

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**MAPEO GEOMORFOLÓGICO Y CAMBIOS EN EL USO DEL
SUELO PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL EN LA CUENCA
DE LA LAGUNA LAGARTERO, OAXACA**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
PRESENTA**

GERMÁN GÓMEZ ROCHA

DIRECTOR DE TESIS: DR. JORGE LÓPEZ BLANCO

MÉXICO, D. F. 2007





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES Maria Luisa y Martín: Con toda mi admiración y respeto por la paciencia con que apoyaron siempre este proyecto de vida de manera comprensiva y amorosa, por la fe que siempre depositaron en mi y por compartir mis malos y buenos momentos con entusiasmo y alegría que hicieron que yo creyera en mi para concluir el presente trabajo.

A MI HERMANO: Luis Martín: por ser mi amigo, por creer en mí; por estar siempre cuando más lo necesito apoyándome y motivándome para que cumpliera mis metas; pero sobre todo por ser el ejemplo de que los sueños se alcanzan con empeño y trabajo..

A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS: Esperanza y Luis; María de la Paz y Candelario: Por todo el amor que me brindaron y que me ayudo a crecer como ser humano.

A MI MUJER Susana: Por creer en mí, por su apoyo incondicional a todos mis proyectos, pero sobre todo por su amor y cariño.

A MI HIJA: Ximena, Por la alegría que me da desde que nació, por motivarme a ser cada día mejor, y por enseñarme que el amor incondicional que le tengo también es una forma de trascender.

A ELISA MITZI: Por la confianza y todos sus chistes que me hicieron ver que elaborar una tesis también tiene su lado divertido.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jorge López Blanco por dirigir esta tesis, con tesón y paciencia; orientándome con sus acertadas observaciones y comentarios que me llevaron a concluir con éxito el presente trabajo.

Al Dr. Arturo Carranza Edwards por aceptar ser uno de mis sinodales, por su amistad, por ayudarme en mi formación profesional y animarme a superarme más, además de sus valiosos comentarios para el mejoramiento de esta tesis.

Al Dr. Lorenzo Vázquez Selem por introducirme en el fascinante mundo de la geomorfología durante mis primeros años en la licenciatura, al Dr. José Ramón Hernández Santana por sus acertados comentarios y sugerencias para complementar esta tesis, además de aceptar ser mis sinodales, gracias.

A la Mtra. Maria de Lourdes Rodríguez Gamiño por ser mi compañera de cubículo durante la elaboración de esta tesis, por ser uno de mis sinodales, y por sus consejos que fueron de gran ayuda para la corrección de este trabajo, gracias.

Al Dr. Steven Czitrom Baus por las facilidades otorgadas para la consulta del material bibliográfico del área de estudio.



Al Instituto de Geografía: por el apoyo otorgado en el uso de sus instalaciones, tecnología, pero sobre todo por los elementos humanos que en el laboran.

A todos mis compañeros de generación y carrera que de alguna manera me ayudaron en la realización de esta tesis: Israel Molina (Milhouse), Edgar Maldonado (zombie), Miguel (huesos), Alberto (Mcgiver), Ignacio (orejas), Antonio Guzmán (tiger), Israel (panchito), Agustín Arellano, Guadalupe Tapia, Argelia, Celia, Rosita, Rafael, y Bernardo Soto. A Alberto López y Liz Avilez gracias, por que su compañía y consejos me hicieron mas llevadero el tiempo que invertí en este trabajo, y un agradecimiento muy especial a Pedro Montes por su asesoría técnica, sus consejos sobre los aspectos cartográficos y sus valiosos comentarios que enriquecieron este trabajo y de antemano pido disculpas si algún nombre se me escapa, pero están siempre en mi corazón y mente. Gracias.



Now kings will rule and the poor will toil
And tear their hands as they tear the soil
But a day will come in this dawning age
When an honest man sees an honest wage

Ahora los reyes gobernarán y el pobre trabajará duro,
y se romperá las manos al labrar la tierra
Pero llegará el día en la era que amanece,
en el que un hombre honesto vea un salario honesto.
(Fragmento canción, Van Diemen's Land, U2)

Germán Gómez Rocha

Índice

	Página
Introducción	
Introducción	1
Objetivo General	3
Objetivos Particulares	3
Hipótesis	3
Planteamiento del problema	4
Justificación	4
Antecedentes	5
Estructura del Trabajo	6
Capítulo 1. Marco geográfico	
1.1 Localización	8
1.2 Clima	9
1.3 Hidrología	12
1.4 Edafología	14
1.5 Vegetación y uso del suelo	16
1.6 Aspectos socioeconómicos del área de estudio	19
Capítulo 2. Geología	
2.1 Geología regional de la Sierra Madre del Sur	22
2.2 Estratigrafía	25
2.3 Litología	26
2.4 Tectónica	28
2.5 Evolución tectónica regional	29
Capítulo 3. Marco conceptual y teórico-metodológico	
3.1 Aspectos teóricos de la Geomorfología	34
3.1.1 El enfoque geomorfológico	35
3.1.2 Concepto del mapeo geomorfológico analítico	35
3.2 Aspectos teóricos relacionados con el uso del suelo / cobertura vegetal	37
3.2.1 Importancia del estudio del uso del suelo / cobertura vegetal	40

3.2.2	Análisis multitemporal y fotointerpretación de las clases del uso del suelo	41
3.3	Conceptos relacionados con las cuencas hidrográficas	42
3.4	Aspectos relacionados con lagunas costeras	43
3.5	Recopilación, procesamiento, análisis bibliográfico y cartográfico de la información	44
3.5.1	Recopilación de la información	44
3.6	Delimitación del área de estudio	47
3.7	Delimitación preliminar de las unidades morfogénicas	48
3.7.1	Fotointerpretación y delimitación definitiva de las unidades morfogénicas	48
3.7.2	Clasificación de las unidades morfogénicas	49
3.8	Jerarquización del relieve para el agrupamiento de las unidades morfogénicas hacia el interior de los sistemas morfogénicos	51
3.9	Obtención del modelo digital del terreno	52
3.10	Mapa de relieve sombreado	52
3.11	Cartografía morfométrica	52
3.11.1	Mapa altimétrico	53
3.11.2	Mapa de pendientes	53
3.11.3	Mapa de geometría de laderas	53
3.12	Obtención de las características morfométricas de las unidades morfogénicas	53
3.13	Cartografía temática de clima, hidrología, edafología, vegetación y uso del suelo y aspectos sociales	54
3.14	Fotointerpretación, delimitación y clasificación de las clases del uso del suelo	54
3.15	Transferencia de los límites, digitización de las U.M. y de clases del uso del suelo con el SIG	55
3.16	Uso de Imágenes Landsat e interpretación de espaciomapas como auxiliares en la fotointerpretación	55
3.17	Obtención de la cartografía del uso del suelo / cobertura vegetal para 1980 y 2000	56
3.18	Mapas de cambio-no cambio y tipo de cambio del uso del suelo	56
3.19	Cruce de los mapas del uso del suelo y geomorfológicos para la obtención de datos	56

Capítulo 4. Resultados de morfogénesis y de uso del suelo

4.1	Descripción de la geomorfología	58
4.2	Tipos generales del relieve	59
4.2.1	Laderas de montaña	59

4.2.2 Lomeríos	61
4.2.3 Piedemontes	62
4.2.4 Planicies	62
4.3 Tipos particulares del relieve	63
4.4 Descripción de los sistemas morfogénéticos (SM) en el area de estudio	67
4.4.1 SM. Aguacatal Grande	69
4.4.1.1 Laderas de Montaña	69
4.4.1.2 Lomeríos	70
4.4.1.3 Piedemontes	71
4.4.2 SM. Cacalotepec	74
4.4.2.1 Laderas de montaña	74
4.4.2.2 Lomeríos	75
4.4.2.3 Piedemontes	76
4.4.3 SM.Cerro El Tecolote	80
4.4.3.1 Laderas de montaña	80
4.4.3.2 Lomeríos	81
4.4.3.3 Piedemontes	83
4.4.3.4 Planicies	83
4.4.4 SM. Laguna Lagartero	87
4.4.4.1 Laderas de montaña	88
4.4.4.2 Lomeríos	88
4.4.4.3 Piedemontes	90
4.4.4.4 Planicies	91
4.4.5 SM. Monte Oscuro	97
4.4.5.1 Laderas de montaña	97
4.4.5.2 Lomeríos	97
4.4.5.3 Piedemontes	99
4.4.5.4 Planicies	99
4.5 Resultados sobre uso del suelo/cobertura vegetal	103
4.5.1 Evaluación general y cambios en el uso del suelo/cobertura vegetal (1980-2000)	104
4.5.2 Cambios por clase 1980-2000	107
4.5.3 Diferencias de cambio-no cambio y tipos de cambios de los usos del suelo 1980-2000	110
4.6 Cambios en los usos del suelo-cobertura vegetal por sistemas morfogénéticos	112

4.6.1 SM. Aguacatal Grande	112
4.6.2 SM. Cacalotepec Occidente	113
4.6.3 SM. Cerro El Tecolote	114
4.6.4 SM. Laguna Lagartero	115
4.6.5 SM. Monte Oscuro	116
4.7 Discusión sobre problemática ambiental en la cuenca de el Río Cacalotepec y en la Laguna Lagartero	119
Conclusiones	123
Bibliografía	126
Anexos	
A. Mapas morfométricos	133
B. Mapas de tipos particulares del relieve	135
C. Gráficas de alturas relativas y absolutas de los tipos particulares del relieve	143

I. Introducción

Para lograr una correcta administración, aprovechamiento y preservación de los recursos naturales en México, es necesario estudiarlos y evaluarlos de manera apropiada, porque una buena planeación se logra con información suficiente y confiable. Esta información puede expresarse en forma escrita, gráfica y cartográfica. En este estudio la información cartográfica ofrece muchas ventajas, ya que permite evaluar los recursos naturales que ocupan un lugar en el espacio, esto se realiza localizándolos, valiéndose para ello de la creación de mapas.

El representar las variables de la cobertura vegetal y los cambios del uso del suelo con respecto a las características geomorfológicas, en un documento cartográfico, permite obtener una idea clara y precisa de su realidad en un área determinada, para poder entender la magnitud, distribución e interrelación de estos factores, además de notarse la dinámica y afectación de cada cambio en las variables utilizadas para los estudios ambientales.

Con base en la obtención de estos datos se pueden definir políticas para el control de los factores que causan desequilibrios en los ecosistemas en áreas determinadas. Así, al contar con la información de la cartografía geomorfológica detallada, se pueden llevar a cabo estudios posteriores en el área de estudio, y con esto, poder definir planes para la conservación de los recursos en las cuencas costeras.

En México, la geomorfología ha tenido muchas aplicaciones, pues el relieve y su estructura geológica son diferentes de las que se encuentran en otros países (Lugo, 1989), por lo tanto es fundamental el estudio y comprensión del relieve mexicano, tomando en cuenta los factores presentes y pasados que modifican constantemente su modelado (op. cit.).

Con relación al área de estudio, en las cuencas de captación que inciden directamente en las lagunas costeras, son necesarios los estudios para evaluar los factores que intervienen en ellas, ya que presentan una peculiar problemática ambiental debido al azolve y a otros factores ambientales en las partes bajas de las cuencas. Estos fenómenos sirven para observar a detalle los mecanismos geomorfológicos que se desencadenan por los cambios potencializados por perturbaciones antrópicas, aunque es conocido que las lagunas costeras son áreas progradantes y tienden a desaparecer (Contreras, 1993).

Así una cuenca se considera un sistema complejo, constituido por un conjunto de unidades de terreno que interactúan entre sí y que pueden ser delimitados y diferenciados con técnicas de percepción remota con criterios del relieve (Verstappen, 1983; Van Zuidam, 1985). Por estas razones, las características y distribuciones espaciales de los componentes de una cuenca, se obtienen a través de un enfoque geomorfológico en los estudios de cuencas costeras.



Las causas que provocan modificaciones constantes de las formas del relieve en las cuencas costeras en México, son la explotación de los recursos naturales sin una planeación adecuada que deriva en la degradación de los mismos. De esta manera, la cuenca del Río Cacalotepec ha sido sometida y expuesta a impactos ambientales que se han venido acelerando en los últimos años debido al aumento de la población y en los cambios en los usos del suelo, como en el caso de la destrucción de la vegetación natural para crear nuevas áreas de cultivos y pastizales para el ganado en laderas de montaña y lomeríos escarpados.

Como ejemplo se tienen los eventos geomorfológicos desencadenados por las actividades humanas a raíz de los cambios en el uso del suelo con relación al grado de las pendientes del terreno, causando con esto, procesos de erosión acelerada, que provocan pérdida de la capa fértil del suelo al ser transportada a las partes bajas de la cuenca, causando el azolvamiento del cuerpo lagunar y al posterior empobrecimiento de los recursos naturales del área.

Pensando en lo anterior, se vió la necesidad de obtener la cartografía y la descripción geomorfológica del área, partiendo de la elaboración del mapeo y del análisis morfogenético de las unidades del relieve delimitadas en la cuenca hidrográfica del río Cacalotepec-San Martín.

Este estudio se basó en la elaboración del mapeo geomorfológico, donde el principal mapa que sirvió para el estudio del área es el analítico, en el cual, su información principal proviene de la geología y de la topografía (Lugo-Hubp, 1988). El objetivo del mapeo morfogenético es la representación cartográfica de las unidades del relieve con base en su origen, tipo, edad, litología y geometría del relieve por clases.

La metodología aquí adoptada partió de un marco teórico-metodológico basado en el Sistema para el Levantamiento Geomorfológico del Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC, Holanda), propuesto por Verstappen y van Zuidam (1991), que delimita las unidades morfogenéticas bajo el criterio de homogeneidad relativa (Tapia-Varela y López-Blanco, 2002).

Esta metodología es aceptada en forma general y con el aporte original de ideas propias en este trabajo, ésta pueda ser aplicada para futuros estudios en el área y como guía en el estudio geomorfológico ambiental en diferentes tipos de cuencas costeras.

Posteriormente se realizó el estudio para clasificar las clases de la cobertura vegetal y de los distintos usos del suelo. La cartografía de estas variables se realizó de forma multitemporal en dos fechas (1980 y 2000), cuyo análisis permitió observar los cambios ocurridos en este lapso, donde los rasgos de cobertura natural y de uso del suelo se interpretaron a través de fotografías aéreas y de la consulta de espaciomapas. Utilizando también un método que limita



las áreas con homogeneidad aparente en las imágenes con el auxilio de las técnicas de fotointerpretación propuestas por van Zuidam (1985-1986).

En este trabajo no se pretendió dar una explicación de los factores que intervienen en la problemática ambiental de la dinámica lagunar, sino de llegar a delimitar a las unidades geomorfológicas con el cruce de información de los cambios de uso de suelo-cobertura vegetal dentro de ellas, en un estudio primario que sirva de información básica a los estudios ambientales posteriores, en el área de estudio.

Objetivos:

Objetivo General: Realizar un mapeo geomorfológico y un análisis multitemporal del uso del suelo y la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Cacalotepec, que sirvan para conocer los cambios que ha tenido el uso del suelo con relación a los tipos del relieve, como ayuda para la conservación ambiental del área de estudio.

Objetivos particulares:

Elaborar la cartografía geomorfológica-analítica que identifique y delimite a las unidades morfogenéticas del área de estudio.

Realizar la cartografía de los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo en el periodo 1980 y 2000, en la cuenca hidrográfica del Río Cacalotepec.

Analizar la relación entre las propiedades del relieve con los cambios de uso del suelo y la cobertura vegetal en la cuenca hidrográfica.

Hipótesis:

El tipo de relieve en la cuenca del Río Cacalotepec es heterogéneo y predomina el de laderas de montaña, con un origen endógeno-tectónico denudatorio, con características homogéneas en la edad del relieve y su litología, contrastando con otras características morfogenéticas en las planicies del área.

La degradación de la cobertura vegetal y los cambios en el uso del suelo en la cuenca del Río Cacalotepec, y en las laderas contiguas a la laguna Lagartero han aumentado en el lapso de 1980 al 2000.



Planteamiento del problema

En Laguna Lagartero y su cuenca de captación existen diversas problemáticas ambientales causadas por la intervención humana, ya que las lagunas costeras mexicanas en su gran mayoría se encuentran aisladas del mar por barreras de arena, que se abren en ocasiones durante la temporada de lluvias, pero estos eventos son periódicos lo cual afecta las actividades pesqueras de los habitantes locales (Czitrom, 1999).

Por lo anterior fue necesario observar los cambios en la cuenca hidrográfica del río Cacalotec a través de un levantamiento analítico del terreno tomando en cuenta los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal en los últimos veinte años; dichos cambios frecuentemente resultan en una erosión acelerada de los suelos en las laderas y en el área del entorno ambiental de la laguna, ya que al depositarse el material transportado contribuye al azolve de la misma, creando una barrera de sedimentos entre el mar y la laguna que impide la comunicación de agua dulce continental y salada de origen marino en la laguna.

En las lagunas costeras, las barreras de arena se abren cuando la descarga de agua dulce supera la tendencia de la acumulación de sedimentos en la boca, en estos lapsos, la productividad en las lagunas se incrementa al penetrar larvas de diferentes especies a su interior. Estos eventos de alta productividad, sin embargo, son de naturaleza eventual y dificultan la planeación de actividades pesqueras (Penie *et al.*, 2002). Desde este punto de vista, los estudios geomorfológicos y particularmente los estudios morfogenéticos, pueden aportar los conocimientos necesarios para el análisis de una cuenca hidrográfica y poder realizar evaluaciones biofísicas que solucionen problemas de degradación ambiental.

Justificación del estudio

Dentro de los sistemas lagunares costeros y de su cuenca de captación se ha detectado una ausencia de estudios ambientales con un enfoque geomorfológico que permitan detectar los diversos problemas de productividad y degradación. Este enfoque suele ser útil, no solo en investigaciones geomorfológicas, sino en otras investigaciones multidisciplinarias.

En este estudio de caso se conseguirá, a partir de un levantamiento analítico-morfogenético, integrar y evaluar los cambios en el uso del suelo / cobertura vegetal, crear una base de datos de la cuenca, donde el análisis de los mismos permita observar cómo estos factores influyen en la dinámica ambiental en el área de estudio.

Así, estos estudios se sugieren para tener un mejor aprovechamiento de los recursos pesqueros en la laguna, ya que ésta se ha caracterizado por su producción de camarón blanco *Litopenaeus vanamei*, y otras especies, que han sido el sustento económico de varias familias



que habitan el área, aproximadamente 1519 habitantes, según el censo efectuado en el año 2000 (INEGI, 2000), además en este trabajo se hace un aporte de un análisis geomorfológico-ambiental que es la propuesta de este trabajo para fomentar la conservación y el mejoramiento de este importante cuerpo de agua y su cuenca de captación.

Por eso se consideró importante contar con una cartografía del medio natural como una herramienta de trabajo, útil para representar un conocimiento objetivo, analítico y sintético de un espacio expresado gráficamente y así complementar otros estudios relacionados con el tema. De esta forma, se requiere también de un análisis primario de la geomorfología del área de estudio desde un punto de vista genético, donde se muestre una clasificación de las formas del relieve, tomando en cuenta su génesis y su evolución, ya que no existe un documento de este tipo sobre dicha área (Campuzano y Luna, 1989).

Por lo anterior este estudio se justifica no sólo por el hecho de que se llega a un conocimiento morfológico-ambiental en el área de estudio, sino también porque hace una propuesta metodológica enfocada a estudios de cuencas que sirva como base conceptual para investigaciones futuras, además de proporcionar ayuda en la conservación ambiental de la cuenca del Río Cacalotepec y la Laguna Lagartero.

Antecedentes de estudios en el área:

En el área se han realizado escasos estudios, sobresaliendo algunos en los aspectos geológicos, tectónicos, geomorfológicos y ambientales. De los cuales se mencionan los más importantes que se han realizado en el ámbito regional y local:

Inman y Nordstrom (1971), hacen un trabajo sobre las características tectónicas y morfológicas en las costas del sur de México, diferenciando las costas en el área con relación a otras costas del país. En lo que se refiere a aspectos morfoestructurales, Shepard (1973) expone las características de la costa donde se asienta la cuenca, también diferenciando ésta con otras unidades morfotectónicas del país.

López Ramos (1983) realiza una carta geológica de México, dividiendo en provincias geológicas al territorio nacional, destacando las características de la geología a nivel regional de la provincia Sierra Madre del Sur, señalando la litología que se encuentran en el área de estudio.

Otro trabajo importante es llevado a cabo por Carranza-Edwards *et al.* (1987), con el cual se obtuvo el conocimiento sedimentológico de treinta y siete localidades de playas del Estado de Oaxaca, en donde los resultados indicaron que las playas estudiadas están constituidas principalmente de falsarenitas submaduras, encontrándose un predominio de arenas medias, simétricas y mesocúrticas, que son el reflejo del control que la tectónica ejerce sobre la



sedimentación. No obstante que es un trabajo regional, hace investigaciones a nivel local de la costa en el área de estudio. Los datos obtenidos son muy importantes porque muestran las características granulométricas de los sedimentos litorales en las planicies costeras de la cuenca.

En aspectos geológicos, Moran-Zenteno *et al.* (2000), realizaron un estudio detallado de las propiedades geoquímicas y geocronológicas de las rocas que forman el cinturón batolítico del sur de México, del cual forma parte el batolito Río Grande, donde se localiza la cuenca. Los resultados obtenidos en este cuerpo intrusivo, se llevaron a cabo por medio de relaciones de enfriamiento de K-Ar en hornblendas y biotitas, indicando una edad Terciaria, y no del Jurásico-Cretácico, como se había creído anteriormente al trabajo de estos autores.

También se realizó un levantamiento geomorfológico en el área, donde se hace una delimitación del mesobloque “El Encantado”, en el sur de Oaxaca, elaborado por Arrellano (2001). Hace una regionalización geomorfológica para la delimitación de unidades morfogenéticas, que sirvieron como base para la obtención de unidades ambientales en el mencionado mesobloque, este trabajo contribuyó a tener una visión de las unidades morfogenéticas que se delimitaron en la cuenca del río Cacalotepec.

Finalmente con el objetivo de mejorar el manejo de pesquerías en comunidades rurales, en el área de estudio se han estado realizando evaluaciones para la implementación de un sistema de bombeo por energía del oleaje (Czitrom, 1999). Este estudio se realizó en el ámbito local de la laguna Lagartero, en donde por factores en el cierre de la boca en la barra, no permite la entrada a la laguna de organismos marinos, afectando su productividad. Este informe muestra los componentes biológicos y químicos de este importante cuerpo de agua, además de tratar los aspectos sociales de la población que se asienta en la cuenca (op. cit.).

Estructura del trabajo

La estructura del trabajo está conformada de cuatro capítulos. El primero presenta de forma general un marco geográfico del área de estudio, mostrando las características físico-sociales del área. En primer lugar se realizó la localización geográfica, asimismo las otras características ambientales como hidrología, clima, edafología, vegetación-uso del suelo y su distribución en la cuenca, para tener un entendimiento, en un marco general, de los fenómenos que ocurren en el área. Así se observan las diferentes asociaciones de los suelos y la vegetación característica que sustentan, en los climas se describen los diferentes tipos y las estadísticas de las diferentes estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca. También se realizó un esbozo de las características socio-demográficas de la cuenca, donde se hace un recuento en veinte años



del crecimiento de la población y las tareas que realiza la población local en el lugar. Este capítulo también muestra las características en el ámbito local de la laguna.

El segundo capítulo corresponde al estudio y análisis de la geología, donde se menciona la evolución geológica del área, y también las características sobre la litología, estructura, estratigrafía y tectónica, que tiene una importancia muy especial en la geomorfología del área. Se presenta el mapa geológico del área, que muestra la distribución litológica, y la evolución tectónica en el ámbito regional.

El tercer capítulo muestra un marco conceptual-teórico metodológico de los aspectos que se abordaron en el estudio. Se describe el enfoque geomorfológico, así como sus aplicaciones. También se muestran los conceptos de mapeo geomorfológico y la importancia del levantamiento en su carácter morfogenético. Se explican los conceptos básicos de geomorfología, uso del suelo y su cartografía, criterios e implicaciones de estos cambios, también conceptos sobre cuencas hidrográficas y lagunas costeras. Después trata de las bases teóricas en que se basó el estudio y las corrientes principales que se utilizaron. En la metodología se muestran los pasos que se siguieron en la elaboración de los mapas dentro de un sistema de información geográfica a partir del modelo digital del terreno (MDT), que permitió la generación de mapas altimétricos, pendientes y formas de las laderas, así como la delimitación de las unidades morfogenéticas interpretadas con anterioridad en las fotografías aéreas, explicando también los pasos que se siguieron para la delimitación de los polígonos para el estudio de los cambios del uso del suelo-vegetación en un lapso de veinte años.

El cuarto capítulo muestra los dos aspectos fundamentales del estudio; los resultados obtenidos de la geomorfología y del uso del suelo-cobertura vegetal en la cuenca, en donde se presenta la descripción geomorfológica-morfogenética del área de estudio agrupando las unidades del relieve dentro de los cinco sistemas morfogenéticos que conforman el área, éstos delimitados con jerarquías establecidas, partiendo de subunidades, unidades y sistemas, asimismo los resultados de la fotointerpretación de los diferentes usos del suelo en forma multitemporal. También se realizaron los distintos cruces de mapas en el SIG, obteniéndose así los resultados del estudio.



Capítulo 1. Marco Geográfico

1.1 Localización

La cuenca del Río Cacalotepec se encuentra aproximadamente a 60 km al poniente del poblado de Puerto Escondido, Oaxaca. El área correspondiente se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas extremas 15°56'07" y 16°05'25" de latitud norte y 97°16'29" y 97°24'01" longitud oeste (Figura 1.1). Forma parte, administrativamente, de los municipios de Santos Reyes Nopala, Tututepec de Melchor Ocampo y Santa María Juquila, en el Estado de Oaxaca.

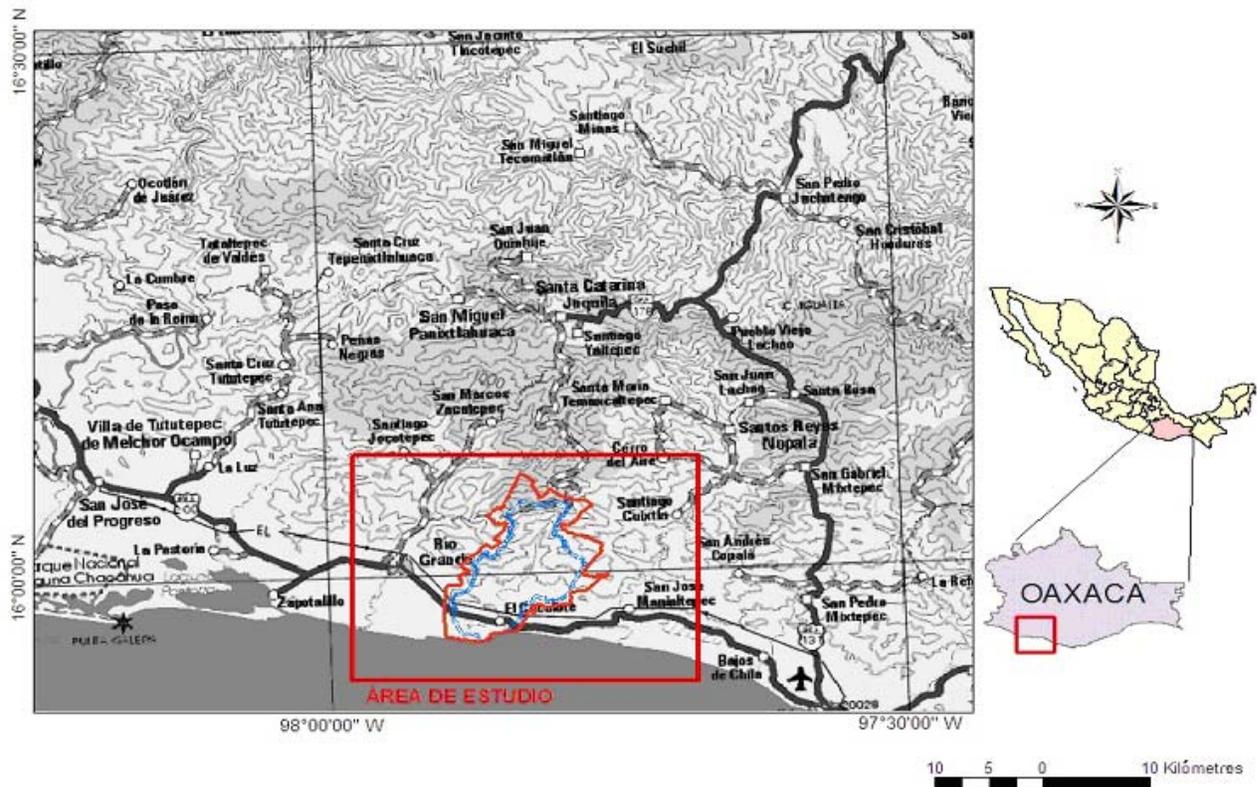


Figura 1.1 Mapa de localización del área de estudio. Fuente: INEGI (2001).

El área de estudio comprende a la cuenca del Río Cacalotepec que tiene un área de 141.4 km² que a su vez forma parte de la subcuenca del Río Colotepec (2,682 km²). El área limita al norte con la población de Cinco Negritos y la cuenca del río Atoyac, hacia el oeste limita con la cuenca del Río Grande y el poblado del mismo nombre, hacia el sur con el Océano



Pacífico y al oriente con la cuenca del Río Manialtepec. Su altitud varía desde 0 hasta 1,180 msnm. El área pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, la Laguna Lagartero se localiza dentro de esta área y tiene como coordenadas centrales 15°56'50" N y 97°22'30" O, es alimentada principalmente por las crecidas en épocas de lluvia del Río Cacalotepec, a veces se abre un canal en esta época que se comunica con el océano y permite el intercambio de agua dulce y salada, por eso se considera importante el estudio geomorfológico de la cuenca del río Cacalotepec, por la influencia que tiene en el vertido de aguas a la Laguna Lagartero, tomando en cuenta los escurrimientos de las montañas y lomeríos que depositan agua en la laguna.

La Laguna Lagartero es del tipo de laguna costera, perteneciente a la región hidrológica 21 Oaxaca-Puerto Ángel, su temporalidad es permanente, su uso y aprovechamiento principal es la pesca ribereña y el turismo, la laguna es pequeña, mide dos kilómetros de largo por uno de ancho (Ecoplaneación Consultores, 1993). La Laguna Lagartero tiene una superficie de 2.5 km², y de acuerdo a su batimetría tiene una profundidad promedio de 1.10 m, con un canal de entrada de aproximadamente 1 km de longitud con una profundidad máxima de 3.8 m y en promedio de 2.1 m (op. cit.). El río Cacalotepec, que alimenta a la Laguna Lagartero, es de carácter intermitente, este río nace en las partes altas de la microcuenca, teniendo importantes crecidas durante el verano, su curso es de norte a sur y vierte sus aguas al Océano Pacífico (Ecoplaneación Consultores, 1993).

Fisiográficamente se localiza dentro de la subprovincia Flancos o Cuestas del Sur, perteneciente a la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, denominada así por Raisz (1964, citado en INEGI, 1994), en su división fisiográfica de la República Mexicana. Las formas del relieve son contrastantes y ofrecen una orientación general NW-SE. Destaca en la porción nororiental del sistema montañoso de la Sierra Madre del Sur una altitud máxima de 2,250 m. En la porción central predominan las elevaciones mayores y la franja costera se caracteriza por las constantes llanuras de inundación relacionadas con el desarrollo de las lagunas, puntas, barras, bahías y franjas litorales (INEGI, 1994).

En resumen existen en el interior del área dos ríos, tres asociaciones de suelo, doce clases de uso de suelo y vegetación, diez poblaciones importantes con una población de 1,519 habitantes (INEGI, 2000). La litología que se encuentra en el área es Granito-granodiorita de edad Terciaria. Además en el área se cuenta con clima tipo Aw, dividiéndose en tres subtipos.

1.2 Clima

El área de estudio cuenta con clima tipo Aw (Figura. 1.2), perteneciendo al grupo "A", que es del grupo de climas cálido-húmedos, con temperatura media del mes más frío mayor a



18°C, con lluvias en verano y precipitación del mes más seco menor a 60 mm con un % de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la anual, de acuerdo con su grado de humedad se divide en tres subtipos (García, 1988).

En el área se encuentran los tres subtipos de clima Aw, contándose desde el más seco hasta el más húmedo; Aw₀, el más seco de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano, con un cociente P/T de menos de 43.2. Este se localiza en las partes más bajas de la cuenca en el área de estudio, aproximadamente de los 0 a los 700 msnm (INEGI, 1984). Aw₁ Intermedio en cuanto a grado de humedad, entre el Aw₀ y el Aw₂, con lluvias en verano, cociente P/T entre 43.2 y 55.3, localizándose principalmente entre las cotas de altitud de los 700 a los 900 msnm (op. cit.). Aw₂ el tipo más húmedo de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano, cociente P/T mayor de 55.3, se localiza en la parte más alta de la cuenca, de los 900 a los 1,180 msnm (op. cit.).

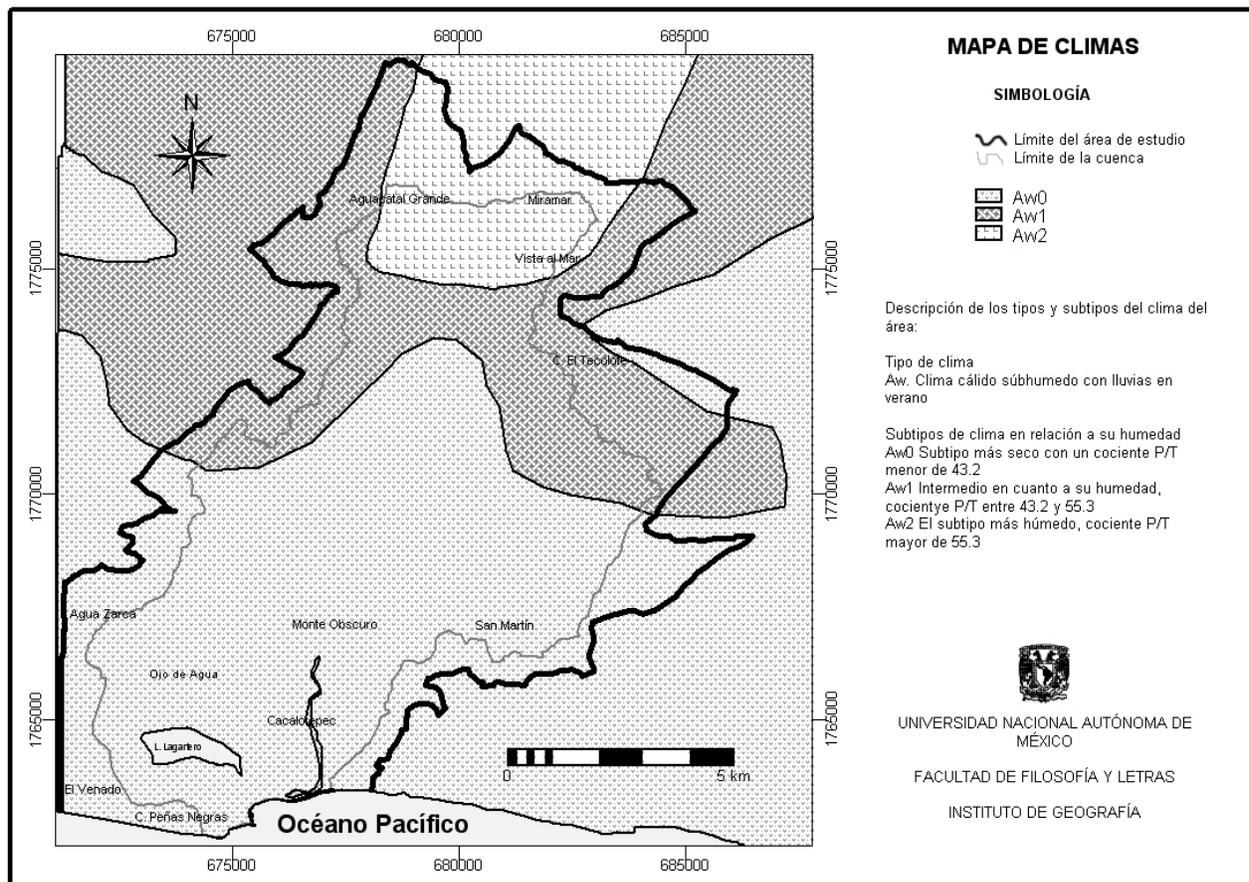


Figura. 1.2 Subtipos de climas en el área de estudio. Fuente: INEGI (1994).

Precipitación

Noviembre-Abril. En la parte alta de la cuenca de los 800 a 1,100 msnm, se tienen de 50 a 75 mm y menos de 50 mm en la parte baja de la cuenca en el área de la costa. En Mayo-



Octubre, en la parte alta de la cuenca de los 950 a 1,100 msnm, la isoyeta indica precipitaciones de 1,200 a 1,400 mm. En altitudes medias de los 750 a 950 msnm, se tienen de 1,000 a 1,200 mm de precipitación. En la parte baja de la cuenca de 0 a 750 msnm, caen de 900 a 1,000 mm. Predominan en la cuenca de 30 a 59 días de lluvias en el área de menor altitud y de 60 a 89 días en las partes de mayor altitud en la cuenca. En donde se encuentra la Laguna Lagartero, se tiene un cociente P/T, de menos de 43.2, que es el más seco dentro de los climas Aw (García, 1988).

A continuación se tienen los datos climáticos de tres estaciones cercanas al área de estudio, estas estaciones cumplieron con los datos mínimos necesarios para realizar el estudio climatológico en el área (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Estaciones ubicadas cerca del área de estudio. V = Variable, P = Precipitaciones medias mensuales en mm, T = Temperaturas medias mensuales en ° C.

ESTACIÓN	V	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Santa Catarina Juquila Lat: 16°14' N Long: 97°18' O Alt: 1,265 msnm	P	10.8	9.3	9.1	40.6	120.8	315.8	243.2	279.5	324.6	125.5	20.0	9.8	1509
	T	22.1	23.5	23.6	25.2	26.5	23.8	23.3	24.8	25.4	25.9	24.2	23.1	24.2
San Pedro Mixtepec Lat: 15°59' N Long: 97°06' O, Alt: 200 msnm	P	2.5	4.8	3.3	6.9	51.0	101.4	115.7	202.2	142.2	65.7	11.3	1.4	708.4
	T	23.5	20.2	23.3	25.0	23.5	23.8	23.9	23.5	25.1	25.0	24.2	23.4	23.7
Paso de la Reina Lat: 16°17' N Long: 97°37' O, Alt: 1,248 msnm	P	3.7	3.1	1.2	6.5	57.8	221.8	171.8	193.1	303.8	309.9	110.6	1.6	1384
	T	22.2	22.5	23.3	24.1	25.8	25.3	25.9	25.8	24.5	23.7	23.6	23.0	24.1

En la estación Santa Catarina Juquila, la temperatura media anual es de 24.2°C, destacando como el mes más cálido a mayo y el mes más frío a enero, asimismo el mes más húmedo es septiembre y el más seco es marzo, con un total de lluvia anual de 1,509 mm. Por otro lado la estación San Pedro Mixtepec, tiene una temperatura media anual de 23.7°C, notándose que el mes más cálido es septiembre y el mes más frío es febrero, y con el mes más húmedo agosto y el más seco diciembre, con un total de lluvia anual de 708.4 mm. Finalmente la estación Paso de la Reina, presenta una temperatura media anual de 24.1°C, resaltando



como el mes más cálido julio y el mes más frío enero, el mes más húmedo es octubre y el más seco marzo, con un total de lluvia anual de 1,384 mm.

1.3 Hidrología

El área pertenece a la vertiente del Océano Pacífico que es drenada por una red hidrográfica de moderada densidad, con patrones dendríticos, subdendríticos y subparalelos de diversos grados de integración; las corrientes principales, que descienden de las partes altas de la Sierra Madre del Sur, son perennes, mientras que las corrientes secundarias son generalmente intermitentes (INEGI, 1994). El sistema de fallas y fracturas respecto a la formación litológica en el área de estudio, crean una dependencia que controla la red de drenaje superficial en la zona costera del Pacífico Sur, el área se localiza en la región hidrológica 21 (Costa de Oaxaca-Puerto Ángel). La red hidrográfica de la Región 21 comprende tres cuencas hidrológicas: Astata, Copalita y Colotepec

En el área los ríos descienden por las laderas y flancos de la SMS hacia la planicie y el litoral, lo que proporciona altos gradientes y elevadas tasas de acarreo de sedimentos (Toledo, 1994). Las cuencas medianas y pequeñas como el caso del río Cacalotepec son altamente erosivas con la lluvia. El clima tropical seco aunado a que la mayoría de los sistemas fluviales han sido represados en las costas de Oaxaca potencializan el fenómeno, los procesos eólicos y oceánicos predominan como agentes sedimentarios sobre los fluviales (op. cit.).

El río Cacalotepec es de suma importancia ya que su cuenca de captación es el objeto de estudio de este trabajo, su importancia radica en la alimentación de agua a la Laguna Lagartero (Figura 1.3). Su temporalidad es intermitente, así este río nace en la Sierra Madre del Sur, su curso es de Norte a Sur, pasa al oriente del poblado Cacalotepec y vierte sus aguas al Océano Pacífico (Ecoplaneación Consultores, 1993). Estos rasgos del sistema hidrológico del área (Figura 1.4), dotan a sus ríos de un alto potencial de acarreo que tiene sus manifestaciones más visibles en los frecuentes azolvamientos de las lagunas costeras que se encuentran bajo la influencia de sus cuencas (Toledo, 1994).

1.2.1 Características hidrológicas de laguna Lagartero

El área se localiza según la regionalización descrita por Lankford (1977), en la costa del océano Pacífico y comprende desde Mazatlán hasta la frontera con América Central; cuenta con 32 lagunas costeras. La temperatura del agua de Laguna Lagartero es menor a la de las lagunas del área, teniendo de 27.8°C a 29.6°C, debido al efecto combinado de los vientos y a la presencia de los manglares circundantes, que debido a las pequeñas dimensiones de la laguna,



generan un microclima. La concentración de oxígeno disuelto en el agua varió de 3.59 ml a 7.39 ml (Ecoplaneación Consultores, 1993).



Figura 1.3 Imagen del Río Cacalotepec mostrando el canal que drena a la Laguna Lagartero y al Océano Pacífico, al sur de la cuenca.

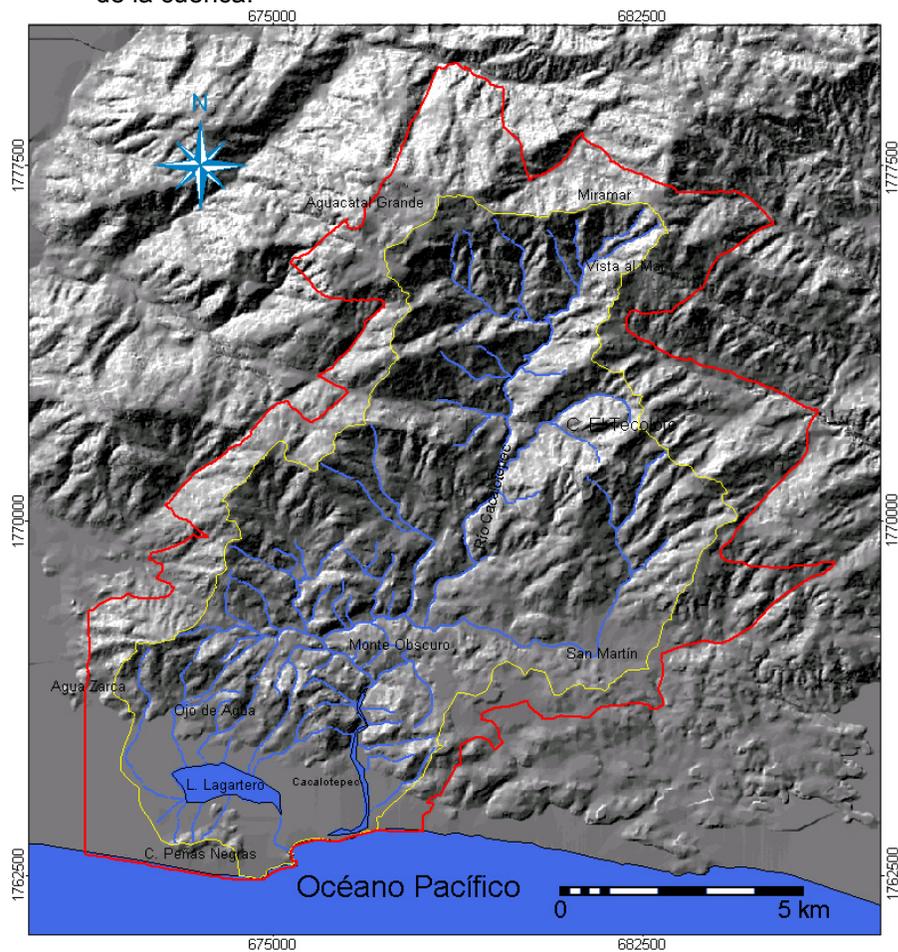


Figura 1.4 Mapa del relieve sombreado de la cuenca del río Cacalotepec y Laguna Lagartero, donde se notan los rasgos hidrológicos del área (límite del área de estudio en rojo, límite de la cuenca en amarillo, río Cacalotepec y L. Lagartero en azul).



No se registraron concentraciones de ortofosfatos y compuestos nitrogenados en la laguna. Estos nutrientes son totalmente consumidos por el fitoplancton, en virtud de la ausencia de escurrimientos durante el estiaje. El pH varió de 7.9 a 8.3 y los registros de transparencia fueron muy bajos, debido a la acumulación de sólidos por la falta de circulación que se presenta durante el estiaje. Cabe mencionar que el empleo de motores fuera de borda de los barcos pesqueros, produce turbidez en la columna de agua, por la resuspensión de material sedimentario (op. cit.).

En casi todo el cuerpo lagunar predominan los limos, con excepción del este de la laguna, donde se localiza la comunicación con el río Cacalotepec, manifestada por la presencia de arenas, que denotan la existencia de un escurrimiento mayor en el periodo lluvioso. Los porcentajes más elevados de materia orgánica se localizaron en el área cercana a los canales marino y fluvial, con valores de 1.08% y de 2.09%, los más bajos en la margen oeste con 0.35% y 0.57% (Tabla 1.2). Esto se debe a los aportes procedentes del manglar circundante, que enriquecen a la laguna con material orgánico (op. cit.).

Tabla 1.2 Tabla que indica los valores granulométricos de los sedimentos en Laguna Lagartero (Tomado de Ecoplaneación Consultores, 1993).

