Guaymas y San Carlos, Sonora". Editorial UniSon. 205 p.

- Pedrín-Avilés, et al. (2007). "Clasificación Geomorfológica de la Zona Costera de Guaymas-Empalme, Noroeste de México".

- Mendoza Cantú (1997), "Regionalización geomorfológica y de paisajes de la zona costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México". Tesis de maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-Campus Guaymas.

- Pedrín-Avilés, et al. (2008). "Las islas de Guaymas, Sonora: entorno natural y deterioro por el hombre".

- Atondo (2011), "Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Empalme".

- ArqCo (2011), "Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Guaymas".

- Verstappen y Van Zuidam, (1981), *El sistema ITC para el levantamiento geomorfológico*: ITC Publication, 41 p.

- Verstappen y Van Zuidam, (1991), *The ITC System of Geomorphological Survey*: ITC publ. no. 10, 89 p.

- Unión Geográfica Internacional (UGI), (1960), *XIX Congreso de la Unión Geográfica Internacional en Estocolmo*.

- Sagayo, (1982), Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural, Revista Geológica Lilloana XVI (1), 169-180 pp.

- Gellert, (1972), Manual of detailed geomorphological mapping, IGU Commision on Geomorphological Survey and Mapping, Czechoslovak Academy of Sciences, Demek, J. Ed.

- Peña et al, (1997), Leyenda para Mapas Geomorfológicos a Escala 1:100.000/1:200.000 y 1:25.000/1:50.000, Cartografía Geomorfológica básica y Aplicada, Ed. Logroño: Geoforma Ediciones, 127-143 pp.

- Tricart, (1971), Normes pour l'établissement de la carte géomorphologique détaillée de la France (1/20.000, 1:25.000, 1:50.000), Mémoires et Documents, 12, 36-119 pp.

- FAO/UNESCO (1970), "Mapa mundial de suelos a escala 1:5000000". Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, México y América latina.

- INECC (2009), "La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial". Universidad Autónoma de México, SEMARNAT, INE, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, 68 p.

- Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S Navy, NGA, GEBCO

Image@2016 digital globe

- Fullola Pericot J.- Nadal Lorenzo J. 2005. "Evolución de la cultura Humana", editorial UOC. Av. Tibidabo, 45-47,08035 Barcelona.

- Mora-Álvarez, G, 1992, History of Cenozoic magmatism in the Sierra Santa Úrsula, Sonora: The University of Texas at Austin, Austin Texas, B. S. thesis, 153 p.

- McDowell, F.W., Clabaugh, S.E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, in Chapin, C.E., Elston, W.E. (eds.), Ash-flow tuffs: Geological Society of America, Special Paper 180, 113-124.

- Cochemé, J.J., 1981, Mise en évidence d'un granite subvolcanique associé aux laves tertiaires du Sonora (Mexique): Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, Série II, tome 293, 989–992.

- Johnpeer, G.D. 1977, Reconnaissance geology and petrology of the Guaymas area, Sonora, Mexico: Tempe, Arizona State University, M. Sc. thesis, 67p.

- Blaszczynski, J.S. 1997. Landform characterization with geographic information systems. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 63 (2),183-191.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012). "Guía para la interpretación de cartografía : uso del suelo y vegetación : escala 1:250, 000 : serie V / Instituto Nacional de Estadística y Geografía".-- México : INEGI, c2014. 195 p.