Laguna Lagartero análisis granulométricos. Valores obtenidos en febrero de 1993					
Fuente: Ecoplaneación consultores					
Estación	M. Orgánica	Arena	Limo	Arcilla	
W	0.57	3.23	60.48	36.29	
C	0.35	4.73	68.37	26.70	
E	1.08	11.23	64.30	24.70	
Cc	2.09	68.96	12.81	18.23	

1.4 Edafología

La distribución de los suelos en la cuenca (Figura. 1.5), se revisó en las cartas editadas por el INEGI (1989 y 1994), y de la Secretaría de Programación y Presupuesto del año 1981 (SPP, 1981), tomando en cuenta las diferentes asociaciones y características físicas de los suelos en el área de estudio.

Regosol

En el área se encontró Regosol eútrico (Re+I+Hh/1), suelos tipo Regosol con asociación secundaria de litosoles y phaeozem háplico en fase textural gruesa. Esta asociación se encuentra en general en el 90% de la microcuenca, desde los 50 msnm hasta la parte superior de la cuenca 1000-1180 msnm, también se localizan al sur de Laguna Lagartero, en la parte baja de la cuenca, en el cerro llamado Peñas Negras. Su fase física es lítica pedregosa.



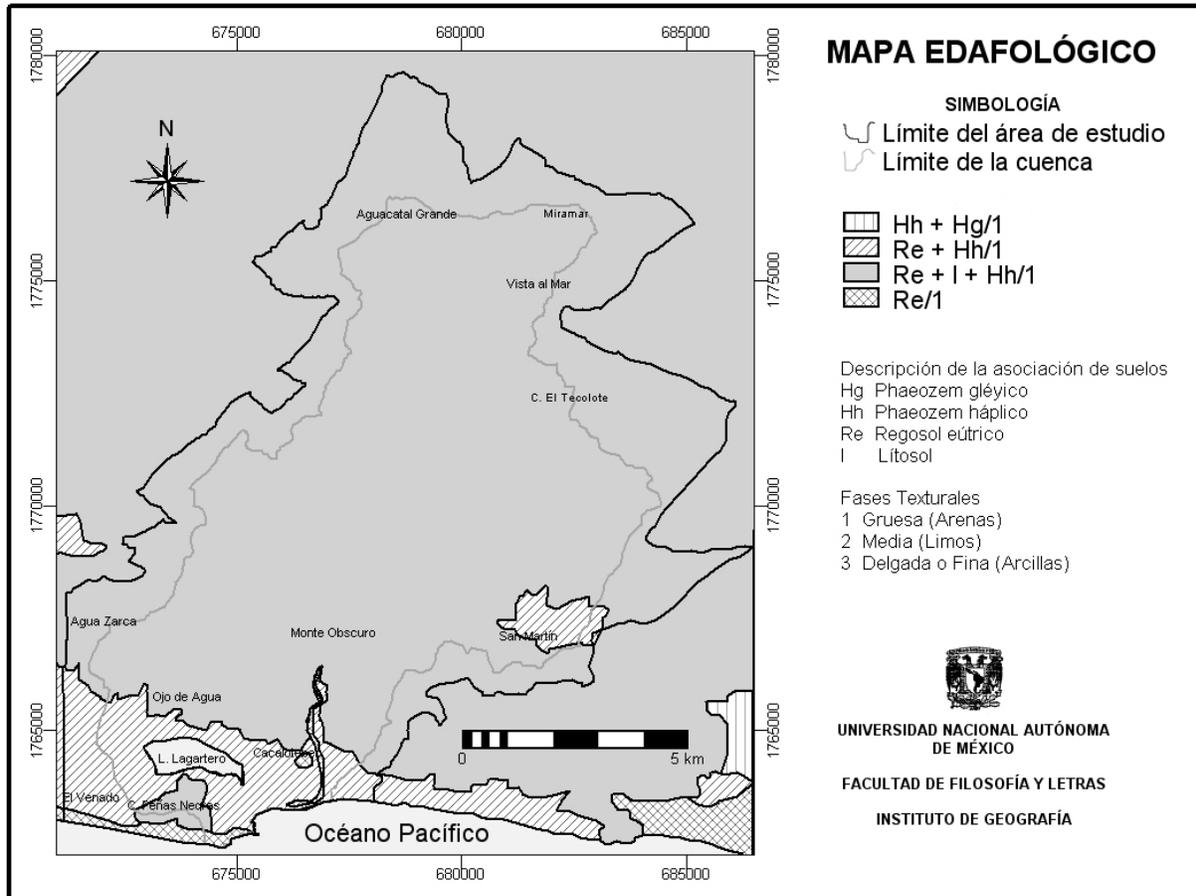


Figura. 1.5 Edafología del área de estudio. Fuente: INEGI (1994).

(Re+Hh/1) Regosol con asociación secundaria de phaeozem háplico en clase textural gruesa. Se localizan en el piedemonte normal y alrededores de la Laguna Lagartero, exceptuando las laderas de montaña baja al sur de la cuenca, también se encuentran alrededor de la población de San Martín.

En la parte suroeste de la cuenca se encuentra (Re/1) Regosol eútrico con clase textural gruesa (arena), esta asociación de suelo se ubica a lo largo de la costa, casi hasta llegar al canal de comunicación de Laguna Lagartero con el mar. También a lo largo del canal de comunicación de la laguna con el mar y en la desembocadura del Río Cacalotepec.

La característica de este suelo es que pertenece al tipo de los suelos azonales, presentándose en distintos climas y tipos de vegetación, son susceptibles a la erosión dependiendo del terreno. Los regosoles no presentan capas distintas, son claros y son muy parecidos a las rocas que los subyacen, cuando no son profundos son suelos ligeramente desarrollados en materiales no consolidados, usualmente arenas, con excepción de un horizonte ócrico, carece de otros horizontes de diagnóstico poco profundo sobre rocas no



calizas. Son suelos derivados de depósitos aluviales recientes, arena de dunas y estrato de fango. Se encuentran por lo general en playas, dunas y casi en todas las laderas de las serranías mexicanas (SPP, 1981).

Descripción de suelos asociados con el Regosol

Litosol. Se distribuyen ampliamente, se encuentran en todos los climas y diversos tipos de vegetación, son suelos sin desarrollo con profundidad menor a 10 cm, sus características son variables según el material que los forma (INEGI, 1994).

Phaeozem. Se localiza en áreas semiáridas hasta templado y tropicales, estos suelos tienen capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes. En condiciones naturales tiene todo tipo de vegetación, se encuentran en terrenos planos y montañosos (op. cit.).

Fluvisoles. Se forman en depósitos aluviales recientes excepto los marinos, se constituyen de material suelto que no forma terrones, son pocos desarrollados, están en todo tipo de clima y cercanos a zonas de acarreo de agua, la vegetación que les sobreyace puede ser de varios tipos (op. cit.).

1.5 Vegetación y Uso del suelo

Se utilizaron las cartas de vegetación y uso del suelo elaboradas por el INEGI (1988 y 1994), como referentes de los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo que se encuentran en el área de estudio (Figura. 1.6). De acuerdo a estas cartas se tienen en el área de estudio las siguientes clases:

Pastizal inducido (Pi)

Se localiza al sur de la cuenca, en los piedemontes y en parte de la planicie costera al suroeste de Laguna Lagartero y en algunas partes altas y medias a partir de los 100 msnm en laderas de montaña y lomeríos. También en la margen sur del Río San Martín.

Los pastizales son aquellas áreas cuya vegetación fisonómicamente dominante es la graminoide, pudiéndose encontrar con otro tipo de vegetación. El pastizal inducido surge cuando se elimina la vegetación original que dominaba, este aparece por el desmonte de la vegetación original, también se establece en áreas agrícolas abandonadas o también en áreas que se incendian frecuentemente, la especie principal que se encuentra en estas condiciones es el zacate tres barbas (INEGI, 1989). Las actividades ganaderas se organizan



incipientemente en este lugar, principalmente al oeste de la laguna, aprovechando la humedad que dejan las corrientes de agua superficiales (Toledo, 1994).

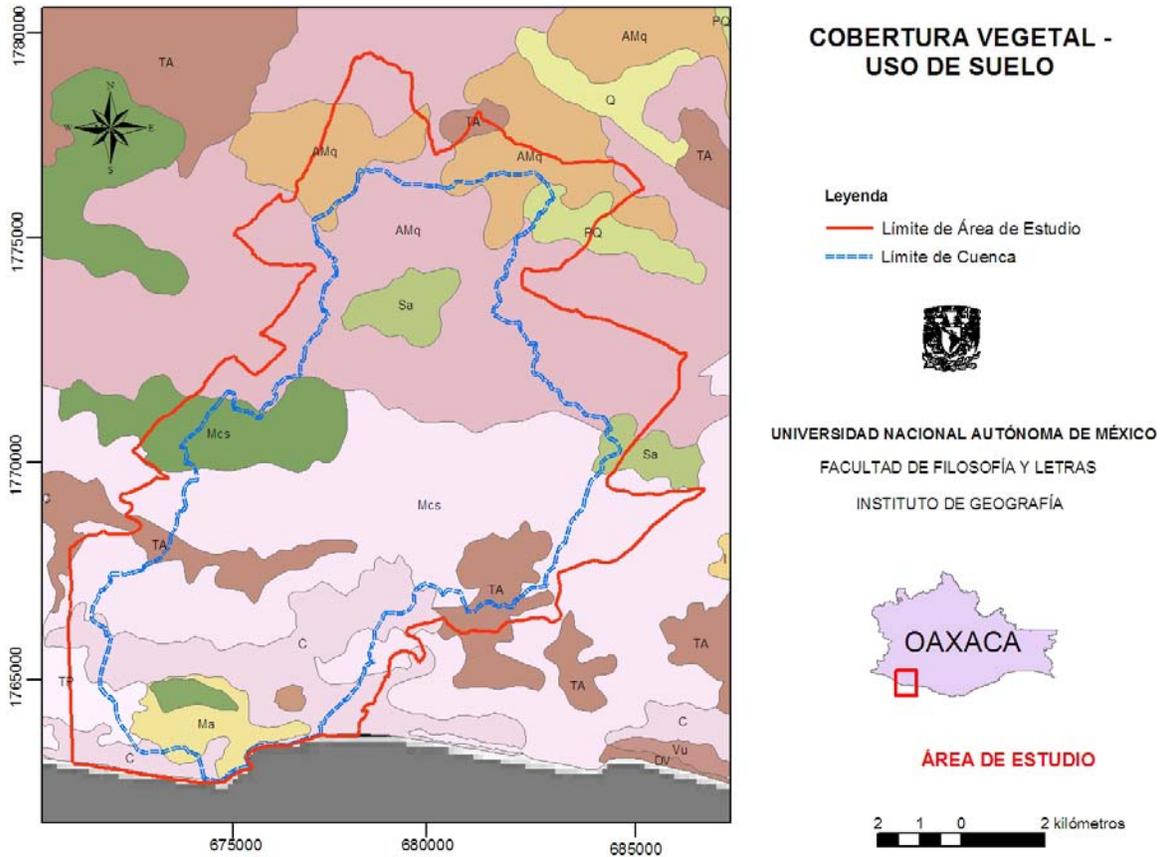


Figura 1.6 Mapa de uso del suelo y vegetación en el área de estudio. C = cultivos, Ma = manglar, TA = agricultura de temporal con cultivos anuales, Mcs = selva mediana subcaducifolia, Sa = sabana, Amq = selva mediana subperenifolia, PQ = bosque de pino-encino (Fuente: INF; INEGI, SEMARNAT, UNAM, 2000)

Vegetación de dunas costeras (Vu)

Hacia el suroeste de la laguna, entre ésta y la línea de costa se encuentra la vegetación de dunas costeras. Esta comunidad vegetal se establece en las dunas a lo largo de la costa, por este motivo pierden su movilidad. Las especies más representativas son: nopal *Opuntia dillenii*, uva marina *Coccoloba spp.*, timbiriche *Bromelia pinguin*, entre otros arbustos (INEGI, 1989).

Manglar (Ma)

Alrededor de la Laguna Lagartero y orillas del canal que comunica a la laguna con el río Cacalotepec, así también con el canal que la comunica con el mar se encuentra este tipo de vegetación. Esta vegetación es arbórea, muy densa con raíces parcialmente aéreas en forma



de zancos, esta vegetación está bajo la influencia de aguas salobres (INEGI, 1989). Los manglares en la laguna están compuestos principalmente por mangle rojo *Rhizophora mangle*, mangle negro *Avicenia germinans* y mangle blanco *Laguncularia racemosa* en diferentes fases de desarrollo, alcanzando en algunos sitios alturas de siete metros (Osuna *et al.*, 1999). Se le da a esta vegetación un uso forestal para construcción de chozas y artes de pesca (Penie *et al.*, 1999).

Sabana (Sa)

Se localiza esta vegetación en la cuenca, de los 500 a los 700 msnm en forma de manchones que se abren en medio de la selva mediana subperennifolia y subcaducifolia. Éstas contienen gramíneas ásperas amacolladas con vegetación arbórea dispersa sobre suelos de drenaje deficiente, la vegetación más común son pastos como *Andropogon bicornis*, *Panicum maximum* entre otros, también algunas ciperáceas como *Cyperus spp.* Las principales especies arbóreas son jicaros *Crescencia alata* y nanches *Byrsonima crassifolia*. El uso más común es pecuario y de extracción forestal para construcción de muebles (INEGI, 1989).

Selva mediana subcaducifolia (Ms)

Se encuentra esta vegetación al sur de Laguna Lagartero, en el lomerío aislado asociado con vegetación secundaria arbustiva. A partir de los 50-100 msnm en la cuenca se encuentra asociada con vegetación arbórea secundaria y en algunas áreas sin perturbación. Este tipo de selva, en el área, tiene alturas de entre 15-30 m, y entre el 50 y 75% de las especies tiran la hoja en la época más seca del año. Una de las especies más representativas en el área es la parota *Enterolobium cyclocarpum*, se le da uso forestal de extracción (INEGI, 1989).

Selva mediana subperennifolia (Mq)

Esta asociación vegetal se encuentra a partir de los 300-400 msnm en la cuenca, asociada con vegetación secundaria arbórea y manchones sin perturbación (INEGI, 1989). Las especies más representativas son cedro rojo *Cedrela odorata*, caoba *Swietenia macrophylla* y bojón *Cordia dodecandra*. Se le da uso forestal extractivo (INEGI, 1989).

Bosque de encino (Pq)

Se localiza en la parte más alta de la cuenca en la parte nororiental, ocupa altitudes de 900 a 1,180 msnm, la especie más representativa es la que indica su nombre. Se le da uso forestal extractivo (INEGI, 1989).

Agricultura de temporal con cultivos permanentes (Tp)

Se localiza junto al poblado de Cacalotepec y orilla occidental de Laguna Lagartero. En este tipo de agricultura el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran dependen del agua de



lluvia, pero que permanecen en el terreno por varios años (INEGI, 1989). Los cultivos de este tipo que se encuentran en el área son limón, coco y plátano (Toledo, 1994).

Agricultura de temporal cultivos anuales (Ta)

Al oeste, junto al poblado de Cacalotepec y Laguna Lagartero se encuentra este tipo de cultivo, también al oeste del poblado de San Martín y en diferentes partes de la cuenca. Se siembra maíz, frijol, y en pequeños casos cebolla y ajonjolí (INEGI, 1989).

1.6 Aspectos socioeconómicos del área de estudio

El área de estudio se localiza entre tres municipios del estado de Oaxaca, estos son; San Juan Lachao, Villa de Tututepec de Melchor Ocampo y Santa Catarina Juquila (Figura 1.7).

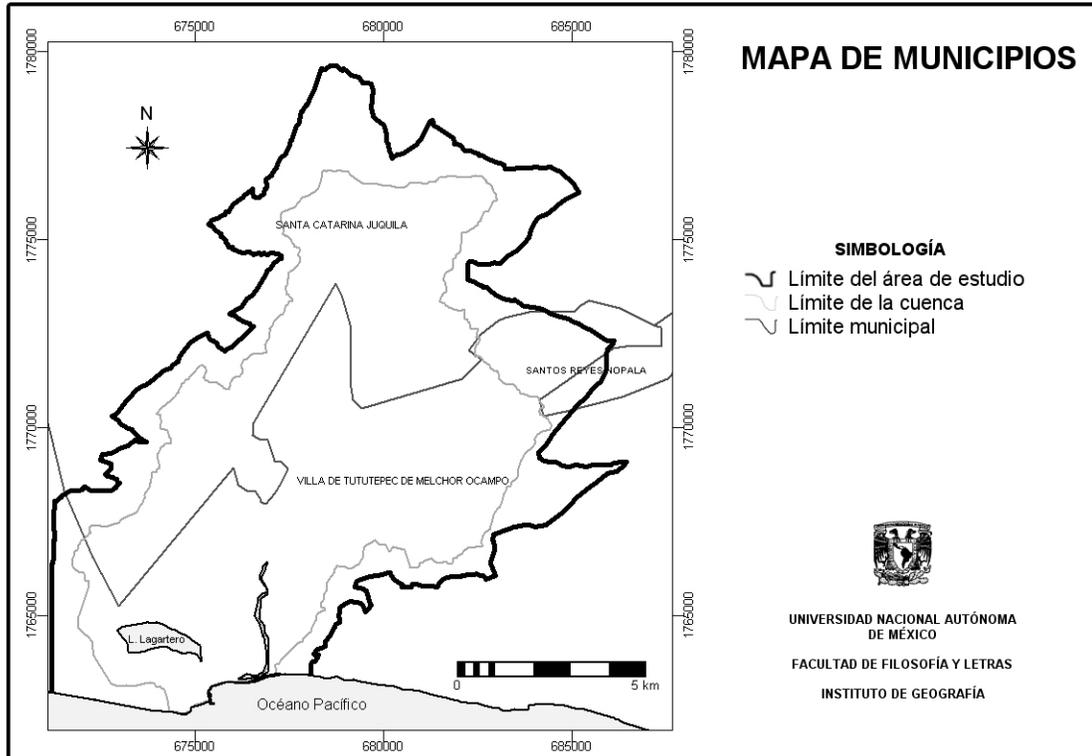


Figura. 1.7 Mapa de municipios del área de estudio. Fuente: INEGI (1994).

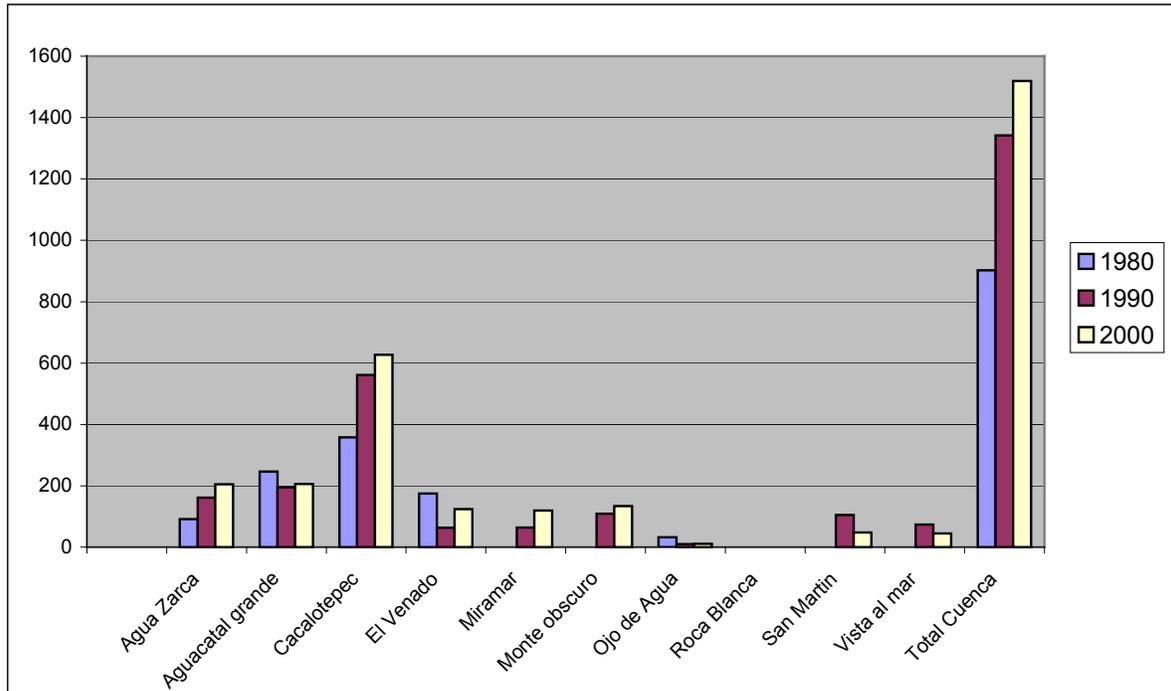
En el año 2000, cuando se realizó el censo, un total de 1519 personas vivían en el área de la cuenca, de ellos 736 son hombres y 783 son mujeres. Estas cifras indican un aumento de 617 habitantes con relación al año 1980, en el que se tenían 902 habitantes. Lo anterior indica un aumento en un tercio de la población que en la actualidad habita en dicha área (Tabla 1.3 y Figura 1.8).



Tabla 1.3 Relación de la población para cada diez años en el área de estudio (Fuente: INEGI, 2000)

POBLACIÓN	1980	1990	2000
Agua Zarca	91	161	205
Aguacatal Grande	246	195	206
Cacalotepec	358	561	627
El Venado	175	63	124
Miramar	---	64	119
Monte Oscuro	---	109	134
Ojo de Agua	32	10	11
San Martín	---	105	48
Vista al Mar	---	74	45
Total Cuenca	902	1342	1519

Figura 1.8 Relación comparativa del crecimiento de la población por localidad (Fuente: INEGI, 2000)



En la región existen bajas tasa de natalidad y altas tasas de mortalidad que le dan un índice de crecimiento por debajo de la media nacional y esto se ve agravado por factores de migración. La concentración demográfica se establece principalmente en las cabeceras municipales (Toledo, 1994).

El núcleo de población más numeroso en el área de estudio se ubica en el poblado de Cacalotepec, contando en el último censo con 627 habitantes, aumentando su población casi al doble de la que tenía en 1980. Las actividades económicas preponderantes se concentran en



su mayoría en la pesca y el campo (INEGI, 2000). Las otras localidades que cuentan con más de doscientos habitantes son Agua Zarca y Aguacatal Grande, en donde la actividad primaria es la agricultura de temporal, es importante notar que el asentamiento de Aguacatal Grande ha sufrido una disminución en su población, de 246 individuos que tenía en 1980, a 206 individuos en el 2000, debido a la falta de fuentes de trabajo, que los obligó a migrar a otros lugares, también se observa este fenómeno en las restantes localidades en el área, con excepción de los poblados de Miramar y Monte Oscuro que si reportan un incremento en su población (op. cit.).

Así la población de Cacalotepec se distingue como la comunidad más representativa y de mayor peso socioeconómico en el área de estudio. La población de Roca Blanca no incluyó datos demográficos a pesar de estar reconocida como poblado en el área (INEGI, 1988 y 1994). La población adulta se divide en tres grupos de edad, los adultos jóvenes de los 19 a los 30 años de edad, representan un 20.7% de la comunidad; los adultos de 31 hasta 50 años conforman otro 20.4% y la población de entre los 51 y 80 años conforman el 8.2% restante (Czitrom, 1999).

En la educación se encuentran diferencias notables entre diferentes generaciones, entre más joven la población, mayor es su nivel educativo, ya que una cuarta parte de la población de 19 a 30 años terminó la secundaria, en contraste con la población adulta de entre 31 y 50 años, donde el 90% no concluyó la secundaria, y todavía hay una diferencia más significativa con la población de entre 51 y 80 años, los cuales solo el 16.3% realizó estudios incompletos de primaria (op. cit.).

En el lugar hay un déficit de fuentes de empleo para los jóvenes con mayores niveles de educación, por lo que tienen que migrar para encontrar mayores oportunidades fuera de sus comunidades. Las personas que se quedan a vivir en el lugar se emplean como pescadores y buzos (45%), realizando también actividades combinadas con el campo o en algún oficio, las mujeres se dedican exclusivamente al hogar, pero un pequeño número de mujeres percibe un salario al trabajar como empleadas o maestras en el lugar (op. cit.).



Capítulo 2. Geología

2.1 Geología regional de la Sierra Madre del Sur

La Sierra Madre del Sur (SMS) es la porción de la república que comprende los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, además forma el parteaguas de las vertientes del Golfo y del Pacífico, donde predominan rocas volcánicas, metamórficas y en menor medida las sedimentarias. Limita al norte con el Sistema Volcánico Transmexicano, así como las entrantes sedimentarias correspondientes a la cuenca Morelos-Guerrero y la cuenca de Tlaxiaco. Al sureste limita con la Sierra de Juárez y al oriente con la provincia del sureste de México (Figura 2.1). La SMS, tiene 1100 km de largo por unos 120 km de ancho, con una superficie aproximada de 130,000 km²; también forma parte del sistema orogénico Antillano (López Ramos, 1983).

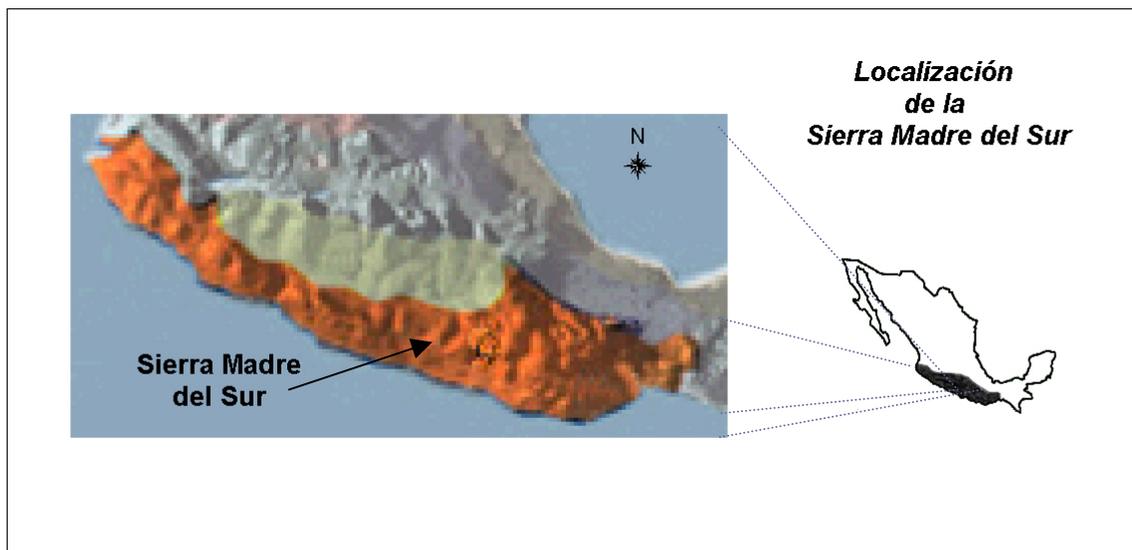


Figura 2.1 La Sierra Madre del Sur en el contexto regional. Fuente: INEGI, 2003

Campa et al. (1983), explican que la formación de la SMS comenzó en el Neógeno-Cuaternario por procesos de subducción, esto se logró por presión de grandes bloques debido al movimiento de grandes placas litosféricas. Mosser (1961), indica que se estructura en cinco grandes bloques montañosos, Álvarez (1961), divide a la SMS, en tres partes; a) Zona montañosa de la costa sudoeste; b) Cuenca del Balsas y c) Cuenca Montañosa de Guerrero-Oaxaca.

Asimismo, tiene diferentes características litológicas, de acuerdo a las regiones que se encuentran en ella, la suroeste está formada por rocas ígneas y metamórficas, también rocas sedimentarias marinas en el portal del Balsas (Colima y Oeste de Michoacán), al sur de



Michoacán y oeste de Guerrero se encuentran grandes batolitos mesozoicos y terciarios que intrusionan a rocas metasedimentarias y metavolcánicas paleozoicas, éstas se encuentran cubiertas por andesitas, al este de Guerrero y al sur de Oaxaca se encuentran esquistos y gneis intrusionados por cuerpos de rocas graníticas (López Ramos, 1983).

Las montañas hacia el Océano Pacífico están limitadas por una planicie costera estrecha, interrumpida en parte por los escarpes y laderas empinadas de la sierra, frecuentemente por un control tectónico. Las planicies son originadas generalmente por las desembocaduras de los ríos, donde la acumulación y los procesos erosivos fluviales y marinos cuaternarios las han formado (Lugo, 1990).

Estudios recientes indican que la provincia magmática de la Sierra Madre del Sur está formada por rocas plutónicas y volcánicas terciarias que afloran al sur del Sistema Volcánico Transmexicano (Figura 2.2).

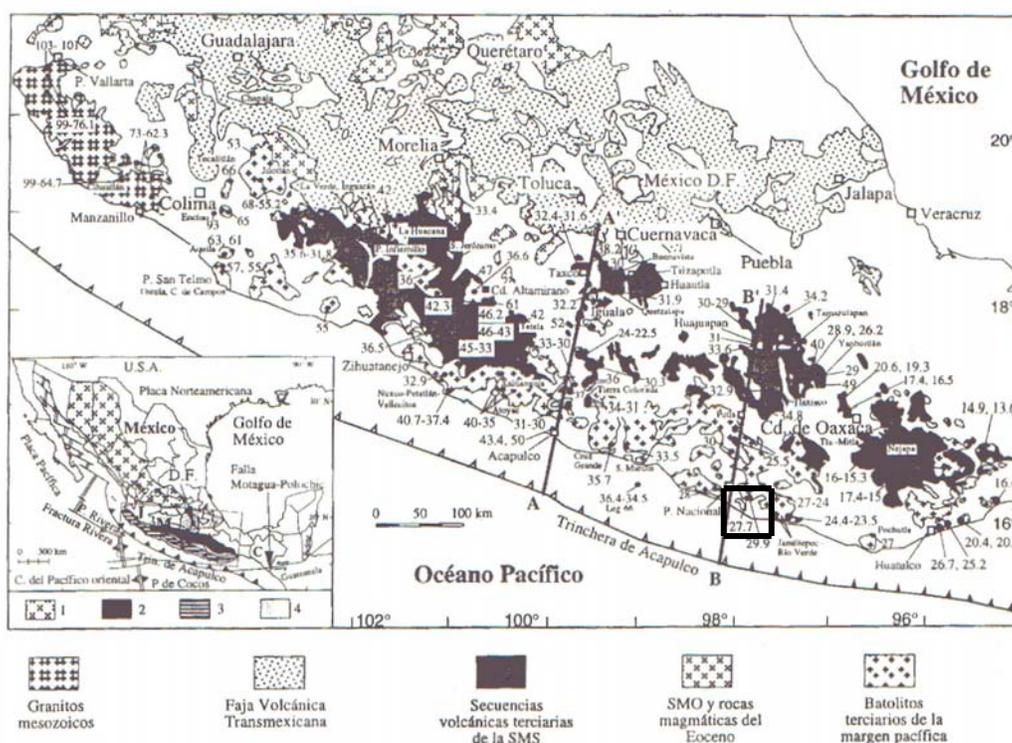


Figura 2.2 Mapa geológico esquemático del sur de México que muestra la distribución de las rocas magmáticas y plutónicas Terciarias, mostrando sus edades isotópicas. Se puede observar el batolito donde se localiza el área de estudio, en la cuenca del río Cacalotepec (en el recuadro inferior derecho). En el recuadro de la parte inferior izquierda se muestran las unidades geológicas contiguas y los estados en los que se encuentran: 1 = Sierra Madre Occidental, 2 = Secuencias volcánicas del Terciario de la SMS, 3 = Batolitos de la margen pacífica, 4 = Faja Volcánica Transmexicana, J = Jalisco, M = Michoacán, G = Guerrero, O = Oaxaca, C = Chiapas, D.F. = Cd. de México (Tomado de Morán *et al.*, 2000)



Geológicamente se tienen características muy particulares, por lo que debido a la formación petrológica única de las rocas magmáticas de la SMS se pueden definir dos cinturones aproximadamente paralelos de orientación general sureste. Uno de ellos está representado por una cadena de plutones menores y batolitos, la cual se extiende a lo largo de la margen continental e indica procesos de levantamiento y erosión que han actuado por lo menos desde el Oligoceno. El otro cinturón está formado por una zona de rocas volcánicas que se extienden de manera discontinua entre la cadena batolítica de la costa y el Sistema Volcánico Transmexicano. La microcuenca del Río Cacalotepec se asienta sobre una parte de este cinturón batolítico formado de rocas de granito-grandiorita que corre paralelo a la costa de Oaxaca, las concentraciones de silicatos y las características petrogénicas expresan claramente que las rocas plutónicas que forman parte del área pertenecen a la serie calciálcica, característica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas, con composiciones amplias que van desde el gabro hasta el granito de feldespato alcalino con mayor abundancia de rocas sobresaturadas en sílice. Las concentraciones de silicatos generalmente varían de 56% a 74% en peso (Morán *et al.*, 2000).

La edad de los plutones que se encuentran a lo largo de la costa varía del Paleoceno al Mioceno temprano, con una tendencia decreciente de edad hacia el SE. En el sector de la margen continental ubicada entre Acapulco, en Guerrero y Huatulco, en Oaxaca, las edades de los intrusivos son más jóvenes que aquellos situados al NW de Acapulco, en la región de Pinotepa Nacional-Huatulco varían de 30 a 27 Ma (Herman, 1994).

Dentro de las rocas plutónicas que forman el cinturón batolítico de las costas de Oaxaca, del que forma parte el batolito Río Grande, donde se localiza el área de estudio, indican una mayor contaminación de la corteza comparado con los plutones emplazados en el occidente del terreno Guerrero. En el caso de los plutones costeros de Oaxaca la relación entre el grado de diferenciación y el tipo e intensidad de la deformación no es muy evidente. Los rasgos estructurales indican que el emplazamiento de los plutones oligocénicos ocurrió en el tiempo en el que se desarrollaba una deformación transtensional asociada al desplazamiento lateral izquierdo del bloque de Chortiz (Ratschbacher *et al.*, 1991; Tolson, 1998).

La extensión y el calentamiento producidos por el desplazamiento del bloque de Chortiz facilitaron el ascenso del magma. La sobreposición del magmatismo de arco a la zona de transtensión a lo largo de la actual margen continental, definió el emplazamiento masivo de estos plutones en una franja con orientación NW-SE (Herman, 1994).

Las causas de la diferenciación de las rocas magmáticas a lo largo de esta franja con respecto al interior continental de Oaxaca, que también contaba con un componente



extensional, no se conocen con precisión, pero el mayor volumen del magmatismo del cinturón batolítico pudo haber jugado un papel importante, permitiendo una mayor fusión de la corteza continental (Morán *et al.*, 2000).

2.2 Estratigrafía

La cuenca del Río Cacalotepec ocupa una unidad litológica de origen plutónico de edad Terciaria, donde afloran rocas de granito-granodiorita y depósitos cuaternarios del Holoceno. A consecuencia del periodo tectónico Cordillerano en el Mesozoico, comienza a surgir el complejo Xolapa, que aunque dentro de la cuenca no afloran sus cuerpos litológicos, éste fue intrusionado por eventos plutónicos graníticos de edad terciaria que hicieron posible la formación litológica en el área de estudio (Morán *et al.*, 2000).

Así, durante el Jurásico se desarrolla la secuencia metamórfica definida por Ortega (1981), como complejo Xolapa, constituido por gneis, esquisto, migmatita e intrusivos ácidos; el cual es de suma importancia, ya que forma parte de los cuatro complejos cristalinos del área; Oaxaqueño, Acatlán y Tierra Caliente (Ortega-Gutiérrez, 1981). El Complejo Xolapa representa la parte infracortical (raíz) y supracortical de arcos magmáticos y cuencas sedimentarias asociadas, que se crearon a consecuencia de la subducción Pacífica principalmente durante la fase mesozoica del periodo tectónico Cordillerano. El Complejo Xolapa tiene una dirección NW, es un cordón de más de 600 km de largo y 50-150 km de ancho, corriendo paralelamente a la costa del Pacífico. Los cuerpos litológicos que lo forman, fueron intrusionados por cuerpos de composición granítica a granodiorítica de edades terciarias. Estos continuos eventos plutónicos se debieron al ascenso de magmas ásperos y la consecuente fusión y migmatización de rocas en el área (Ortega-Gutiérrez, 1981).

En el Cenozoico, más concretamente durante el Terciario, el magmatismo intrusivo se manifestó con la conformación de cuerpos de rocas plutónicas que formaron el batolito Río Grande, donde se asienta la cuenca. Éste constituye una amplia provincia magmática cuya actividad precedió en tiempo al Sistema Volcánico Transmexicano, abarcando desde el Paleoceno al Mioceno, datos geocronológicos indican que el magmatismo de arco del Paleoceno y Eoceno, predominó en las regiones de Michoacán y occidente de Guerrero, y posteriormente emigra hacia el oriente de Guerrero y occidente de Oaxaca. En el Oligoceno Tardío-Mioceno, el arco del magmatismo se desplazó hacia el oriente del estado de Oaxaca. Esta tendencia es clara en forma general en la formación de los plutones localizados a lo largo de las costas de Guerrero y Oaxaca (Morán *et al.*, 2000).



También en el Cenozoico durante el Cuaternario, la sedimentación es de tipo continental, que se caracteriza por el depósito de sedimentos recientes no consolidados producto de procesos exógenos de origen aluvial, litoral y lacustre de material conglomerado (INEGI, 1994).

2.3 Litología

Las características de las rocas en el área de estudio muestran pocas unidades litológicas, que comprenden desde el Terciario al Cuaternario, siendo la mayoría rocas de origen ígneo intrusivo y en menor medida depósitos cuaternarios (Figura 2.3).

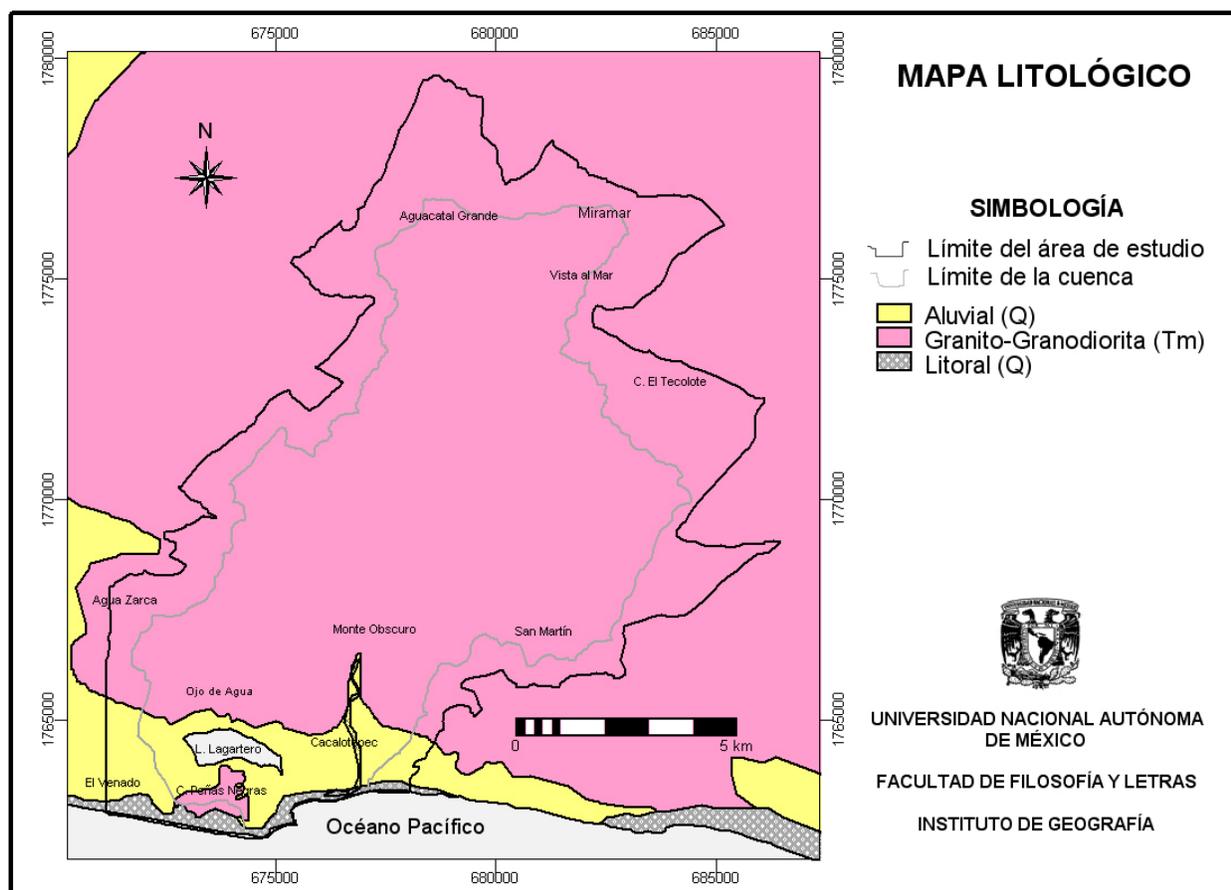


Figura 2.3 Litología en el área de estudio. Tm = Terciario Medio (Mioceno). Q = Cuaternario (Holoceno), con base en INEGI (1994).

Rocas ígneas intrusivas.

Las rocas del Terciario, son rocas ígneas intrusivas del tipo granito y granodiorita; se encuentran al sur de la orilla de Laguna Lagartero en lomeríos bajos menores de 50 m en el



Cerro Peñas Negras, también en el 95% de la cuenca desde cotas de 50 a 1,180 m de altitud en laderas de montaña y lomeríos, abarcando casi toda la cuenca.

Esta unidad está constituida por una asociación de granito y granodiorita. El granito es de color gris claro; constituido por cuarzo, feldespato potásico, oligoclasa, biotita, hornblenda, y pirita con una textura holocristalina granular alotrimórfica (INEGI, 1994). La granodiorita presenta los mismos componentes mineralógicos que el granito, con un aumento en el contenido de plagioclasa, mayor abundancia de materiales ferromagnesianos y de grano grueso. La unidad está afectada por diques aplíticos; moderadamente fracturados e intemperizados en estructura esferoidal. Este batolito intrusión a la secuencia metamórfica y a las calizas del cretácico inferior, que subyace discordantemente a las rocas clásticas del Cuaternario. Por su relación con el evento metamórfico que originó los gneis y migmatita jurásicos del complejo Xolapa, se le asigna el rango Jurásico-Cretácico, para el INEGI (1994), y Terciarias del Mioceno temprano para Herman (1994).

Para los plutones, regionalmente hablando, en la región de Pinotepa Nacional-Huatulco es de 30 a 27 Ma, pero las edades obtenidas por concentrados de hornblendas en las rocas granodioríticas son de 29.9 y 27.7 Ma. El plutón que da origen a la litología en la cuenca de estudio es el llamado Río Grande, formado de granito-granodiorita, con una edad de 23.5 Ma aproximadamente (Herman, 1994).

Depósitos cuaternarios

Depósito cuaternario aluvial. Esta litología se encuentra en la planicie formada por el río Cacalotepec, así como al norte, oriente y poniente de Laguna Lagartero además de la parte suroccidental de la cuenca del Río Cacalotepec. Morfológicamente se presentan en la microcuenca como una planicie aluvial por lo que se distribuye en su mayoría en la parte de la costa. También estos depósitos se encuentran como relleno en los valles íntermontanos, planicies aluviales y márgenes de ríos y arroyos, contando con una morfología de terrazas fluviales acumulativas aproximadamente a los 200 msnm, en el Río Cacalotepec (INEGI, 1994).

Los depósitos aluviales están formados de fragmentos del tamaño de la arcilla, arena, guija y guijarros no consolidados y constituidos generalmente de roca, cuarzo, plagioclasa y micas. La guija y guijarros varían de angulosa a subredondeados y las arenas presentan estratificación cruzada (op. cit.).

Depósitos cuaternarios litorales. Se localizan en la planicie costera, aluvial y fluviodeltaica en el sur de la cuenca. Son sedimentos litorales depositados, no consolidados, por el resultado de la abrasión marina sobre las rocas preexistentes, estos se acumulan por la acción del oleaje, están constituidos principalmente por arena bien clasificada, compuesta por



cuarzo, feldespato, piroxenos, hornblenda, biotita, muscovita, granate, y fragmentos de concha, las formas de los granos varían de subangulosa a subredondeados, teniendo un color gris claro con tonos pardos. La unidad está expuesta en franjas delgadas paralelas a la línea de costa y presentan en el área de estudio una formación incipiente de dunas (INEGI, 1994).

Depósitos cuaternarios lacustres. Son sedimentos depositados en Laguna Lagartero y zonas de inundación, compuestos de arenas con capas de limos y arcillas con materia orgánica de color pardo oscuro. Los sedimentos se encuentran interestratificados en capas laminares y delgadas, y tienen arreglo de estratificación cruzada. Su expresión morfológica es la planicie lagunar (INEGI, 1994), (Figura 2.3).

2.4 Tectónica

El área de estudio se encuentra en una gran unidad morfotectónica llamada Tectónica Sierra Madre del Sur, así nombrada por López Ramos (1983). En el área de la cuenca del río Cacalotepec se encuentra una costa de colisión, consecuencia de que en el margen costero del Pacífico hay movimientos de la corteza terrestre entre la Placa Norteamericana y la Placa de Cocos (Inman y Nordstrom, 1971).

El territorio mexicano ha sido influenciado por el movimiento de diferentes bloques tectónicos, cuatro placas oceánicas tienen movimiento respecto al continente, que son: Pacífica, De Rivera, De Cocos y del Caribe, estas pivotean contra la Placa de Norteamérica, por lo que son cuatro los desplazamientos tectónicos que han afectado el área de estudio, de modo que, en el Terciario y Cuaternario la placa continental de Norteamérica deriva hacia el oeste y este, la Placa del Pacífico en subducción hacia el noreste, y la placa de Cocos con movimiento inicial hacia el noroeste y después hacia el este (Lugo, 1990).

Para Urrutia *et al.* (1987), el proceso de subducción de placas es el control tectónico dominante en el sur de México desde el Jurásico Tardío. Por este proceso de subducción se ha explicado la formación de la SMS en el Neógeno-Cuaternario. La deriva continental es la principal causa en el presente de la estructura quebrada y abrupta a lo largo de la costa del Pacífico y la discontinuidad lateral más grande entre el sureste de México y sus áreas vecinas (De Cserna, 1967).

El declive de la subducción de la Placa de Cocos que penetra debajo de la Placa Norteamericana es de 13°-14°, esto en el área de estudio (Nava *et al.*, 1988). El movimiento de la placa de Cocos con relación a la Placa Norteamericana es norte-noreste en la actualidad, aunque muestra leves desviaciones hacia el este de 4.8 a 7.5 cm por año (Ramírez-Herrera y Urrutia-Fucugauchi, 1999).



2.5 Evolución tectónica regional

A continuación se hace una descripción de la evolución tectónica que ha influido en el modelado del sureste de México y que influye actualmente en el área de estudio. Se ha puesto una mayor atención a partir del Cenozoico y más concretamente durante el Terciario, ya que durante ésta época la tectónica del área dió como resultado la creación de arcos magmáticos, cuyas formas y materiales guardan todavía relación directa con las formas del relieve.

En el Cenozoico, según Mills (1998), en el Paleógeno Temprano, el magmatismo Cretácico produjo un área de debilitamiento entre el Complejo Acatlan y las Ovejas. Entre 60 y 50 Ma, se inició un periodo de actividad ígnea intensa en el área, creándose en su totalidad el Complejo Xolapa, rompiendo las plataformas de carbonato.

Del Eoceno Tardío al Oligoceno Temprano ocurre una aparente migración del magmatismo debido a los cambios del ángulo de subducción y velocidad de la placa Farallón (Mills, 1998). Las rocas plegadas del Mesozoico infieren una etapa compresiva que se inició en el Cenozoico y estuvo asociada al volcanismo oligocénico, una fase de carácter distensiva probablemente pliocuaternaria que es responsable del fracturamiento y fallamiento normal que involucra a todas las unidades de roca, este fracturamiento mayor bordeaba todo el occidente del continente americano. A través del periodo terciario esta área forma dos arcos, los cuales cortaron hacia el interior del sur de México, dividiendo el continente en bloques distintos. La área principal determina la forma de la actual costa del Pacífico mediante el desprendimiento completo de su porción meridional dentro del Océano Pacífico (Mosser, 1961).

Es importante señalar, para entender la configuración actual de la costa sur de Oaxaca, los eventos que se explican a continuación. La placa de Cocos representa un remanente de la Placa Farallón, esta placa evoluciona hacia las placas de Guadalupe, Cocos y Rivera como resultado de su fragmentación gradual y el consecuente establecimiento de nuevos polos de rotación (Mammerickx y Klitgord, 1982). La Placa Farallón sufrió una subducción antes de 55 Ma., después de este tiempo, comienza la fragmentación de la Placa Farallón, produciendo dos más pequeñas de forma triangular, sujetas a un régimen de subducción, la deriva crea una triple confluencia hacia el sur, la Placa Guadalupe se forma por la intersección de estos segmentos (Menard, 1978). La Placa de Cocos empezó a formarse cerca de los 12–17 Ma, como resultado de una subducción de la porción norte de la Placa Guadalupe, que continúa pivoteando contra la Placa de Norteamérica, pero en los últimos millones de años las placas Cocos-Pacífico inician un movimiento de migración hacia el noreste (Minster *et al.*, 1974).



Morán et al. (2000), explica que el truncamiento de la margen continental por el desplazamiento del bloque de Chortis propició que rocas del arco magmático terciario, que durante su formación se encontraban a cierta distancia de la trinchera, quedaran en contacto con la trinchera nueva. Morán-Zenteno *et al.* (1996) y Tolson (1998) han interpretado que el levantamiento de la margen continental recién formada fue inducido por parte en la flexión de la placa litosférica oceánica en la zona de punto triple. Este evento influyó definitivamente en la configuración de la costa sur de México y el norte de Centroamérica, ya que comenzó a tomar su posición actual, ocurriendo desde el oligoceno temprano (>30 Ma) hasta nuestros días (Figura 2.4).

Después de 12.5 Ma, debido al movimiento de subducción de la incipiente Placa de Cocos con la Placa de Norteamérica, comienza a formarse la Trinchera de Acapulco, también durante el Terciario se efectúa un cambio de movimiento de la Placa de Cocos hacia el Noroeste, dando como resultado la formación de la Trinchera Mesoamericana. Durante el periodo del Oligoceno Temprano al Cuaternario (Herman, 1994), relaciona el avance hacia el este de la Placa del Caribe, en este periodo la subducción de la Placa de Cocos siguió una dirección hacia el noroeste con un vector de 13° de azimuth, lo que ocasionó la separación y movimiento de varios subbloques de los complejos Xolapa y Chortis, en consecuencia el magmatismo migró hacia el este. En la etapa comprendida entre el Oligoceno Tardío-Cuaternario, el Complejo Xolapa ocupa más o menos la posición actual (Mills, 1998).

En el Oligoceno, con base en interacciones cinemáticas reconocidas para el sistema de fallas Motagua-Polochic, así como la arquitectura y edad de la fosa de Caimán, se considera que la parte continental del norte de Centroamérica, conocida como Bloque de Chortis, se encontró en algún tiempo frente a las costas del sur de México (Ross y Scotese, 1988). Esto se observa por encontrarse zonas de cizalla izquierda de orientación noroeste, observadas en la región costera de Guerrero y Oaxaca (Tolson, 1998), teniendo como máxima latitud el extremo noroccidental de Chortis la región de Zihuatanejo.

En el Neógeno, entre los 3 a 4 Ma, se completa totalmente la formación de la Placa de Cocos. El vector de subducción de la Placa de Cocos es de 14° de azimuth, perpendicular a la costa en el área de estudio, lo cual forma plutones jóvenes en la costa, hacia el este (Mills, 1998).

Las consecuencias actuales de la tectónica son diversas, indican el análisis morfoestructural de Oaxaca en donde la morfología del relieve indica los elementos tectónico-estructurales, en donde los elementos estructurales principales son domos, bloques tectónicos y lineamientos, se diferencian formas activas, inactivas y reactivadas, estos análisis identificaron



diversos tipos de morfoestructuras en la región, como dislocaciones lineales en el basamento, que probablemente son muy profundas, esas dislocaciones siguen diferentes orientaciones. Cada una de estas estructuras hizo modificaciones específicas en el relieve (Sumin de Portilla *et al.*, 1977).

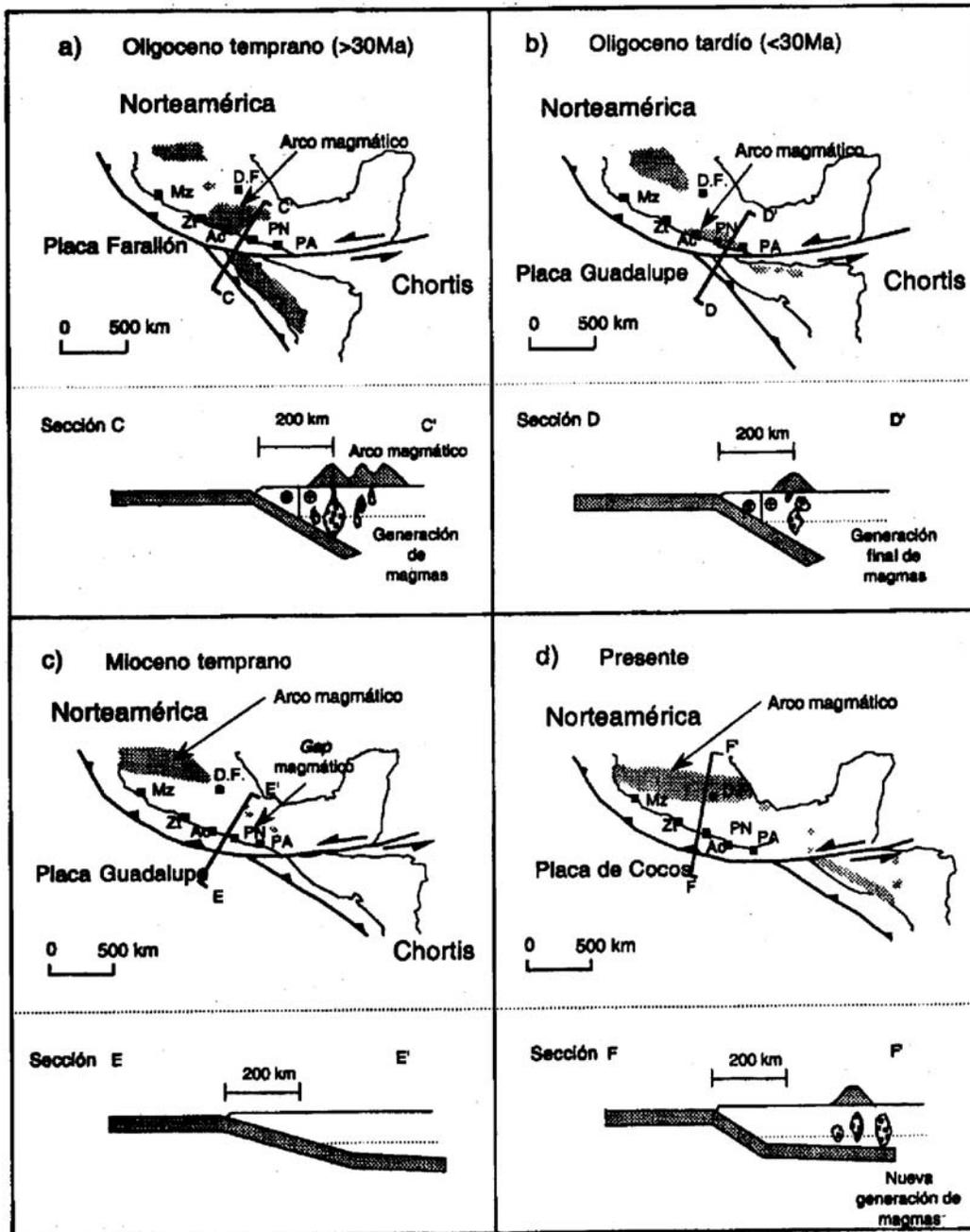


Figura 2.4 Esquema que muestra la evolución de la geometría de la margen continental del sur de México y el magmatismo asociado desde el Oligoceno hasta el presente. M = México D.F., Mz = Manzanillo, Zt = Zihuatanejo, Ac = Acapulco, Pn = Pinotepa Nacional, PA = Puerto Ángel. Tomado de Morán *et al.* (2000).



Es importante señalar las grandes deformaciones en bloques caracterizados por movimientos verticales, los más grandes en el sureste de México y que se localizan principalmente en el sur de Oaxaca. Estos son bloques colgados, elevados y limitados por un sistema ortogonal N-S y E-W, estos bloques forman depresiones o elevaciones y sus lineamientos en ocasiones están ocultos por sedimentos (op. cit.).

La subducción tiene que ver en el área de estudio ya que hay una relación entre la geometría y la geomorfología en la cuenca del Río Cacalotepec, las evidencias geomorfológicas por cuestiones tectónicas se observan en la creación de terrazas fluviales y marinas, marcas de elevación y plataformas marinas elevadas. También la tectónica ha influido en el área en su geomorfología, en donde las elevaciones de origen tectónico muestran las laderas de las montañas facetas triangulares con valles en "V", drenando hacia el mar, con indicadores discretos de fallamientos entre las planicies costeras y las áreas montañosas. Otras características geomórfico-tectónicas son las llanuras deltaicas de acumulación baja, con lagunas costeras, con costas rocosas, acantilados y alternancia de planicies aluviales y playas (Ramírez y Urrutia, 1999). Bodin y Klinger (1986) reportaron un levantamiento tectónico de aproximadamente 18-28 cm sobre el nivel del mar cerca del área de estudio al poniente de Puerto Escondido, esto asociado con los terremotos de 1985.

En el área el elemento tectónico sobresaliente a nivel regional corresponde al complejo Xolapa. Las estructuras más importantes son las fallas y fracturas. Las fallas son normales, tienen un rumbo este-oeste y norte-sur, con longitudes que varían desde dos hasta quince km aproximadamente. En la cuenca las fracturas se agrupan en dos sistemas preferentes, uno con rumbo este-oeste paralelo a la orientación estructural de dicho terreno y el otro sistema norte-sur, donde, sobre la falla principal transcurre el Río Cacalotepec, las longitudes de estas fallas en su mayoría varían desde 5 hasta 15 km aproximadamente (Figura 2.5). Existen áreas con milonitas y cataclasitas como resultado del fallamiento, el cual generalmente afecta a la ortogénesis y rocas intrusivas (INEGI, 1994).



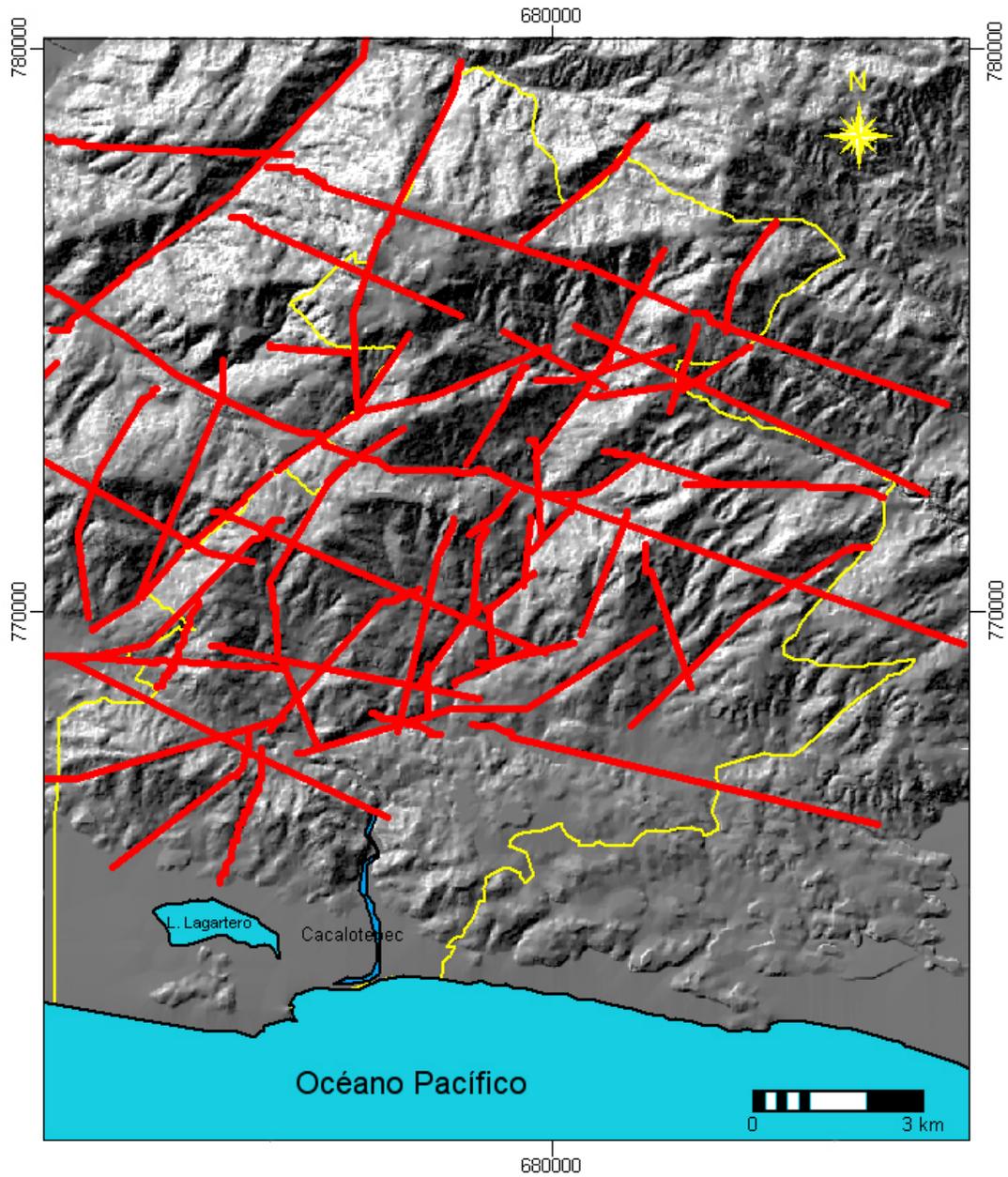


Figura 2.5. Principales alineamientos de fallas y fracturas. Los lineamientos se indican en color rojo y el límite del área de estudio en amarillo.



Capítulo 3. Marco conceptual y teórico-metodológico

3.1. Aspectos teóricos de la Geomorfología

La Geomorfología es la ciencia que tiene por objeto la descripción y explicación del relieve terrestre, continental y submarino (Coque, 1984). Así la Geomorfología es una ciencia compleja que estudia las formas y los procesos, tratando de observar los factores actuales y pasados, pequeños y grandes, externos e internos que inciden en el esculpido de las formas del relieve que observamos actualmente (Miro, 1985). Para Martínez de Pinzón (1982) el relieve terrestre, como parte del espacio geográfico, pertenece al estudio de la Geomorfología.

Tricart y Killian (1982) consideran que la Geomorfología es una de las partes de la Geografía Física, cuyo objeto de estudio son las formas del relieve terrestre y su explicación; también hacen notar que esta disciplina desempeña un papel importante en la dinámica general de los sistemas naturales por los flujos de materia que provocan y las modificaciones de la superficie terrestre que resultan de ellos.

La Geomorfología es una disciplina particularmente morfogenética, ya que su objetivo es comprender cómo las formas de la superficie terrestre se originan y como han evolucionado hasta el presente, constituyéndose así la morfogénesis como una parte esencial de todo estudio geomorfológico (Gutiérrez, 1989).

También se le considera como una ciencia compleja que estudia el relieve de la Tierra, con todas sus formas posibles, constituyéndose como un elemento importante del paisaje (Córdova, 1988). Así, esta ciencia estudia el conjunto de las deformaciones de la superficie terrestre, además estudia las formas del relieve en interacción con los procesos endógenos y exógenos, estableciendo sus propios métodos y cartografía (Lugo, 1988).

Para Coque (1984), la Geomorfología mantiene estrechas relaciones con la geología, la geoquímica, la edafología, la climatología, la hidrología y la biología, constituyéndose en una disciplina de síntesis orientada especialmente hacia el estudio de uno de los componentes esenciales del medio natural.

Existen diversos criterios para evaluar y realizar cartografía geomorfológica, los hay ecológicos, fisiográficos y geológicos, por citar algunos, sin embargo, el presente trabajo se enfoca a la realización de levantamientos geomorfológicos aplicados a cuestiones ambientales, pues el estudio de las características del relieve es básico en el establecimiento de medidas o toma de decisiones para solucionar problemas específicos relacionados con la calidad de vida de sectores de población que necesitan el mejor aprovechamiento de sus recursos.



3.1.1. El enfoque geomorfológico

En los últimos tiempos, el enfoque geomorfológico se ha utilizado en diferentes trabajos y disciplinas que estudian el territorio, ya que su metodología y teoría permiten la delimitación de áreas por medio de levantamientos geomorfológicos analíticos, particularmente de mapeo básico, como la obtención de unidades morfogenéticas, que proporcionan la información geomorfológica detallada del relieve permitiendo posteriormente su representación, que sirve de base para los levantamientos sintéticos, que aportan la expresión ambiental del terreno (Verstappen, 1991).

Así, las características y distribución espacial de los componentes del área de estudio se adquieren a partir de un enfoque geomorfológico, ya que una cuenca es un sistema complejo, constituido por un conjunto de unidades del relieve que interactúan entre sí, y que pueden ser delimitados y diferenciados con técnicas de percepción remota (Verstappen, 1983).

3.1.2. Concepto del mapeo geomorfológico analítico

Los mapas constituyen una valiosa herramienta para representar hechos en el espacio, específicamente los geomorfológicos que son modelos gráficos que representan objetivamente el relieve a partir de ciertos criterios y metodologías empleadas de acuerdo con las particularidades de este. Además de ser muy útiles para resolver problemas en el terreno, también pueden utilizarse para la evaluación y planeación del territorio, así como para un mejor aprovechamiento y conservación de los recursos naturales; además los mapas geomorfológicos son documentos científicos que sirven como fuente de investigación cartográfica para estudios ambientales, ya que se pueden aplicar en la solución de problemas específicos (Verstappen, 1983).

Corberó *et al.* (1993), menciona que el mapa geomorfológico es una representación reducida y simbólica de la superficie terrestre y la escala depende de los objetivos a alcanzar; para Córdova (1988), en la actualidad todavía existe una gran cantidad de elementos geomorfológicos que se deben estudiar.

De acuerdo a lo anterior y haciendo hincapié en que hay distintos tipos de mapas geomorfológicos, se distinguen los mapeos analíticos del relieve. El mapa morfogenético es una combinación de los informes geológicos y topográficos de un determinado territorio, donde este sirve como fuente de información cartográfica, ayudando para estudios ambientales en la solución de problemas (Lugo, 1988).

En el mapeo geomorfológico analítico es de especial interés los diferentes métodos para cartografiar a las unidades del relieve para los fines que se persiguen en la investigación de cuencas hidrográficas. En los estudios del relieve se ha cobrado especial interés en las técnicas



para la fragmentación del relieve y su posterior levantamiento y mapeo. Debido a que el levantamiento sirve para entender los elementos geomorfológicos que componen un espacio determinado y también sirve para evaluar las aptitudes de uso del suelo.

Para cumplir con las metas del estudio, al analizar los cambios del uso del suelo con relación a las unidades morfogenéticas, un método adecuado es el “Sistema de Levantamiento Geomorfológico” del ITC, de los Países Bajos (Verstappen y van Zuidam, 1991). Una de sus principales virtudes es que permite delimitar unidades por medio de levantamientos geomorfológicos analíticos. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, establece que el propósito de un levantamiento es proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno, los procesos geomorfológicos y los fenómenos naturales conexos (op. cit.).

Estos autores proponen esta metodología que es aplicable a todas las escalas de mapeo, ya que el método se basa en la clasificación genética. Así este método distingue tres tipos de levantamientos, que dan origen a tres clases diferentes de mapas, que son los siguientes:

- 1) Mapas geomorfológicos analíticos, son el resultado de estudios geomorfológicos monodisciplinarios, y proporcionan información sobre las formas del relieve y sus procesos, donde se destaca a la morfogénesis y a la morfocronología, pero también incluyen datos sobre litología y morfoestructuras.
- 2) Mapas geomorfológicos sintéticos, son el producto de estudios vinculados a las relaciones ambientales entre la expresión del terreno y otros factores del paisaje, tales como clima, relieve, litología, suelos, hidrología y vegetación. Son estudios multidisciplinarios.
- 3) Mapas geomorfológicos pragmáticos, son el resultado de las investigaciones geomorfológicas que están guiadas desde el principio por un propósito específico, frecuentemente en el contexto de un proyecto de planificación del desarrollo, tanto el contenido del mapa como la leyenda es diseñada usando datos analíticos y sintéticos (op. cit.).

En esta tesis, el mapa base es el analítico sin tener necesidad, en razón de los objetivos planteados, de llegar a los sintéticos y pragmáticos. Para la representación cartográfica del levantamiento se tomaron los aspectos más importantes de la metodología del ITC.

La información morfogenética contenida en los mapas analíticos es la base del sistema. Aquí se encuentra la contribución geomorfológica principal en los levantamientos multidisciplinarios para el desarrollo. Las grandes unidades morfogenéticas, identificadas gracias a los levantamientos geomorfológicos analíticos, coinciden normalmente con las unidades del terreno de los levantamientos geomorfológicos sintéticos y con las unidades de los



levantamientos geomorfológicos pragmáticos.

Generalmente se utilizan símbolos areales coloreados, pero para simplificar la producción del mapa, la información esencial debe ser representada mediante símbolos lineales con el menor número de colores posibles. Este sistema está concebido para aplicarse en el mapeo a todas las escalas, la generalización conceptual puede llevar a resaltar las grandes estructuras en los mapas de pequeña y mediana escalas, mientras que los procesos y las formas menores del terreno se destacan en mapas detallados (op. cit.).

El levantamiento geomorfológico se apoyó en las técnicas de fotointerpretación de fotografías aéreas y el análisis del terreno de van Zuidam (1985-1986). Otros criterios a tomar en cuenta para la fotointerpretación, fueron la diferenciación de pisos altitudinales, cambios en la pendiente, diferencias en los tonos de gris que identifican procesos que ocurren dentro de cada unidad morfogénica, además de los distintos usos del suelo identificados en las fotografías aéreas.

Así, la construcción del mapa geomorfológico se basó, para la delimitación de las unidades morfogénicas, en el principio de homogeneidad relativa en cuatro aspectos básicos del relieve: 1) Origen general y específico del relieve; 2) tipos generales y específicos del relieve (planicies, lomeríos, piedemontes y laderas de montaña; 3) litología, temporalidad y edad de las rocas y; 4) geometría del relieve, aspectos morfométricos por clases del relieve por unidad (Tapia-Varela y López-Blanco, 2002).

3.2. Aspectos teóricos relacionados con el uso del suelo / cobertura vegetal

El uso del suelo implica una ocupación de un territorio y una organización del mismo, una selección de actividades y de fines, impuestas muchas veces por las condiciones naturales del medio (Mensua, 1965). Bocco *et al.* (2001), dicen que el concepto de cobertura describe los objetos o vegetación natural que se distribuyen sobre un territorio determinado. El uso del suelo en cambio se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan o desarrollaron sobre una cobertura.

El uso del suelo se conceptualiza también a los aspectos espaciales de todas las actividades humanas realizadas sobre un territorio y la manera en que se adapta a las necesidades del hombre. El uso y cobertura del suelo los podemos definir por separado. La ocupación o cubierta son los materiales presentes sobre la superficie de la tierra y el concepto uso del suelo se relaciona con las actividades humanas sobre un espacio, a veces ambos conceptos parecen iguales, en otras ocasiones son totalmente diferentes (Alier, 1996).

Desde que el género humano se estableció en alguna región, se vió en la necesidad de



hacer uso de los recursos naturales que lo rodean, así comenzó a ejercer una influencia sobre ellos. En primer lugar, determinó áreas para asentamientos humanos, actividades agrícolas y ganaderas, para la obtención de alimentos. Con el tiempo fueron apareciendo nuevas necesidades en la sociedad, como aquellas relacionadas con la industria (INEGI, 1989).

Así se van modificando recursos, suprimiéndose la vegetación natural para dedicar los suelos a la agricultura, la que puede tener diferentes modalidades según las características de la población que vive en cada lugar. También se establecen actividades ganaderas con base a la vegetación natural o cultivada, en este caso también se modifica la vegetación original para la ganadería. En otras ocasiones se realizan aprovechamientos forestales, llegando muchas veces a consolidar importantes industrias para utilizar esos recursos (op. cit.).

La vegetación natural puede tener otras muchas funciones, tanto desde el punto de vista económico, como ecológico, motivo por el cual debe ser estudiada, ya que el uso desmedido de los recursos vegetales y el manejo inadecuado del suelo, destinados para la agricultura u otras actividades, ocasionan graves problemas de erosión o rompimientos del equilibrio ambiental, donde los daños pueden ser irreversibles (op. cit.).

Aunque los factores antes mencionados no son los únicos, también intervienen en los ecosistemas otras causas que provocan cambios. Así, los cambios de la cobertura vegetal y del uso de suelo sin control, provocan la más grande pérdida de diversidad y abundancia biológica de las especies terrestres (Rao y Pant, 2001).

El empobrecimiento del ambiente muchas veces encuentra vínculos con la pobreza rural, diversos estudios reconocen la pérdida de cobertura vegetal como problemas en el ámbito regional y global. Los factores ambientales, económicos y sociales, aunados a las políticas de manejo de los recursos naturales son las principales causas que también influyen en los cambios de uso de suelo-cobertura vegetal; asimismo las demandas de madera para combustible, pastura, tierras para sembrar, conducen a estos cambios, además de la creación de caminos que provocan una mayor comercialización de productos agrícolas (op. cit.).

Los cambios en el uso del suelo también tienen fuertes implicaciones biológicas en los suelos, pues los nutrientes contenidos en el substrato del suelo y su capacidad de retención de agua constituyen un importante recurso para el crecimiento de los cultivos agrícolas y de la vegetación natural. Los procesos de degradación del suelo implican una disminución potencial de la productividad del mismo, acelerando la erosión y por consiguiente la calidad y diversidad de la vegetación natural (op. cit.).

Los casos más claros de cambio de uso del suelo son la deforestación en las regiones tropicales, como es el caso del sur del país. Se estima que el cambio de la cobertura vegetal y de



uso del suelo a nivel global, ha sido en promedio de 15.5 millones de hectáreas por año, lo cual da un 0.8% anual, aproximadamente; 50% del cambio ocurre en Latinoamérica (op. cit.). Houghton (1994), estima que Latinoamérica sufre un 32% de deforestación en sus áreas tropicales.

En el país los estudios sobre la cobertura y el uso del suelo se centran en las consecuencias que provocan los cambios, así estos factores lo que provocan son: 1) Conversión de la cobertura del terreno; 2) degradación del terreno; y 3) intensificación en el uso agrícola. Estos factores influyen directamente en los problemas ambientales de las cuencas hidrográficas a todas las escalas (Bocco, 2001).

Las clases del uso del suelo definidas en el área de estudio, se basaron en las clases propuestas por el INEGI (1989), complementadas y reagrupadas con criterios propios. A continuación se describen los diferentes tipos de cobertura vegetal y usos del suelo en el área de estudio. En el uso de suelo agrícola se incluyen los espacios que el hombre dedica a actividades agrícolas. La clasificación se hace tomando en cuenta la disponibilidad de agua para los cultivos y considerando también si la agricultura es de temporal, permanente o nómada. Después se analiza el tipo de cultivo de acuerdo con su duración en el terreno, si es permanente, semipermanente y anual (INEGI, 1989).

Los pastizales se incluyen en aquellas áreas cuya vegetación fisonómicamente son las gramíneas, pudiéndose encontrar asociada con otros tipos de vegetación. El manglar es la vegetación arbórea densa, con altura de hasta 25 metros y raíces parcialmente aéreas en forma de zancos, que crece en zonas bajas y fangosas de las costas, en esteros, lagunas y estuarios de ríos, siempre bajo la influencia de agua salobre (op. cit.).

La vegetación de dunas costeras es la comunidad vegetal que se establece en dunas localizadas a lo largo de la costa, por lo que las dunas pierden su movilidad. El bosque se describe como una vegetación arbórea en las regiones templadas y semifrias con diferentes grados de humedad, por lo común con poca variedad de especies. Se considera que el bosque es natural cuando depende del clima y del suelo de una región sin haber influido otros factores para su establecimiento (INEGI, 1989).

Las selvas son las comunidades formadas por vegetación arbórea, generalmente se encuentran localizadas en climas cálido-húmedos y subhúmedos y están compuestas por una mezcla de un gran número de especies, muchas de las cuales presentan bejucos, lianas y plantas epífitas, frecuentemente con árboles espinosos entre los dominantes (op. cit.).

La cobertura vegetal se clasifica de acuerdo a su altura y la persistencia o caducidad de la hoja durante la época más seca del año.



Clasificación por altura en metros de los estratos de la vegetación:

- a) Selva Baja, entre 4-5 m.
- b) Selva Mediana, de 15 a 30 m.
- c) Selva Alta, mayor a 30 m.

Clasificación por persistencia y duración de la hoja:

- a) Caducifolia. Más del 75% de los árboles tiran las hojas en la época más seca del año. Se distribuye generalmente sobre laderas de los cerros.
- b) Caducifolia espinosa. Semejante a la anterior, pero con árboles dominantes espinosos. Comúnmente se le encuentra sobre suelos con drenaje deficiente.
- c) Subcaducifolia. Entre el 50% y el 75% de las especies tiran la hoja en la época más seca del año.
- d) Subperennifolia. En la época más seca del año entre el 25% y 50% de los árboles tiran hojas.
- e) Perennifolias. Más del 75% de las especies conservan la hoja todo el año.
- f) Selva de galería. Selva que se desarrolla en condiciones de humedad, a lo largo de ríos y arroyos (INEGI, 1989).

3.2.1. Importancia del estudio del uso del suelo y su cartografía

La información sobre la ocupación del suelo se considera una variable fundamental en los estudios territoriales, pues mediante su inventario y cartografía se obtienen datos sobre los recursos naturales y el impacto de la actividad humana sobre el medio (INEGI, 1989). Este tipo de información es óptima cuando se dispone de la posibilidad de actualización en un periodo de tiempo relativamente corto al poder obtener conclusiones sobre la evolución constatada de la cubierta y uso de suelo (López, 1989). Conocer cómo se está utilizando cada unidad de territorio o qué recursos guarda en su estado actual, es de vital importancia para la planeación y el desarrollo de los recursos naturales (INEGI, 1989).

Por lo general la medición de los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo se hacen en documentos creados con ayuda de tecnología de percepción remota, como fotografías aéreas, imágenes de satélite y cartografía de cobertura del suelo (op. cit.).

Los datos cuantitativos sobre los cambios del uso del suelo y el por qué de su cambio, son aun incompletos en varias cuencas en México, sobre todo en las cuencas costeras. Por eso es necesario su estudio y cartografía para entender el impacto que ocasionan estos cambios, lo cual significa estudiar los factores ambientales y socioeconómicos que influyen en los distintos usos del suelo en un lapso determinado.



3.2.2. Análisis multitemporal y fotointerpretación de las clases del uso del suelo

El objetivo de esta parte del estudio radicó en la contribución para la comprensión de los procesos del cambio del uso del suelo/cobertura vegetal en un estudio multitemporal a nivel microcuenca. En este tenor se formula una manera de cuantificación y explicación de los cambios en el uso del suelo.

Las técnicas de análisis multitemporal a partir de la interpretación de fotografías aéreas en el seguimiento de los cambios del uso del suelo ofrecen una ayuda de suma utilidad, esta información permite verificar los cambios ocurridos en un lapso y cartografiarlos para su estudio, que sirvan para reducir los efectos negativos de esta práctica (Chuvienco *et al.*, 2002).

Por tal motivo se hace énfasis en la descripción del método, así el estudio se apoyó en una metodología adaptada al análisis multitemporal en un periodo de veinte años (1980-2000), para el seguimiento del proceso de los cambios del uso del suelo/cobertura vegetal en la cuenca de captación de Laguna Lagartero.

El método no es estrictamente para los usos del suelo y sus cambios, sino realiza estudios de análisis del terreno y su clasificación, así los pasos a seguir fueron una clasificación precisa en las fotografías aéreas del estudio del uso del suelo y sus cambios, que se explican a continuación:

1) Interpretación visual. La fotointerpretación con estereoscopio de pares de fotos aéreas, sirvió para delimitar los polígonos de cada clase cartografiada del uso del suelo / cobertura vegetal (van Zuidam, 1985-1986). Para la fotointerpretación, las características o parámetros más importantes debieron ser observadas para delimitar las distintas clases del uso del suelo de las fotografías aéreas, así, el patrón o arreglo espacial de los elementos pudieron observarse en el orden de los rasgos en las fotos aéreas, ya sea en secuencias repetidas o en distintos lineamientos dentro del área fotointerpretada. Así el patrón o arreglo que siguen los árboles, diferencian un paisaje natural de uno cultivado o modificado (op. cit.).

2) Indicadores de vegetación. Es necesaria la experiencia propia al fotointerpretar, como consulta de cartografía temática de uso del suelo y cobertura vegetal para tener referencia de lo que se está cartografiando, así también con el objetivo de una mejor clasificación se utilizó información para la definición de algunas clases no claramente diferenciadas, en cuya delimitación se tiene que considerar la variable de altitud y posición geográfica, utilizando como ejemplo las curvas de nivel para referir la altitud con relación a los límites entre clases del uso del suelo delimitadas (op. cit.).



3.3 Conceptos relacionados con las cuencas hidrográficas

La cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y drena a una red de corrientes que se conectan a una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida (CCUM, 2003). Para el INE (Instituto Nacional de Ecología, 2003) una cuenca es aquella unidad territorial de superficie variable, definida por cimas divisorias de aguas que drenan a una salida común. En ella suceden procesos biológicos, económicos, naturales y sociales muy dinámicos e interrelacionados entre sí.

Para León y Pérez (1998), desde un enfoque global, se entiende a la cuenca hidrográfica como un sistema social, económico, físico y biológico. La cuenca como una unidad geográfica constituye un ámbito biofísico ideal para caracterizar, diagnosticar, evaluar y planificar el uso de los recursos (op. cit.). Para Dourojeanni (1994), considera a la cuenca por su propia naturaleza, esencialmente por los límites de las áreas de escurrimiento de las aguas superficiales y subterráneas que convergen hacia un mismo punto o cauce y cuyas modificaciones se deben a la acción o interacción de los subsistemas sociales y económicos que encierran.

Desde un punto de vista geomorfológico, la cuenca se define como una porción de tierra firme con un sistema centrípeto de laderas y corrientes fluviales, está delimitada por divisorias desde las cuales escurren aguas superficiales o subterráneas hacia un río principal, así la cabecera de una cuenca montañosa presenta un canal con afluentes pequeños que escurren a la zona de emisión. Las cuencas pueden ser exorreicas con un desagüe que permite que las aguas escurren y sean expulsadas de la cuenca, y las endorreicas, sin desagüe (Lugo, 1989) (Figura 3.1).

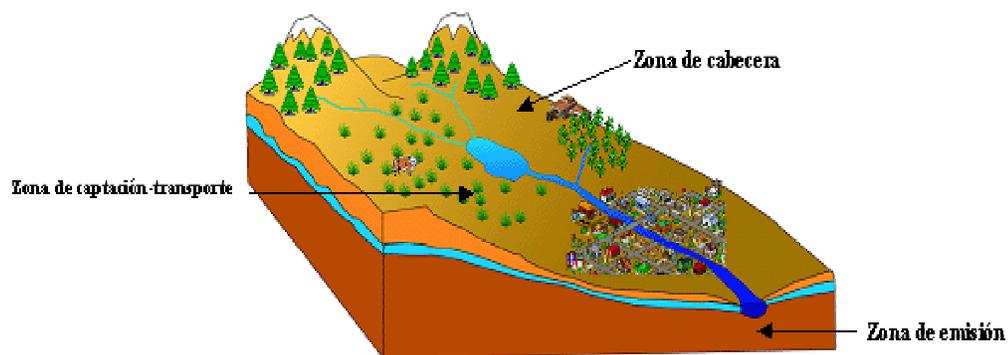


Figura 3.1 Las cuencas hidrográficas se subdividen en tres zonas de funcionamiento hídrico principales: 1. Zona de cabecera; 2. Zona de transporte; y 3. Zona de emisión. División que se realiza con relación al relieve topográfico, esto permite relacionar como la parte de la zona de cabecera incide en la zona de emisión. Si se deforesta la parte alta de la cuenca, afecta las partes bajas, o si se aplican agroquímicos y plaguicidas en la cabecera, estos contaminan las aguas en la zona de emisión de la cuenca. Fuente: INE (2003).



Para entender el concepto de una cuenca hidrográfica, se necesita comprender las diferentes maneras en que se divide a partir de la concentración de la red de drenaje, la cual indica unidades menores como subcuencas y microcuencas. La primera hace referencia a toda área que deriva su drenaje directamente a la corriente principal de la subcuenca, así varias microcuencas pueden conformar una subcuenca (León y Pérez, 1998).

Existen diferentes criterios relacionados al tamaño de la cuenca y a su vez con el orden del drenaje y tamaño del área que ocupan. Así en el caso de la Laguna Lagartero, su cuenca de captación se clasifica como una cuenca costera (Ferrer, 1978) (Fig.3.2).



Figura 3.2 Diferentes tipos de cuencas. En la letra C, el tipo de cuenca al que pertenece el Río Cacalotepec en el área de estudio. Fuente: CCUM (2003).

3.4 Aspectos relacionados con lagunas costeras

Las lagunas costeras son cuerpos de agua que se forman en los litorales, que en muchos casos tienen comunicación permanente o intermitente con el océano, ya que están separadas por una barrera de arena del mar y son el resultado de dos masas hídricas con distintas características que se llama estuarinidad (Contreras, 1993). Ya que se mezclan agua dulce continental y agua salada oceánica, esto causa fenómenos en el comportamiento físico, biológico, ecológico y de otra índole en estos cuerpos acuáticos. Las lagunas costeras tienen diferencias importantes con lo que se define como un estuario, en este último el eje o línea se dispone en forma perpendicular a la costa (valle de río inundado), y en la laguna costera el eje principal es paralelo a la costa. Así las lagunas costeras empezaron a formarse hace aproximadamente 18,000 años, durante el Pleistoceno, la elevación del nivel del mar provocó que el mar rellenara depresiones costeras, valles y deltas de los ríos, creando la línea de costa actual (Contreras, 1993).

Las lagunas costeras mexicanas se encuentran distribuidas a lo largo de ambos litorales y



en diferentes tamaños. México tiene aproximadamente 130 sistemas lagunares que muestran una variedad de hábitats. En diversos textos se ha calculado el área total de las lagunas costeras mexicanas en que se utilizaron cartas 1:500,000, teniéndose un área aproximada de 12,555 km². Estas son comunidades bióticamente distintas ya que tienen diferentes grados de madurez, las comunidades más maduras tienen una relación de baja productividad / biomasa. También presentan una intensa agregación y multiplicación de numerosos nichos ecológicos, con aumento de índices de diversidad debido a menor intensidad de fluctuaciones ambientales (Margalef, 1962).

Las lagunas costeras, desde un punto de vista geológico, tienden a azolverse y desaparecer en forma de turberas. Por lo anterior, para que permanezcan se tiene que conservar la comunicación del canal con el mar a través de la barrera de arena, que también depende de la variación y cuña de las mareas, fuerza y tamaño de las olas, corrientes litorales, acarreo eólico y flujo fluvial. Por eso en México es primordial el conocimiento de la dinámica de las lagunas costeras, ya que se ha demostrado que ellas son recursos naturales de gran valor ecológico, productivo, económico y social, pues son lugares de pesca intensiva, medio de vida de pescadores y sus familias, proveen de variadas especies como el camarón, ostión, peces, jaibas, almejas, langostinos; es decir, este hábitat tiene una alta productividad de especies comerciales (Contreras, 1993).

3.5 Recopilación, procesamiento, análisis bibliográfico y cartográfico de la información

La investigación constó de tres fases para la delimitación de las unidades morfogenéticas y la obtención de las distintas clases del uso del suelo. Se realizó en tres etapas, que fueron: 1) recopilación de la información; 2) interpretación, procesamiento y análisis; 3) obtención de resultados y discusión de los efectos ambientales en el cuerpo de agua por los resultados obtenidos.

El método basado en el manejo y análisis de la información, se simplifica en el diagrama de flujo (Figura 3. 3).

3.5.1 Recopilación de la información

La recopilación de información, fue básicamente bibliográfica y cartográfica, las cuales proporcionaron una visión global preliminar del área de estudio. En primer lugar se seleccionó el material que sería útil en el estudio, se recurrió a la consulta de bibliografía geomorfológica y del uso del suelo realizados en el área de estudio a escalas regionales y locales, así también de trabajos que abarcaron lugares adyacentes a la microcuenca del río Cacalotepec.



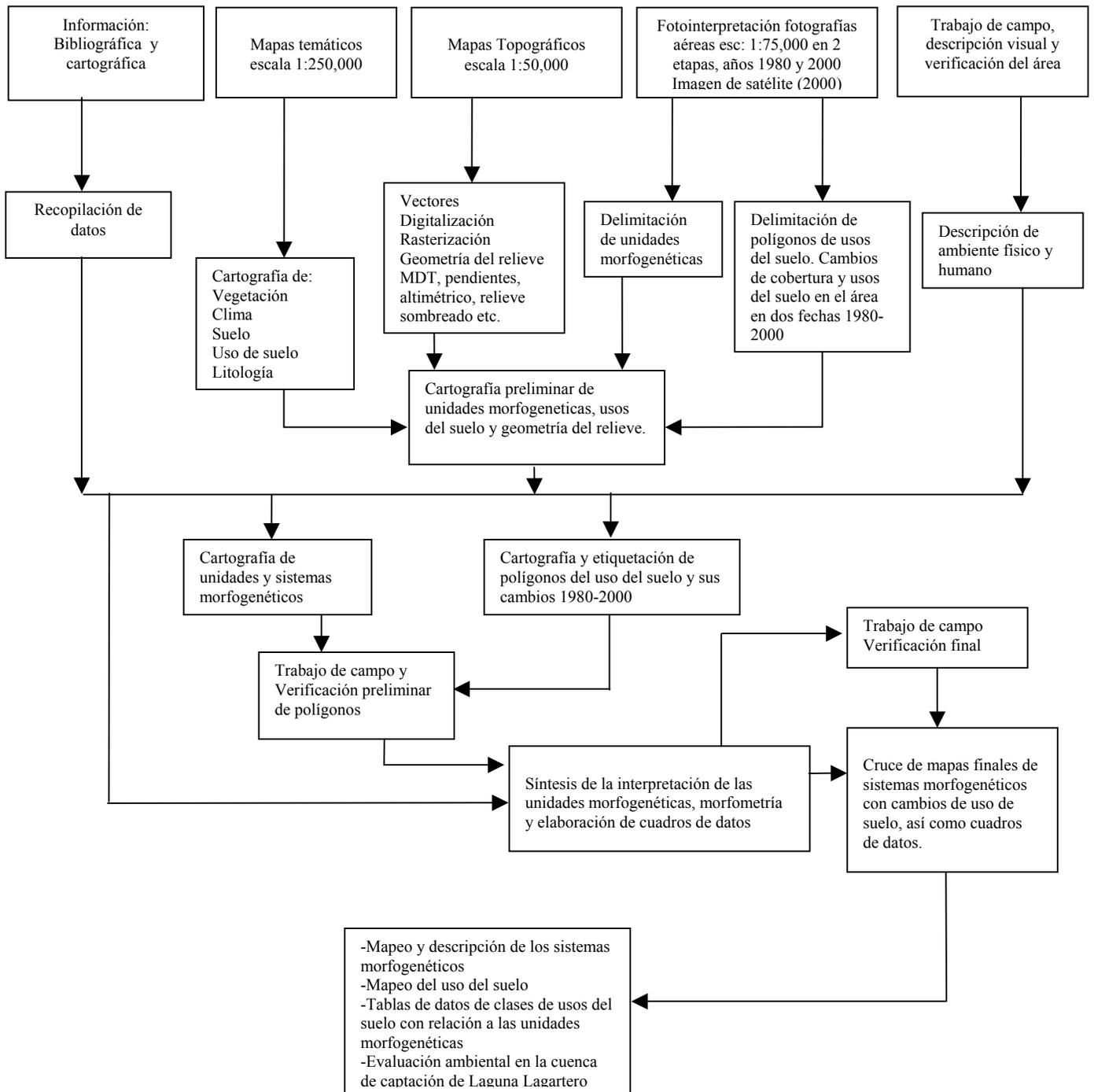


Figura 3.3 Esquema metodológico empleado para realizar el mapeo geomorfológico y el cambio de uso del suelo para la evaluación ambiental

Posteriormente se recopiló y seleccionó la cartografía topográfica y las fotografías aéreas que abarcan el área. Después se consultaron las cartas topográficas a escala 1:250,000 y los espaciomapas Puerto Escondido y Zaachila, realizándose una interpretación visual preliminar que permitió obtener una primera aproximación para la delimitación de los tipos generales del relieve para su posterior fragmentación.

Para conocer las características físico-geográficas del área de estudio, como la geología, el uso del suelo y vegetación, edafología, climas e hidrología, se recopilaron y trabajaron las cartas temáticas del INEGI (1994), que abarcaron el área. También se consultó el Inventario Nacional Forestal del año 2000 (INEGI, SEMARNAT, UNAM, 2000) como apoyo para el estudio del área. Fue necesario para efectos de auxiliar en la fotointerpretación, la consulta de espaciomapas que sirvieron para hacer una mejor delimitación de las clases del uso del suelo-cobertura vegetal. En lo que se refiere a la cartografía, se consultaron seis cartas topográficas a distintas escalas, diez cartas temáticas y dos espaciomapas (Tabla 3.1).