- García y Blanco (2005), "Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacís de Buenavista, Morelos, mediante la aplicación del enfoque geomorfológico morfogenético", Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, ISSN 0188-4611, Núm. 58, 2005, pp. 34-53

- Vega-Granillo, E.L.; Cirett-Galán, Samantha; De la Parra-Velasco, M.L.; y Zavala Juárez, Raúl (2011), "Hidrogeología de Sonora, México, in Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 9, p. XXX–XXX, 12 figs., 2 tablas.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

Coops N., Ryan P., Loughhead A. 1998. Overview of topographic position. Developing and testing procedures to predict topographic position from digital elevation models (MDE) for species mapping. <http://www.ffp.csiro.au/nfm/mdp/topo/over.htm>

- Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Guaymas, Sonora (2009) Clave geoestadística 26029. Link: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/26/26029.pdf>

- Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Guaymas, Sonora (2009) Clave geoestadística 26025. Link: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/26/26025.pdf>

- CONAGUA (2014), "Climatología Estadística". Link: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=170:sonora&catid=14&Itemid=2

- Fernández (2002), "El Papel de la Geomorfología en los Problemas Ambientales", Centro de Geociencias Aplicadas Universidad Nacional del Nordeste. Link: <http://cegae.unne.edu.ar/docs/articuloRolo.htm>

- SEMARNAT (2007) "Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos". Link: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/396/tipos.html>

- SEMARNAT (2014) "Fuentes contaminantes del aire" (2014). Link: <http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/537-calair-fuentes>

- Arboleda (2013) "8 tipos de contaminación del agua". Link: <http://vidamasverde.com/2013/8-tipos-de-contaminacion-del-agua/>

- Bellver (2016) "Causas principales de la contaminación del suelo" (2016). Link: <http://tendencias.com/eco/causas-principales-de-la-contaminacion-del-suelo/>

- INEGI (2007), "Hidrología: Carta hidrológica subterránea y superficial". Link: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reccat/hidrologia/cartahidrologica.aspx>

- INEGI (2009), "Climatología: Carta climática". Link: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reccat/clima/cartaclimatica.aspx>

- INEGI (2004), "Edafología: Carta edafológica". Link: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reccat/edafologia/cartaedafologica.aspx>

- INEGI (2013), "Uso de suelo y vegetación: Carta de uso de suelo y vegetación". Link: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reccat/usosuelo/cartausosuelo.aspx>

- INEGI (2005), "Geología: Carta geológica". Link: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/cartageologia.aspx>
- Albites (2006), "Apuntes de cartografía". Link: <http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/Apuntes%20de%20cartograf%C3%ADa.pdf>
- Barragán (2005), "Fuentes electrónicas", Universidad Autónoma de Yucatán. Link: <http://www.uady.mx/errores/noencontrado.html#>
- Olaya (2011), "Sistema de Información Geográfica". Link: ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf
- SRGIS (2005), "Guía básica sobre Imágenes Satelitales y sus productos". Link: <http://www.cartografia.cl/download/srgis.pdf>
- SGM (2013), "Sensores Remotos". Link: http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=45
- Anguita (1993), "El modelado del relieve". Link: <http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/226237/307811>
- Zuñiga (2010), "Pendiente Compleja atributo del territorio, útil en el ordenamiento espacial del municipio". Link: http://comunidad.udistrital.edu.co/hzuniga/files/2012/06/pendiente_compleja.pdf
- Castro (2004), "Geomorfología climática". Link: http://titulaciongeografia-sevilla.es/contenidos/profesores/materiales/archivos/2015-04-08UD12_geografiaFisica.pdf
- Enriquez (2013), "Tipos de clima". Link: <https://reyesrodriguez.files.wordpress.com/2013/06/tipos-de-climas.pdf>

- SEMARNAT (2008), "Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático". Link:

http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/agua_y_clima/agua_y_clima.pdf

- SGM (2013), "Datación de las rocas". Link:

<http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/rocas/datacion-rocas>

- Rojas et al., (2008), "Compendio de Geología general". Link:

http://www.eduni.uni.edu.pe/1er_concurso_3_compendio_de_geologia_general.pdf

- SGM (2010), "Carta Geológico-Minera Guaymas, G12-2 Sonora y Baja California Sur, Esc.1:250,000". Link:

http://portal.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/metadatos/guaymas.html

- INEGI (2004), "Guía para la interpretación de cartografía edafología". Link:

<http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>

- Ibañez (2006), "La Erosión del Suelo: Tipos de Procesos Erosivos". Link:

<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/11/15557>

- UNAD (2012), "Erosión hídrica". Link:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/leccin_17_erosin_hdrica.html

- SAGARPA (2009), "Erosión eólica". Link:

<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/CursoTaller%20De%20desarrollo%20de%20capacidades%20orientadas%20a/Attachments/34/09.pdf>

- CRID (2008), "erosión antrópica". Link:

<http://www.cridlac.org/vcd/files/page192.html>



Foto 1. Ladera de montaña alta



Foto 2. Lomerío industrializado

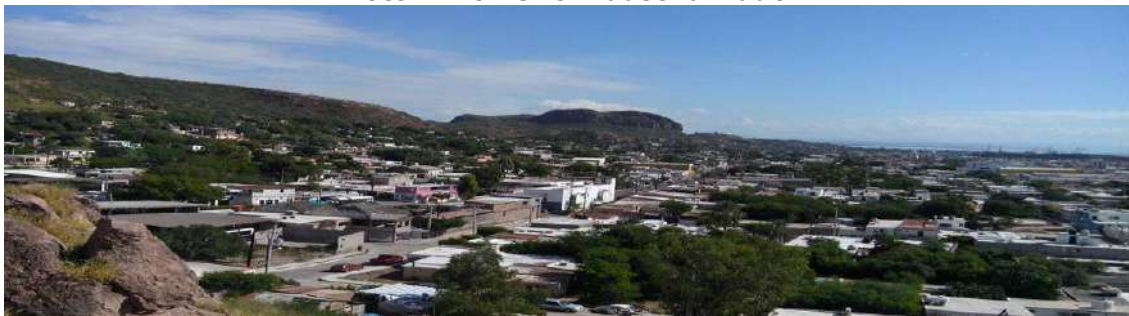


Foto 3. Lomerío y piedemonte urbanizado



Foto 4. Ladera de montaña alta



Foto 5. Lomerío y piedemonte urbanizado



Foto 6. Lomerío del área



Foto 7. Ladera montañosa alta



Foto 8. Lomerío y piedemonte urbanizado



Foto 9. Lomeríos con piedemonte urbanizado



Foto 10. Ladera montañosa alta y piedemonte urbanizado



Foto 11. Ladera montañosa alta y piedemonte



Foto 12. Lomeríos



Foto 13. Ladera montañosa alta y piedemonte



Foto 14. Ladera montañosa alta con su piedemonte con normales



Foto 15. Lomeríos y Lomeríos urbanizados, con sus respectivos piedemonte

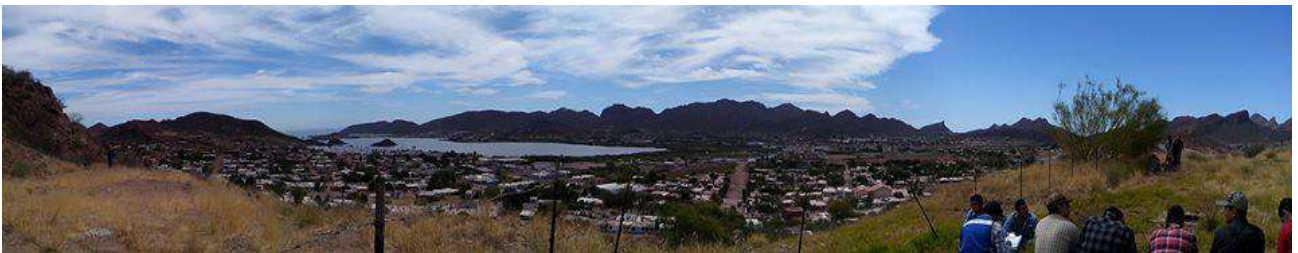


Foto 16. Ladera montañosa alta con su piedemonte del área de estudio



Foto 17. Ladera montañosa alta y piedemonte de la zona