Con la información obtenida se realizó una revisión y delimitación preliminar de la cuenca de captación del Río Cacalotepec. Después se escanearon las cartas con la finalidad de digitalizar y procesar las curvas de nivel en el SIG y así realizar el Modelo Digital del Terreno (MDT), y obtener a partir de este y con la ayuda de distintos filtros las clases geométricas del relieve en el área.

Tabla 3.1 Cartografía e imágenes de satélite utilizadas en el estudio

NOMBRE	TEMA	FUENTE	AÑO	ESCALA	CLAVE
Puerto Escondido	Topografía	INEGI	1992	1: 250,000	D14-3
Zaachila	Topografía	INEGI	1992	1: 250,000	E14-12
El Zapotalito	Topografía	INEGI	1988	1: 50,000	D14-B15
Río Grande	Topografía	INEGI	1988	1: 50,000	E14-D85
Puerto Escondido	Topografía	INEGI	1988	1: 50,000	D14-B16
Sta. Catarina Juquila	Topografía	INEGI	1994	1: 50,000	E14-D86
Puerto Escondido	Edafología	INEGI	1989	1: 250,000	D14-3
Zaachila	Edafología	INEGI	1989	1: 250,000	E14-12
Puerto Escondido	Geología	INEGI	1994	1: 250,000	D14-3
Zaachila	Geología	INEGI	1994	1: 250,000	E14-12



Puerto Escondido	Uso de suelo y vegetación	INEGI	1989	1: 250,000	D14-3
Zaachila	Uso de suelo y vegetación	INEGI	1989	1: 250,000	E14-12
Puerto Escondido	Carta de efectos. Climáticos Mayo-octubre	SPP	1984	1: 250,000	D14-3
Zaachila	Carta de efectos. Climáticos Mayo-octubre	SPP	1984	1: 250,000	E14-12
Puerto Escondido	Carta de efectos. Climáticos Noviembre-abril	SPP	1984	1: 250,000	D14-3
Zaachila	Carta de efectos. Climáticos Noviembre-abril	SPP	1984	1: 250,000	E14-12
Puerto Escondido	Imagen	INEGI	1988	1: 250,000	D14-3
Zaachila	Imagen	INEGI	1998	1: 250,000	E14-12

Se revisaron las líneas de vuelo, se realizó un fotomosaico, y se seleccionaron las fotos aéreas que abarcaron el área, se obtuvieron y fotointerpretaron nueve fotos aéreas del área E14-12 y E14-16, líneas 180 y 181 escala 1:75,000 del estado de Oaxaca, años 1980 y 2000 (Tabla 3.2). Con éstas se delimitaron las unidades morfogenéticas y las distintas clases de los usos del suelo.

Tabla 3.2 Fotografías aéreas utilizadas en el estudio

NO. DE FOTO	FUENTE	ZONA	ESCALA	FECHA	LINEA
028	Detenal	32-36	1: 80, 000	Feb 80	17.B
029	Detenal	32-36	1: 80, 000	Feb 80	17.B
017	INEGI	E14-2	1: 75, 000	Dic 99	180
079	INEGI	D14-3	1: 75, 000	Dic 99	180
080	INEGI	D14-3	1: 75, 000	Dic 99	180
083	INEGI	D14-3	1: 75, 000	Dic 99	181
084	INEGI	D14-3	1: 75, 000	Dic 99	181
001	INEGI	E14-12	1: 75,000	Mar00	181
002	INEGI	E14-12	1: 75,000	Mar00	181

3.6 Delimitación del área de estudio

Para la delimitación del área de estudio se tomó como referencia a la cuenca del Río Cacalotepec y las áreas de influencia directa a la Laguna Lagartero. Se utilizaron las fotografías aéreas a escala 1:75,000, las cartas topográficas del INEGI a escala 1:50,000 y el mapa de



relieve sombreado. Se digitalizó el límite de la cuenca utilizando las curvas de nivel sobrepuestas al mapa de relieve sombreado en el SIG para la delimitación precisa del parteaguas. También con esto, las unidades morfogénéticas que entraban en forma completa sobrepasando los límites de la cuenca para delimitar el área de estudio en su totalidad, ya que estas sirvieron de base para las clases de uso del suelo/cobertura vegetal obtenidas en los distintos años.

3.7 Delimitación preliminar de las unidades morfogénéticas

En esta parte se realizó una primera delimitación en forma preliminar de las unidades morfogénéticas (UM). Esta delimitación se hizo de manera general considerando la cartografía topográfica de las curvas de nivel, y el espaciograma para caracterizar las UM a través de los tipos generales del relieve; laderas de montaña, lomeríos, piedemontes y planicies.

Con la base topográfica a escala 1:250,000 se realizó una revisión visual donde las alturas relativas superiores a los 200 m se consideraron como laderas de montaña y las menores de 200 m como lomeríos. Para delimitar el piedemonte se tomaron como sus límites el cambio de pendiente y el límite de las unidades geológicas en el área de estudio.

En lo que respecta a las planicies se tomó en cuenta el nivel más bajo de altitud que presentaba el terreno, esto es notorio porque las cotas indicaban valores mínimos en las cartas topográficas, además de que eran notorios los límites altitudinales entre laderas y piedemontes con relación a las planicies costeras que se ubican al sur del área de estudio.

La utilización del espaciograma sirvió para comprobar que las unidades definidas preliminarmente en las cartas topográficas 1:250,000 fueran un referente para la delimitación definitiva de las UM en las fotografías aéreas 1:75,000. El trazo de las UM generales se realizó en forma lineal en un acetato, al cual se le sobrepuso la información topográfica y la del espaciograma.

3.7.1 Fotointerpretación y delimitación definitiva de las unidades morfogénéticas

Para realizar la primera parte de la investigación, se realizó el mapeo analítico en donde se obtuvo la delimitación de las unidades morfogénéticas. En primer lugar se realizó la revisión de las fotografías aéreas a escala 1:75,000, líneas de vuelo 180 y 181 (años 1980, 1999 y 2000) editadas por el INEGI, donde se revisaron las líneas de vuelo que abarcaron el área de estudio, posteriormente se elaboró un fotomosaico que sirvió para seleccionar las fotografías que se utilizarían para formar los pares estereoscópicos necesarios para la interpretación geomorfológica del área. Cuatro fotografías aéreas son las que abarcaron totalmente el área de estudio.



La fotointerpretación geomorfológica se realizó con los pares de fotografías (2000) utilizando un estereoscopio de espejos. Se trazaron los límites de las UM sobre los acetatos en las fotografías aéreas. Para trazar los límites de las UM se consideran: la diferenciación de los pisos altitudinales, los cambios notorios en la pendiente, el uso del suelo, los cambios en la cobertura vegetal, la altura relativa, la presencia de cambios litológicos, la densidad del drenaje, la forma de cada UM, y por último los cambios en los tonos de gris.

Al principio se realizó una fragmentación de los principales bloques tectónicos delimitados por las fallas, fracturas y alineamientos definidos por los cauces de los ríos en el área (principalmente de los ríos Cacalotepec y San Martín). Estas consideraciones dan lugar para que una vez que se identificó la estructura en forma general del relieve, éste se divida en estructuras todavía más pequeñas (microbloques), delimitadas por rupturas de la pendiente y por pequeñas fallas en el área.

En la realización de los trazos para delimitar las UM, se fragmentó el terreno en subunidades, que se reconocieron por su origen, forma y temporalidad, después se agruparon en UM, para posteriormente ordenarlas en subtipos morfológicos, para al final agruparlos por sistemas morfogenéticos.

Las texturas en las fotografías aéreas, muestran un tipo de patrón que se repite. Además éstas pueden ser finas, medianas y gruesas, por ejemplo una textura gruesa mostró en las imágenes una superficie irregular de materiales detríticos de origen granítico en los piedemontes en el área de estudio y una textura media delimita a la planicie costera al sur de la cuenca.

También se tomó en cuenta el patrón que muestra el arreglo espacial que presentan los rasgos geomorfológicos que conforman las fotografías aéreas para la clasificación de las unidades morfogenéticas, así el arreglo de los elementos señala el patrón que sigue la litología y los elementos geomorfológicos en la cuenca.

Otro parámetro fue la forma, con esto fue posible observar las expresiones del terreno en el área de estudio, en donde se reconoció a las estructuras y formas que tuvieron las laderas y cimas, además de diferenciar elementos como carreteras y ríos.

3.7.2 Clasificación de las unidades morfogenéticas

Para la delimitación y clasificación de las unidades morfogenéticas, se tomó en cuenta la división de los cuatro tipos generales del relieve que conforman el área, estas son: 1. Laderas de montaña, 2. Lomeríos, 3. Piedemontes y 4. Planicies.

Para la clasificación del relieve se tiene que conocer la altura relativa, en donde se sobrepone a cada unidad morfogenética el DTM, ya que éste contiene valores de altitud. La



altura relativa se considera tomando en cuenta la diferencia en metros entre una cima y su nivel de base local, ya sea un valle o una planicie.

Así, se tuvieron los siguientes parámetros para la definición y clasificación de las unidades morfogenéticas. Para la división de las laderas se observó la altura relativa entre ellas tomando en cuenta una base topográfica: si son mayores de 200 m se consideraron como laderas de montaña, al tener menos de 200 m se consideraron como lomeríos. En estos dos tipos generales del relieve se realizó una subdivisión de tipos particulares morfogenéticos del relieve que se diferencian en altos, medios y bajos con parámetros a diferenciarlos tomando en cuenta sus alturas relativas.

La diferencia de la altura relativa de las laderas de montaña, dio como resultado la división entre laderas de montaña alta (altura relativa mayor a 400 m) y laderas de montaña baja (de 200 a 400 m). En lo que se refiere a la diferenciación de los lomeríos, al conocerse las alturas relativas, se dividieron en lomeríos altos (150 a 200 m), lomeríos medios (de 50 a 150 m) y lomeríos bajos (menos de 50 m),

Esto fue posible con la ayuda del SIG, ya que para la obtención de los criterios para la delimitación de las unidades, se sobrepusieron las curvas de nivel digitalizadas a los polígonos obtenidos previamente, y así se obtuvieron la altura relativa de las unidades de ladera de montaña y lomeríos.

Los lomeríos también se diferenciaron viendo la continuidad geográfica entre los mismos para clasificarlos en lomeríos y lomeríos aislados. Otro criterio que se tomó en cuenta para la delimitación de las UM, fue por la posición topográfica de las laderas, donde se diferenciaron laderas superiores, media superior, medias, media inferiores e inferiores.

Por la acumulación de materiales por procesos gravitacionales y de uso del suelo de pastizales se reconocieron los piedemontes, observándose cambios de tono y textura de los materiales. Dentro de estas UM se encontraron dos subdivisiones de piedemontes. Por un lado se delimitaron las unidades de piedemontes generales asociados con laderas de montaña y lomeríos dentro de las fotografías aéreas al sur del área de estudio. Por otro lado se delimitaron otras unidades de piedemontes que se nombraron como locales intermontanos, esta delimitación se realizó al apreciarse que estaban intercaladas entre UM de ladera de montaña y lomeríos.

En lo que se refiere a las planicies que ocupan el piso altitudinal más bajo, se delimitaron las planicies aluviales intermontanas, costeras, fluviales, fluvio-costeras, fluvio-deltaicas, lagunar costera y marginal lagunar-costera, con el criterio de discontinuidad de la pendiente, continuidad en el aporte de los materiales de cada una de las planicies, tonos de gris claros y oscuros y así



también en la diferencia altitudinal, donde fue fácil su delimitación en la fotointerpretación ya que muestran una forma plana y sin pendientes notorias.

Se presentan las planicies en las fotografías aéreas como superficies de poca inclinación de 1 a 2° y en algunos lugares de 2 a 4°, con una diferencia altitudinal de 0 a 20 m, la planicie fluvial intermontana ocupa un pequeño valle que en la actualidad está ocupado por el poblado de San Martín. Por encontrarse totalmente anidada entre laderas de montaña y lomeríos adquirió la clase de intermontana. En lo que respecta a la desembocadura del Río Cacalotepec se diferenciaron dos planicies fluvio-deltaicas, formadas por procesos aluviales y fluviales con material de depósitos detríticos no consolidadas de grava, arena, limos y arcillas de color pardo a oscuro. En las fotografías presentaron una forma plana y una ligera inclinación hacia el Océano Pacífico, notándose en sus límites depósitos gruesos.

Las planicies costeras, que limitan con los piedemontes y tienen contacto con el mar, muestran en las fotografías aéreas una forma plana y estrecha. Con relación a éstas se tiene una planicie lagunar costera con una forma plana, que en la fotografía presentó un tono de gris muy oscuro y estando compuesta por una alternancia de depósitos arcillosos y arenosos, ocupada esta planicie por la Laguna Lagartero. Alrededor de esta se encuentra una planicie marginal lagunar costera que presentó un tono de gris oscuro, notándose una cobertura de vegetación de manglar en las fotografías aéreas.

3.8 Jerarquización del relieve para el agrupamiento de las unidades morfogénicas hacia el interior de los sistemas morfogénicos

Para los estudios del relieve en la cuenca de Laguna Lagartero fue necesario un esquema de jerarquización de unidades para la más fácil identificación y comprensión del relieve, tomando en cuenta que se obtuvieron 139 unidades y 361 subunidades. Se agruparon las UM en cinco sistemas morfogénicos que explicaran las características más importantes del relieve basados en las principales morfoestructuras.

Las UM se identificaron por su origen, forma, litología y temporalidad, ya que éstas se componen de grandes grupos de subunidades individuales y muy generalizadas que se agrupan hacia su interior. Así una unidad morfogénica se conceptualiza como una área del relieve en cuyo interior hay varios elementos que se relacionan con un conjunto de atributos parecidos.

Los cinco sistemas morfogénicos agrupan a las unidades morfogénicas que tienen diferentes características, entendiéndose que los sistemas morfogénicos son el conjunto de UM que contienen diferentes tipos de relieve, que tienen diferencias y semejanzas entre sí, elementos diferenciados de litología, además de considerarse en ellos las características



geológicas del sistema, así también sus rasgos morfoestructurales como fracturas y fallas. Forman parte de bloques tectónicos más grandes en el área de estudio, estos forman grandes estructuras que son delimitadas por sistemas de fallas geomorfológicas en el área. Los nombres de cada SM se tomaron de rasgos característicos en el área como nombres de localidades y de rasgos físicos.

3.9 Obtención del Modelo Digital del Terreno (MDT)

El MDT sirvió para obtener la geometría del relieve, que es un conjunto de puntos con coordenadas X, Y y Z registrados en una base de datos (Skidmore, 1989). El MDT sirvió para conocer a detalle las formas y características del relieve en la cuenca de Laguna Lagartero para el análisis geomorfológico detallado. Al MDT se le aplican diferentes filtros y tablas para generar diversos mapas, obteniéndose mapas altimétricos, de intervalos de pendientes, relieve sombreado, etc.; necesarios para la adquisición de la geometría del relieve y que auxilió en la delimitación de las unidades morfogenéticas.

3.10 Mapa de relieve sombreado

Posteriormente a la creación del MDT se realizó el mapa de relieve sombreado, el cual se obtiene por diferencias de iluminación creadas por el SIG. Para su realización es necesario una aplicación de filtros direccionales al Modelo Digital del Terreno, la aplicación de estos filtros se hizo de manera parecida para la obtención de las pendientes, con la aplicación de este filtro el programa simula la fuente de luz a 45° sobre la horizontal, ya que esta posición angular es la que se considera normal (Burrough, 1989).

3.11 Cartografía Morfométrica

La cuantificación de ciertos elementos del relieve con métodos matemáticos, sirve para explicar los actuales procesos geomorfológicos, los mapas morfométricos permiten la elaboración de mapas específicos para conocer las características del relieve, por lo que la geomorfología ha tenido la necesidad de crear sus propios métodos para el estudio de las características cuantitativas del relieve como pueden ser longitud, superficie, volumen, altimetría, altura relativa, pendientes, orientación, frecuencia, entre otros muchos métodos matemáticos. Por medio de estos métodos morfométricos se realizan mapas específicos que ayudan al análisis de la geomorfología del área de estudio (Lugo, 1989).

En el presente trabajo se utilizaron cuatro variables que proporcionan una información útil para la comprensión de la geomorfología en el área: altimetría, pendientes del terreno, altura relativa y geometría de laderas.



3.11.1 Mapa altimétrico

El mapa altimétrico es el inicial y uno de los más importantes ya que simplifica la comprensión de un mapa topográfico (Lugo, 1988). Este mapa consistió en definir a partir de la altura máxima y mínima en el mapa topográfico a los intervalos de altitud para su definición, se tomó el valor más bajo, de los 0 msnm, hasta el más alto 1,180 msnm, en la cima del cerro Vista al Mar.

Para elaborar el mapa altimétrico, al MDT se le aplicó la función *Slicing*. Los rangos se establecieron con los valores máximos, mínimos y sus frecuencias, estos se obtuvieron por los valores dados por el programa del SIG al MDT. Después se reclasificó dicho modelo, creando un nuevo *Domain* en el SIG, o sea una nueva tabla de valores de intervalos de altitud, de los cuales resultó un mapa con once intervalos de altitud.

3.11.2 Mapa de Pendientes

Este mapa muestra el gradiente en las pendientes en la cuenca del Río Cacalotepec. Este tipo de cartografía consiste en transformar las distancias entre curvas de nivel a valores de pendiente (Lugo, 1988). Para la creación de este mapa también se tomó como base el MDT realizado anteriormente, se aplicó a este, los filtros de convolución lineal llamados DFDX y DFDY, para los cuales se calcularon las diferencias de altitud de cada píxel consecutivo en el sentido de las X y las Y. Se hizo necesaria una reclasificación de intervalos, tomando como referencia la división propuesta por Verstappen y van Zuidam (1991), y así también con criterios propios para clasificar la inclinación de las laderas con los valores dominantes que se presentan. Se tuvo como resultado un mapa con once intervalos de pendiente.

3.11.3 Mapa de geometría de las laderas

Este tipo de mapa se realizó en el SIG, con el propósito de ampliar el panorama de la información para la caracterización de las diferentes unidades morfogénicas del área de estudio, esto es, para saber el porcentaje de la forma de la ladera de cada unidad, si son cóncavas (valores +), convexas (valores -) o rectas (valores de cero).

3.12 Obtención de las características morfométricas de las unidades morfogénicas

Se obtuvieron más de 300 polígonos morfogénicos al terminar los procesos de fotointerpretación con diferentes categorías del relieve, por lo que fue necesaria una



caracterización de cada unidad morfogénica para la obtención de la clase geométrica del relieve. Esto se logró cruzando el mapa definitivo de las unidades morfogénicas con cada uno de los mapas de clases del relieve (pendiente, forma de la ladera, altitud y altura relativa), permitiendo observar los atributos dominantes dentro de cada UM.

3.13 Cartografía temática de clima, hidrología, edafología, vegetación y uso del suelo y aspectos sociales

La cartografía temática se digitalizó de la cartografía disponible, en este caso se usó la del INEGI, a escala 1:250,000 y se revisaron la disponibilidad de escalas más adecuadas en otras instituciones. Esta se utilizó para realizar el marco geográfico del área de estudio y en el caso de la hidrología se obtuvo de las cartas topográficas a escala 1:50,000.

3.14 Fotointerpretación, delimitación y clasificación de las clases del uso del suelo

En la segunda parte del estudio se hizo la delimitación de uso de suelo/cobertura vegetal en un lapso de veinte años. El método utilizado fue un análisis multitemporal, esta metodología se centra en el procesamiento y fotointerpretación de fotografías aéreas de dos diferentes fechas (1980-2000).

Para la fotointerpretación y delimitación de los polígonos, se trazaron las clases del uso del suelo-cobertura vegetal diferenciadas en el acetato sobrepuesto en las fotografías aéreas. Se hizo un análisis de coincidencias y discrepancias entre los diferentes rasgos de las fotografías, también en la observación a detalle del arreglo del uso del suelo y la vegetación, ya que es posible determinar la densidad de la cobertura vegetal y en el caso de las tierras de cultivo se diferenció si eran cultivos anuales o permanentes. Lo anterior fue posible con la ayuda de las salidas a campo, además del apoyo con la cartografía del uso del suelo y vegetación del INEGI (1988), así también en la consulta de espaciomapas e imágenes de satélite (Landsat).

Para definir los tipos de vegetación y uso de suelo para la clasificación de la cartografía, se tomaron como base las clases propuestas por el INEGI (1989). Este sistema se basa en las características fisonómicas de las comunidades vegetales y del uso del suelo.

Para una mejor explicación de los polígonos del uso del suelo obtenidos, fue necesario una reordenación de las clases, en este caso en las clases de selvas medianas perennifolias y subperennifolias se tomó en cuenta la densidad de su cobertura, teniéndose el mismo criterio para las clases de encino. Así las clases reagrupadas de las clases definidas por el INEGI fueron las siguientes: Agricultura de cultivos anuales (Aca), Agricultura de cultivos permanentes (Acp), Pastizal inducido (Pi), Selva mediana densa (Smd) (se consideró incluir como selvas medianas



en sus distintas coberturas a la selva mediana perennifolia y subpennifolia, ya que se presentan en forma mezclada en el área, sin claras diferencias entre una y otra con el método utilizado), Selva mediana semidensa (Smsd), Selva mediana rala (Smr), Bosque de encino denso (Ed), Bosque de encino semidenso (Esd), Bosque de encino ralo (Er), Manglar (M), Vegetación de dunas costeras (Vdc), Áreas sin Vegetación aparente (Asv) (se consideró la Infraestructura urbana, lechos de ríos y áreas sin vegetación).

3.15 Transferencia de los límites, digitización de las UM y de las clases del uso del suelo con el SIG

Cuando se finalizó la fotointerpretación, se transfirieron los trazos a una referencia cartográfica en el SIG. En primer lugar se realizó la georeferenciación de las fotografías aéreas, donde se señalan puntos de identificación tomando como referencia puntos con coordenadas conocidas de los rasgos físicos relevantes identificados en las cuatro cartas topográficas del INEGI a escala 1:50,000. Se busco que los puntos seleccionados estuvieran distribuidos homogéneamente por toda la imagen. Se tomaron 26 puntos de control para cada foto aérea. El error medio cuadrático más elevado fue de 0.8 píxeles.

Así los segmentos de las unidades morfogénicas y del uso del suelo obtenidos se digitizaron en pantalla, ya que esta técnica permite una mayor precisión en la digitalización en comparación con la tableta digitalizadora. Después se verifican los segmentos, tratando de que no queden segmentos abiertos, sobrepuestos etc. Una vez que se obtiene el archivo en formato vectorial, se cambia a formato *raster*. Los polígonos obtenidos se codificaron y se etiquetaron según su tipo, con lo cual se obtuvo un mapa de unidades morfogénicas y otro de clases de uso del suelo/cobertura vegetal en formato digital. Por lo que respecta a los límites de las UM se sobrepusieron al mapa de relieve sombreado, para establecer la coincidencia con las características del terreno, ya que el relieve sombreado muestra una aparente tercera dimensión, esto sirvió para que no tuvieran discrepancia con el relieve.

3.16 Uso de imágenes Landsat e interpretación de espaciomas como auxiliar en la fotointerpretación

Una herramienta útil como apoyo a la fotointerpretación y delimitación de las unidades en el terreno es el espaciograma, esta imagen complementa el uso de cartas de geología, topografía y uso del suelo, aunque la escala (1:250,000), sirvió para delimitar el área de estudio en una primera instancia y observar las geoformas principales y delimitarlas, el espaciograma permitió tener una amplia visión en aspectos geomorfológicos en un contexto regional y local en el área



de estudio. También sirvió para inferir y delimitar las clases del uso del suelo/ cobertura vegetal, como agricultura anual y permanente, pastizal, manglar y densidades en la vegetación.

3.17 Obtención de la cartografía de uso del suelo/cobertura vegetal para 1980 y 2000

Se obtuvieron dos mapas de uso del suelo/cobertura vegetal (1980 y 2000). Se hizo un agrupamiento de los polígonos que indican límites de las áreas de uso-tipo de vegetación en unidades individuales de mapeo. Así todos los polígonos que pertenecen a una misma clase de información, se les asignó el mismo valor o atributo, lo cual permite la clasificación en una misma unidad de análisis de mapeo de los polígonos individuales cartografiados. Así se obtuvieron los resultados que se muestran en forma cartográfica y en tablas, donde se sintetizan los datos de los usos del suelo/cobertura vegetal en el lapso 1980-2000.

3.18 Mapas de cambio-no cambio y el tipo de cambio

El mapa de cambio-no cambio se realizó para visualizar las áreas en la cuenca que tuvieron cambios en el uso del suelo para diferenciarlas de las que conservaron el mismo uso en el lapso estudiado, esto se logró a partir de la aplicación de un operador booleano, en que se comparan las diferencias entre los mapas de uso del suelo (1980 y 2000). Con esto se obtuvo un mapa que tiene valores distintos en sus píxeles para las dos fechas. Los píxeles que indicaron la misma condición (a estos se les asignó el valor 1) resultaron áreas sin cambios, y los valores con el número 2 indicaron áreas con cambios en el uso del suelo, tanto para el mapa del año 1980 como para el 2000. Posteriormente se calculó su histograma para determinar los porcentajes en superficie de los cambios de uso del suelo para los valores 1 y 2.

Los tipos de cambios se obtuvieron a partir del cruzamiento de los mapas del uso del suelo para el periodo 1980-2000. En esta fase se emplearon dichos mapas para registrar aquellas áreas que tuvieron diferencias de usos del suelo. Así se obtuvo una tabla que sirvió para identificar los píxeles que denotaban un cambio significativo en distintas clases; como ejemplo, el uso de suelo de selvas en 1980, en ciertas áreas cambió a uso de cultivos agrícolas de temporal y permanente en el 2000.

3.19 Cruce de los mapas del uso del suelo y mapas geomorfológicos para la obtención de datos

En lo que se refiere al uso del suelo, se realizó una sobreposición cartográfica y se calcularon las diferencias entre las coberturas 1980-2000 en el SIG. Los datos de uso de suelo /



cobertura vegetal se sobrepusieron cartográficamente y se realizó una cuantificación en la intersección de cada clase del año 1980 con cada clase del año 2000. Así se obtuvo una matriz de datos y el cambio de cobertura por clase en km^2 ; después se sobrepusieron cartográficamente a las unidades morfogénicas, donde con el cruzamiento de la información (función *map cross* en el SIG) se tuvieron las áreas en m^2 , la superficie total en km^2 , y los valores de los píxeles de cada unidad del uso del suelo-cobertura vegetal en la correspondiente UM, dentro de los SM. Se procedió a almacenar la información por medio de un SIG, donde se obtuvieron las bases de datos en tablas, las cuales describen en porcentajes el uso del suelo-cobertura vegetal en cada unidad morfogénica.



Capítulo 4. Resultados de morfogénesis y de uso del suelo

4.1 Descripción de la Geomorfología

En primera instancia se parte de los trabajos cartográficos geomorfológicos previos de la fragmentación del relieve en unidades y subunidades morfogénéticas, obtenidas por medio de delimitaciones estructurales y geomorfológicas, que permiten una jerarquización del mismo, conformando a las unidades morfogénéticas en su conjunto, destacando sus características más importantes. En este sentido, se parte de una agrupación jerárquica del relieve que va de lo particular a lo general en: subunidades, unidades, tipos y sistemas morfogénéticos respectivamente.

Lo anterior se explica claramente cuando se elabora la cartografía morfogénética con base en una división territorial, regionalizando geomorfológicamente el terreno (Lugo, 1992). Esto se realiza en el principio de una clasificación geomorfológica homogénea para la descripción del área de estudio que permitirá el entendimiento del relieve que conforma la cuenca de captación de Laguna Lagartero.

Para la descripción del relieve es necesario el agrupamiento de las unidades morfogénéticas (UM), dentro de los Sistemas Morfogénéticos (SM), entendiéndose para ello que los SM se consideran como un conjunto de UM que pertenecen al mismo tipo general y particular del relieve, tomando en cuenta su morfogénesis, aspectos morfométricos, características geológicas como litología y temporalidad, así también sus rasgos estructurales.

Para obtener los conjuntos de las UM dentro de los SM, se realiza una clasificación del relieve con base en los tipos particulares del mismo, en donde los parámetros para diferenciarlas son sus alturas relativas con relación al nivel de base local, de este modo se clasificaron las laderas en orden jerárquico en laderas de montaña altas y bajas.

En lo que se refiere a la diferenciación de los tipos particulares de lomeríos, se identificaron tres pisos: altos, medios y bajos, observando la continuidad entre los mismos se identifican grupos de lomeríos y lomeríos aislados. En estos dos subtipos de relieve también se destacan sus características morfogénéticas, clase geométrica, que es la forma de sus laderas (convexas, cóncavas, planas), cimas, agudas o redondeadas; a su vez se tomó en cuenta sus alturas relativas y la altitud absoluta de las unidades morfogénéticas.

En lo que respecta a los piedemontes no se observaron cambios en la pendiente, nombrándose como piedemontes no diferenciados, y por su posición se identificaron como piedemontes generales, y los que se encontraron intercalados entre laderas de montaña y lomeríos se les denominó piedemontes locales íntermontanos; finalmente en lo referente a las



planicies que ocupan el piso altitudinal más bajo se clasificaron con base en la discontinuidad de las pendientes, tonos de gris en las fotografías aéreas, así como los distintos materiales observados en estas (ver metodología), así se diferenciaron planicies aluviales, costera, fluvial, fluvio-costera, fluvio-deltaicas, pantano de manglar y lagunar-costera. Se hizo la homogenización del relieve agrupando a las unidades morfogénéticas por sus características dentro de cada uno de los Sistemas Morfogénéticos delimitados en el área de estudio.

De acuerdo con lo anterior, la descripción del relieve comienza con los tipos generales del mismo, que indican en primer lugar las formas homogéneas del terreno de manera general, para posteriormente pasar a los tipos particulares del relieve, que llevan, con su previa jerarquización, a una mejor comprensión del relieve, resaltando sus cualidades esenciales en forma sintética. Posteriormente, las unidades que tienen características particulares, se definen conjuntamente con sus características morfogénéticas para relacionarlas con el Sistema Morfogénético al que pertenecen; obteniéndose así los cinco mapas que explican los Sistemas Morfogénéticos del área. Cada mapa muestra a las UM que pertenecen a un SM. Así, el resultado del estudio morfogénético lleva el siguiente orden de presentación y descripción; 1) Tipos Generales del relieve, 2) Tipos Particulares del relieve y 3) Descripción de los Sistemas Morfogénéticos.

4.2 Tipos generales del relieve

Se obtuvieron los tipos generales del relieve, como medio para conocer la geomorfología de área, sirvieron para la jerarquización de las unidades morfogénéticas, su posterior agrupamiento y descripción al interior de los SM; aquí también se describen sus principales atributos morfogénéticos con todos sus parámetros. Así se concluye que el área de estudio ocupa una superficie total de 141.4 km² de los cuales son; a) 61.9% son laderas de montaña, b) el 25.1% son lomeríos, c) los piedemontes apenas ocupan el 3.7% y por último se tienen d) las planicies que ocupan el 9.1% del área (Figura 4.1).

4.2.1 Laderas de montaña

Las laderas de montaña son una porción inclinada del relieve que delimita formas positivas y negativas (Lugo, 1989). Son elevaciones mayores a 200 m de altura relativa, este tipo general del relieve morfogénético ocupa el 61.9% del área de estudio y es el más abundante, abarcando una superficie de 87.3 km²

Se localizan principalmente al norte, sur y suroeste del área de estudio. Las laderas de montaña que se encuentran al sur y suroeste de la cuenca limitan al sur con los poblados de



Cacalotepec, Agua Zarca y Ojo de agua, y las laderas de montaña que se localizan al norte, limitan con las poblaciones de Aguacatal grande, Vistahermosa y Vista al Mar.

Tipos Generales del Relieve

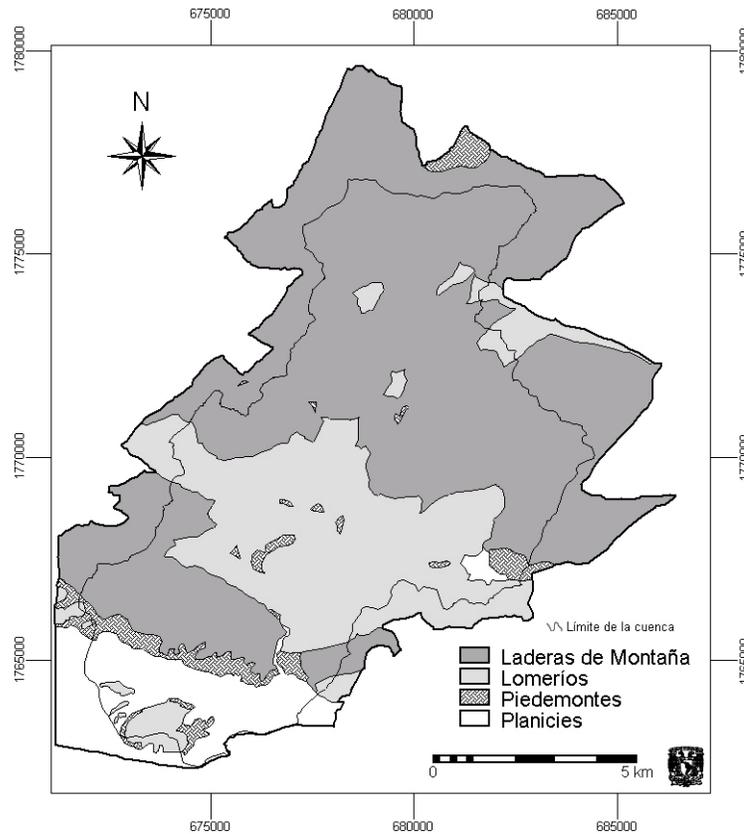


Figura 4.1 Tipos generales del relieve.

Son laderas que se originaron del Plioceno al Cuaternario, por procesos endógenos de tectonismo. Sus cimas tienen formas agudas convexas y en menor medida redondeadas, las laderas son convexas y en menor número rectas, con pendientes predominantes de 16° a 24°. Éstas se formaron por la subducción de la Placa de Cocos en el sur de México, donde la geomorfología por cuestiones de tectónica forma laderas de montaña con facetas triangulares con valles en forma de “v”, que drenan hacia el mar, evidenciándose así el predominio de la tectónica de placas sobre la erosión.

Este tipo de laderas se encuentra constituido en su totalidad por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de época del Mioceno Inferior, (Jurásico-Cretácico, según INEGI, 1994), el tipo de roca plutónica es parte de un batolito que fue formado por intrusión de un cuerpo magmático, que en la actualidad es llamado Río



Grande, con una edad aproximada de 23.5 Ma (Morán *et al.*, 2000). Además estas rocas pertenecen a una serie calciálica con composiciones amplias de granito de feldespato alcalino, sobresaturadas en sílice; las concentraciones de SiO₂ varía de 56% a 74% en peso; dichas características petrogénicas expresan una representación característica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas (op. cit).

Asimismo las rocas de estas laderas se encuentran fracturadas por la tectónica, que ha formado fallas y fracturas con rumbos este-oeste y norte-sur y además forman montañas bloque plegadas. El sistema de fallas y fracturas debido a la formación litológica de la zona crea una dependencia que controla la red de drenaje superficial en el área (Contreras, 1993). A este tipo de laderas pertenecen las principales elevaciones en la cuenca, pues tienen las mayores alturas absolutas (1,180 msnm), en la cima del cerro El Aguacatal, con alturas relativas que van de los 200 m a los 650 m; colindando con sistemas de lomeríos y piedemontes. De este tipo general del relieve se obtuvieron dos tipos particulares de laderas: laderas de montaña alta y baja, diferenciadas por su altura relativa con relación al nivel de base local.

4.2.2 Lomeríos

Son elevaciones menores que las laderas de montaña, de menos de 200 m de altura relativa, en este tipo general del relieve sus márgenes son parte de sistemas orogénicos en los que por movimientos débiles de levantamiento se forman por elevaciones marginales (Lugo, 1989). Este tipo morfogénico ocupa el 25.15% del área de estudio, con una superficie de 35.4 km²

Estos lomeríos limitan al norte y al poniente con la cuenca del río El Sapo, al oriente con la cuenca del río Seco y el poblado de San Martín, y al sur con el poblado de Monte Oscuro. Localizándose en su gran mayoría en el centro del área de estudio y en menor medida al sur, este y norte. Destaca un lomerío aislado llamado Cerro Peñas Negras al sur, marginal al sistema de laderas de montaña y planicies, encontrándose también ahí lomeríos intercalados con laderas de montaña bloque.

Asimismo, litológicamente y tectónicamente los lomeríos presentan características similares a las laderas de montaña; son denudatorios, con edad en sus formas que van del Plioceno al Cuaternario, tienen una pendiente predominante de 8 a 16° y poseen formas convexas y en menor grado rectas. Sus cimas son redondeadas, originadas por procesos endógenos de tectonismo, como consecuencia de la subducción de la Placa de Cocos en la margen continental del sur de México. En estos sistemas la tectónica predomina también sobre la erosión.



Estos lomeríos tienen una altura absoluta de 640 msnm, con alturas relativas que van de los 0 a los 200 m, obteniéndose así tres tipos de lomeríos (altos, medios y bajos) que sirvieron para agrupar las unidades morfogénéticas, diferenciadas únicamente por su altura relativa con relación al nivel de base local.

4.2.3 Piedemontes

Los piedemontes son una superficie marginal a las montañas y lomeríos, que se distingue por una pendiente y altura considerablemente menores (Lugo, 1989). Este tipo morfogénético ocupa el 3.7% del área de estudio, con una superficie de 5.3 km²

Se distribuyen al sur de la cuenca y en algunos puntos centrales de la misma, sobre todo entre las laderas de montaña y laguna Lagartero. Son colindantes a laderas de montaña bloque y lomeríos, planicie costera y planicie fluvio-deltaica. Tienen un origen exógeno acumulativo-denudativo de la era Cuaternaria del periodo del Holoceno, se encuentran sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas del Terciario.

Los piedemontes se formaron por depositación gravitacional y aluvial, su forma es recta-convexa y tienen una pendiente dominante de 8 a 16°. Están inclinadas en relación a la planicie costera y fluvial adyacente; constituidos en el sustrato rocoso por material no consolidado, consistente en capas de sedimentos proluviales, con material detrítico de rocas graníticas-dioríticas de la era Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Se tuvieron dos tipos particulares de piedemonte diferenciados no por posición topográfica, sino por localización: generales y locales intermontanos, estos últimos por estar intercalados entre lomeríos y laderas de montaña.

4.2.4 Planicies

Es parte de la superficie terrestre de cualquier dimensión, siendo ésta una porción de la cuenca que forma un plano horizontal con poca inclinación y diferencia altitudinal (Lugo, 1989). Este tipo general morfogénético ocupa el 9.1% del área de estudio, con una superficie de 12.8 km².

Las planicies se localizan en su gran mayoría al sur del área de estudio, en las colindancias con el Océano Pacífico, son marginales a los piedemontes, laderas de montaña y lomeríos. También hay una planicie intermontana que se localiza al sureste de dicha área, donde se asienta el poblado de San Martín.

Las planicies son de origen exógeno acumulativo, están compuestas de depósitos aluviales, lacustres y depósitos marinos del cuaternario, del periodo del Holoceno.



Sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita de la era Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Cuentan con altitudes menores de 50 m y mayores a un 1m, con pendientes que van de los 0 a un 1° y en menor proporción de 2 a 4° de inclinación máxima, predominando en ellas los procesos erosivos en menor grado y los procesos acumulativos en mayor grado.

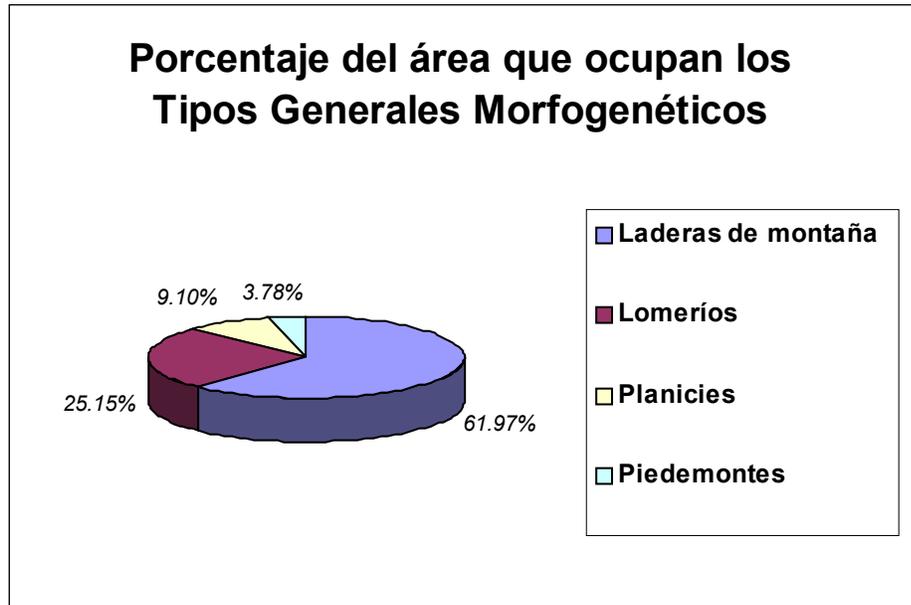


Figura 4.2 Porcentaje de área que ocupan los distintos tipos generales del relieve.

4.3 Tipos particulares del relieve

Se obtuvieron los tipos particulares del relieve con base a diferenciar las laderas a partir de su altura relativa, los piedemontes por su posición en la cuenca, y las planicies por la discontinuidad en los materiales y cambios en su pendiente. Se explican en forma sintética en la Tabla 4.1, y en forma gráfica y espacial en las Figuras 4.3 y 4.4.



Tabla 4.1 Síntesis y clasificación de los tipos particulares del relieve aplicados a las UM.

	TIPO PARTICULAR	ORIGEN	EDAD DE LAS FORMAS	LITOLOGÍA Y TEMPORALIDAD	MORFOMETRÍA
Laderas de Montaña	Subtipo de laderas de montaña bloque altas con cimas agudas y laderas cóncavas y rectas	Endógeno-denudatorio, formadas por la intrusión de un batolito granítico por movimientos tectónicos de subducción	Plioceno-Cuaternario	Constituidas por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Neógeno del periodo Terciario, de la época del Mioceno Inferior. Rocas de composición calcialcalina característica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas tectónicas, estas rocas muestran fallas y fracturas por tectónismo plio-cuaternario	Altitud predominante de 400 m a 600 msnm Altura relativa mayor a 400 m Pendiente predominante de 16° a 24°
	Subtipo de Laderas de montaña bloque bajas con cimas agudas, redondeadas y planas y con laderas cóncavas y rectas				Altitud predominante de 400 m a 600 msnm Altura relativa mayor de 200 m y menor a 400 m Pendiente predominante de 8° a 16°
Lomeríos	Subtipo de Lomeríos altos con cimas redondeadas y laderas cóncavas, convexas y rectas	Endógeno-denudatorio, formadas por la intrusión de un batolito granítico por movimientos tectónicos de subducción	Plioceno-Cuaternario	Constituidas por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Terciario. Rocas de composición calcialcalina característica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas tectónicas, estas rocas muestran fallas y fracturas por tectónismo plio-cuaternario. Rocas pertenecientes al complejo Xolapa	Altitud predominante de 200 m a 300 msnm Altura relativa mayor de 150 m y menor a 200 m Pendiente predominante de 8° a 16°
	Subtipo de Lomeríos medios con cimas redondeadas y laderas cóncavas, convexas y rectas				Altitud predominante de 100 m a 150 msnm Altura relativa mayor de 50 m y menor a 150 m Pendiente predominante de 8° a 16°
	Subtipo de Lomeríos Bajos con cimas redondeadas y laderas cóncavas, convexas y rectas				Altitud predominante de 100 m a 150 msnm Altura relativa mayor de 20 m y menor a 50 m Pendiente predominante de 4° a 8°
	Subtipo de Lomeríos Aislados Medios con cimas redondeadas y laderas convexas y rectas				Altitud predominante de 20 m a 50 msnm Altura relativa mayor de 50 m y menor a 150 m Pendiente predominante de 8 a 16°
	Subtipo de lomeríos aislados bajos con cimas redondeadas y laderas rectas				Altitud predominante de 0 m a 20 msnm, Altura relativa mayor de 0 m y menor a 50 m Pendiente predominante de 0 a 1°



	TIPO PARTICULAR	ORIGEN	EDAD DE LAS FORMAS	LITOLOGÍA Y TEMPORALIDAD	Morfometría
pedemontes	Piedemonte general, forma (convexa-recta)	Exógeno - acumulativo de material coluvial de rocas plutónicas de granito-granodiorita	Cuaternario	Material de detritos de roca ígnea intrusiva de granito-granodiorita del Terciario de época del Mioceno, de composición calcialcalina	Altitud predominante menor a 20 msnm Pendiente predominante de 0° a 1°
	Piedemonte local intermontano, forma (convexa-recta)				Altitud predominante de 600 m a 800 msnm y 100 a 150 m de altura relativa Pendiente predominante de 8° a 16°
Planicies	Planicie aluvial intermontana, (plana)	Exógeno - acumulativo de material aluvial de rocas plutónicas de granito-granodiorita	Cuaternario	Material de depósito aluvial y fluviales, son depósitos no consolidados del periodo del Holoceno, sobreyacen a rocas de granito-granodiorita del Terciario de la época del Mioceno de composición calcialcalina	Altitud predominante de 50 m a 150 msnm (altura relativa menor a 20 m) Pendiente predominante de 2° a 4°
	Planicie costera, plana e inclinada incipientemente	Exógeno acumulativo Afectada por movimientos tectónicos de levantamiento	Cuaternario	Material de depósito litoral y aluvial del cuaternario del periodo del Holoceno, sobreyacen a rocas de granito-granodiorita del Terciario de época del Mioceno, con granos de fino a gruesos.	Altitud predominante menor a 20 msnm (altura relativa menor a 20 m) Pendiente predominante de 0° a 1°
	Planicie fluvial, plana y ligeramente inclinada	Exógeno erosivo, afectada por erosión fluvial	Cuaternario	Material por depósitos fluviales del cuaternario del periodo del Holoceno, se encuentra sobre rocas de granito-granodioritas del Terciario de época del Mioceno. Con material grueso y medio	Altitud predominante menor a 20 msnm (altura relativa menor a 20 m) Pendiente predominante de 0° a 1°
	Planicie fluviodeltaica (plana)	Exógeno erosivo-acumulativo, afectada por acarreo fluvial y en menor grado litorales	Cuaternario	De material fluvial del cuaternario del periodo del Holoceno, sobreyaciendo sobre rocas de granito-granodioritas del Terciario de época del Mioceno	Altitud predominante menor a 20 msnm (altura relativa menor a 20 m) Pendiente predominante de 0° a 1°
	Planicie marginal lagunar costera (plana)	Exógeno acumulativo, afectada por acarreo de material fluvial y marino	Cuaternario	Formada de material lacustre y fango de material orgánico del cuaternario del periodo del Holoceno sobreyaciendo sobre roca ígnea intrusiva del Terciario de la época del Mioceno	Altitud predominante menor a 20 msnm (altura relativa menor a 20 m) Pendiente predominante de 0° a 1°
	Planicie lagunar costera (cóncava)	Exógeno acumulativo formada por acarreo de material aluvial, fluvial y litoral	Cuaternario	Formada por material lacustre y fango con material orgánico de textura predominantemente limosa-arcillosa del Cuaternario del periodo del Holoceno, sobreyaciendo sobre roca ígnea intrusiva del Terciario de época del Mioceno	Altitud predominante menor a 20 msnm (altura relativa menor a 20 m) Pendiente predominante de 0° a 1°



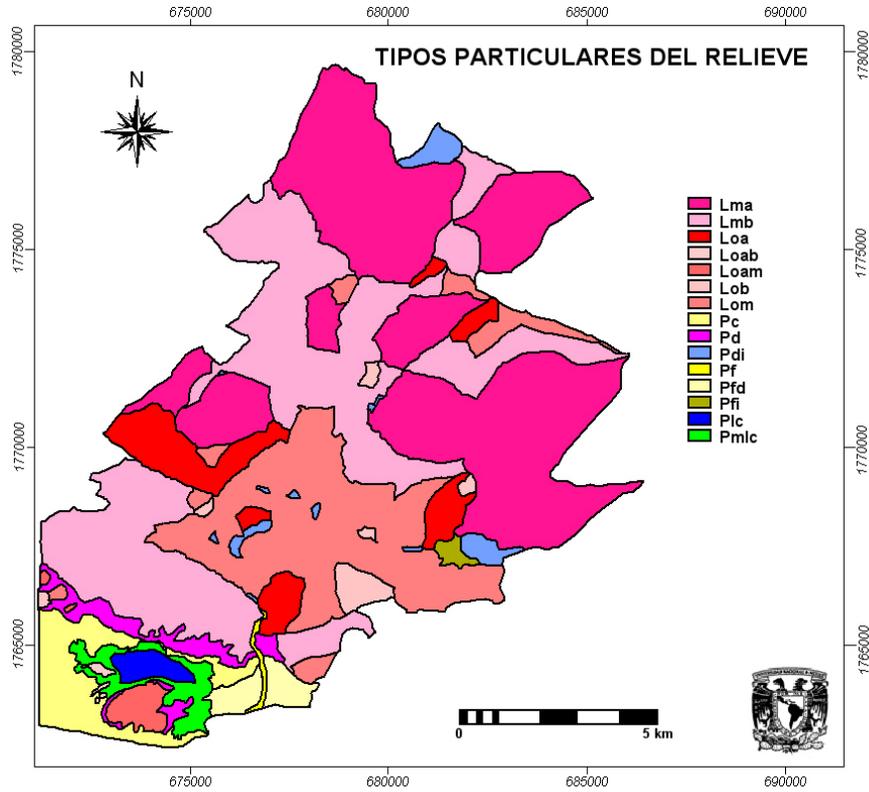
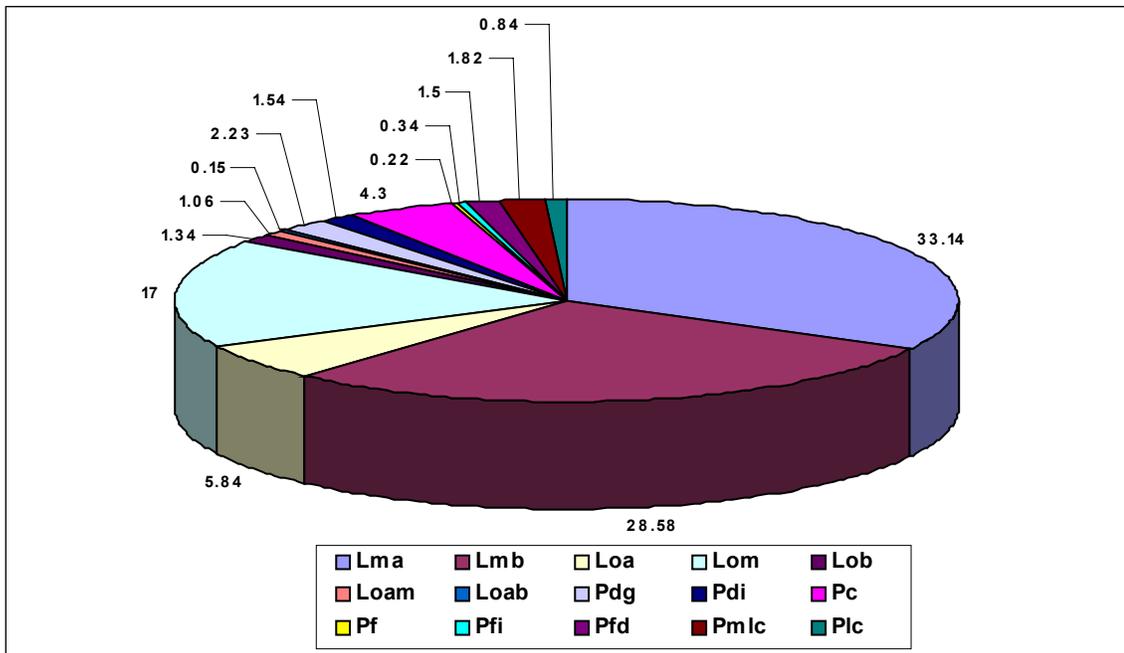


Figura 4.3 Distribución de los tipos particulares del relieve. Lma = laderas de montaña alta, Lmb = laderas de montaña baja, Loa = lomeríos altos, loab = lomeríos aislados bajos, Loam = lomeríos aislados medios, lob = lomeríos bajos, lom = Lomeríos medios, Pc = Planicie costera, Pdg = Piedemonte general, Pdi = Piedemonte íntermontano, Pf = Planicie fluvial, Pfd = Planicie fluviodeltaica, Pfi = Planicie fluvial íntermontana, Plc = Planicie lagunar costera, Pmic = Planicie marginal lagunar costera.

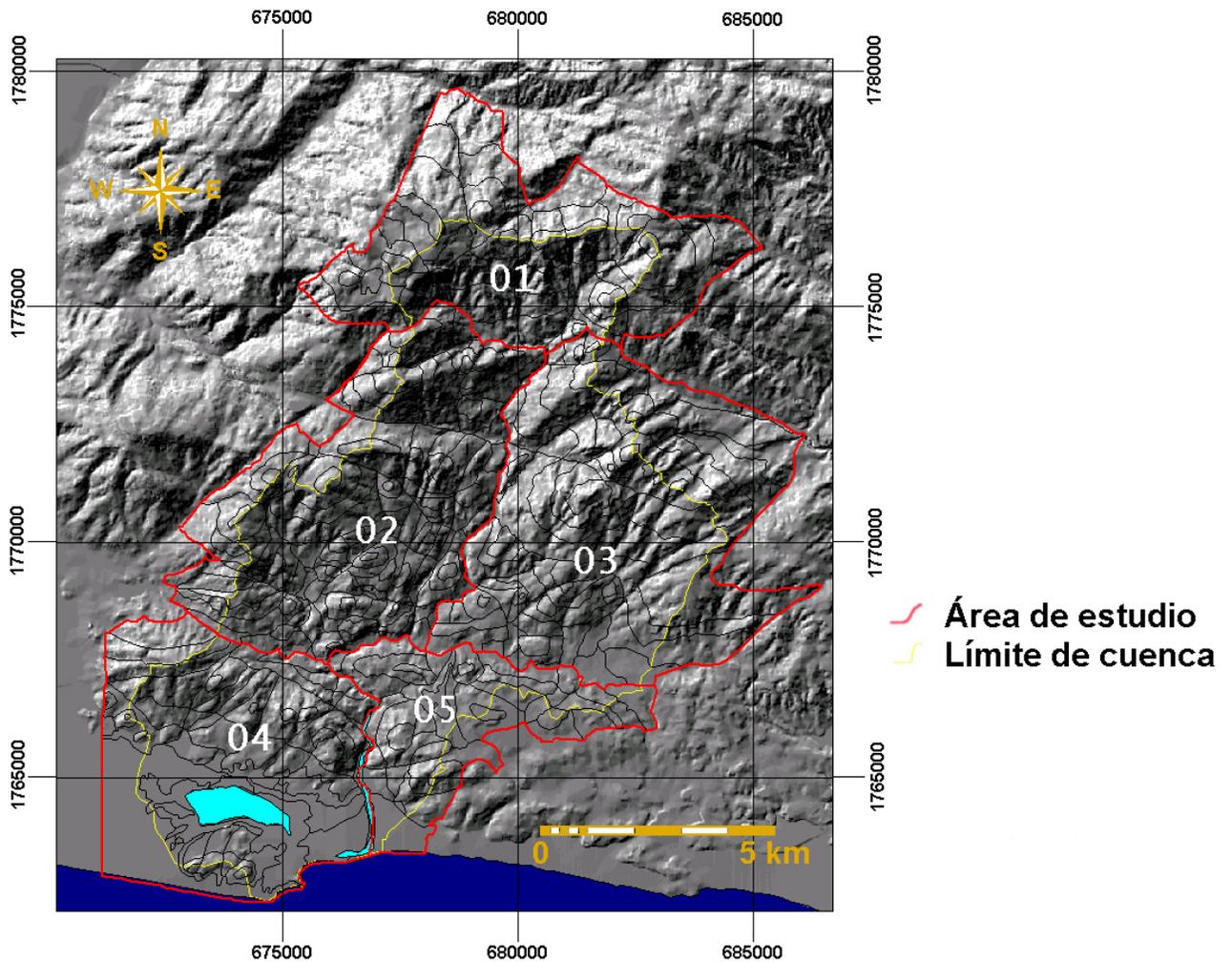
Figura 4.4 Porcentaje de área que ocupan los distintos tipos particulares del relieve.



4.4 Descripción de los sistemas morfo genéticos (SM) en el área de estudio

En el área se obtuvieron cinco Sistemas Morfo genéticos, que están constituidos por 139 Unidades Morfo genéticas y 361 subunidades, que conforman la cuenca de Laguna Lagartero (ver mapa Figura. 4.5)

SISTEMAS MORFOGENÉTICOS



- 01 SM Aguacatal Grande**
- 02 SM Cacalotepec**
- 03 SM Cerro El Tecolote**
- 04 SM Laguna Lagartero**
- 05 SM Monte Oscuro**

Figura 4.5 Localización de los Sistemas Morfo genéticos en el área de estudio



Los sistemas morfogénéticos (SM) se componen de grupos de unidades morfogénéticas (UM) con algunas similitudes pero con distintas características, de manera que, para hacer una descripción detallada de ellos, se tomaron en cuenta un conjunto de unidades morfogénéticas que pertenecen al mismo tipo general y particular de relieve, así como también se consideraron de manera puntual los cuatro aspectos fundamentales morfogénéticos del mismo que son; tipo, origen, edad y aspectos morfométricos, además de sus características litológicas y estructurales.

En la cuenca de Laguna Lagartero, la tectónica regional se refleja en fracturas y fallas como resultado de movimientos tectónicos originados por procesos de subducción de la placa de Cocos bajo la placa Norteamericana, observándose así que los sistemas morfogénéticos forman parte de los bloques tectónicos mayores.

Las características cualitativas y cuantitativas del relieve en lo que se refiere a la geomorfología y litología se encontró cierta uniformidad en el área de estudio, los datos se obtuvieron a partir de la carta geológica del INEGI, complementada con datos de Lugo Hubp (1992) y en Carranza-Edwards *et al.* (1975).

Los cinco sistemas morfogénéticos delimitados en el área de estudio, los cuales se describirán posteriormente, aparecen a continuación con su superficie y porcentaje respectivamente (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Porcentaje en superficie de los sistemas morfogénéticos

SISTEMA MORFOGENÉTICO	SUPERFICIE EN Km²	SUPERFICIE EN %
1 Aguacatal Grande	26.8	19.0
2 Cacalotepec	33.5	23.7
3 Cerro El Tecolote	37.9	26.8
4 Laguna Lagartero	28.7	20.3
5 Monte Oscuro	14.3	10.1
Total área de Estudio	141.4	100.0



4.4.1. SM. Aguacatal Grande

Se nombra así porque se encuentra enclavada la población de Aguacatal Grande, este SM ocupa el 19.0% del área de estudio. Se localiza al norte y en la parte de mayor altitud de la cuenca del Río Cacalotepec (Figura 4.6).

La temporalidad del relieve es plio-cuaternaria y forma parte de la Sierra Madre del Sur; generalmente su litología al igual que los cuatro sistemas que se describirán posteriormente están constituidos por rocas ígneas intrusivas, es decir plutónicas, siendo parte de un batolito que se formó por intrusión de un cuerpo magmático llamado en la actualidad “Río Grande”, con una edad aproximada de 23.5 Ma (Morán *et al.*, 2000); este tipo de rocas se encuentran fracturadas por la tectónica que ha formado fallas y fracturas con rumbos este-oeste y norte-sur, así como montañas bloque que pertenecen a una serie calciocalina con composiciones amplias de granito, feldespato alcalino y rocas sobresaturadas en sílice.

Las concentraciones de SiO₂ varía de 56% a 74% en peso, estas características petrogénicas expresan una asociación típica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas (Morán *et al.*, 2000). El sistema de fallas y fracturas respecto a la formación litológica, crean una dependencia que controla la red de drenaje superficial en el área.

Este sistema colinda con los sistemas morfogénéticos de Cacalotepec Occidente y Cerro El Tecolote. En el SM hay relieve endógeno denudatorio, y en menor medida exógeno acumulativo, teniendo UM de laderas de montaña alta y baja; lomeríos altos, así como también una UM de piedemonte local íntermontano.

4.4.1.1 Laderas de Montaña

Laderas de montaña Alta. Estas representan el 62.19% del SM Aguacatal Grande, con una superficie de 16.7 km². Tienen un origen endógeno intrusivo denudatorio, formadas por tectónismo, con edad en sus formas del Plioceno-Cuaternario, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Al norte-noreste del sistema, en las laderas de montaña altas se encuentran las mayores altitudes absolutas del sistema y del área de estudio con 1,180 msnm (cerro El Aguacatal), estas laderas están muy tectonizadas, cuentan con una pendiente predominante de 16 a 24°, y una altura relativa dominante de 580 m, la forma de sus cimas son planas y en menor medida agudas, sus laderas son en mayor grado convexas y en menor grado rectas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Estas laderas se diferencian de las laderas montañosas bajas por una falla con orientación noreste-suroeste. Al oriente del sistema las laderas de montaña alta que se localizan en el lugar límitan con el parteaguas de la cuenca del



Río Cacalotepec, con una pendiente dominante de 16 a 24° y una altura relativa de 600 m, la forma de sus cimas es aguda con laderas convexas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Esta UM limita al N y NO con las poblaciones de Aguacatal Grande, y las del O y S limitan con una falla de primer orden y con las poblaciones de Miramar y Vista al Mar.

Laderas de Montaña Bajas. Estas laderas representan el 33.6% del área del SM Aguacatal Grande, con una superficie de 9.04 km². Se localizan en el SO y O del sistema, son laderas de origen endógeno intrusivo denudatorio, formadas por tectónismo, como consecuencia del contacto de placas litosféricas que provocó la formación de montañas bloque. La edad en sus formas es del Plioceno-Cuaternario, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno inferior.

Al Occidente del sistema se encuentran las altitudes mayores de este tipo de UM con 1,080 msnm, y cuentan con una altura relativa de 260 m. Su pendiente dominante es de 8 a 16°, la forma de sus cimas es redondeada y en menor grado plana; las laderas son convexas y rectas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Al Oriente de este sistema las laderas de montaña bajas se encuentran intercaladas con laderas de montaña altas; cuentan con una altitud absoluta de 1,060 msnm y una altura relativa de 320 m, con una pendiente dominante de 16 a 24°, la forma de sus cimas es aguda; sus laderas son cóncavas y rectas, constituidas también por rocas de granito-granodiorita del Terciario, estas presentan escarpes de poca altura por fallas tectónicas en su ladera sur. Estas UM colindan al oriente con la población de Barranca Honda y al norte con la población de Cinco Negritos y la unidad que se localiza al poniente limita con la subcuenca del río El Sapo.

4.4.1.2 Lomeríos

Lomeríos Altos. Representan el 0.96% del área del SM Aguacatal Grande, con una superficie de 0.26 km², en este sistema sólo se encuentra este tipo de unidad morfogénica de lomeríos; sus cimas son redondeadas, sus laderas van de abruptas a suaves, son de origen endógeno intrusivo denudatorio formadas por la tectónica, por el contacto de placas litosféricas que provocó que se formen lomeríos comprimidos. La edad de las formas es Plio-cuaternaria, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior. Las UM de lomeríos altos se localizan al sur del sistema, sus laderas tienen una pendiente de 16 a 24°, con una altitud de 600 msnm y una altura relativa de 180 m. Su cima es aguda y la forma de sus laderas van de convexas a rectas. Esta UM es marginal a laderas de montaña alta y baja, y limita con el cauce alto del Río Cacalotepec.



4.4.1.3 Piedemontes

Piedemonte local íntermontano. Dentro del sistema se encontró esta unidad, y representa el 3.23% del área, ocupando una superficie de 0.87 km². Se localiza al norte del sistema, este tipo de relieve es exógeno acumulativo aluvial y por su posición es íntermontano, ya que se encuentra intercalado entre laderas de montaña altas y bajas.

La edad de las formas es del periodo Cuaternario, del Holoceno, y están sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas. Está constituido por un sustrato rocoso con una capa de material no consolidado de sedimentos proluviales y por material detrítico de rocas graníticas-dioríticas de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior. Se formaron estos depósitos por procesos gravitacionales y aluviales, con sedimentos gruesos en su base y material más fino en la parte superior. La forma de su dorso es recta-convexa, con una pendiente dominante de 8 a 16°, y una altitud de 660 a 800 msnm. Esta UM es marginal a laderas de montaña altas y bajas. Limita al norte con los afluentes del río El Camalote, y al sur con el poblado de Cinco Negritos (Tabla 4.3).



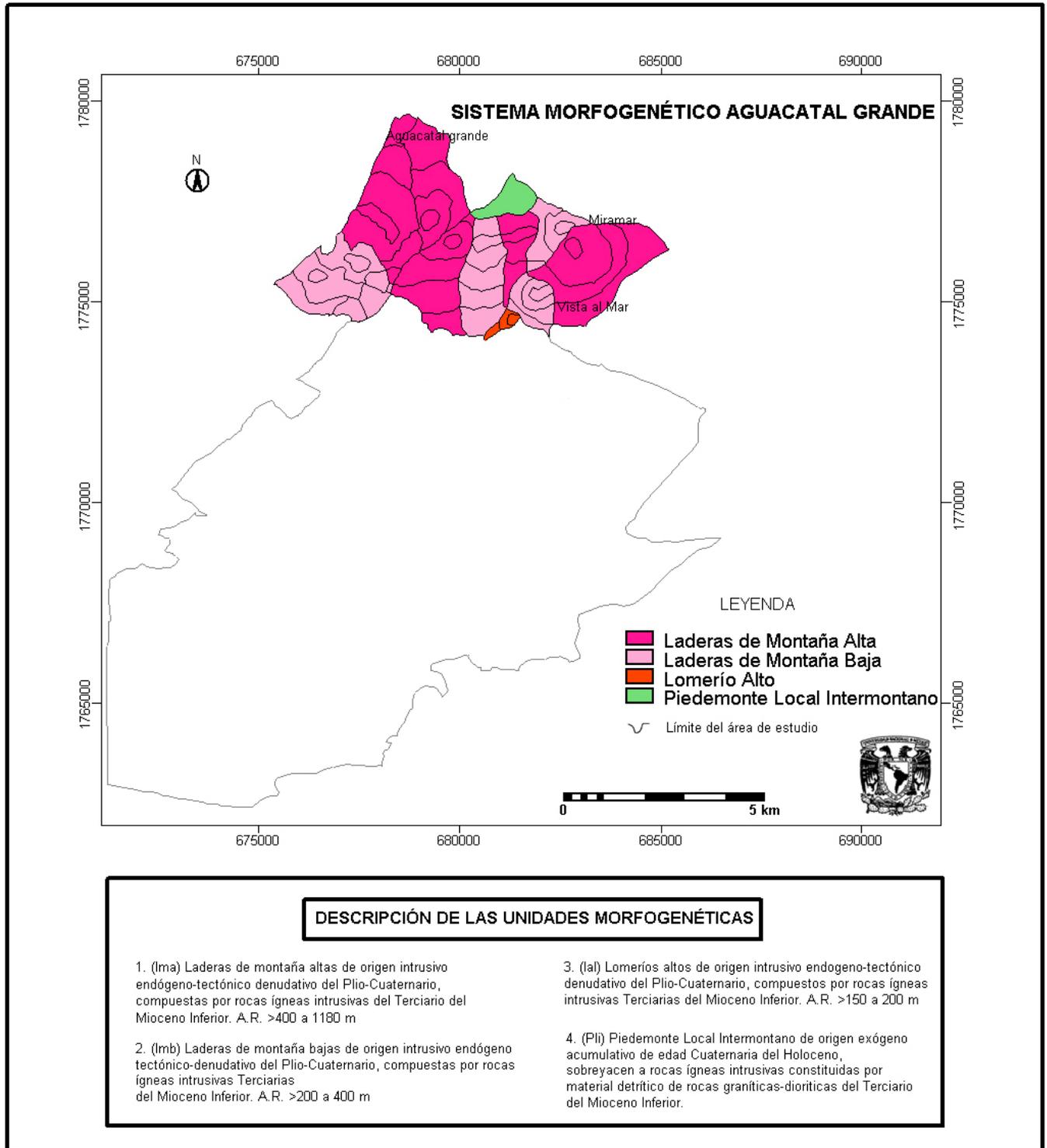


Figura 4.6 Mapa de unidades morfo-genéticas del SM. Agucatal Grande. Nota: A.R. = altura relativa





4.4.2. SM Cacalotepec

Este sistema se nombra así por encontrarse en la margen occidental del río Cacalotepec, ocupa el 23.7% del área de estudio, y se localiza en la parte oeste de la misma, y así como en la parte media de la cuenca del río Cacalotepec. En este SM hay relieve endógeno denudatorio y exógeno acumulativo, contándose con UM de laderas de montaña alta y baja; Lomeríos altos, medios y bajos, así también como unidades de piedemonte local íntermontano (Figura 4.7).

El sistema con respecto a la formación litológica en el área de estudio, crean una dependencia que controla la red de drenaje superficial en la misma. Cabe señalar que el sistema es un bloque caracterizado por movimientos verticales, son los más grandes en el sureste de México y se localizan principalmente en el sur de Oaxaca (Sumin de Portilla *et al.*, 1977). Este bloque está elevado y limitado por un sistema ortogonal N-S y E-W, y sus lineamientos en ocasiones están ocultados por sedimentos aluviales. Este bloque funciona como parteaguas de las microcuencas del río El Sapo y el Río Cacalotepec (op. cit.).

4.4.2.1 Laderas de montaña

Laderas de montaña alta. Estas laderas representan el 17.3% del SM Cacalotepec Occidente, con una superficie de 5.8 km². Tienen un origen endógeno intrusivo denudatorio, producto del tectonismo, con una edad de las formas del relieve del Plioceno-cuaternario, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior (Morán *et al.*, 2000).

Las laderas que se localizan al oeste del sistema forman el parteaguas que divide a las cuencas del Río Grande y Cacalotepec. Estas tienen una altitud de 680 msnm y altura relativa de 480 m; con una pendiente predominante de 16 a 24°, cuentan con cimas agudas y redondeadas, con laderas cóncavas y en menor grado rectas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Al igual que la anterior, la ladera montañosa alta localizada al norte del sistema tiene una altitud de 660 msnm y una altura relativa de 460 m y una pendiente predominante de 16 a 24°, la forma de sus cimas son redondeadas y sus laderas son convexas y en menor grado rectas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Estas unidades se encuentran marginales a laderas de montaña alta, lomeríos altos y piedemontes locales íntermontanos. Limitan al norte y oeste con la microcuenca del río El Sapo y al sureste con un afluente sin nombre del río Cacalotepec



Laderas de Montaña Bajas. Estas unidades son las que ocupan la mayor área, representando el 43.44% del área del SM Cacalotepec, con una superficie de 14.5 km². Se localizan al norte y sur del sistema. Estas laderas tienen un origen endógeno intrusivo denudatorio, producto del tectonismo, que ha provocado que se formen estas montañas bloque. Las formas tienen unas edades Plioceno-cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Las laderas de montaña bajas situadas al norte del sistema tienen una altitud de 700 msnm y altura relativa de 320 m, con una pendiente predominante de 8 a 16° y de 16 a 24°, sus cimas son agudas y redondeadas con laderas convexas y en menor grado rectas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Las laderas de montaña bajas situadas al suroeste del sistema tienen una altitud de 380 msnm, y altura relativa de 320 m, pendientes predominantes de 8 a 16°, la forma de sus cimas son redondeadas y de pequeña extensión, laderas cóncavas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Se encuentran marginales a laderas de montaña altas, lomeríos altos y bajos, y piedemontes locales íntermontanos. Limitan al norte y oeste con la microcuenca del río El Sapo y al este y sureste con el cauce del río Cacalotepec

4.4.2.2 Lomeríos

Lomeríos Altos. Estos lomeríos ocupan el 13.96% del SM Cacalotepec, ocupando una superficie de 4.6 km². Sus laderas van de abruptas a suaves, de origen endógeno intrusivo denudatorio, producto de la tectónica. Tienen una edad sus formas del Plioceno-Cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Los lomeríos altos se localizan en su mayoría al centro-oeste del sistema y en menor medida al sureste. Los primeros tienen una altitud de 440 msnm y una altura relativa de 180 m, con pendientes predominantes de 8 a 16°; cimas agudas y en menor número redondeadas, con laderas convexas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Los lomeríos al sureste tienen una altitud de 200 msnm, y una altura relativa de 160 m, con 8 a 16° de pendiente predominante. Su cima es redondeada con laderas convexas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Esta UM es marginal a laderas de montaña altas y bajas, y lomeríos medios. Estos limitan al oriente con la cuenca del río El Sapo, al sureste con el río Cacalotepec y al norte con la cuenca del río El Borrego.



Lomeríos Medios. Se localizan en su gran mayoría al sureste y en menor grado al norte del sistema, ocupan el 23.3% del SM Cacalotepec Occidente, con un área de 7.8 km². Sus laderas van de medias a suaves con un origen endógeno intrusivo denudatorio, producto de la tectónica. Tienen una edad en sus formas del Plioceno-cuaternario, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Los lomeríos que se localizan al sureste, tienen una altitud de 260 msnm, y una altura relativa predominante de 140 m, con pendientes dominantes de 8 a 16°. Sus cimas son en su mayoría redondeadas y en menor medida agudas, con laderas convexas y rectas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. El lomerío medio que se localiza al norte del sistema, tiene una altitud de 660 msnm y una altura relativa de 100 m, con pendientes de 8 a 16° de inclinación predominante, su cima es redondeada, con laderas convexas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Estas laderas son marginales a laderas de montaña altas y bajas, lomeríos altos y piedemontes locales íntermontanos, limitan al este y sur con el cauce del río Cacalotepec.

Lomeríos Bajos. Esta UM se localiza al oriente del sistema, ocupa el 0.6% del SM Cacalotepec con un área de 0.229 km², sus laderas son suaves y tienen un origen intrusivo denudativo endógeno. Tiene una edad el relieve Plioceno-cuaternario, constituido por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Este lomerío bajo tiene una altitud absoluta de 300 msnm, y una altura relativa de 40 m, con pendientes predominantes de 4 a 8°. Su cima es redondeada con laderas convexas a rectas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Esta UM es marginal a laderas de montaña baja y colinda al oriente, norte y sur con el cauce y afluentes del río Cacalotepec.

4.4.2.3 Piedemontes

Piedemonte local íntermontano. Estas UM de piedemontes se ubican al centro y sureste del sistema morfogénico de Cacalotepec, representa el 1.1% del área, ocupando una superficie de 0.39 km². Este tipo de relieve es exógeno acumulativo aluvial y por su posición es íntermontano local, ya que se localiza intercalado entre las laderas de montaña altas y bajas.

Su edad es del periodo cuaternario de época del Holoceno, se encuentran sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas. Está constituido por el sustrato rocoso, con una capa de material no consolidado de sedimentos proluviales, conformados por material detrítico de



rocas graníticas-dioríticas de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior. Se formaron por depositación gravitacional y aluvial.

Los primeros se localizan al sureste del sistema con una altitud de 80 msnm y una pendiente predominante de 4 a 8°. La forma de sus dorsos es recta-convexa, formados por material detrítico de rocas plutónicas terciarias, con edad de formación del Cuaternario de la época del Holoceno. Los que se ubican en el centro del sistema tienen una altitud de 540 msnm y pendientes predominantes de 8 a 16°. La forma de sus dorsos es también recta-convexa, formados por material detrítico de rocas plutónicas terciarias, con edad de formación del Cuaternario de la época del Holoceno. Esta UM es marginal a laderas de montaña altas y bajas (Tabla 4.4).



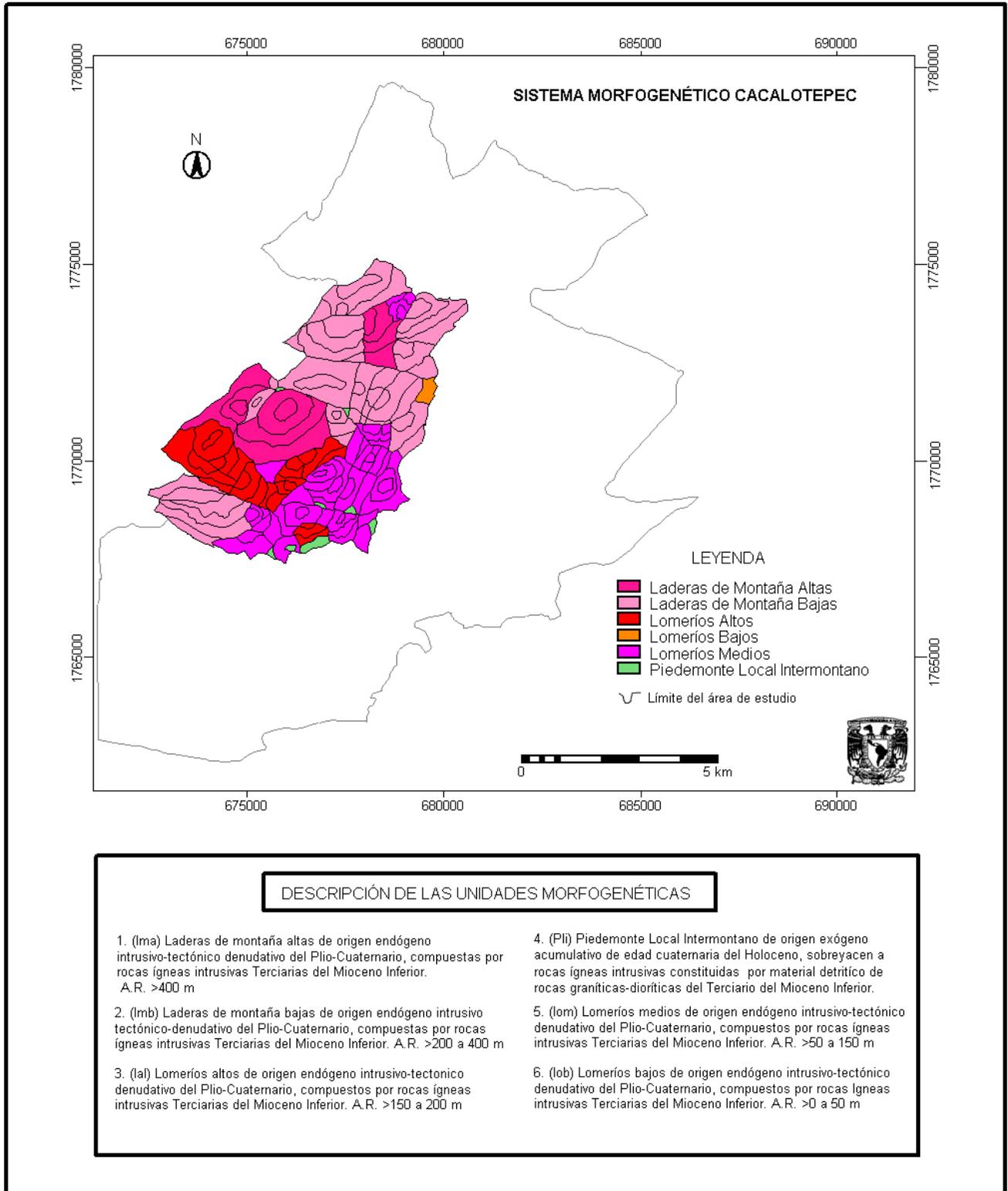


Figura 4.7 Mapa de unidades morfo-genéticas del SM Cacalotepec. Nota: A.R. = altura relativa





4.4.3 SM. Cerro El Tecolote

La cima más alta del sistema se le conoce como cerro “El Tecolote”, ocupa el 26.8% del área de estudio, se localiza en la parte oriental y en esta se encuentran las altitudes medias de la cuenca del río Cacalotepec. La temporalidad de sus formas es del Plioceno al Cuaternario y forma parte de la Sierra Madre del Sur (Figura 4.8).

La litología en este SM es igual al resto de los otros cuatro sistemas, las rocas se encuentran afectadas por la tectónica que ha formado fallas y fracturas con rumbos este-oeste y norte-sur, además de montañas bloque que junto con la formación litológica del área de estudio, crean una dependencia que controla la red de drenaje superficial en la misma. Es importante señalar que el sistema es un bloque localizado y limitado por la margen oriental del río Cacalotepec, este bloque morfo-téctónico se caracteriza por tener movimientos verticales, es elevado y limitado por un sistema ortogonal N-S y E-W. Este bloque funciona como parteaguas de las microcuencas de los ríos Manialtepec y Cacalotepec.

Colinda con los sistemas morfogénéticos de Aguacatal Grande, Cacalotepec Occidente y Monte Oscuro. En el SM hay relieve endógeno erosivo y exógeno acumulativo, con UM laderas de montaña alta y baja; lomeríos altos, medios y bajos, así como también piedemonte local intermontano y planicies aluviales intermontanas.

4.4.3.1 Laderas de montaña

Laderas de montaña alta. Estas representan el 57.1% del SM Cerro El Tecolote, cuentan con una superficie de 21.6 km², siendo las UM más amplias del sistema. Estas laderas son abruptas y tienen un origen endógeno intrusivo denudatorio, formadas por tectónismo, La edad de las formas del relieve son del Plioceno-cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Las laderas de montaña alta se localizan al centro-sureste y noroeste del sistema. Las que se encuentran al centro-sureste forman parte del parteaguas que divide a las cuencas de los ríos Manialtepec y Cacalotepec. Estas laderas presentan fallas normales por movimientos tectónicos característicos de la subducción en el área, estas fallas tienen una orientación norte-sur y noreste-suroeste en su mayoría, que contribuyó a la formación de pequeños escarpes en el cerro El Tecolote, al oriente de estas laderas. Estas tienen una altitud de 640 msnm y altura relativa dominante de 460 m; predomina una pendiente de 8 a 16°, la forma de sus cimas son agudas en su mayoría y en menor grado redondeadas con laderas cóncavas y en menor grado rectas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.



Las laderas de montaña altas al noroeste del sistema tienen una altitud de 660 msnm y una altura relativa predominante de 400 m. Cuentan con una pendiente predominante de 16 a 24°, la forma de sus cimas es aguda de laderas convexas y en menor grado rectas constituidas por rocas iguales al resto del área. Presentan estas laderas movimientos verticales de origen tectónico.

Esta unidad se encuentra marginal a las laderas de montaña baja, lomeríos altos y bajos, piedemontes locales íntermontanos y una planicie aluvial. Límitan al norte y este con la microcuenca del río Arroyo Seco y al sur con el río San Martín y el poblado del mismo nombre, y al oeste con el río Cacalotepec

Laderas de Montaña Bajas. Estas laderas representan el 18.1% del área del SM Cerro El Tecolote, con una superficie de 6.8 km² localizadas al norte y oriente del sistema. Estas laderas tienen un origen endógeno intrusivo denudatorio. Están afectadas por la tectónica, por lo que existen varias fallas que tienen una orientación predominante noreste-suroeste. La edad de las formas es del Plioceno-cuaternario, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior. Las laderas de montaña bajas situadas al norte del sistema tienen una altitud de 620 msnm y altura relativa dominante de 240 m, con una pendiente predominante de 16 a 24°, sus cimas son agudas, laderas convexas y en menor grado rectas, constituidas por rocas de granito-granodiorita.

Las situadas al oriente del sistema tienen una altitud de 340 msnm, y una altura relativa predominante de 220 m; con pendientes predominantes de 8 a 16°. La forma de sus cimas son redondeadas de laderas cóncavas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Estas laderas están afectadas por una gran falla tectónica que las separa de la cuenca del río Manialtepec, al oriente del sistema. Son marginales a laderas de montaña alta, lomeríos altos y medios y piedemontes locales íntermontanos. Limitan al norte y este, con la microcuenca del río Arroyo Seco y al oeste con el cauce del río Cacalotepec.

4.4.3.2 Lomeríos

Lomeríos altos. Estos lomeríos ocupan el 5.2% del SM Cerro El Tecolote, con un área total dentro del Sistema Morfogénico de 1.9 km², se localizan al norte y sur con igual extensión.

Sus laderas son de origen endógeno-intrusivo denudativo. La edad del relieve es Plio-cuaternario, constituido por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.



Los lomeríos altos al norte del sistema tienen una altura absoluta de 600 msnm y una altura relativa de 180 m, con una pendiente predominante de 16 a 24°. Sus cimas son agudas, de laderas convexas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. El lomerío alto que se encuentra al Sur del sistema tiene una altura absoluta dominante de 260 msnm, y una altura relativa de 160 m, con 8 a 16° de pendiente predominante. Su cima es redondeada y sus laderas son convexas constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Este lomerío está afectado por fallas que se forman por movimientos tectónicos que tienen una orientación noreste-suroeste principalmente. Esta UM es marginal a laderas de montaña altas y bajas, lomeríos medios y bajos, así como también a una planicie fluvial íntermontana y limitan al norte y oriente con la cuenca del río Seco, y al sureste y oriente con los ríos San Martín y Cacalotepec.

Lomeríos Medios. Se encuentran en el norte y al sur del sistema, ocupan el 15.4% del SM Cerro El Tecolote con un área de 5.8 km². Sus laderas van de medias a suaves y tienen un origen endógeno intrusivo denudatorio. La edad del relieve es plio-cuaternario, constituido por rocas de granito-granodiorita de la era Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Los lomeríos medios localizados al norte del sistema tienen una altitud predominante de 640 msnm y una altura relativa de 140 m, y cuentan con una pendiente predominante de 8 a 16°. Sus cimas son redondeadas, con laderas convexas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Los del sur tienen una altitud absoluta de 260 msnm y una altura relativa de 140 m, con una pendiente predominante de 8 a 16°, sus cimas son agudas y en menor número redondeadas con laderas abruptas a suaves, muestran estos lomeríos un tectonismo bastante activo que se observa por afallamientos con orientaciones noreste-suroeste principalmente y en menor grado noroeste-sureste que los fragmentó en dos partes a estos lomeríos medios constituidos por rocas de granito-granodiorita también del Terciario.

Estas laderas son marginales a laderas de montaña altas y bajas, también a lomeríos altos y bajos. Estos limitan al norte y oriente con la cuenca del río Seco, y al sureste y oriente con los ríos San Martín y Cacalotepec.

Lomeríos Bajos. Se encuentran al centro y sur del sistema, ocupan el 0.7% del SM Cerro El Tecolote con un área de 0.276 km², sus laderas son suaves y tienen un origen endógeno intrusivo denudatorio. Tienen una edad sus formas plio-cuaternaria, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.



Los lomeríos bajos que se encuentran al centro del sistema tienen una altitud de 220 msnm y una altura relativa de 40 m, cuenta con una pendiente predominante de 8 a 16°, su cima es redondeada, de laderas convexas a rectas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Los lomeríos bajos que se localizan al sur tienen una altitud de 160 msnm y altura relativa de 20 m, con una pendiente predominante de 8 a 16°, con cima redondeada y laderas rectas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Este lomerío presenta en su parte sur una fuerte disección que forma un valle por donde escurre el río San Martín, esta falla tectónica muestra una orientación este-oeste. Estos lomeríos bajos son marginales a laderas de montaña alta y lomeríos altos y medios, limitan al sur con el río San Martín, y al oriente y norte con el Cerro El Tecolote.

4.4.3.3 Piedemontes

Piedemontes locales intermontanos. Dentro del sistema se delimitaron estas unidades de piedemonte, localizadas al oriente y sur del mismo SM Cerro El Tecolote, representan el 2.02% del área, ocupando una superficie de 0.7 km². Este tipo de relieve es exógeno acumulativo aluvial; por su posición es local íntermontano, intercalado entre laderas de montaña alta y baja, haciendo contacto con una planicie aluvial.

Su edad data del periodo Cuaternario de la época del Holoceno, sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas, constituido en el sustrato rocoso por una capa de material no consolidado de sedimentos proluviales conformados por material detrítico de rocas graníticas-dioríticas de la era cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno inferior.

El piedemonte local íntermontano que se encuentra al oriente del sistema, presenta una altitud de 260 msnm, y una pendiente predominante de 4 a 8°, la forma de sus dorsos es recta-convexa, compuesto con material detrítico de rocas plutónicas terciarias, por depositación gravitacional y aluvial, con edad del Cuaternario de la época del Holoceno. Los localizados al sur tienen una altura absoluta de 140 msnm y una pendiente dominante de 0 a 1°. La forma de sus dorsos es recta-convexa, formados por material detrítico de rocas plutónicas terciarias, creados por depositación gravitacional y aluvial con edad en su formación de la era Cuaternaria del periodo del Holoceno. Esta UM es marginal a laderas de montañas altas y bajas, así como a planicies aluviales. Límitan con los cauces del río Cacalotepec al sur y oeste; y al norte con el Cerro El Tecolote.

4.4.3.4 Planicies



Planicie aluvial íntermontana. Se localiza al sureste del sistema, en ella se asienta el poblado de San Martín; representa el 1.3% del área, abarcando una superficie de 0.77 km². Dicha UM es de origen exógeno acumulativo aluvial y tiene una asociación con depósitos fluviales de la era cuaternaria del periodo Holoceno, como resultado del arrastre de material no consolidado detrítico de granito-granodiorita, sobreyaciendo a roca ígnea intrusiva del Terciario.

Está formada en general por escurrimientos fluviales del río San Martín, sus suelos son de origen aluvial con depósitos detríticos, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas. Los detritos tienen diversa composición y madurez textural, están compuestos por fragmentos líticos de cuarzo y feldespato, su color varía de pardo claro a oscuro (INEGI, 1994).

Esta unidad tiene una altitud absoluta de 120 msnm y una pendiente dominante de 2 a 4°, tiene una morfología plana, ligeramente inclinada hacia el cauce del río San Martín. Es marginal a laderas de montaña, lomeríos y piedemonte local íntermontano, y limita al norte y oriente con el cerro El Tecolote, y al suroeste con el río San Martín (Tabla 4.5).



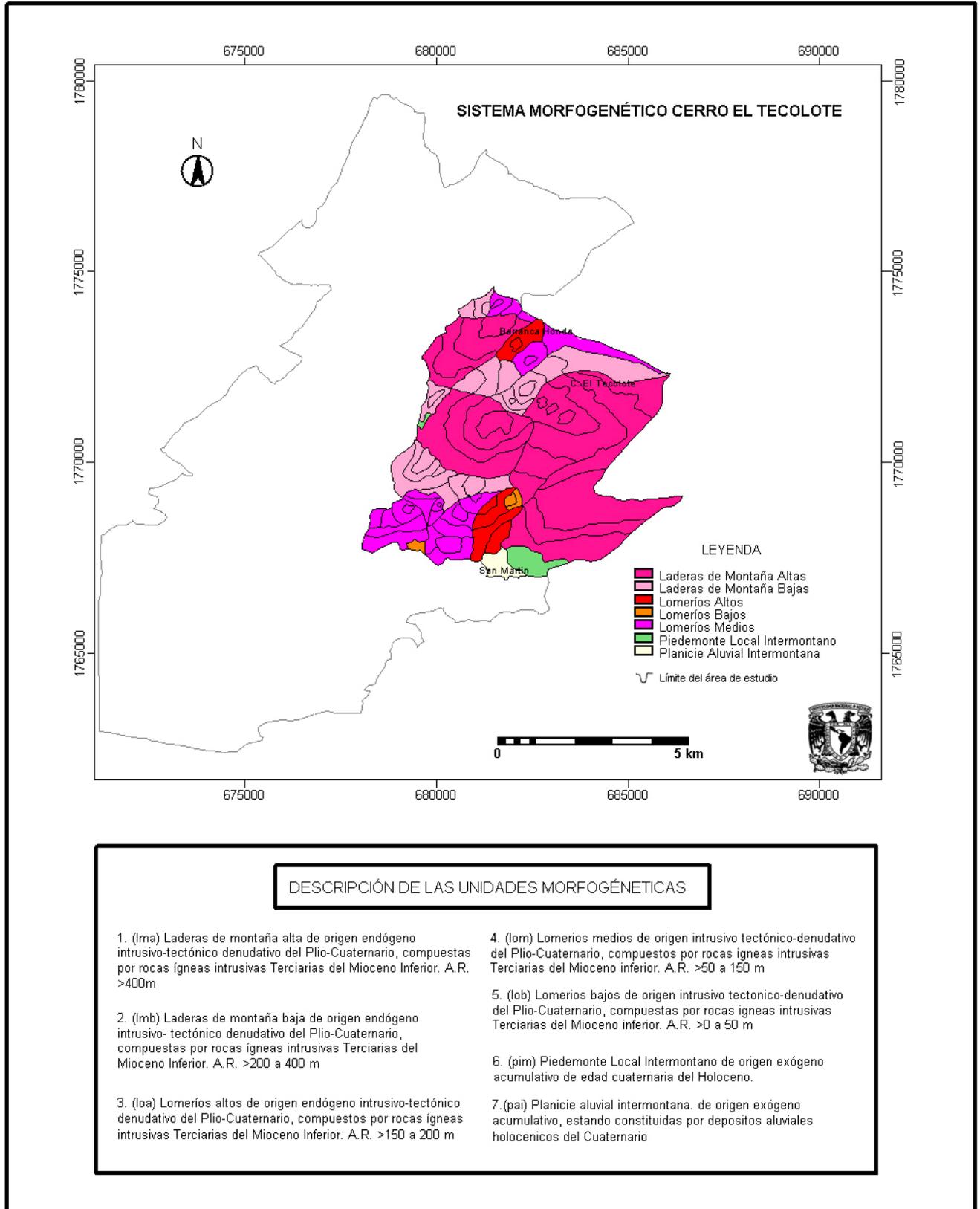


Figura 4.8 Mapa de unidades morfogénicas del SM. Cerro El Tecolote. Nota: A.R. = altura relativa





4.4.4 SM Laguna Lagartero

Se le nombra así, porque ahí se encuentra la laguna costera Lagartero, ocupa el 20.3% de la superficie del área de estudio, localizándose en la parte sur de la misma, también están las partes más bajas de la cuenca del río Cacalotepec y que colindan con el Océano Pacífico (Figura 4.10).

La importancia de este sistema radica en la influencia que tiene en las condiciones ambientales de Laguna Lagartero, por efecto de los escurrimientos directos de las laderas contiguas a dicha laguna. La temporalidad de las formas es del Plioceno al Cuaternario y forma parte de la Sierra Madre del Sur.

En términos generales la litología de éste SM, también esta constituida como los otros, por rocas ígneas intrusivas, este tipo de roca plutónica es parte de un batolito formado por intrusión de un cuerpo magmático llamado Río Grande, con una edad aproximada de 23.5 Ma (Moran *et al*, 2000).

Estas rocas se encuentran afectadas por la tectónica, que ha formado fallas y fracturas con rumbos este-oeste y norte-sur, además de montañas bloque que junto con la formación litológica en el área de estudio, crean una dependencia que controla la red de drenaje superficial en el área. Cabe señalar que el sistema es un bloque localizado en la parte sur del río Cacalotepec, caracterizado por tener movimientos verticales, esta elevado y limitado por un sistema ortogonal N-S y E-W, y sus lineamientos en ocasiones están ocultos por sedimentos aluviales.

Dicho sistema tiene al norte laderas de montaña baja y una pequeña área de lomeríos medios, hacia el sur se localizan las planicies costeras con ciertas características geomórfico-tectónico, así como también planicies fluviodeltaicas de acumulación baja, con lagunas costeras y con costas que alternan planicies aluviales y playas que limitan con el mar. Predominando costas primarias formadas por movimientos distróficos con fallas. Encontrándose erosión por olas, también costas secundarias formadas por sedimentación marina creando incipientes playas (Contreras, 1993).

El sistema colinda con los sistemas morfogénicos de Cacalotepec y Monte Oscuro. En el SM hay relieve endógeno denudativo y exógeno acumulativo, sobre todo este ultimo en los piedemontes normales y planicies de varios tipos en el sistema. Cuenta con UM de laderas de montaña baja; Lomeríos medios y bajos, y lomeríos aislados medios y bajos; así también con unidades morfogénicas de piedemonte general, piedemonte local íntermontano y planicies aluviales, costeras, fluviodeltaicas, fluviales, marginales lagunares costeras y lagunar-costera.



4.4.4.1 Laderas de montaña

Laderas de Montaña Baja. Estas unidades ocupan el área mas grande, representa el 37.8% del área del SM Laguna Lagartero, con una superficie de 10.8 km²; localizadas al norte; tienen un origen endógeno intrusivo denudativo, producto de tectonismo que ha provocado que se formen montañas bloque. La edad de sus formas es Plioceno-cuaternaria, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario del Mioceno Inferior. Estas laderas muestran un fuerte tectonismo que se manifiesta por afallamientos con una orientación noreste-suroeste que fragmento en cuatro partes las laderas ubicadas al norte de Laguna Lagartero, teniendo al interior varias disecciones que forman cañadas, formando pequeños abanicos que contribuyen a la formación de los piedemontes generales del sistema morfogénético.

Las laderas de montaña baja del sistema tienen una altitud de 260 msnm y altura relativa de 260 m; con una pendiente predominante de 8 a 16°, sus cimas son redondeadas, de laderas convexas y en menor grado rectas con una edad Plioceno-Cuaternario, constituida por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Estas unidades se encuentran marginales a laderas de montaña alta, lomeríos altos y bajos, y también a piedemontes locales íntermontanos. Límitan al norte y oeste con la microcuenca del río El Sapo y al este y sureste con el cauce del río Cacalotepec.

4.4.4.2 Lomeríos

Lomeríos Medios. Se encuentran en su gran mayoría en el noreste y en menor medida al oriente, ocupan el 6.6% del SM Laguna Lagartero con un área de 1.9 km². Sus laderas van de medias a suaves y tienen un origen endógeno intrusivo denudativo, Tienen una edad sus formas Plioceno-cuaternaria, constituidas por rocas de granito-granodiorita de la era Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Los lomeríos medios localizados al noreste del sistema tienen una altitud de 120 msnm, y una altura relativa de 120 m, con una pendiente predominante de 8 a 16°. Sus cimas son en su mayoría redondeadas y en menor medida agudas, con laderas convexas y rectas de edad Plioceno-Cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita del periodo Terciario. La tectónica del área se manifiesta por un afallamiento normal de orientación este-oeste caracterizado por tener movimientos verticales que han provocado escarpes de 50-70 m de altura en la vertiente sur de esta UM. El lomerío medio que se localiza al oriente del sistema, se encuentra intercalado dentro del piedemonte normal, teniendo una altitud de 80 msnm y una altura relativa de 60 m, con una pendiente dominante de 16 a 24°, su cima es redondeada, de



laderas convexas de edad Plioceno-Cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario.

Estas unidades morfogénéticas son marginales a laderas de montaña bajas, lomeríos bajos y a piedemontes generales y locales íntermontanos, esta unidad limita al norte y oriente con el cauce del río Cacalotepec.

Lomeríos medios aislados. Estos lomeríos se localizan al oriente y al sur, ocupando el 5.2% del SM Laguna Lagartero con una superficie de 1.5 km². Su origen es endógeno intrusivo denudatorio, con laderas de pendientes suaves. Tienen una edad sus formas Plioceno-cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior. Este tipo de roca pertenece a la serie calcialcalina, con composiciones amplias de granito de feldespato alcalino y rocas sobresaturadas en sílice.

Los lomeríos medios aislados que se localizan al oriente del sistema se encuentran intercalados con los piedemontes generales de las laderas de montaña baja, tienen una altitud de 80 msnm y una altura relativa predominante de 60 m, teniendo una pendiente predominante de 8 a 16°. Sus cimas son redondeadas con formas convexas y laderas erosivas rectas de edad Plioceno-Cuaternarias. Estas se encuentran constituidas litológicamente en su totalidad por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita.

Las UM de lomeríos medios aislados que se encuentran al sur del sistema, entre laguna Lagartero y la línea de costa, es el llamado Cerro Peñas Negras, tiene una altitud de 60 msnm y una altura relativa de 60 m, contando con una pendiente de 4 a 8°. Su cima es redondeada y laderas erosivas convexas y rectas con un declive muy suave, de edad Plioceno-Cuaternarias. Esta se encuentra constituida litológicamente en su totalidad por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita de edad terciaria. Este tipo de lomerío está fuertemente diseccionado por tectonismo, formando pequeñas cañadas que se extienden hasta la planicie costera, éstas generan escurrimientos hasta la Laguna Lagartero. Esta UM es marginal a piedemontes normales y planicies costeras.

Lomeríos bajos. Se encuentran al oriente, ocupando el 0.35% del SM Laguna Lagartero con un área de 0.102 km², se encuentra intercalado con los piedemontes normales de laderas de montaña baja. Su cima es redondeada, con laderas que van de convexas a rectas, de pendientes muy suaves, teniendo un origen endógeno intrusivo denudativo, producto de la tectónica regional por contacto de placas litosféricas que han provocado su formación. La edad del relieve es Plioceno-Cuaternario, constituido por rocas de granito-granodiorita del periodo



Terciario de la época del Mioceno Inferior. Esta UM tiene una altitud de 20 msnm y una altura relativa de 20 m, cuenta con una pendiente predominante de 0 a 1° y es marginal a lomeríos medios y piedemontes generales.

Lomeríos bajos aislados. Estas UM se encuentran dispersas al suroeste, ocupando el 0.77% del SM Laguna Lagartero, con una superficie de 0.221 km², su origen es endógeno intrusivo denudatorio, con cimas redondeadas de formas convexas, laderas erosivas rectas con pendientes suaves de edad plioceno-cuaternaria constituidas por rocas de granito-granodiorita de la era Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior. Este tipo de roca pertenece a la serie calcialcalina de composiciones amplias de granito de feldespatos alcalinos y rocas sobresaturadas en sílice.

Los lomeríos bajos aislados tienen una altitud de 20 msnm y una altura relativa predominante de 20 m, cuenta con una pendiente predominante de 0 a 1° y son marginales a pantano de manglar y a las planicies costeras.

4.4.4.3 Piedemontes

Piedemontes generales. Se localizan en la parte central y al sur del sistema, ocupando el 9.8% de SM Laguna Lagartero, con una superficie de 2.8 km². Tienen un origen exógeno acumulativo de la era Cuaternaria de la época del Holoceno, se encuentran sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del terciario, en este subtipo de relieve la depositación es mayor que la erosión.

Los piedemontes generales al centro del sistema son marginales a laderas de montaña bloque bajas, presentando una altitud de 60 msnm, y una pendiente predominante de 0 a 1°. La forma de sus dorsos es recta-convexa, de pendientes muy suaves que están inclinadas en relación a la planicie costera que le avecina. Están constituidos en el sustrato rocoso con una capa de material no consolidado con sedimentos proluviales que se depositaron por acción gravitacional y aluvial; la edad de estas formas es del periodo Cuaternario de época del Holoceno. El material es detrítico de rocas graníticas-dioríticas del Terciario.

Los piedemontes generales al sur del sistema son marginales o asociados a un lomerío medio aislado llamado Cerro Piedras Negras, presentan una altitud de 20 msnm, con altura relativa de 20 m, cuentan con una pendiente predominante de 2 a 4°. La forma de sus dorsos es recta-convexa de pendientes suaves, que está constituido en el sustrato rocoso con una capa de material no consolidado con sedimentos proluviales que se depositaron por acción gravitacional y aluvial mostrando estas formas una edad Cuaternaria de época del Holoceno. El



material de las que se formaron es detrítico de rocas graníticas-dioríticas del Terciario. Estas UM limitan con lomeríos aislados, laderas de montaña baja, planicie costera, planicie fluvio-deltaica y pantano de manglar.

Piedemontes locales íntermontanos. Se ubican intercaladas en las unidades de lomeríos, al noreste del sistema morfogénético de Laguna Lagartero, representan el 0.1% del área, ocupando una superficie de 0.031 km²; El relieve es exógeno acumulativo aluvial y por posición es local íntermontano, ya que se localiza intercalado entre laderas de montaña bajas y lomeríos medios.

El piedemonte local íntermontano, presenta una altitud de 40 msnm, y una pendiente predominante de 0 a 1°. La forma de sus dorsos es recta-convexa, formados en el sustrato rocoso, por una capa de material no consolidado de detritos de rocas plutónicas terciarias de granito-grandiorita, depositadas en capas de sedimentos proluviales por erosión gravitacional y aluvial, con edad de estas formas del periodo Cuaternario de época del Holoceno, se encuentran sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas del Terciario de la época del Mioceno Inferior. Esta UM es marginal a laderas de montaña bajas y lomeríos medios.

4.4.4.4 Planicies

Planicies Costeras. Se localizan en el extremo sur-sureste del SM Laguna Lagartero, en la costa del Océano Pacífico. Representan el 21.2% del área, ocupando una superficie de 6.09 km². Este tipo de relieve tiene un origen exógeno acumulativo, formadas por depósitos fluviales, aluviales y litorales, con edad de las formas del Cuaternario de la época del Holoceno; sobreyace a rocas ígneas intrusivas de granito-grandiorita del Terciario. La unidad esta expuesta en franjas delgadas paralelas a la línea de costa.

Esta planicie presenta una altitud de 0 a 20 msnm, con una pendiente predominante de 0 a 1°, Tiene una morfología plana y esta ligeramente inclinada hacia el mar; es una barra arenosa de forma alargada y que corre en forma paralela a la costa con una formación incipiente de dunas, compuesta por depósitos no consolidados como resultado de la abrasión marina sobre las rocas preexistentes y que se acumulan por la acción de las olas. Las arenas que la constituyen varían de grano fino a grueso, principalmente de materiales de cuarzo, feldespato, fragmentos maficos, fragmentos líticos y fragmentos de conchas de organismos recientes (INEGI, 1994).

Los sedimentos litorales se caracterizan por un predominio de arenas medias, moderadamente bien clasificadas, simétricas y mesocurticas. En el área infralitoral los



sedimentos son más gruesos que en la mesolitoral y en esta son más gruesos que en la supralitoral, observándose un mayor nivel de energía en las corrientes y olas que en los vientos que afectan el litoral. En el área mesolitoral los sedimentos están mejor clasificados debido al continuo flujo y reflujos que actúa en las playas. En el área infralitoral hay una mayor asimetría en los sedimentos gruesos. La tectónica activa del área de estudio deja sentir su influencia sobre los sedimentos litorales, formados principalmente por falsaarenita submaduras (Carranza et al., 1987), pues es una costa de colisión continental y presenta cordones litorales debido a movimientos tectónicos de ascenso por procesos de subducción del periodo del Holoceno.

Limita con unidades de planicie marginal lagunar costera, planicie fluvio-deltaica, piedemontes, lomeríos, lomeríos aislados y laderas de montaña bloque.

Planicie fluvial. Esta planicie se localiza al sur del SM Laguna Lagartero, es parte del río Cacalotepec en su desembocadura, que es un cauce intermitente. Representa el 1.1% del área del sistema, con una superficie de 0.320 km². El relieve tiene un origen exógeno acumulativo por acción fluvial.

Presenta una altitud de 0 a 20 msnm, con una pendiente predominante de 0 a 1°. Sus depósitos son cuaternarios, con edad de las formas de la época del Holoceno, con depósitos detríticos no consolidados constituidos por bloques, gravas, arenas, limos y arcillas. Los detritos tienen diversa composición, como fragmentos líticos, de cuarzo y feldespatos, su color varía de pardo claro a oscuro y sobreyacen a rocas ígneas intrusivas de la era Terciaria de época del Mioceno Inferior.

Es una unidad geomorfológica especial ya que en su parte superior donde tiene mayor pendiente predominan los procesos erosivos y en su nivel de base los acumulativos, esto último en la mayoría del área que ocupa. Limita en sus márgenes con planicies fluviodeltaicas, planicie costera, piedemontes, lomeríos y laderas de montaña baja, esta UM está controlada por el sistema de fallas y fracturas respecto a la formación litológica en el área de estudio, creando una dependencia que controla la red de drenaje superficial del río Cacalotepec.

Planicie fluviodeltaica. Se localiza al sur del SM de Laguna Lagartero y forma parte de la desembocadura del río Cacalotepec que fluye al Océano Pacífico. Representa el 3.5% del área del sistema, con una superficie de 1.02 km². Tiene un origen exógeno acumulativo, sobre todo en las áreas sin pendientes en las márgenes de la costa, y en la parte norte, en el vértice de la planicie se encuentran pequeñas áreas con un origen exógeno erosivo.



La planicie anterior presenta una altitud menor de 20 msnm, con una pendiente predominante de 0 a 1°; formada por depósitos fluviales-aluviales con edad en las formas del Cuaternario de la época del Holoceno, sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Terciario del periodo del Mioceno Inferior, sus sedimentos son depositados por el río Cacalotepec los cuales forman un delta, observándose una distribución de los mismos, que van de gruesos en su parte norte y mas finos en la desembocadura. Esta área se caracteriza por tener sedimentos laminados, debido a las variaciones de los aportes continentales asociados por el régimen de lluvias (Carranza, 1987). Es marginal con los subsistemas de planicie marginal lagunar costera, planicie costera, piedemonte general, lomeríos y laderas de montaña bloque bajas

Planicie marginal lagunar costera. Se localiza al sur del SM Laguna Lagartero, alrededor de la laguna Lagartero. Esta representa el 8.9% del área del mismo, con una superficie de 2.5 km²; con un origen exógeno acumulativo fluvio-marino.

Dicha planicie presenta también una altitud menor a los 20 msnm, con una pendiente predominante de 0 a 1°. Esta formada por depósitos lacustres con edad en las formas del Cuaternario de época del Pleistoceno-Holoceno, con forma de cóncava a plana. La unidad sobreyace a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita de edades del Terciario del Mioceno Inferior.

Esta UM tiene una composición de suelo fangoso y rico en materia orgánica, ocupada por vegetación de manglar, alimentada por escorrentías y depositaciones del río Cacalotepec, y también por acción marina de las olas y mareas. Una densa vegetación arbórea y arbustiva favorece la depositación de partículas finas de limos y arcillas, protegiendo a la ribera de la laguna de la erosión. Esta unidad limita con unidades de piedemontes, lomeríos aislados, planicies costeras, planicie lagunar costera y planicies fluvio-deltaicas.

Planicie lagunar-costera. Esta UM se localiza al sur del SM Laguna Lagartero; empezó a formarse en la última glaciación, hace aproximadamente 18,000 años, en el Pleistoceno-Holoceno. La elevación del nivel del mar provoco que el mar rellenara la depresión costera, creando el sistema actual (Contreras, 1993). Ocupa el 4.16% del área del sistema, con una superficie de 1.1 km². Su disposición es paralela a la costa, su batimetría indica una profundidad promedio de 1.10 m, con un canal de comunicación que le provee de agua dulce el río Cacalotepec, también tiene aporte de sedimentos y escorrentías de un ojo de agua ubicado



en el norte de la laguna, en el piedemonte (Czitrom, 1999). Esta unidad tiene un origen exógeno acumulativo fluvio-marino, presentando una forma cóncava (Figura 4.9).

Esta planicie presenta una altitud de 0 a 20 msnm, con una pendiente predominante de 0 a 1°. Su suelo esta formado por depósitos lacustres con edad de las formas del Cuaternario del Holoceno-Pleistoceno. La unidad se encuentra sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas de granito-grandiorita, con edades del Terciario del Mioceno Inferior.

El suelo de origen lagunar, esta compuesto por una alternancia de depósitos arcillosos y arenosos en Laguna Lagartero. Los sedimentos se encuentran interestratificados en capas laminares y delgadas, con un arreglo de estratificación cruzada, su color es pardo oscuro (INEGI, 1994). En casi todo el cuerpo lagunar predominan los limos, a excepción del este de la laguna, donde se encuentra la comunicación con el río Cacalotepec, manifestada por la presencia de arenas, que denotan la existencia de un flujo en el periodo lluvioso, la depositacion de sedimentos son llevados por corrientes litorales, acción fluvial y removidos por acción de las olas y las mareas que han formado una barra de arena que la separa del mar (Ecoplaneación Consultores, 1993).

La tectónica tiene un rol importante en esta subunidad ya que la planicie costera vecina presenta cordones litorales debido a movimientos de ascenso de las placas litosfericas. Es marginal con una planicie marginal lagunar costera. Limita al sur del SM con el poblado de Cacalotepec y al norte con piedemontes generales (Figura 4.9 y Tabla 4.6).



Figura 4.9 UM de a) Planicie lagunar costera, b) piedemonte, c) laderas de montaña baja y d) planicie costera del SM Laguna Lagartero



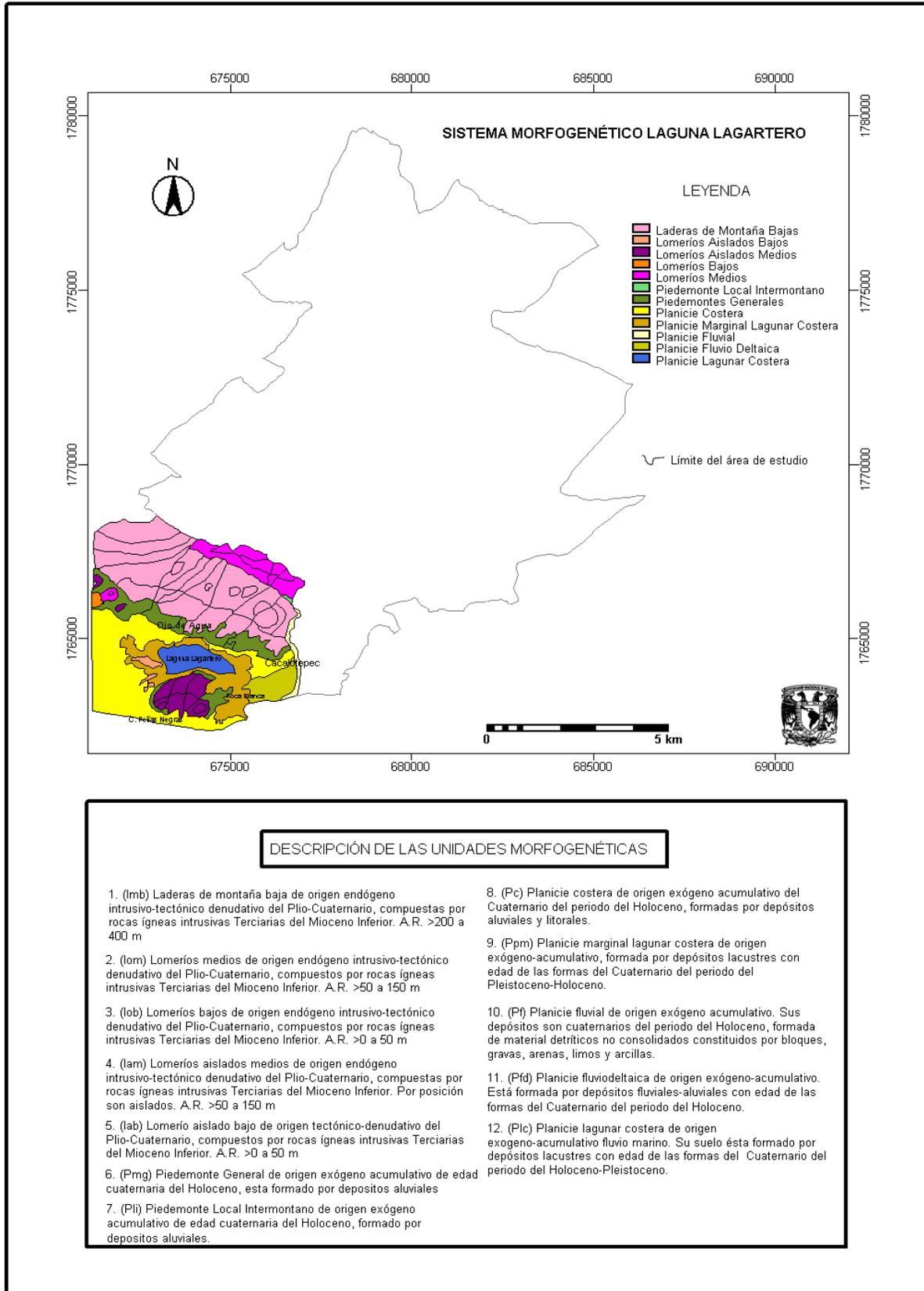


Figura 4.10 Mapa de unidades morfo-genéticas del SM Laguna Lagartero. Nota: A.R. = altura relativa





4.4.5 SM Monte Oscuro

Este sistema se nombra así por localizarse ahí la población de Monte Oscuro, se ubica en el sureste del área de estudio y ocupa una superficie del 10.1%, colindando con el Océano Pacífico. La importancia de este sistema radica en su influencia directa en las condiciones ambientales de Laguna Lagartero, por los escurrimientos del río San Martín que es un afluente que alimenta el caudal del río Cacalotepec (Figura 4.11).

La temporalidad de las formas es del Plioceno al Cuaternario y forma parte de la Sierra Madre del Sur. En términos generales su litología está totalmente constituida por rocas ígneas intrusivas, este tipo de roca plutónica forma parte de un batolito que fue formado por intrusión de un cuerpo magmático llamado Río Grande, con una edad aproximada de 23.5 Ma (Morán *et al.*, 2000). El sistema es un bloque localizado y limitado por la margen oriental del río Cacalotepec, al norte por el río San Martín y al sur por el Océano Pacífico, dicho bloque morfo-tectónico se caracteriza por tener movimientos verticales, está elevado y limitado por un sistema ortogonal N-S y E-W

El sistema colinda con los sistemas morfogénéticos de Cerro El Tecolote, Cacalotepec Occidente y Laguna Lagartero; el relieve es endógeno denudativo y exógeno acumulativo, sobre todo en los piedemontes normales y la planicie fluviodeltaica, contándose con UM de laderas de montaña baja; Lomeríos altos, medios y bajos, así como también con unidades morfogénéticas de piedemonte general, piedemonte íntermontano y planicie fluviodeltaica.

4.4.5.1 Laderas de montaña

Laderas de Montaña Baja. Estas unidades representan el 10.8% del área del SM Laguna Lagartero, con una superficie de 1.5 km² y se localizan al centro-sur del mismo. Tienen un origen endógeno intrusivo denudativo. La edad de las formas es Plioceno-Cuaternaria, constituidas por rocas de granito-granodiorita del periodo Terciario del Mioceno Inferior. Las laderas de montaña baja del sistema tienen una altitud absoluta de 240 msnm y una altura relativa de 220 m; con una pendiente predominante de 8 a 16°, la forma de sus cimas es aguda, y sus laderas son convexas y en menor grado rectas. Estas laderas muestran un fuerte tectonismo que se manifiesta por afallamientos tectónicos con dirección este-oeste. Esta unidad se encuentra marginal a lomeríos altos, medios y bajos, y también a piedemontes generales. Limitan al norte y al este con la microcuenca del río Manialtepec, y al oeste con el cauce del río Cacalotepec.

4.4.5.2 Lomeríos



Lomeríos altos. Estos lomeríos ocupan una superficie de 9.3% con un área total dentro del sistema morfogénético de 1.3 km², se localizan al centro-oriente del sistema. Sus laderas son suaves, tienen un origen endógeno intrusivo denudativo. Tienen una edad sus formas Plioceno-cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Mioceno Inferior.

Los lomeríos altos que se encuentran en el sistema tienen una altitud de 180 msnm y altura relativa de 180 m, tienen una pendiente predominante de 8 a 16°. Sus cimas son redondeadas, de laderas suaves y convexas, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Esta UM es marginal a laderas de montaña bajas, lomeríos medios, así como también a piedemontes generales. Límitan al norte y oeste con la cuenca del río Cacalotepec.

Lomeríos Medios. Son las laderas de lomeríos más amplias del sistema, se localizan en su gran mayoría en el Norte y en menor medida al sureste, ocupan el 60.7% del SM Monte Oscuro con un área de 8.7 km². Sus laderas van de medias a suaves y tienen un origen endógeno erosivo. Tienen una edad sus formas Plio-cuaternaria, constituidas por rocas de granito-granodiorita de edad Cenozoica del periodo Terciario de la época del Mioceno Inferior.

Los lomeríos medios que se localizan al norte de este sistema tienen una altitud de 140 msnm, con una altura relativa de 60 m, pendiente predominante de sus laderas de 8 a 16°. Sus cimas son en su mayoría planas y en menor medida redondeadas, de laderas convexas y rectas con edad de las formas Plioceno-Cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita del periodo Terciario. Esta UM se encuentra muy tectonizada, por lo que muestra muchas disecciones con diferentes orientaciones hacia su interior, que han formado pequeñas cañadas que drenan hacia la planicie costera. El lomerío medio que se localiza al sureste del sistema, tiene una altitud absoluta de 120 msnm y una altura relativa de 100 m, con una pendiente de 8 a 16°, su cima es redondeada, con laderas convexas de edad de las formas Plioceno-Cuaternarias, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Terciario. Estas colindan con laderas de montaña baja, lomeríos altos y bajos, piedemonte general y planicie fluviodeltaica.

Lomeríos Bajos. Estas unidades se encuentran al oriente del SM, ocupan el 8.2% del SM Monte Oscuro con un área de 1.7 km². Su cima es redondeada convexa, sus laderas van de convexas a rectas y pendientes muy suaves, teniendo un origen endógeno intrusivo denudativo. Tienen una edad sus formas Plioceno-Cuaternaria, constituidas por rocas de granito-granodiorita del Mioceno Inferior. Estas laderas cuentan con una altitud de 160 msnm y una



altura relativa de 40 m, con pendientes predominantes de 1 a 2°. Son marginales a lomeríos medios y laderas de montaña bajas.

4.4.5.3 Piedemontes

Piedemontes generales. Se encuentran al oriente del sistema, ocupando el 2.2% del SM Monte Oscuro, con una superficie de 0.32 km², Su origen es exógeno acumulativo con edad de la era cuaternaria del periodo del Holoceno, en este subtipo de relieve la depositación es mayor que la erosión.

El piedemonte general es marginal a laderas de montaña bloque bajas y lomeríos altos, presentando una altitud de 60 msnm, y una pendiente predominante de 0 a 1°. La forma de sus dorsos es recta-convexa de pendientes muy suaves, que están inclinadas en relación a la planicie fluviodeltaica. El sustrato rocoso está constituido con una capa de material no consolidado, de sedimentos proluviales que se depositaron por acción gravitacional y aluvial mostrando esta forma una edad Cuaternaria del Holoceno. El material del cual está formado, es detrítico de rocas graníticas-dioríticas del Terciario. Límite con laderas de montaña baja, lomeríos altos y medios, además de una planicie fluvio-deltaica.

Piedemontes locales intermontanos. Se localizan dentro del sistema, ubicados al extremo oriente del sistema morfogénético de Monte Oscuro, representan el 0.95% del área, ocupando una superficie de 0.031 km². El relieve es exógeno acumulativo aluvial y por posición es íntermontano, pues está intercalado entre lomeríos medios, además, es parte de un meandro que forma el Río Cacalotepec.

La UM anterior, presenta una altitud de 120 msnm, y una pendiente predominante de 4 a 8°. La forma de sus dorsos es recta-convexa, formadas a partir del sustrato rocoso, con una capa de material no consolidado de detritos de rocas plutónicas terciarias de granito granodiorita, que se acumulan en capas de sedimentos proluviales debido a la depositación gravitacional y aluvial, además de tener aportes fluviales directos del río Cacalotepec. La edad de estas formas es del Cuaternario, del periodo del Holoceno, que se encuentran sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas del Mioceno inferior. Esta UM es marginal a lomeríos medios.

4.4.5.4 Planicies

Planicie fluviodeltaica. Es el único subtipo de planicie que se encontró en el sistema, esta se localiza al sur del SM Monte Oscuro, formando parte de la desembocadura del Río



Cacalotepec, que colinda además con el Océano Pacífico. Representa el 7.6% del área, con una superficie de 1.1 km². Tiene un origen predominantemente exógeno acumulativo en su mayoría, sobre todo en las áreas sin pendientes en las márgenes de la costa, y en la parte norte, en el vértice de la planicie se encuentran pequeñas áreas con un origen exógeno erosivo.

Dicha planicie presenta una altitud menor a 20 msnm, con una pendiente predominante de 1 a 2° hacia el sureste; formada por depósitos fluviales-aluviales con edad de las formas de la era Cuaternaria del periodo Holoceno, sus depósitos forman un delta, observándose una distribución de sedimentos gruesos en su parte norte y mas finos en la desembocadura, El área se caracteriza por tener sedimentos laminados, debido a las variaciones de los aportes continentales asociados por el régimen de lluvias (Carranza, 1987). Es marginal con unidades morfogénéticas de laderas de montaña baja, lomeríos medios y piedemonte general (Tabla 4.7).



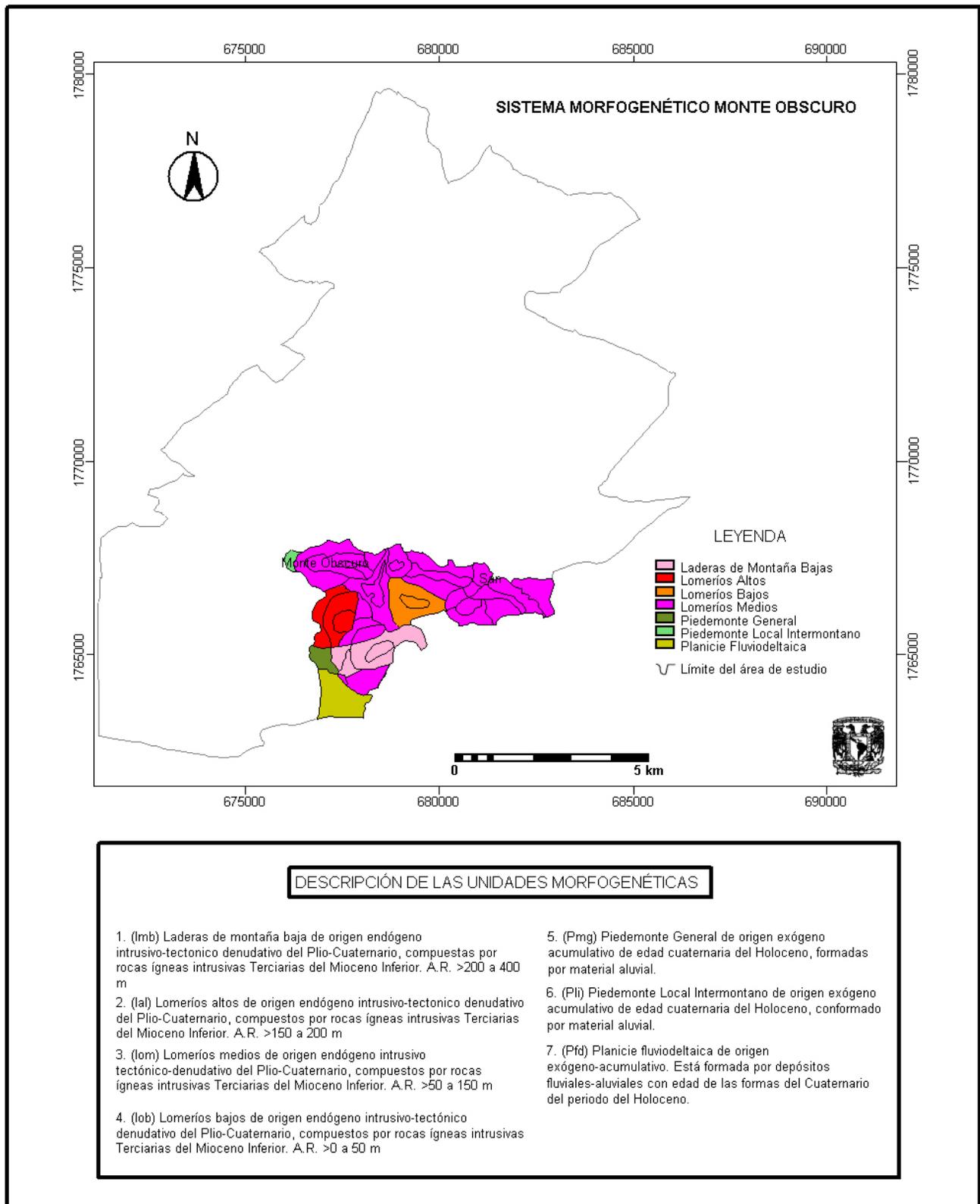


Figura 4.11 Mapa de unidades morfo-genéticas del SM Monte Oscuro. Nota: A.R. = altura relativa.





4.5 Resultados sobre uso del suelo / cobertura vegetal

En esta fase se obtuvieron los mapas del uso del suelo/cobertura vegetal de la cuenca de Laguna Lagartero. Los datos se obtuvieron por medio de un estudio multitemporal de cambios generados en un lapso de veinte años (1980 y 2000). En primer lugar para realizar los mapas, se fragmentó el área, basándose en las técnicas de la interpretación de fotografías aéreas, tomándose las más precisas y aplicables al trabajo, en este caso las propuestas por van Zuidam (1985-1986).

Las fotografías aéreas utilizadas son de febrero de 1980 y marzo del 2000. El estudio también se apoyó en la consulta de espaciomapas, cartografía temática del uso del suelo del INEGI, bibliografía sobre el área de estudio, y realización del trabajo de campo. Los datos obtenidos se exportaron y digitizaron en un SIG.

Para la definición de las clases de los usos del suelo / cobertura vegetal en lo que se refiere a su clasificación en las fotografías aéreas, se tomó como referencia a las clases propuestas por el INEGI (1989). Los datos de las distintas coberturas seleccionadas, fueron generados a partir de las categorías ya definidas y explicadas en la metodología.

Así las técnicas utilizadas para la clasificación en las fotografías aéreas fueron:

Interpretación visual. Fotointerpretación con estereoscopio de pares de fotos aéreas del área, para delimitar con límites más precisos y clasificar los polígonos de cada clase fotointerpretada del uso del suelo / cobertura vegetal.

Indicadores de vegetación. Utilización de la experiencia propia del fotointerprete, como consulta de cartografía temática de usos del suelo y cobertura vegetal para tener referencia de lo que se está cartografiando, así también con el objetivo de una mejor clasificación, se utilizó información adicional de datos biogeográficos para la definición de algunas clases no claramente diferenciadas, como el caso del bosque de Quercus, para cuya delimitación se tuvo que considerar la variable de altitud, utilizando las curvas de nivel para referir los límites altitudinales con relación a sus límites con otras clases.

También existieron limitantes para una clasificación más precisa, para que tuviera una mayor calidad el estudio, estas fueron:

- 1) Mezclas de clases, determinación de la precisión de las clases cartografiadas debido a la escala de las fotografías aéreas
- 2) Costos que implicaba un trabajo de campo más exigente y con mas visitas al área de trabajo



Después se realizaron operaciones algebraicas para la obtención de las superficies ocupadas por las distintas clases del uso de suelo/ cobertura vegetal de los años 1980 y 2000, además de su porcentaje que ocupan en relación al área de estudio. Posteriormente con la finalidad de obtener la descripción y el análisis espacial, se hizo su representación dentro de los sistemas morfogénéticos.

4.5.1 Evaluación general y cambios del uso de suelo / cobertura vegetal 1980-2000

Las superficies que ocupan y los cambios que tuvieron las clases del uso del suelo / cobertura vegetal se observan en la Tabla 4.8, esto se realizó con la ayuda de los datos obtenidos en la fotointerpretación y la clasificación de los distintos elementos en las fotografías aéreas. Los resultados se muestran de manera cartográfica en las Figura 4.12 y de manera gráfica en la Figura 4.13.

Se generalizó el área con cobertura de vegetación de dunas costeras (vdc) en las fotografías aéreas de 1980, debido a la dificultad para delimitar la superficie que cubría ese tipo de vegetación, la clase de vegetación de dunas costeras era la predominante en esa área, a diferencia de las fotografías del año 2000, en donde se notó como cobertura dominante en ese sitio a la clase de agricultura de cultivos permanentes (palma de coco) para ese año. Este cambio tan drástico se debió a la imposibilidad de delimitar con claridad las distintas clases de usos de suelo por la escala con la que se contaba, ya que es evidente que dentro de esta cobertura (palma de coco), existan áreas marginales de vegetación de dunas costeras actualmente. Esa es la razón del cambio tan drástico en cobertura entre las dos clases. En la tabla también se observa que las clases que ocupaban la mayor superficie en el área, en el año 1980, correspondían a las selvas medianas, en sus coberturas densas, semidensas y ralas, con un 26.6%, 20.5% y 17.9% respectivamente. Para el año 2000, la mayor superficie también fue ocupada por la clases de selva mediana, en sus coberturas densas, semidensas y ralas, pero con un 19.3%, 25.4% y 15.9%, respectivamente.

De forma general las tendencias han sido de una ampliación de la frontera agrícola al interior de las áreas de selvas y manglares. Esto se visualiza más claramente al sur del área de estudio (Figura 4.11), especialmente alrededor de Laguna Lagartero y del poblado de Cacalotepec. También esta tendencia se nota al sureste del área, en la margen occidental del poblado de Monte Oscuro y alrededor del poblado de San Martín. El uso de suelo agrícola muestra un cambio interesante, ya que la agricultura de cultivos anuales (maíz y frijol) tuvo una disminución de 1.10% en su superficie, principalmente a expensas de la agricultura de cultivos permanentes (plantaciones de limón), ya que ésta aumentó su superficie en un 3.01%. Estos cambios se observan principalmente en el SM Laguna Lagartero, sobre todo en las planicies



costeras, fluviodeltaicas y en los piedemontes (Figura 4.11), también se observaron en las partes medias de la cuenca a orillas del río Cacalotepec y al oriente del poblado de San Martín. Otro punto a destacar es el gran aumento de la superficie de pastizales, en donde se ve el crecimiento generalizado de éstos en casi toda el área. Éstos han aumentado su superficie en 7.6 km² en el lapso 1980-2000. Este fenómeno se presenta sobre todo en los piedemontes, en la vertiente norte de Laguna Lagartero y al oriente de esta. También se nota esta tendencia creciente alrededor del poblado de San Martín y en el área central de la cuenca (Figura 4.12).

Clase de Uso del suelo/cobertura vegetal	Año 1980		Año 2000		<u>Cambio de la superficie</u> km ²
	km ²	%	km ²	%	
Agricultura cultivos anuales (Aca)	3.17	2.24	2.07	1.47	-1.10
Agricultura cultivos permanentes (Acp)	1.54	1.09	4.55	3.22	3.01
Áreas sin vegetación (Asveg)	3.73	2.64	2.55	1.81	-1.18
Bosque encino denso (Ed)	10.49	7.42	9.57	6.77	-0.92
Bosque encino semidenso (Esd)	6.26	4.43	7.24	5.12	0.98
Bosque encino ralo (Er)	4.72	3.34	3.77	2.67	-0.95
Manglar (M)	3.41	2.41	3.02	2.14	-0.39
Pastizal Inducido (Pi)	14.25	10.08	21.89	15.48	7.63
Selva media Densa (Smd)	37.67	26.65	27.37	19.36	-10.30
Selva media semidensa (Smsd)	29.09	20.58	35.50	25.42	6.41
Selva media Rala (Smr)	25.35	17.93	22.50	15.91	-2.85
Vegetación de dunas costeras (Vdc)	0.78	0.55	0.01	0.01	-0.78
Cuerpos de agua (Ca)	0.94	0.64	1.36	0.62	-0.02
Total	141.4	100	141.4	100	--

Tabla 4.8 Cambios de uso del suelo y cobertura vegetal en el área de estudio. Una manera clara de ver los cambios, es comparar los ocurridos entre las diferentes fechas, las que se muestran por debajo del cero (-negativas) indican coberturas que están perdiendo superficie y las que se disponen hacia arriba (+positivas) son las que están ganando superficie.



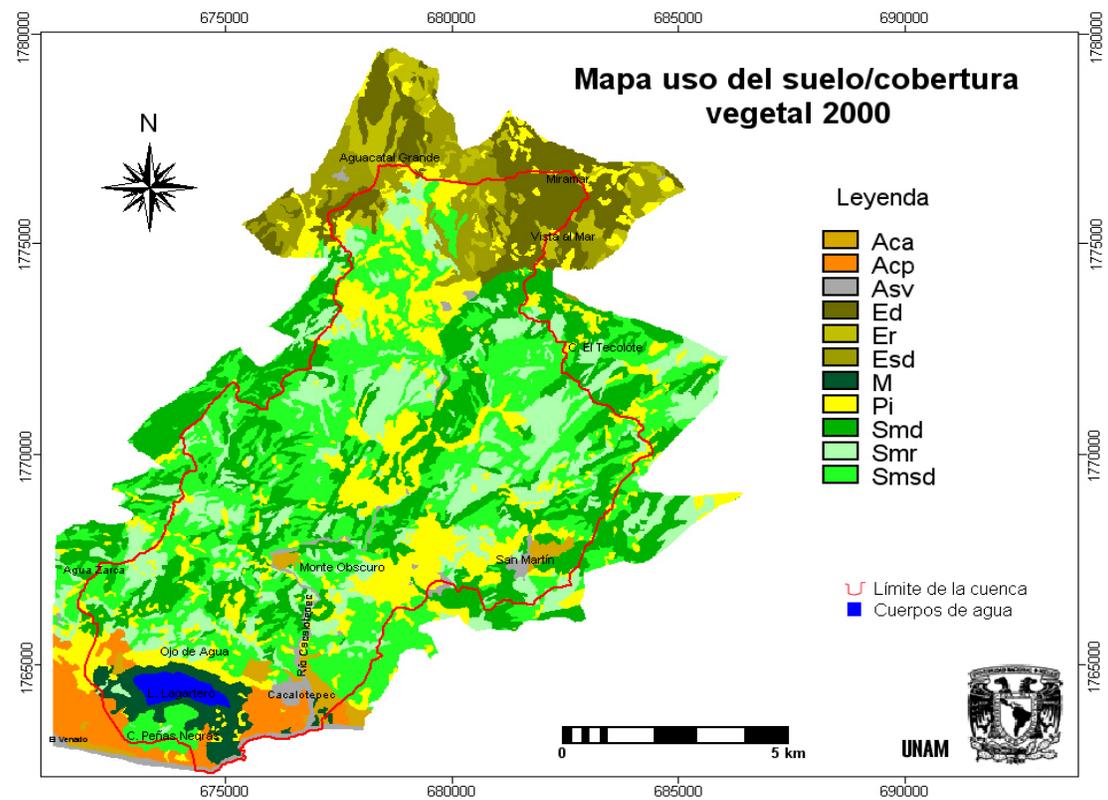
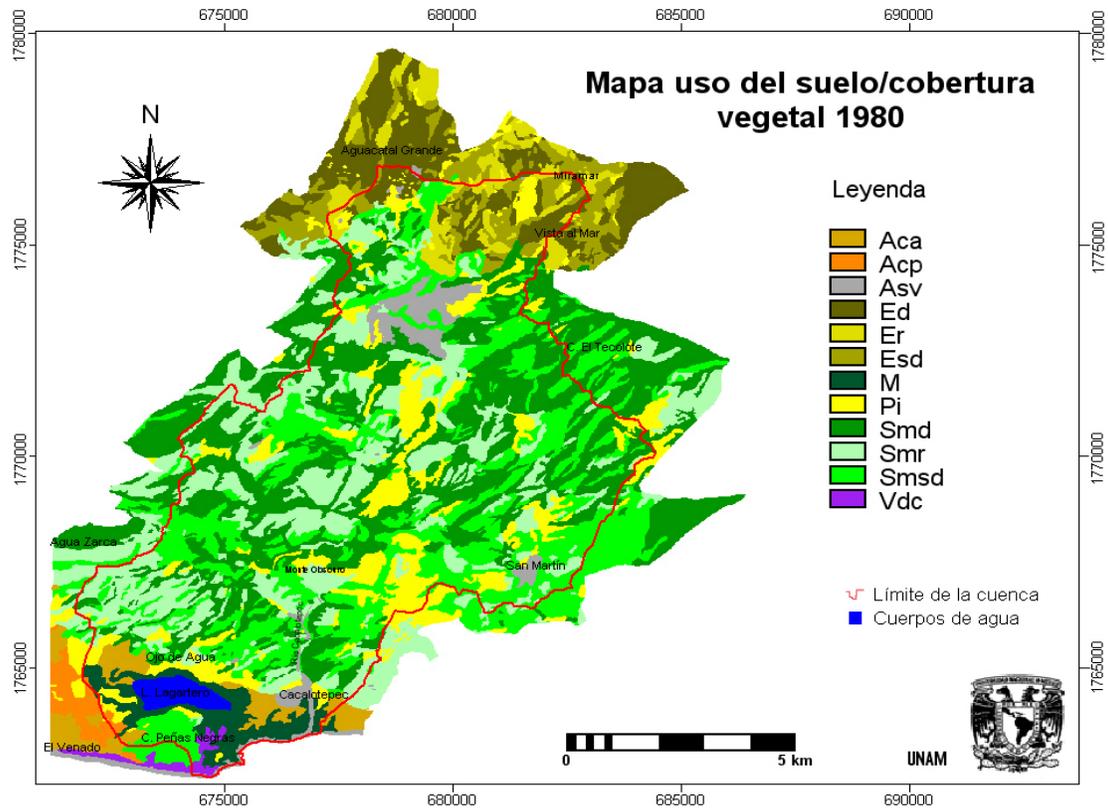


Figura 4.12 Mapas de cobertura vegetal-uso del suelo 1980-2000. Aca = agricultura de cultivos anuales, Acp= agricultura de cultivos permanentes, Asveg = areas sin vegetación, Ed = bosque de encino denso, Er = bosque de encino ralo, Esd = bosque de encino semidenso, M = manglar, Pi = pastizal inducido, Smd = selva media densa, Smr = selva media rala, Smsd = selva media semidensa, Vdc = vegetación de dunas costeras.



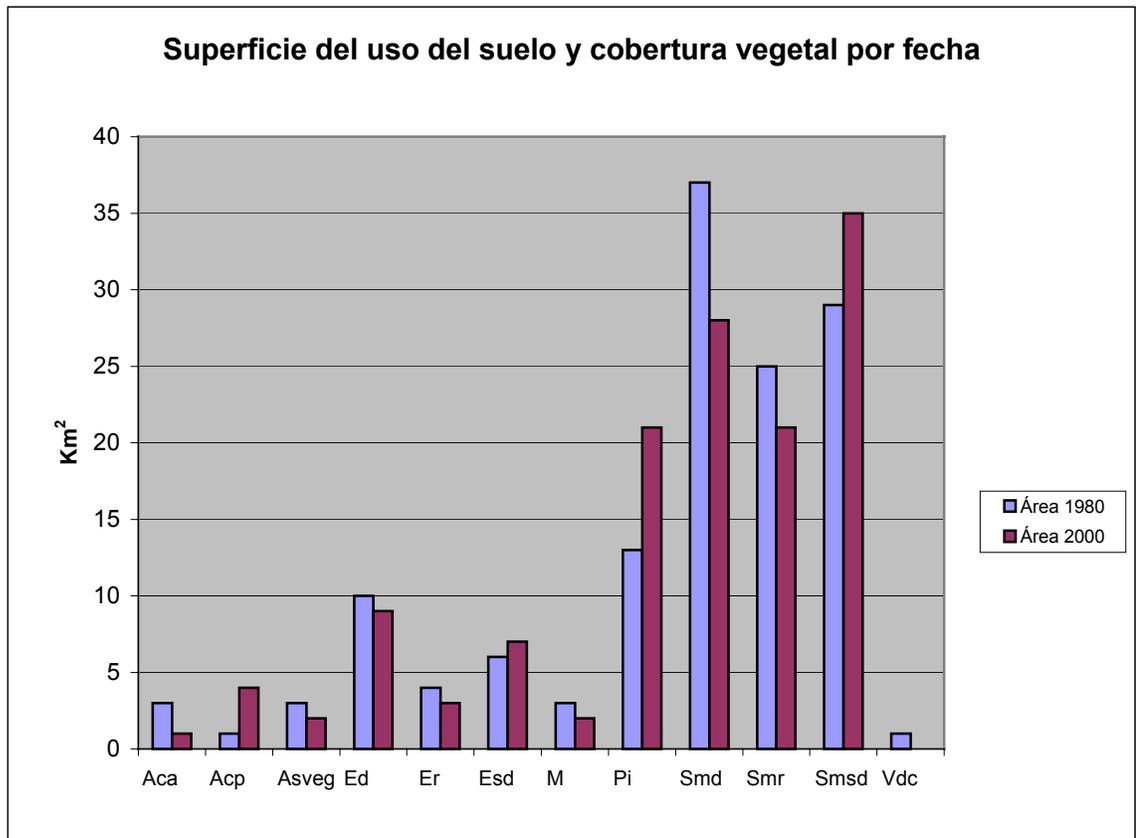


Figura 4.13 Comparación entre clases de uso del suelo-cobertura vegetal por año 1980-2000. La superficie de las coberturas se muestra en km^2 . Ver clases en tabla 4.8.

4.5.2 Cambios por clase de uso del suelo-cobertura vegetal (1980-2000)

Manglar

La clase de vegetación de manglar, que con su crecimiento protege las riveras de Laguna Lagartero, ha mermado su superficie en un 0.39% en el lapso mencionado, debido a la extracción de manglar que ha sido objeto para la construcción de casas y artes de pesca por la población local, también ha sido talado para realizar actividades de pastoreo, principalmente hacia el oriente y al sur de la laguna, principalmente en el canal que comunica a la laguna con el océano y el Río Cacalotepec.

Pastizal

La clase de pastizal como se señaló líneas arriba, es la que ha experimentado un crecimiento más vertiginoso en el área de estudio con un 5.4% de superficie en comparación con el año 1980, ya que aumentó su superficie en 7.6 km^2 . Esto se nota sobre todo en los



pedemontes, en la vertiente norte de Laguna Lagartero y al oriente de esta. También se nota esta tendencia creciente alrededor del poblado de San Martín y área central de la cuenca en laderas de lomeríos medios y altos, como también en la planicie costera.

Agricultura de cultivos anuales

La cobertura de agricultura de cultivos anuales disminuyó su superficie en un 1.10%, esto en relación con la cobertura de agricultura de cultivos permanentes, ya que se nota como ha tomado el lugar de esta clase, debido a que tal vez la población del lugar ve más rentable la producción de cítricos en comparación a la producción de productos agrícolas de subsistencia como el maíz y el frijol. Este cambio se localiza al sur del área de estudio, en casi la totalidad de la planicie costera y fluviodeltaica, alrededor de laguna Lagartero. Sin embargo esta clase abrió nuevos espacios al oriente del poblado de Monte Oscuro y alrededor de la población de San Martín, al sur de la cuenca.

Agricultura de cultivos permanentes

La clase de agricultura de cultivos permanentes (palma de coco y limón) mostró un fuerte aumento en su superficie que ocupó en comparación a veinte años atrás. Esta aumento su superficie en 3.0 km², con relación a la clase de agricultura de cultivos anuales que vio muy mermada su área que ocupaba, debido a las causas mencionadas anteriormente.

Vegetación de dunas costeras.

La clase de vegetación de dunas costeras casi desapareció en el año 2000, ya que en el año 1980 ocupaba una superficie de 0.78 km², esta cobertura fue sustituida casi en su totalidad por la cobertura de agricultura de cultivos permanentes, ya que extendió su superficie por la producción de árboles frutales y palmera de coco, este cambio se visualiza al sur de la cuenca, en la línea de costa, al sur de las planicies costeras.

Selva mediana densa.

La clase de selva mediana densa tuvo una disminución de 10.3 km², esto muestra que fue la cobertura que más disminuyo en superficie, ya que en 1980 ocupó un área de 37.6 km² y en el año 2000 solo ocupó un área de 27.3 km², debido a la extracción forestal y al aumento de la superficie agrícola en el área. Se puede ver que la selva más densa ocupaba las áreas de escurrimiento de las laderas de montaña y lomeríos, pero en el lapso de 1980-2000 se nota que esta continuidad en la vegetación se vio fragmentada, observándose aclaramientos en estas por tala para la ocupación de otros tipos de uso de suelo, como los usos agrícolas de cultivos anuales y sobre todo en la creación de pastizales para el ganado del área.

Selva mediana semidensa



La clase de selva mediana semidensa aumentó su superficie en 6.4 km², debido a que es notorio que ahora ocupa las áreas abiertas de las coberturas de selva mediana densa, debido a la extracción de madera, aunque también en algunas partes del área de estudio, ha sido substituida por usos de suelo de pastizal y también por usos de suelo de agricultura de cultivos permanentes y cultivos anuales.

Selva mediana rala

Esta clase de selva media rala vio mermada su superficie en 2.8 km² en el lapso 1980-2000, debido a que el mapa muestra que varias áreas pasaron a ser de uso de suelo de pastizales y de agricultura de cultivos anuales y permanentes, esto es notorio en la parte sur de la cuenca, sobre todo en los piedemontes al norte de Laguna Lagartero y en distintas partes del área. Pero en otras partes de la cuenca aumentó su superficie al abrirse más las coberturas de selva mediana densa y semidensa.

Bosque de encino denso

La clase de bosque de encino denso muestra una tendencia negativa en su superficie con una merma de 0.92 km² de superficie, ésto causado por la extracción de madera y de nuevos espacios para el uso de pastizales, debido a que esta cobertura se encuentra a más de 900 msnm y en laderas de montaña alta escarpadas. Aunque es importante notar que el noreste de la cuenca ha mostrado una recuperación en comparación del año 1980, en donde se nota que paso de cobertura de encino semidenso a una cobertura más densa.

Bosque de encino semidenso

Por lo que respecta a la cobertura de encino semidenso, se muestra una tendencia positiva de 0.98 km², esto puede resultar insignificante, pero es una porción importante de bosque de encino denso que fue abierto para la obtención de madera por los lugareños y de otras áreas que ocuparon los pastizales para alimentación del ganado. Esto se muestra claramente al norte de la cuenca en laderas de montaña alta, al sur de las poblaciones de Aguacatal Grande y Miramar.

Bosque de encino ralo

La cobertura de encino ralo muestra un decrecimiento de 0.95 km², ya que pasaron a ser áreas de bosque muy abiertas en donde se encuentra en la actualidad un uso del suelo de pastizales, pero en otras áreas pasó a ocupar el lugar de coberturas de encino semidenso, debido a los aclaramientos en los bosques de encino. Esto es notorio al norte del área, en las laderas de montaña alta, a más de 1,000 msnm.

Áreas sin vegetación



Las áreas de cobertura sin vegetación tuvieron un decremento en su superficie, debido a la temporalidad de las fotos aéreas de 1980, en las que se muestran áreas recién despojadas de su cobertura original, pero que en la actualidad han sido ocupadas por usos de suelo agrícola y de pastizales, esto es notorio en varios puntos en la cuenca. Aunque como se explicó anteriormente se encasillo en esta cobertura a las áreas de uso de suelo urbanas, estas mostraron un crecimiento incipiente en relación a 1980, que no fue un factor determinante en el aumento en la superficie de esta cobertura que se redujo en 1.1 km².

4.5.3 Diferencias de cambio-no cambio y tipos de cambios de los usos del suelo 1980-2000

Se encontró que hubo cambios en el uso del suelo en el 67% del total del área de estudio, por lo que el 33% del área permaneció con el mismo uso en el lapso 1980-2000. Los cambios se dieron principalmente en la parte baja, hacia el sureste de la cuenca en las planicies costeras, aunque en la mayoría de la cuenca ha habido perturbaciones importantes en las condiciones que presentaba en 1980 el uso del suelo (Figura 4.14).

Los cambios más importantes detectados fueron, de selva mediana densa a pastizales inducidos, correspondiéndole el 34.6%, mostrando el mayor porcentaje dentro de las diferencias totales en el cambio del uso del suelo más importante. El tipo de cambio de encino denso también cambió a pastizales inducidos con el 8.8%. Estos cambios se explican debido a la búsqueda de la población para realizar aperturas de áreas de selvas y bosques para utilizarlas como áreas de pastoreo.

Los cambios en las cobertura de selva mediana densa a selva mediana semidensa, fue del 24.1% del total de los cambios detectados, esto se debe al corte de la vegetación de la comunidad para satisfacer sus necesidades de leña y para diversos materiales de construcción, esto se observa en todas las partes de la cuenca que cuentan con cobertura de selvas medianas subperennifolias y subcaducifolias.

Cambios de uso de suelo de agricultura de cultivos anuales a agricultura de cultivos permanentes con el 12.9% del total de los cambios. Se detectan en las partes bajas de la cuenca, sobre todo en las planicies costeras, esto debido al cambio de actividades agrícolas llevados a cabo por la comunidad, en donde dejan de lado la siembra tradicional de maíz y frijol por la plantación de árboles de limón y de palma de coco que les reditúa mas económicamente.

De los cambios más notables que se observaron, fue de cobertura de Manglar a pastizales inducidos y agricultura de cultivos permanentes, esto es importante por las implicaciones que pudieran tener por la pérdida de esta cobertura, a estos cambios les correspondieron el 1.6% y 5.6% respectivamente del total. Esto se presentó en los alrededores



de Laguna Lagartero, debido a la extracción del manglar que realiza la comunidad para la construcción de casas y materiales para la pesca.

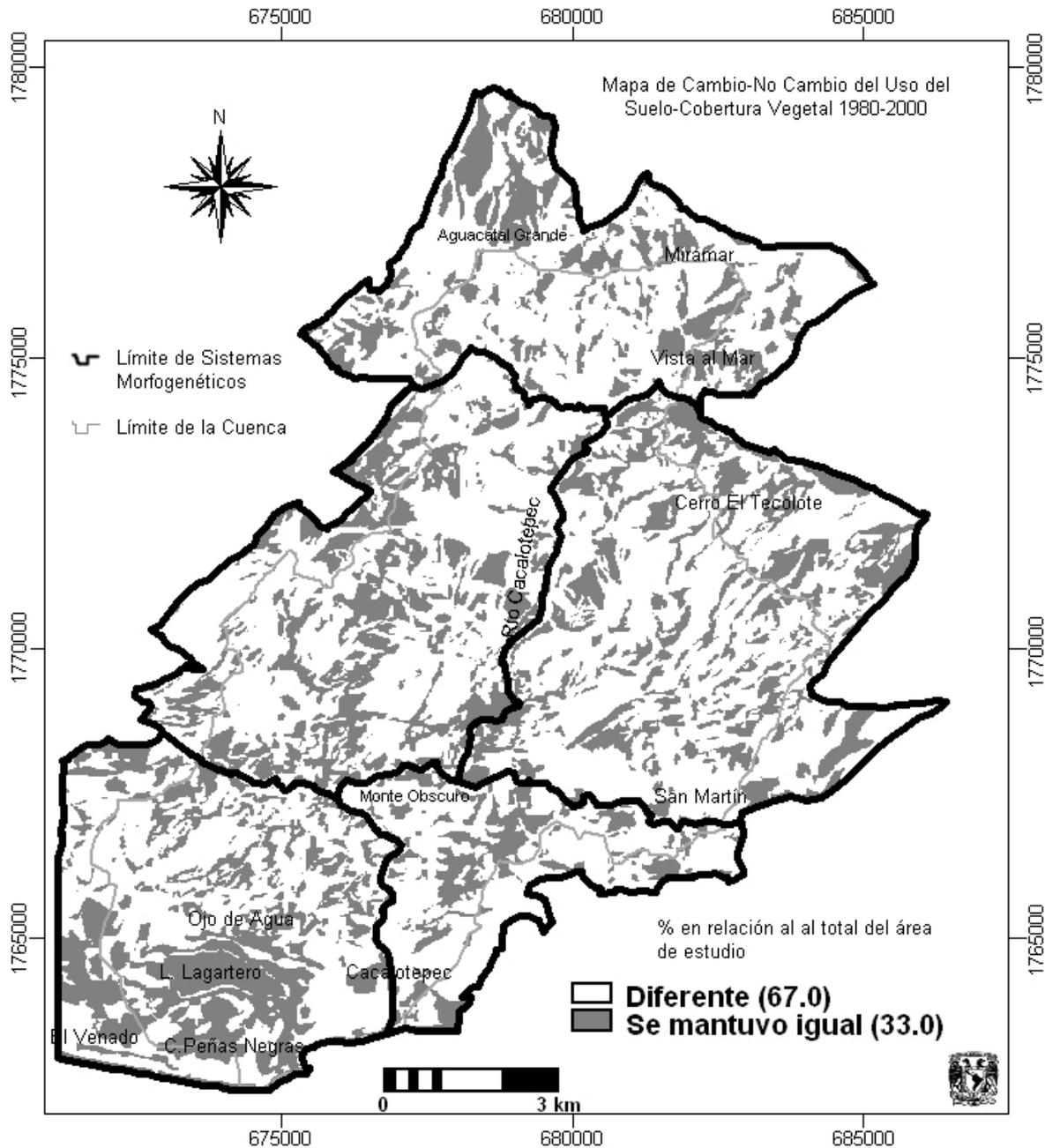


Figura 4.14 Mapa de cambio-no cambio del uso del suelo y cobertura vegetal en la cuenca del río Cacalotepec

Por lo que respecta al cambio de uso de las áreas sin vegetación por pastizales inducidos, se tuvo el 12% del total de cambios, pueden estar mezclados los dos usos, ya que era difícil distinguir con la fotointerpretación si en realidad estaban desprovistos totalmente de

vegetación esas áreas o contenían una cobertura muy rara, por ese motivo pueden estar mezclados estos dos tipos de usos del suelo.

4.6 Cambios en los usos del suelo/cobertura vegetal por sistemas morfogénéticos

Se realizó un análisis de los cambios en el uso del suelo/cobertura vegetal por SM, ya que de esta manera es posible notar las áreas que han tenido un mayor cambio para que fuera posible relacionarlos con cada UM y relacionar entre ellas dichos cambios.

4.6.1 SM Aguacatal Grande

De la superficie total del SM Aguacatal Grande se tiene que para 1980, el 39.0% era bosque de encino denso, el 23.2% fue bosque de encino semidenso, el 17.5% fue bosque de encino ralo y el 6.1% fue pastizal inducido. Para el 2000 el 35.3% fue bosque de encino denso, el 26.5 % fue semidenso, el bosque de encino ralo fue el 13.8% y el pastizal ocupó el 14.1%.

En los cambios más importantes se nota una reducción del 3.7% en los bosques de encino densos, en el bosque de encino semidenso se presentó un aumento del 3.3%, y en el bosque de encino ralo se tuvo una disminución del 3.7%, esto se nota principalmente al oriente del sistema en las laderas de montaña alta. Los bosques de encino se localizan en la parte más alta del área de estudio, de los 950 a los 1,180 msnm, por lo consiguiente por eso se encuentra esta cobertura en este sistema morfogénético donde están ocupando las laderas de montaña alta y lomeríos altos en su gran mayoría.

Por lo que respecta a las selvas medianas, no tuvieron mayores cambios significativos conservando su área en su mayoría, teniendo solo una disminución del 0.3% en veinte años, éstas se localizan al sur del sistema y los cambios en las selvas medianas se observan al sureste en donde se nota una transición a bosque de encino semidenso y ralo, y también cambiaron a pastizales, sobre todo en las laderas de montañas altas y bajas.

Los pastizales se localizan en su mayoría al sur del sistema, en la UM de laderas de montaña alta, y al oriente en la UM de laderas de montaña alta y baja principalmente, al norte ocupan casi una tercera parte del piedemonte local intermontano. Esta cobertura tuvo el mayor crecimiento en el sistema, ya que aumentó su superficie del 6.1 al 14.1% en el 2000, teniendo un crecimiento del 8.0% en veinte años. Donde se tuvieron los cambios más importantes fue al sur del sistema, ocupando áreas que antes eran de selvas medianas densas y semidensas, y bosque de encinos densos en las UM de laderas de montaña alta. Al norte del sistema, en el piedemonte intermontano desplazaron a la cobertura de encino ralo.



Las áreas sin vegetación fueron las más estables, disminuyendo su área en veinte años en un 0.1%, esto sobre todo al centro del sistema en las UM de laderas de montaña alta donde se explica su reducción, ya que por la temporalidad de las fotos aéreas, por la fecha en que se tomaron (febrero de 1980), estas tierras estaban recientemente desprovistas de su cobertura natural, por lo que en el año 2000 se encuentran ocupadas por pastizales inducidos.

4.6.2 SM Cacalotepec

En el área que ocupa el SM Cacalotepec se tiene para 1980, el 40.2% eran Selvas medianas densas, el 16.3% fue Selva mediana semidensa, el 28.7% correspondió a selvas medianas ralas y el 8.9% fueron pastizales inducidos. Las áreas sin vegetación eran el 5.6% del sistema. En el año 2000 el 27.05% fueron selvas medianas densas, el 37.3% correspondieron a selvas medianas semidensas, el 17.4% eran selvas medianas ralas y para los pastizales ocuparon el 17.3% del sistema. Las áreas sin vegetación ocuparon para el 2000 sólo un área del 0.5%.

Así la selva mediana densa redujo su área en un 13.2%, las selvas medianas semidensas tuvieron un aumento del 21.0% y la selva mediana rala tuvo una reducción del 11.3%. Las selvas medianas densas, semidensas y ralas se encuentran distribuidas en todos los tipos del relieve, pero principalmente al occidente del sistema en laderas de montaña alta y baja, y lomeríos altos y medios, y al sureste del sistema en los piedemontes locales intermontanos ocupan más del 50% del área de estos. Las selvas medianas se encuentran en altitudes de 100 a 950 msnm en la cuenca de Laguna Lagartero.

En general en el sistema, la cobertura de selva mediana densa dejó de ser la cobertura con mayor superficie en 1980, así la cobertura de mayor tamaño en el 2000 fue la selva mediana semidensa, esto debido seguramente a desmontes para inducir pastizales y la extracción de madera para leña por parte de la población local.

Los pastizales inducidos se localizan en varios puntos del sistema pero se concentran en su mayoría al norte del sistema en laderas de montaña baja y en los lomeríos medios, al oriente del sistema en las márgenes del río Cacalotepec, también encontrándose sobre laderas de montaña baja y lomeríos medios. Esta cobertura tuvo el aumento de superficie más grande en el sistema ya que aumentó su tamaño en un 9.0% en veinte años.

Las áreas sin vegetación tuvieron una notable reducción de 1980 al 2000 (Figura 5.12), reduciendo su superficie en más del 5% en el mismo lapso, esto es notorio en la fotografía aérea de 1980, en donde al noreste del sistema, en las márgenes del Río Cacalotepec, en laderas de montaña altas y bajas se tenía una gran área sin vegetación y para el año 2000 esta



ya había sido ocupada por uso de suelo/cobertura de pastizal inducido (Figura 4.12), debido a que el año 1980 se habían recién desmontado para aprovecharlas con fines pecuarios.

4.6.3 SM Cerro El Tecolote

De la superficie total del SM Cerro El Tecolote se tiene que para 1980, el 45.3% era selva mediana densa, el 30.6% fue selva mediana semidensa, el 14.1% fue selva mediana rala y el 8.9% fue pastizal inducido. Las áreas sin vegetación ocuparon el 0.8%. Para el 2000 el 33.8% fue selva mediana densa, el 27.7% fue selva mediana semidensa, el 22.8% fue selva mediana rala y el pastizal tuvo una superficie del 13.4% del sistema. Las áreas sin vegetación mantuvieron el mismo número y el pastizal ocupó el 14.1%. Las áreas sin vegetación mantuvieron el mismo 0.8% del sistema. Además aparecieron nuevas áreas de uso del suelo agrícola de cultivos anuales para el año 2000.

La cobertura de selva densa disminuyó su área en 11.5% la selva mediana semidensa en 2.9% y la selva mediana rala aumentó en 8.7%. Las selvas medianas densas tenían mayor superficie en 1980 en el norte del sistema, sobre todo en las UM de laderas de montaña alta como en el Cerro El Tecolote, y en los lomeríos altos y medios, pero cambiaron a selvas medianas semidensas con aparición de parches de cobertura de pastizales inducidos para el año 2000. En este sistema la selva mediana densa conservó su superficie a comparación del sistema morfogénico Cacalotepec, pese a la inducción de pastizales para el ganado en la cobertura de selva mediana, debido a la presencia de asentamientos humanos, como las poblaciones de San Martín.

Los pastizales inducidos se encuentran en varios puntos del sistema, en casi todas las UM, con excepción de la UM de planicie aluvial, encontrándose en mayor número al suroeste del sistema, alrededor del poblado de San Martín, en donde en el 2000 se nota un crecimiento del área de uso /cobertura de pastizales del 4.3% en el sistema.

Las áreas sin vegetación permanecieron iguales, mostrando un crecimiento muy incipiente, ya que dentro de esta cobertura se encuentra el poblado de San Martín que no ha tenido un crecimiento importante en su infraestructura. Este se encuentra sobre la UM de planicie aluvial y en menor medida al piedemonte local íntermontano al sur del sistema.

Se encontraron nuevas áreas de uso de suelo/cobertura vegetal de cultivos anuales en el 2000, con una superficie del 1% del sistema. Éstas se encuentran principalmente en el piedemonte local íntermontano y la UM de laderas de montaña alta al noreste del poblado de San Martín, al sur del sistema morfogénico.



4.6.4 SM Laguna Lagartero

En el área que ocupa el SM Laguna Lagartero se tiene que para 1980, el 14.0% era selva mediana densa, el 19.6% fue selva mediana semidensa y el 20.7% fue selva mediana rala, siendo esta última la cobertura con mayor superficie. Para el 2000 fue para la selva mediana densa el 13.9%, el 21.6% para la selva mediana semidensa y el 12.8% para la selva mediana rala.

Esta cobertura de selvas medianas en sus diferentes densidades no muestran una baja tan significativa al norte del sistema en las laderas de montaña baja, aunque se nota una pérdida mayor de estas coberturas en la parte más baja del sistema de los 40 a 120 msnm aproximadamente, donde existen una gran área de inducción de uso de suelo agrícola de cultivos permanentes como palma de coco y árboles de limón, así también de inducción de pastizales en las UM de piedemontes generales y planicies costeras, esto debido a la presencia humana que se asienta en los poblados de Cacalotepec, Ojo de Agua y El Venado, al sur de este sistema morfogénético.

En la parte más baja del sistema, en el intervalo de los 20 a los 120 msnm, el uso del suelo está siendo utilizada para pastoreo. Los pastizales son inducidos en coberturas que anteriormente habían sido de selva mediana rala, sobre todo en las UM de piedemontes generales al poniente del poblado de Cacalotepec. Se nota un crecimiento más acelerado de pastizales en el 2000, sobre todo al norte de Laguna Lagartero en las UM de piedemonte y en las planicies costeras, el crecimiento de áreas de pastizal inducido fue de 7.0% en el lapso 1980-2000 en el sistema.

El uso de suelo agrícola se asienta también en la parte más baja de la cuenca y del SM Laguna Lagartero, ocupando en el año 2000 la UM de piedemonte general al noroeste de la Laguna Lagartero, y estableciéndose en grandes áreas de las UM de planicies costeras y fluviodeltaicas al sur del sistema morfogénético. La cobertura agrícola de cultivos anuales tuvo una baja muy sensible en su superficie de 9.1% que ocupó en 1980 a solamente el 2.3% total del área en el 2000, esta fue sustituida en gran parte por los cultivos agrícolas permanentes, ya que esta cobertura tuvo el crecimiento más grande del sistema con un 9.9 de aumento de su superficie en veinte años. Este uso del suelo/cobertura se asentaba en 1980 solo al poniente de la Laguna Lagartero en la UM de la planicie costera, pero para el año 2000 ocupaba ya toda la planicie costera alrededor de la planicie marginal lagunar costera y alrededor de Laguna Lagartero, e incluso en una gran área al sur del poblado de Cacalotepec en la planicie fluviodeltaica, esto en detrimento de la cobertura de los manglares. En la actualidad la cobertura de cultivos permanentes ocupa el 15.2% del sistema morfogénético de Laguna Lagartero.



La cobertura de manglar, como se mencionó anteriormente tiene una importancia mayúscula ya que protege a la laguna de la erosión, ya que ha visto mermada su cobertura, así en 1980 contaba con el 11.1% total del sistema, para el 2000 fue del 10.8%, esto es visible al oriente de Laguna Lagartero, donde la cobertura de manglar desapareció, siendo sustituida por coberturas de cultivos permanentes, sobre todo en el área del canal que comunica a la Laguna Lagartero con el río Cacalotepec en la UM de planicie fluviodeltaica.

Las áreas sin vegetación tampoco tuvieron cambios significativos, ya que hubo una disminución del 0.3%, debido a posibles errores en la fotointerpretación o también a la temporalidad de las fotos aéreas, en que las áreas cartografiadas en 1980 fueron áreas recién desmontadas y que no presentaron rasgos de vegetación. Las áreas que en el 2000 se muestran sin vegetación son las poblaciones de Cacalotepec, Ojo de Agua y El Venado, donde se nota que no tuvieron un crecimiento importante en su infraestructura en el lapso 1980-2000. También otras áreas sin vegetación fueron el lecho rocoso del río y en el área de la costa que bordea al Océano Pacífico, en el sur del sistema.

El cuerpo de agua que se asienta en la UM de planicie lagunar costera conocida como Laguna Lagartero, muestra una disminución en su superficie debido a un menor aporte de agua dulce y salada, debido tal vez a la menor incidencia en la apertura de la barra que separa a la laguna del océano, esta disminución en la superficie de la laguna puede deberse a un error en los trazos en los bordes delimitados en la fotointerpretación, pero si no fuera así en 1980 la superficie del cuerpo de agua fue del 4.0% y en 1980 ocupó el 3.9% del área total del sistema

La clase de cobertura de vegetación de dunas costeras ocupaba en el sistema el 2.7%, pero en el año 2000 casi había desaparecido, ocupando solo el 0.01% del área, siendo sustituida en su mayoría por coberturas de uso de suelo agrícola permanentes, esto en las planicies costeras del SM.

4.6.5 SM Monte Oscuro

En este sistema morfogénético se tuvo que en 1980 el 12.8% era selva mediana densa, el 34.9% fue selva mediana semidensa y el 22.2% fue selva mediana rala. Para el año 2000, el 16.4% fue selva mediana densa, el 35.4% fue selva mediana semidensa y el 14.8% fue selva mediana rala. Estas coberturas se encuentran en UM de lomeríos medios y bajos en la mayor parte del sistema, a excepción de la UM de planicie fluviodeltaica en el sur de la cuenca. Esto indica que hubo en este sistema una recuperación de selvas densas en un 3.6% en veinte años, en la cobertura de selva mediana semidensa prácticamente no tuvo cambios, pero en la selvas medianas ralas en veinte años indica una disminución del 7.4% en superficie.



El pastizal inducido también no muestra un crecimiento en la superficie de su cobertura, ya que en 1980 ocupaba el 22.2% del sistema y en el 2000 disminuyó al 22.0%, los pastizales se concentran principalmente al norte del sistema en la UM de lomeríos medios y bajos, y también en forma de pequeñas parcelaciones en todo el sistema, esto debido al uso ganadero que dan los pobladores de los asentamientos de Monte Oscuro y San Martín.

El uso de suelo agrícola de cultivos anuales tuvo un crecimiento importante en las UM de planicies fluviodeltaicas al sur de la cuenca y del sistema, aumentando el doble de su superficie en el lapso 1980-2000, ya que en 1980 cubría un área del 3.8% y en el 2000 duplicó su superficie a 6.35% del área total del sistema. Los cultivos anuales en 1980 solo ocupaban la parte más baja y al sur de la planicie fluviodeltaica, pero en el año 2000 aumentó espacialmente su presencia aumentando su cobertura en toda la planicie fluviodeltaica y llegando a ocupar la UM de piedemonte general. También en el 2000, aparecen nuevas parcelaciones de agricultura de cultivos anuales, hacia el poniente del sistema, en el meandro que forma el Río Cacalotepec, en el borde poniente del Poblado de Monte Oscuro, ahí se encuentra sobre el piedemonte general y en las laderas inferiores de lomeríos medios.

También aparecen nuevas áreas dedicadas al uso agrícola de cultivos permanentes al sur del sistema, en la UM de planicie fluviodeltaica, ocupando un 1.0% del área del sistema. Esta se encuentra intercalada con coberturas de uso agrícola de cultivos anuales, esta cobertura no aparecía en el SM en el año 1980.

Las coberturas de áreas sin vegetación en el 2000 aumentaron el doble de las que se tenían en 1980, ya que se notan nuevos aclaramientos en la cobertura vegetal hacia el norte de sistema a lo largo de la riera sur del Río Cacalotepec, pero donde se nota con mayor claridad es al noreste del sistema en la parte sur del poblado de San Martín, donde es notorio el crecimiento de este hacia el sur, penetrando en las laderas inferiores de UM de lomeríos medios y así como en las laderas superiores de estas mismas UM.

La cobertura de manglar se localiza al sur del sistema en la UM de planicie fluviodeltaica, en donde se ha visto reducida su superficie prácticamente a la mitad de la que se tenía en 1980, que era del 1.5% del sistema, esta se redujo un 0.7% aproximadamente hacia el 2000. En la actualidad se observa fragmentada en pequeños manchones en el área de la desembocadura del Río Cacalotepec con el Océano Pacífico en la planicie fluviodeltaica, encontrándose intercalado con usos de suelo agrícola de cultivos anuales y permanentes, además de áreas sin vegetación como el lecho rocoso del Río Cacalotepec (Tabla 4.9).



Tabla 4.9 Tabla de usos del suelo por unidades morfogénicas en el área de estudio.

SM	Unidad morfogénica	Usos de suelo / Cobertura vegetal %		% de cambios y no cambios del total en el SM	Tipos de Cambio en relación a los cambios mas importantes en el SM %
		1980	2000		
SM Aguacatal Grande	Laderas de montaña alta	Ed 49.1, Esd 18.6, Er 16.0, Smd 1.9, Smsd 6.0, Smr 2.3, Pi 5.4	Ed 34.3, Esd 23.2, Er 17.5, Smsd 5.3, Smr 5.2, Pi 14.2	No cambió 30.1 Cambió 69.9	Er a pi 34.8 Smd a Smr 18.1 Ed a Er 8.9
	Laderas de montaña baja	Ed 24.3, Esd 31.6, Er 18.4, Smd 6.8, Smsd 3.7, Smr 8.8, Pi 5.9	Ed 35.2, Esd 35.1, Er 7.3, Smd 1.9, Smsd 3.7, Smr 3.7, Pi 12.7		
	Piedemonte Local Íntermontano	Ed 10.8, Esd 27.9, Er 42.9, Pi 18.1	Ed 44.7, Esd 9.7, Er 16.3, Pi 29.0		
	Lomerío Alto	Bed 1.69, Besd 16.9, Ber0.1, Smd 59.7, Pi 20.1	Ed 85.5, Esd 4.1, Pi 10.3		
SM Cacalotepec Occidente	Laderas de montaña alta	Smd 34.7, Smsd 18.5, Smr 32.8, Pi 5.4, Asveg, 8.4	Smd 35.8, Smsd 44.6, Smr 9.7, Pi 9.7	No cambió 31.3 Cambió 68.7	Smd a Pi 28.4 AsVeg a Pi 17.3 Smd a Smr 11.5
	Laderas de montaña baja	Smd 40.8, Smsd 13.6, Smr 25.0, Pi 11.4, Asveg 9.0	Esd 0.4 Smd 19.4, Smsd 34.9, Smr 23.8, Pi 20.6, Asveg 0.5		
	Lomerío Alto	Smd 51.7, Smsd 20.0, Smr 24.5, Pi 3.7	Smd 38.4, Smsd 46.0, Smr 11.0, Pi 4.4		
	Lomerío Medio	Smd 36.6, Smsd 17.3, Smr 35.4, Pi 9.6	Smd 28.2, Smsd 31.6, Smr 14.9, Pi 24.3		
	Lomerío bajo	Smsd 12.5, Smr 52.7, Pi 34.7	Smd 0.3, Smsd 31.5, Smr 41.0, Pi 24.7		
Piedemonte Local Íntermontano	Smd 65.8, Smsd 20.2, Smr 12.1, Pi 1.7	Smd 33.3, Smsd 35.7, Smr 1.8, Pi 19.2, Asveg 9.8			
SM Cerro El Tecolote	Laderas de montaña alta	Smd 45.5, Smsd 32.1, Smr 13.5, Pi 8.3	Smd 35.2, Smsd 2.9, Smr 24.5, Pi 10.4	No cambió 31.2 Cambió 68.8	Smd a Smr 29.1 Smr a Pi 13.3
	Laderas de montaña baja	Smd 49.9, Smsd 22.1, Smr 17.0, Pi 10.6	Smd 26.6, Smsd 39.3, Smr 23.2, Pi 10.4		
	Lomerío Alto	Smd 39.4, Smsd 24.9, Smr 19.6, Pi 15.9	Smd 38.1, Smsd 11.3, Smr 22.3, Pi 25.5		
	Lomerío Medio	Smd 51.2, Smsd 32.7, Smr 9.4, Pi 1.7	Ed 0.1, Esd 0.1, Er 0.1 Smd 39.1, Smsd 19.7, Smr 18.0, Pi 21.6		
	Lomerío bajo	Smd 48.4, Smsd 11.5, Smr 16.0, Pi 23.9	Smd 2.3, Smsd 0.1, Smr 42.6, Pi 54.9		
	Piedemonte Local Íntermontano	Smd 1.4, Smsd 65.3, Smr 25.1, Pi 4.2, Asveg 3.9	Smd 47.8, Smsd 11.5, Smr 12.2, Aca 19.9		
	Planicie fluvial Íntermontana	Smsd 39.7, Smr 5.3, Pi 7.5, Asveg 45.7	Smsd 15.3, Smr 9.9, Pi 12.8, Aca 14.9		
SM Laguna Lagartero	Laderas de montaña baja	Smd 28.1, Smsd 27.0, Smr 40.4, Pi 4.1	Smd 31.7, Smsd 33.1, Smr 21.4, Pi 9.1		
	Lomerío Medio	Smd 25.7, Smsd 33.6, Smr 32.0, Pi 7.8	Smd 22.2, Smsd 35.3, Smr 22.8, Pi 17.4		
	Lomerío Aislado Medio	Smd 1.0, Smsd 84.2, Smr 1.7, Pi 5.5, Aca 5.7, Acp, 0.02	Smd 2.5, Smsd 71.5, Smr 5.9, Pi 2.7, Acp, 8.3		
	Lomerío bajo	Smr 27.5, Pi 55.1, Aca 6.2, Acp 11.0	Smr 53.0, Asveg 46.9		
	Lomerío Aislado Bajo	Pi 65.7, Acp 10.2, M 24.0	Smr 25.8, Acp 17.5, M 54.6		



	Piedemontes Generales	Smd 13.6, Smsd 21.2, Smr 28.0, Pi 20.0, Asveg 0.4, Aca 5.1, M 3.7	Smd 9.5, Smsd 21.4, Smr 20.0, Pi 25.4, Asveg 2.5, Aca 7.8, Acp, 7.6, M 5.4	No cambió 41.5 Cambió 58.5	Smd a Pi 24.3 Aca a Acp 11.1 M a Acp 8.9
	Piedemonte Local Intermontano	Smsd 16.8, Asv 83.1	Smd 89.6, Asv 10.3		
	Planicie fluvial	Smd 8.3, Smsd 4.1, Smr 11.4, Pi 0.1, Asveg 66.1, M 9.8	Smd 0.3, Smsd 3.8, Smr 1.4, Pi 13.6, Asveg 72.3, Aca 8.0, Acp 0.2		
	Planicie fluvio-Deltaica	Asv 14.3, Aca 25.3, M 60.2	Pi 1.6, Asv 16.5, Aca 1.8, Acp 76.1, M 3.7		
	Planicie Costera	Smsd 2.2, Pi 16.3, Asveg 11.4, Aca 32.9, Acp, 24.3, M 2.9	Smsd 0.6, Pi 22.5, Asveg 12.4, Aca 5.9, Acp, 52.6, M 4.1		
	Planicie marginal lagunar costera	Smsd 0.8, Smr 0.4, Pi 4.9, Asveg 2.4, Aca 4.7, Acp, 0.4, M 82.7	Smsd 2.1, Smr 1.3, Pi 6.9, Asveg 2.4, Aca 0.4, Acp, 6.0, M 79.0		
	Planicie Lagunar Costera	M 5.2	M 11.3		
	Laderas de montaña baja	Smd 17.1, Smsd 13.2, Smr 61.7, Pi 7.8	Smsd 89.9, Smr 4.8, Pi 5.2		
SM Monte Oscuro	Lomerío Alto	Smd 41.2, Smsd 40.9, Smr 12.2, Pi 3.5	Smd 14.4, Smsd 24.3, Smr 30.9, Pi 26.2, Aca 1.0	No cambió 25.7 Cambió 74.3	Smd a Smr 22.1 Smr a Pi 17.3 Smr a Acp 10.1
	Lomerío Medio	Smd 8.3, Smsd 45.7, Smr 21.5, Pi 23.6, Asveg 0.2	Smd 23.1, Smsd 30.6, Smr 18.2, Pi 24.5		
	Lomerío bajo	Smsd 13.8, Smr 10.0, Pi 76.1	Smd 12.2, Smsd 36.1, Smr 2.7, Pi 46.0		
	Piedemontes Generales	Smd 70.2, Smsd 7.7, Smr 18.1, Asveg 3.7	Smsd 61.4, Asve 0.3, Pi 2.1, Aca 36.0		
	Piedemonte Local Intermontano	Smd 46.0, Smsd 37.0, Pi 16.9	Smsd 0.2, Smr 2.6, Asveg 36.4, Aca 58.6		
	Planicie fluvio-Deltaica	Smsd 2.3, Smr 1.3, Pi 12.7, Asveg 14.5, Aca 47.9, M 20.6	Smsd 4.1, Pi 2.9, Asveg 12.5, Aca 56.3, Acp 14.2, M 9.9		

Tabla 4.9 Cuadro de usos del suelo por unidades morfogénéticas en el área de estudio (Continuación).

4.7 Discusión sobre problemática ambiental en la cuenca y en la Laguna Lagartero

Los cambios del uso suelo-cobertura vegetal en el lapso estudiado, tienen incidencias ambientales y geomorfológicas en la cuenca, ya que ciertas modificaciones se están llevando a cabo en las partes bajas de la cuenca, sobre todo en las planicies, en donde los elementos del relieve se desestabilizan o alteran para tener nuevas condiciones en la dinámica social de las poblaciones que ocupan ese espacio. Así, aquí se muestran en forma general los resultados obtenidos por estos factores en los sistemas morfogénéticos del área de estudio:

- Acarreo de material de las laderas de montaña altas y medias y de los lomeríos a las partes bajas de la cuenca y a la Laguna Lagartero
- Aparición de nuevas áreas agrícolas y de pastizal inducido en sistemas morfogénéticos en las partes altas de la cuenca
- Colmatación en un futuro de la parte baja de la cuenca y de la laguna costera
- Crecimiento de la población
- Aparición de nuevas vías de comunicación, como carreteras y brechas



En los cambios del uso del suelo-cobertura vegetal, en el aspecto de pérdida de coberturas naturales, pueden implicar cambios importantes en la dinámica de la cuenca, esto se nota principalmente en los tres SM de Aguacatal Grande, Cacalotepec Occidente y Cerro El Tecolote, que tienen una influencia indirecta en la Laguna Lagartero, así se tiene que dichos cambios como en las clases de bosques de encino en las partes más altas de la cuenca y de selvas medianas en sus tipos de coberturas (densas, semidensas y ralas), tuvieron un descenso de un 4 a un 3% en su densidad en veinte años, esto puede causar problemas debido al arrastre de suelo por medio del escurrimiento en época de lluvias en las laderas de montaña altas y medias, como también en laderas de lomeríos altos, medios y bajos. Aunque no sea una pérdida tan significativa de la cobertura vegetal, se nota que la clase que ha tenido un crecimiento más importante en estos SM hacia el 2000 es la clase de pastizal inducido y en menor medida el uso de suelo agrícola de cultivos anuales.

Tomando en cuenta estos parámetros, la conservación del material de las laderas se ha agravado por una menor protección de la vegetación natural, ya que las áreas de cultivos anuales y el pastizal inducido dejan más expuesto el suelo en la laderas, también se observó que las laderas de montaña y los lomeríos tienen una pendiente dominante de 8 a 16° y en menor medida de 16 a 24°, lo empinado de la pendiente con estos parámetros, provoca desde erosión laminar hasta desprendimientos de tierra. El material de las laderas, al ser transportado por las corrientes que descienden del Río Cacalotepec como materiales en suspensión en época de lluvias depositan material en Laguna Lagartero. Esto se comprueba por estudios hechos anteriormente en donde se identificaron depósitos de sedimentos arenosos en la desembocadura del canal que vierte sus aguas en Laguna Lagartero. Estas condiciones contribuyen a la colmatación y cierre de la barra de la laguna y a una acelerada erosión en la cuenca.

Se menciona con particular interés a los SM Laguna Lagartero y Monte Oscuro, ya que estos tienen una influencia directa en el cuerpo lagunar, sobre todo en las laderas de montaña baja, lomeríos medios y bajos que tienen escurrimientos directos a la parte baja de la cuenca y a Laguna Lagartero. En estas laderas se tienen unas pendientes predominantes de 8 a 16°, este se considera un relieve moderadamente empinado con procesos de erosión laminar, reptación y deslizamientos (Verstappen, 1991), que aunados a los cambios en el uso del suelo-cobertura vegetal en el aspecto de que los usos de suelo agrícola y de pastizales pueden provocar mayor inestabilidad en los materiales (op. cit.). También se nota en el piedemonte al norte de Laguna Lagartero, que ha tenido cambios importantes, ya que la selva media ha ido perdiendo superficie en su cobertura a favor de los pastizales inducidos en donde éstos



aumentaron del 20% al 24.5% del área total del SM laguna Lagartero, aunque los piedemontes cuentan con pendientes suaves de 2 a 4°, pueden presentar movimientos de baja velocidad por procesos fluviales, como erosión laminar, que vierten sus sedimentos en la parte baja de la cuenca y en la Laguna Lagartero.

Otro aspecto importante son las condiciones que presentan las planicies en el SM Laguna Lagartero, en donde la planicie marginal lagunar costera con una cobertura vegetal de manglar han perdido el 0.46% del área que ocupaban originalmente en 1980. Esta pérdida se dio en el canal que comunica a la laguna con el río Cacalotepec, debido a la extracción de madera por los pobladores en la cuenca para la construcción y artes de pesca. La pérdida, aunque no es para poner en peligro la permanencia de esta cubierta vegetal y la calidad del ecosistema de Laguna Lagartero, puede ser afectada en algunos años de seguir su destrucción (Penié, 2002). El manglar permite la estabilidad de las orillas de la laguna y su desaparición provoca erosión acelerada del margen arenoso, ya que la vegetación de manglar protege las riveras de la laguna de los embates de las mareas y oleajes fuertes, provocados por los temporales del Océano Pacífico.

Unos de los cambios importantes detectados en el área de estudio que podría estar afectando ambientalmente a la laguna, es la aparición de nuevas áreas de uso de suelo agrícolas y de pastizales inducidos. El uso de suelo agrícola de cultivos anuales tuvo importantes cambios, aparte del que ocupaba en 1980 en las planicie costera, fluviodeltaicas y en los piedemontes generales al norte de Laguna Lagartero, aparecieron nuevas áreas en el 2000, ocupando el 1% del SM Cerro El Tecolote, hacia el sur y oeste del poblado de San Martín, asentándose sobre la UM de piedemonte local íntermontano y laderas de montaña alta, además de otra área que aparece al oriente y sur del SM Monte Oscuro, al oeste del poblado de Monte Oscuro, asentándose sobre el piedemonte local íntermontano, donde es en los piedemontes de este sistema que se localiza una mayor acumulación de suelo enriquecido por depósitos fluviales del Río Cacalotepec .

Los cambios en el uso del suelo-cobertura vegetal indican la problemática en el aumento de la clase de cultivo anuales en los SM Laguna Lagartero y Monte Oscuro, en donde hay un mayor acarreo de materiales a la cuenca baja y a la laguna, debido a que el suelo permanece sin uso durante seis meses, debido a que son cultivos de ciclo anual. También hay que tomar en cuenta el aumento del uso de herbicidas y fertilizantes al dedicarse más espacio a la agricultura, ya que los escurrimientos depositan estas sustancias en el cuerpo lagunar, como también en la parte baja de la cuenca, provocando problemas de eutrofización.



Otra problemática que se detectó es la presencia del crecimiento de la población y de la infraestructura urbana en la cuenca, abriéndose nuevas vías de comunicación como brechas, principalmente al norte y poniente del SM Aguacatal Grande y Cacalotepec, estas nuevas brechas se localizan sobre laderas de montaña alta y baja, contribuyendo con movimientos de material, a estos factores se une el crecimiento de la población, que se estima creció un 68.4% en veinte años, esto se manifiesta en una demanda de recursos que cumpla con sus expectativas de vida, como la apertura de nuevas áreas para la construcción de casas y de nuevas parcelaciones agrícolas y de pastizales inducidos que contribuyen a la erosión y remoción de material, pudiendo en un futuro provocar problemas de colmatación en la Laguna Lagartero.



II. Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo se han obtenido de los resultados de la geomorfología, cambio del uso del suelo-cobertura vegetal y de los análisis con relación a ambos aspectos.

Identificación y delimitación de unidades morfogenéticas.

Con relación a los resultados obtenidos de la cartografía morfogenética, se llega a concluir, de manera general, que la cuenca del Río Cacalotepec es un área montañosa con laderas abruptas por las características tectónicas del área. Tiene características bastante homogéneas en términos del origen y edad del relieve, pero tiene también ciertas particularidades específicas en las partes bajas en los diferentes tipos de planicies.

En lo que se refiere a los tipos morfogenéticos, resultó que el 61.9% del área de estudio está constituida por laderas de montaña, el 25.1% son lomeríos, los piedemontes ocupan el 3.7% y, por último, se tienen las planicies que ocuparon el 9.1% del área.

La morfometría indica una altitud predominante de 400 a 600 m en el 18% de la cuenca del Río Cacalotepec, las pendientes predominantes en toda el área fueron de 8 a 16° y de 16 a 24° con el 31.1% y el 24.7% del área respectivamente. Las laderas presentaron formas convexas en el 62.6%, rectas el 26.5% y el 10.7% correspondió a laderas con formas cóncavas.

Las características geomorfológicas tienen una influencia directa en el cuerpo lagunar, sobre todo las laderas de montaña baja, lomeríos medios y bajos que tienen escurrimientos directos a la parte baja de la cuenca y a la Laguna Lagartero. En estas laderas se tienen unas pendientes moderadamente abruptas con deslizamientos de baja velocidad por procesos fluviales que vierten sus sedimentos en la parte baja de la cuenca y en la Laguna Lagartero.

Cambios del uso del suelo y la cobertura vegetal (1980-2000).

El análisis presentado permitió proponer un enfoque metodológico para el estudio en cuencas, en donde fue posible observar cambios del uso del suelo-cobertura vegetal con las variables del relieve.

La metodología contribuyó en la detección e interpretación de los cambios en un análisis cartográfico por fechas con la ayuda de los sistemas de información geográfica, que también incluyó la determinación de un sistema de clasificación adecuado a la escala del trabajo, en donde se muestra a la cuenca como un terreno o mosaico de usos del suelo-cobertura vegetal.

Un punto importante a subrayar, es que la fotointerpretación a detalle en áreas pequeñas mostró algunos cambios con la información contenida en la cartografía del INEGI, ya



que fue posible delimitar con mayor precisión las clases del uso del suelo-cobertura vegetal encontradas en el área. Con esto se puede concluir que la fotointerpretación ofrece una alternativa para estudiar las características de un territorio determinado.

Se detectó la presencia de un mayor número de áreas dedicadas al uso de pastizales en detrimento de la cobertura vegetal original como selvas y bosques en laderas de montañas altas y bajas escarpadas, como también en los lomeríos (altos, medios y bajos con pendientes predominantes de 16 a 24°), que desencadenan procesos geomorfológicos en la cuenca del Río Cacalotepec.

En cuanto al estudio del uso de suelo-cobertura vegetal, se concluyó en términos comparativos, que la superficie que correspondió a las coberturas de vegetación natural (bosques, selvas, manglar y vegetación de dunas costeras), en el área de estudio en 1980 fue del 83.9%, asimismo los pastizales inducidos con un uso pecuario fue del 10.08%. El uso de suelo agrícola (agricultura de cultivos anuales y permanentes) fue de un 3.33%, y las coberturas no vegetales (áreas sin vegetación, cuerpos de agua, asentamientos humanos y lechos rocosos de ríos) fue de 3.47%.

En contraste, para el año 2000, la cobertura de vegetación natural fue del 77.48%, de pastizales el 15.48%, el uso del suelo agrícola fue del 4.55% y las coberturas no vegetales fueron de un 2.47%. Siendo notable la diferencia de la cobertura de vegetación natural en el año 1980 que cubría una superficie total de 117.8 km² (83.9%), contra una superficie de 23.8 km² (16.1%) en las áreas de cobertura no natural; mientras que para el año 2000 la cobertura de vegetación natural cubría una superficie de 109.1 km² (77.48%) y las coberturas de vegetación no natural cubrieron una superficie de 31.8 km² (22.52%) respectivamente.

En suma, la cobertura natural redujo su superficie en un 6.43% con relación a las coberturas no naturales en veinte años. Así en la cubierta total de vegetación de bosques y selvas, que en suma ocupaban el 80.35% del área total de estudio en 1980, en el año 2000 ocuparon el 75.41%, reduciéndose la cubierta de bosques y selvas en un 4.95% en veinte años. Así la pérdida de superficie de bosques y selvas en el área de estudio fue de 0.94 km² y 6.4 km² respectivamente.

Así es de notarse que la cobertura del uso del suelo más representativa en el área fue la selva mediana densa y la más pequeña fue la vegetación de dunas costeras, pero esta última clase se encontró casi ausente en el año 2000.

También en el lapso de veinte años, de forma general, las tendencias han sido de una ampliación de la frontera agrícola al interior de las áreas de selvas y manglares, sobre todo de las planicies hacia las laderas inferiores de montañas bajas, esto se visualiza más claramente al



sur del área de estudio. El uso de suelo agrícola muestra un cambio, ya que la agricultura de cultivos anuales (maíz y frijol) tuvo una disminución de 0.85% en su superficie, principalmente a expensas de la agricultura de cultivos permanentes (plantaciones de limón y palma de coco), ya que esta aumentó su superficie en un 2.07%. Estos cambios se observan sobre todo en las planicies costeras, fluviodeltaicas, piedemontes y en las planicies de las partes medias de la cuenca a orillas del Río Cacalotepec y al oriente del poblado de San Martín.

Otro punto a señalar es el incremento de la superficie de pastizales, en donde se observó el crecimiento generalizado de éstos en casi toda el área, éstos han aumentado su superficie en 7.6 km². Este fenómeno se nota sobre todo en los piedemontes, en la vertiente norte de Laguna Lagartero y al oriente de ésta. También se nota esta tendencia creciente alrededor del poblado de San Martín y área central de la cuenca.

El relieve y su relación con los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal.

Se tuvo una correspondencia entre la geomorfología y los usos del suelo-vegetación natural encontrados. Se notó en las laderas de montaña y lomeríos al norte de la cuenca, que cada vez hay un mayor cambio en las condiciones de la vegetación natural, al crearse nuevos usos de suelo agrícolas y de pastizales inducidos que aunado a las características en las pendientes de las laderas, provocan una mayor inestabilidad de los materiales, provocando con las lluvias el acarreo de material hacia las partes bajas, estos escurrimientos aceleran los procesos de sedimentación en las planicies costeras y sobre todo en la planicie lagunar costera. Estas condiciones contribuyen al cierre de la barrera de la laguna y a una acelerada erosión en la cuenca.

Una de las mayores ventajas que tuvo el análisis de los cambios del uso del suelo-cobertura vegetal en cada UM, es que se llega a un nivel detallado de la manera que están siendo dichos cambios, donde indica la magnitud y el como se relacionan cuanto a la estructura, además de observar de manera directa que sistemas morfogénéticos afectan más las partes bajas de la cuenca.

Así se llega a la conclusión general, que el aporte esencial de este trabajo es la aplicación de conocimientos geomorfológicos y el análisis multitemporal de los cambios en el uso del suelo, descritos y cartografiados para su descripción y evaluación ambiental de la cuenca del Río Cacalotepec. Con esto se pretende que los resultados obtenidos en el estudio puedan crear una referencia para próximas investigaciones, con el objetivo de plantear propuestas de trabajo para la recuperación ambiental de áreas degradadas en cuencas costeras.



BIBLIOGRAFÍA

Alier, G. J. L. (1996). Optimización en la Asignación Espacial de Usos del Suelo. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España, 440 p.

Álvarez, M. (1961). Provincias Fisiográficas de la República Mexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo XXIV. Núm. 2, México.

Arellano R. M. A. (2001). Delimitación de Unidades Ambientales por Medio de una Regionalización Geomorfológica del Mesobloque "El Encantado", Oaxaca. (Tesis de Licenciatura en Geografía), Colegio de Geografía, Fac. de Filosofía y Letras, UNAM, México, D.F, 136 p.

Bandy, W. L. (1992). *Geological and Geographical Investigation of Rivera-Cocos Plate. Boundary: Implication for Plate Fragmentation. Ph Thesis, University of Texas at Austin, EUA.*

Bocco, G., Mendoza, M., Maser, O., (2001). La Dinámica del Cambio del Uso del Suelo en Michoacán. Una Propuesta Metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 44 p.18-38, México.

Bodin, P. and Klinger, T. (1986). *Coastal Uplift and Mortality of Intertidal Organism Caused by the September 1985 Mexico Earthquakes.* Science 233: p 1071-1073.

Burrough, P. A. (1989). *Principles of Geographic Information Systems.* Clarendon Press. Oxford. 194 p.

Campa, M and Coney, P. (1983). *Tectonic-Stratigraphic and Mineral Resources Distribution in Mexico.* Canadian Journal of Earth Science 20: P. 1040-1051.

Campuzano Paniagua, V. y Luna González, L. (1989). Estudio Geomorfológico del Municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo. (Tesis de Licenciatura en Geografía). UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. México. 78 p.

Carranza, E., A., Gutiérrez-Estrada y Rodríguez-Torres, R. (1975). Unidades Morfotectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, p: 81-88.

Carranza, E., A., Rosales, H. L., Lozano, K.S. (1987). Estudio Sedimentológico de Playas Del Estado de Oaxaca, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 18 p.

Contreras E. F. (1993). Ecosistemas Costeros Mexicanos, UAM, Iztapalapa, México, 415 p.

Córdova, F. De A. C. (1988). Cartografía Geomorfológica en Escala Pequeña del Occidente de la República Mexicana. (Tesis de Licenciatura en Geografía). Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. UNAM, México. 127 p.

Coque, R. Geomorfología. (1984). Ed. Alianza, Madrid, España, 475 p.

Campa, U., M.F., Ramírez, E., J., Florez, R., y Coney, P., J. (1983). Terrenos Tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. Universidad Autónoma de Guerrero. Serie Técnico Científica. 120 p.



Corberó, M.V., Figueras, P., Llado, C., Murgadas, F., Perede, M.A., Prim, C. y Roig, M. (1993). Trabajar Mapas. Biblioteca de recursos didácticos, Alhambra, Madrid, España. 149 p.

CCUM. (2003). Conclusiones de la conferencia internacional sobre el agua y medio ambiente: Cuestiones de Desarrollo para el Siglo XXI. www.ccum.org.mx/gestion.html. (Fecha de la Consulta: 2-05-2003).

Czitrom, S.P.R. (1999) Implementación de un Sistema de Bombeo por la Energía del Oleaje para el Manejo de Pesquerías. Informe ejecutivo. UNAM/North American Fund for Environmental Cooperation. 165 p.

Chuvioco, E., Salas, J., Meza, E., Vargas, F. (2002). Empleo de la Teledetección en el Análisis de la Deforestación Tropical: El Caso de la Reserva Forestal de Ticoporo (Venezuela). Serie Geográfica, No. 10, Málaga, España, P. 55-76.

De Cserna, Z. (1967). *Tectonic Framework of Southern Mexico and its Bearing on the Problem of Continental Drift*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 30 (2) p. 159-168. México.

Dourojeanni, A. (1994). La Gestión del Agua y las Cuencas en América Latina. Revista de CEPAL, Vol. 52, p. 111-127.

Ecoplaneación Consultores, S.C. (1993). Ordenamiento Ecológico, Costa Oaxaca. SEMARNAT.

Estrada, D., Ruben and Posner Joshua. (2002) *The Watershed as an Organizing Principle for research and Development: An Evaluation of Experience in the Andean Ecoregion*. *Mountain Research and Development* Vol. 21, No. 2, May 2002: p: 123-127.

Ferrer, V. A. (1978). Diccionario del Ambiente. Ed, Fideco. Barquisimeto, Venezuela. 128 p.

García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. I. G. México, 147 p.

Gutiérrez Valdez, M.A. (1989). Estudio Geomorfológico y su Relación con la Conservación de los Recursos Naturales en el Municipio de Xilotepec de Juárez, Estado de Puebla. Estudio Morfométrico y Morfodinámico. (Tesis de Licenciatura en Geografía). Fac. de Filosofía y Letras, UNAM. México. 147 p.

Hernández, B. (1995). *Monitoring and Evaluation of Watershed Management Project Achievements*, , FAO, Rome, Italy.

Herman, U. R. (1994). *The Origin of a Terrane: U-Pb Circón systematics, Geochemistry and Tectonics of the Xolapa Complex (Southern Mexico)*. *Tübinger geowissenschaftliche Arbeiten A*. Vol. 17, 92 p.

Houghton, R. A. (1994). *The Worldwide extent of land-use Change*. *Bioscience*, 44, 5: p 305-306.

Inman, D.J., Nordstrom, C.E. (1971). *On the Tectonic and Morphologic classification of Coast*. *J. Geol.* 79 (1): p. 1-21.



INE. Instituto Nacional de Ecología (2003). Conceptos de Cuencas Hidrográficas. www.ine.gob.mx/. México. (Fecha de la consulta 2-06-2003).

INEGI (1984) Carta de efectos climáticos regionales noviembre-abril. esc. 1:250,000 Puerto Escondido (D14-3) Oax.

INEGI (1984) Carta de efectos climáticos regionales Mayo-Octubre esc. 1:250,000 Puerto Escondido (D14-3), Oax.

INEGI (1984) Carta de efectos climáticos regionales Mayo-Octubre esc. 1:250,000 Zaachila (E14-12), Oax.

INEGI (1984) Carta de efectos climáticos regionales Noviembre-Abril esc. 1:250,000 Zaachila (E14-12), Oax.

INEGI. (1988) Cartas topográficas, esc. 1:50,000 El Zapotalito (D-14-B15), Puerto Escondido (D14-B-16) y Río Grande (E14-D85), Oaxaca, México.

INEGI (1988). Carta vegetación y uso del suelo, esc. 1: 250,000 Puerto Escondido (D14-3), Oaxaca, México.

INEGI (1989). Carta edafológica, esc. 1: 250,000 Puerto Escondido (D14-3), Oaxaca, México.

INEGI. (1989). Guías Para la Interpretación de Cartografía, Uso del suelo y Vegetación. México. 34 p.

INEGI. (1992) Carta topográfica, esc. 1:250,000 Puerto Escondido (D14-3) y Zaachila (E14-12), Oaxaca, México.

INEGI. (1994) Carta topográfica, esc. 1:50,000 Santa Catarina Juquila (E14-D86), Oaxaca, México.

INEGI (1994) Carta geológica, esc. 1:250,000 Puerto Escondido (D14-3), Oaxaca, México.

INEGI (1994). Carta vegetación y uso del suelo, esc. 1: 250,000 Puerto Escondido (D14-3), Oaxaca, México.

INEGI, SEMARNAT, UNAM. (2000). Inventario Nacional Forestal 2000. Ed. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. México.

INEGI. (2001). Imagen Cartográfica. Condensados Estatales. México.

INEGI. (2003). Información Geográfica, Sistemas de Consulta. www.inegi.com. México. (Fecha de la consulta 1-05-2003).

ITC (1993). Sistema de Información Geográfica. Introducción al Manejo del ILWIS, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. version 1.41.

K.K. Sen et al. (2002). *Patterns and implications of Land Use/Cover Change, A case estudy in Pranmati Watershed (Gahwal, India)*. *Mountain Research and Development* Vol. 22, No. 1, Febrero 2002: 56-62.



Lambin, E.F. (1997). *Modeling and Monitoring Land-Cover Change Processes in Tropical Regions. Progress in Physical Geography*, 21. 3. p. 375-393.

Lankford, R.R. (1977). *Coastal Lagoon of Mexico. Their origin and Classification*. En Wiley, M. Ed. *Estuarine Proceses*. Academic Press Inc. p. 182-215.

Le n, D. G., Pérez G. F. (1998). Aspectos Básicos del Enfoque Global para el Manejo de Recursos Hídricos por Cuencas Hidrográficas. *Región y sociedad*, Volumen IX, No. 16, Sonora, México, 12 p.

López, J. (1989). *La Observación de la Tierra desde el Espacio: El Mapa de Ocupación del Suelo de la Comunidad Económica Europea*. Estudios Geográficos. Tomo XCX, No. 196. Madrid.

López Ramos, E. (1983). *Geología de México*. Tomo III. 2ª Ed. México, 446 p.

Lugo Hubp, José I. (1988). *Elementos de Geomorfología Aplicada. "Métodos Cartográficos"*. Instituto de Geografía, UNAM, México. 109 p.

Lugo Hubp, José I. (1989). *Diccionario geomorfológico*. Instituto de Geografía-Coordinación de Ciencias, UNAM. México. 337 p.

Lugo Hubp, J. (1990). *El Relieve de La República Mexicana*. *Revista del Instituto de Geología*, UNAM, 9(1): 82-111, México.

Lugo Hubp, José L., Córdova, C. (1992). *Regionalización Geomorfológica de la República Mexicana*. *Boletín de Investigaciones Geográficas*. No. 25. Instituto de Geografía. UNAM. p. 25-64

Mammerickx, J., Klidgord, H. N. (1982). *East Pacific Rice: Evolution from 25 m y b.p. to present*. *Geophysics*. Res. 87, p. 6761-6759.

Margalef, R. (1962). *Ecología*. Ed. Omega, España, 953 p.

Martínez De Pinsón, E. (1982). *El Relieve de la Tierra*. Colección Salvat, temas clave Aula Abierta, Salvat. Barcelona, España. 64 p.

Menard, H.W. (1978). *Fragmentation of the Farallón Plate By Pivoting Subduction*. *J, Geology*, 86, p 99-110.

Mensua, S. (1965). *Mapa de Utilización del Suelo en Navarra*. *Geographica*, No. VII. Madrid, España

Miller A, Austin. *La Piel de la Tierra*. Ed. Alhambra. Madrid, España, 1986

Mills, R. A. (1998). *Carbonate Detritus and Milonyte Zones in Guerrero, Mexico and Northern Honduras: New Evidence for Detachment of the Chortis Block From Southern Mexico*. *Journal of Shout America Earth Sciences, Elsevier Science, Great Britain*. Vol. 11 (3): p. 291-307.

Minster, J. B., Jordan, T. H. (1974). *Present Day Plate motions*. *Jour., Geoph. Res.* 83. p. 5331-5354



- Miro I. Orell, Manuel et al (1985) Breviario de Geomorfología. Editorial Oikos-Tau, 141p.
- Mooser, F, y Maldonado-Koerdell, M. (1961). Tectónica Penetecontemporánea a lo Largo de la Costa Mexicana del Océano Pacífico. Geofísica Internacional, UNAM, No. 1(1) p: 1-20, México.
- Morán-Zenteno, D. J., Corona-Chávez, P., Tolson, G. (1996). *Uplift and Subduction Erosion in Southwestern Mexico Since the Oligocene: Pluton Geobaremety Constraints: Earth and planetary Science Letters*, Vol. 14, p: 51-65.
- Morán-Zenteno, D. J., Martiny, B., Tolson, G., Solís, G., Alba, I., Hernández, M. del S., Macias, C. Martinez, R., Schaf, P. y Silva, G. (2000). Geocronología y Características Geoquímicas de las Rocas Magmáticas Terciarias de la Sierra Madre del Sur. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. LIII, UNAM, México, p. 27-58.
- Nava, F., Núñez, F., y Córdoba, D. (1988). *Structure of the Middle America Trench in Oaxaca, México. Tectonophisics, 154, Elsevier Science publishers B. V, Amsterdam, Netherlands, pp. 241-251.*
- Ortega. G. F. (1981). *Metamorphic Belts of Southern Mexico and Their Tectonics Significance*. Geofísica Internacional, UNAM, Vol 20 (3): p.117-202, México.
- Palacio, Prieto J. L. y Luna González, L. (1993). Sistemas de Información Geográfica. Introducción al manejo de ILWIS (The Integrated Land And Water Information System). Versión 1.3 UNAM. México. 65 pp.
- Palacio, Prieto J. L. (1997). Sistema de Información Geográfica para la Evaluación Periódica y Recuperación Ambiental de las Áreas Degradadas en la Cuenca Tributaria Oriental y la Zona Federal del Ex Lago de Texcoco (SIG-Textcoco). "Anexo términos de referencia". 1-3 p.
- Penié, I. (2002). Dinámica físico-química en el manejo y rehabilitación ambiental de la Laguna Lagartero. Oaxaca, a través de un sistema de bombeo por energía del oleaje (SIBEO). (Proyecto de Tesis de Maestría). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Raisz, E. (1964). *Landforms of Mexico. 2nd*. Ed. Cambridge. *Prepared for The Geographic Branch of The Office of Naval Research, Scale, map. 1: 4`000.000.*
- Ramírez, M.T., Urrutia-Fucugauchi, J. (1999). *Morphotectonics Zones Along the Coast of the Pacific Continental Margin, Southern México. Geomorphology 28 Elsevier, p. 237-250.*
- Rao, k.S y Pant, R. (2001). *Land Use Dynamics and Landscape Change Pattern in a Typical Micro Watershed in the Mid Elevation Zone of Central Himalaya, India. Agriculture, Ecosystem and Enviroment 86, p. 113-123.*
- Ratschbacher, L., Riller, U., Meschede, M., Herrman, U. y Frisch, W. (1991). *Second Look at Suspect Terranes in Southern Mexico. Geology, Vol. 19 p. 1233-1236.*
- Ross, M. I., y Scotese, C. R. A. (1988). *Hierarchical Tectonic Model of the Gulf of Mexico and Caribbean Region. Tectonophisics, Vol. 155, p. 139-168.*
- Shepard, F.P. (1973). *Submarine Geology. Harper and Row Publications, 256 p.*



Skidmore, A.K. (1989). *A Comparison of Techniques for Calculating Gradient and Aspects From a Gridded Digital Elevation Model*. *Int Journal of geographic information systems*. Vol 3, Núm. 4, pp. 323-334.

SPP-INEGI, (1981). Carta edafológica. Escala 1; 1000 000, hoja México.

Spiridinov A.I. (1981). Principios de la Metodología de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico. Tomo I, Universidad de la Habana. Facultad de Geografía. Ministerio de Educación Superior. Apuntes para un libro de Texto. 225 p.

Sumin de Portilla, V., Ponce, L., McNally, K., Kochneva, N. y Rodríguez, S. (1977). *Morphostructural Análisis of Oaxaca, México, Applied to Seismic Estudios*. Geofísica Internacional, UNAM, México Vol. 17 (3): p. 367-378.

Tapia Várela, Guadalupe y López Blanco, Jorge. (2002). Mapeo Geomorfológico Analítico de la Porción Central de la Cuenca de México: Unidades Morfogenéticas a Escala 1:100,000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 19, No.1, pp 50-65.

Toledo, A. (1994). Riqueza y Pobreza en la Costa de Chiapas y Oaxaca. Centro de Ecología y Desarrollo A. C., México. 492 p.

Tolson, G. (1998). Deformación, Exhumación y Neotectónica de la Margen Continental de Oaxaca: Datos Estructurales Petrológicos y Geotermobarométricos, Tesis de Doctorado, UNAM, México D.F., Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado, 98 p.

Tricart J., Killian J. (1982). *La Ecogeografía y la Ordenación del Medio Natural*. Ed. Anagrama. Barcelona, España. 288 p.

Urrutia-Fucugauchi, J., D. Moran Zenteno, E. Cabral. (1987). Paleomagnetism and Tectonics of Mexico. *Geofísica Internacional, UNAM, México*. Vol. 26 (3), p 429-458.

Van Zuidam, R. (1985-1986). *Aerial Photo-Interpretation in terrain Analisis and Geomorphologic Mapping*. La Hague, Smits Publishers., The Netherlands, 442 p.

Verstappen Th. H. (1983). *Applied Geomorphology. "Geomorphological Surveys for Enviromental Development"*. ITC (International Institute for Aerial Surveys and Earth Science) Enschede. The Netherlands. Editorial Elseiver. 437 p.

Verstappen Th. H. y Van Zuidam R. (1991). *El Sistema ITC para el Levantamiento Geomorfológico*. ITC Publication. Enschede. The Netherlands.



Anexos

Consta de tres anexos que son; Anexo A) Mapas Morfométricos con leyenda. Anexo B) Mapas de Tipos Particulares del Relieve con leyenda y con sus características principales, y Anexo C) Graficas de alturas relativas y absolutas de los tipos particulares del relieve del área de estudio.

Anexo A

Mapas Morfométricos

En los aspectos morfométricos, el área cuenta con altitudes que van de los 0 a los 1,180 msnm, éstos valores van desde las planicies costeras hasta la cima del cerro Aguacatal Grande, la cuenca tiene una altitud predominante de 400 a 600 msnm en el 18.6% del total del área de estudio. En las laderas las pendientes mostraron valores principales de 8 a 16° y 16 a 24° en el 56% de la cuenca. Las laderas muestran formas convexas y cóncavas, siendo la forma predominante las laderas cóncavas en el 82.3% del área. (Figuras A1,A2 y A3).

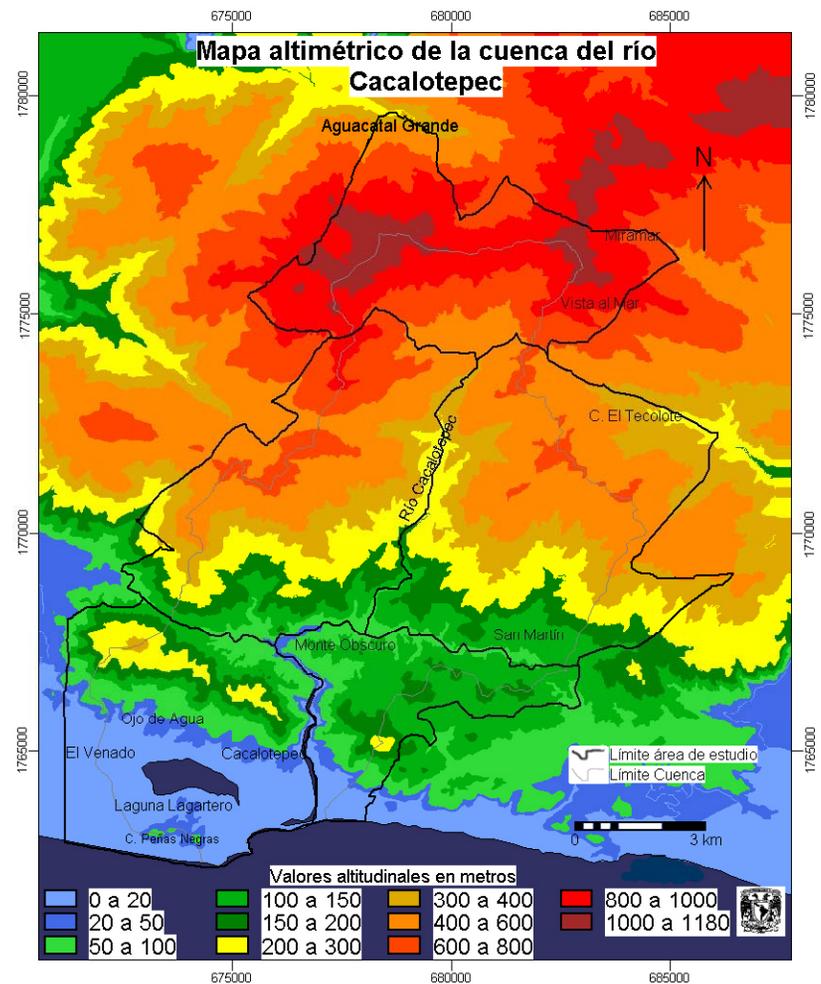


Figura A1. Mapa altimétrico del área de estudio

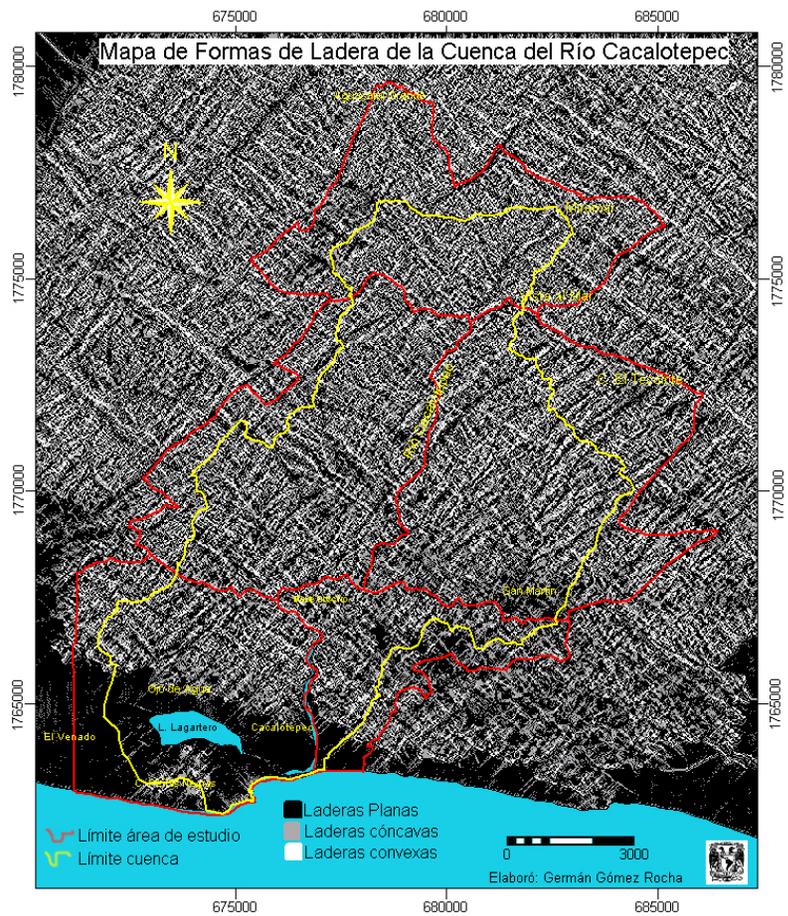


Figura A2. Formas principales de las laderas en el área de estudio

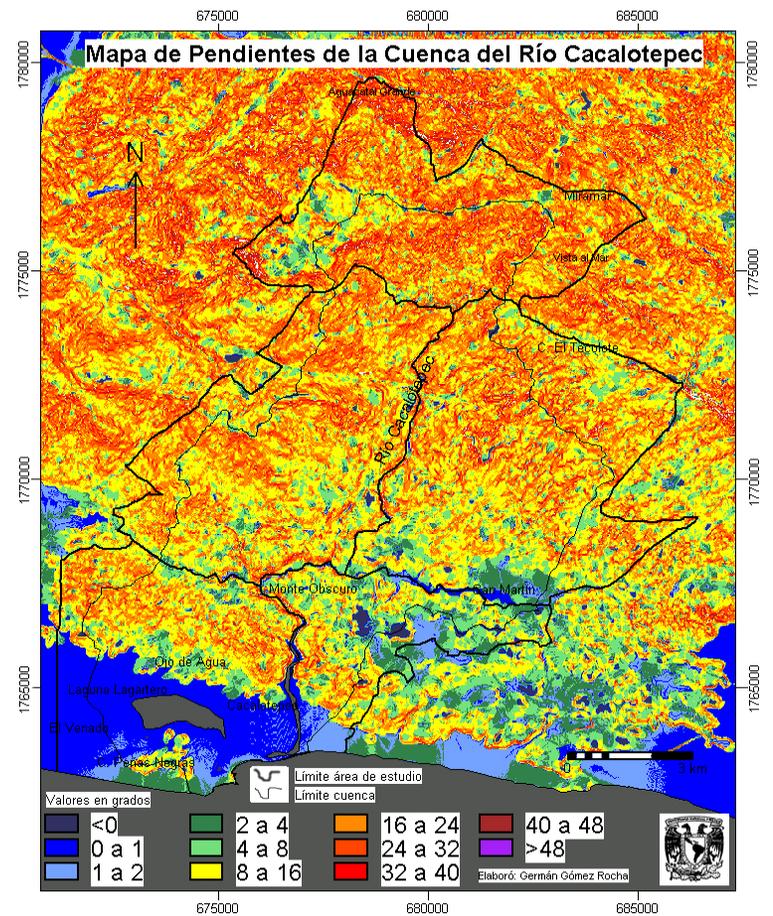


Figura A3. Mapa de pendientes del área de estudio

Anexo B

Mapas de Tipos Particulares del Relieve

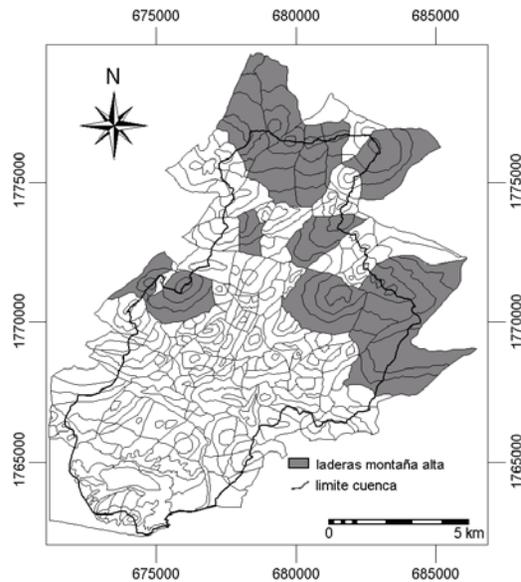


Figura B1. Distribución de laderas de montaña alta en el área. Se localizan en su mayor parte al norte y oriente del área y en menor medida al sur, en el área de la costa. Limitan al norte con las poblaciones de Aguacatal Grande, Vistahermosa y Vista al Mar, al oriente con el cerro El Tecolote y el poblado de Barranco Hondo, al poniente con la cuenca del río El Sapo y al sur con el poblado de San Martín; son marginales a laderas de montaña bajas, lomeríos altos, bajos y medios, así también a lomeríos aislados.

Corresponden a las laderas de montaña alta, las principales elevaciones en la cuenca, con una altura relativa que va de los 400 a 650 m aproximadamente, asimismo presentan una altitud máxima de 400 a 1180 msnm en la cima del cerro El Aguacatal*.

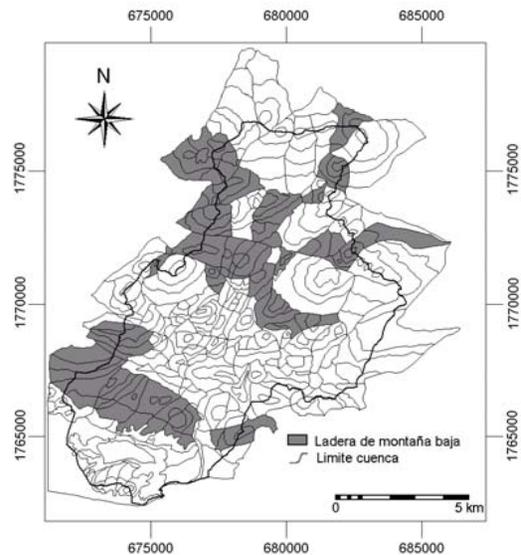


Figura B2. Distribución de las laderas de montaña baja en el área. Al igual que las primeras son formas originadas por procesos endógenos de tectónismo. Limitan geográficamente al norte con la población de Cinco Negritos, al oriente con la cuenca del Río Seco, al poniente con la cuenca del río El Sapo y al sur con el poblado de Cacalotepec y Laguna Lagartero. Son marginales con los piedemontes y planicies costeras al sur, y al norte con laderas de montaña alta y lomeríos altos, medios y bajos. Este tipo particular del relieve ocupa el 28.5% del área, con una superficie de 40.4 km². Estos sistemas también son consecuencia de la subducción, con procesos denudativos de edad plio-cuaternaria de formas convexas en su mayoría y rectas en menor grado, con pendientes predominantes de 8 a 16°. Sus cimas son agudas y en el centro de la cuenca son redondeadas, cuentan con alturas relativas mayores a 200 m y menores a 400 m. Cabe mencionar que su altitud absoluta va de 400 a 600 msnm. Estas formas están constituidas en su totalidad por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del periodo Terciario. Este tipo de roca pertenecen a una serie calcialcalina con composiciones amplias de granito de feldespato alcalino y rocas sobresaturadas en sílice.

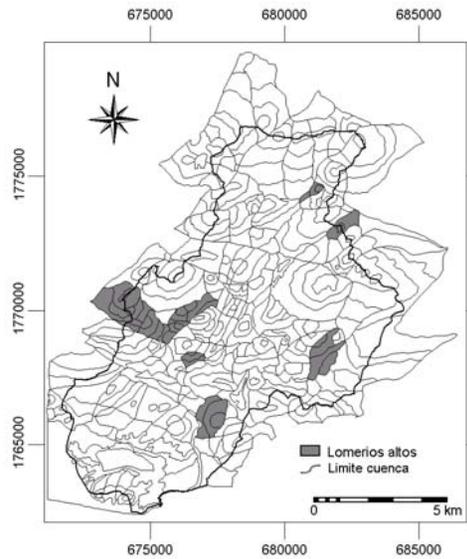


Figura B3. Distribución de lomeríos altos. Este tipo particular del relieve es de origen endógeno erosivo con una fuerte influencia de la tectónica. Son laderas erosivas con edades plio-cuaternarias, con formas cóncavas y rectas, con una pendiente predominante de 8 a 16°. Sus cimas son redondeadas. Estas formas ocupan un área de 8.2 km², cubriendo el 5.8% del área de estudio. Su altura relativa va de los de los 150 a los 200 m, se encuentran en mayor número en cotas de altitudes predominantes de 200 a 300 msnm. Estas laderas están constituidas litológicamente en su totalidad por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita de edad del terciario por intrusión de un batolito. Estas rocas se encuentran fracturadas por la tectónica, que ha formado fallas y fracturas con rumbos este-oeste y norte-sur. Esta unidad se encuentra en su mayoría en el centro del área de estudio, se encuentran en asociación con lomeríos medios y en algunas partes de la cuenca, intercalados con lomeríos altos y laderas de montaña. Estas limitan al norte y poniente con la cuenca del río El Sapo, al oriente con la cuenca del río Seco y el Poblado de San Martín, y al Sur con el poblado de Monte Oscuro.

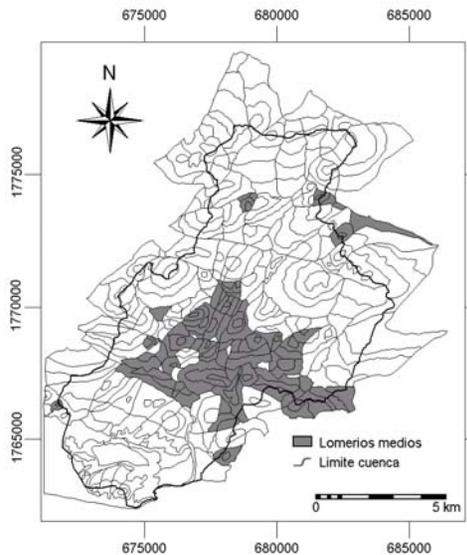


Figura B4. Distribución de lomeríos medios. Este tipo particular de lomeríos ocupan el 17.0% del área, con una superficie de 24.0 km². Estas formas son de origen endógeno denudativo, son laderas erosivas de edad plio-cuaternario con formas convexas y rectas, cuenta con pendientes predominantes de los 8 a 16°. Sus cimas son redondeadas con formas convexas. Su altura relativa va de los 50 a los 150 m. Se localizan en mayor número en cotas de altitud de 100 a 150 msnm. Estas laderas están constituidas litológicamente en su totalidad por rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita de edad del terciario por intrusión de un batolito. Estas rocas se encuentran fracturadas por la tectónica, que ha formado fallas y fracturas con rumbos este-oeste y norte-sur. Esta unidad se encuentra en su mayoría en el centro del área de estudio, se encuentran en asociación con lomeríos medios y en algunas partes de la cuenca, intercalados con lomeríos altos y laderas de montaña. Estas limitan al norte y poniente con la cuenca del río El Sapo, al oriente con la cuenca del río Seco y el Poblado de San Martín, y al Sur con el poblado de Monte Oscuro.

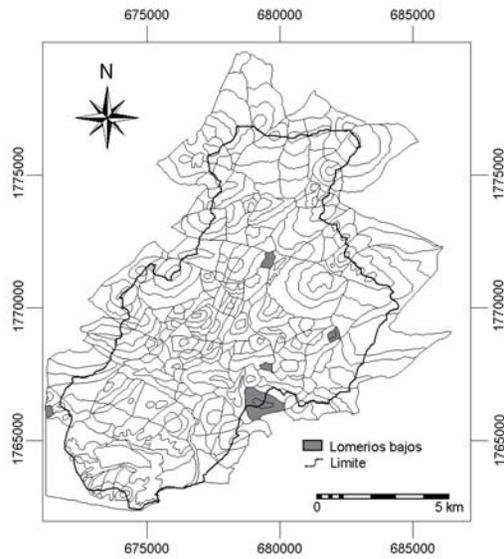


Figura B5. Distribución de lomeríos bajos. Este subsistema es de origen endógeno denudativo con influencia de la tectónica, estas ocupan apenas el 1.3% del área, con una superficie de 1.9 km.² Son laderas erosivas con edad plioceno-cuaternario, estas laderas son de formas rectas y con pendientes suaves de 4 a 8°. Sus cimas son redondeadas con formas convexas, su altura relativa van de los 0 a los 50 m. Este tipo de relieve se encuentra en mayor número en cotas de altitud de 100 a 150 msnm. Este sistema se encuentra constituido litológicamente en su totalidad por rocas ígneas de granito-granodiorita, esta litología tiene como origen la intrusión de un batolito magmático del terciario, este tipo de roca pertenece a una serie calcialcalina con composiciones amplias de granito de feldespato alcalino y rocas sobresaturadas en sílice, estas características petrogenicas expresan una asociación característica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas. Estas rocas se encuentran fracturadas por la tectónica que ha formado fallas y fracturas.

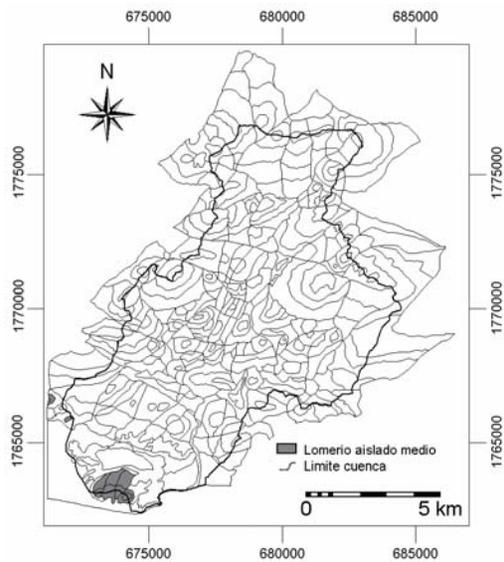


Figura B6. Distribución de lomeríos medios aislados. Este tipo particular tiene un origen endógeno denudativo con influencia de la tectónica regional, estas ocupan apenas el 1.0% del área, con una superficie de 1.5 km.² Son laderas erosivas con edad plioceno-cuaternario, de formas rectas con pendientes suaves de 8 a 16°. Sus cimas son redondeadas con formas convexas, su altura relativa va de los 50 a los 150 m., encontrándose aislados en relación a otros conjuntos de elevaciones. Este tipo de relieve se ubica en mayor número en cotas de altitud desde 0 a 100 msnm. Este sistema se encuentra constituido litológicamente en su totalidad por rocas ígneas de granito-granodiorita, estas se originaron por la intrusión de un batolito magmático del terciario, este tipo de roca pertenece a la serie calcialcalina con composiciones amplias de granito de feldespato alcalino y rocas sobresaturadas en sílice, características petrogenicas que expresan una asociación característica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas. Estas rocas se encuentran fracturadas por la tectónica que ha formado fallas y fracturas. Los lomeríos medios aislados se localizan al suroeste del área de estudio en el cerro conocido como Peñas Negras, se encuentra intercalado con piedemontes normales, planicies costeras y planicies de pantano de manglar.

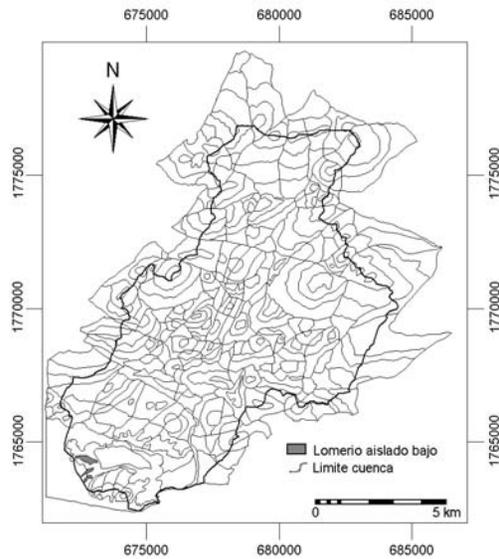


Figura B7. Distribución de lomeríos bajos aislados. Estas laderas se encuentran separadas de otra elevaciones, por eso reciben el distintivo de aisladas, ocupan el 0.2% del área, con una superficie de 0.1km.² Este tipo particular de relieve tiene un origen endógeno erosivo con influencia de la tectónica del área. Son laderas erosivas con edad plioceno-cuaternaria, con formas rectas-convexas y con pendientes suaves de 0 a 2°. Sus cimas son redondeadas, su altura relativa van de los 0 a los 50 m. Este tipo de relieve se encuentra en mayor número en cotas de altitud de 0 a los 20 msnm. Este sistema se encuentra constituido litológicamente en su totalidad por rocas ígneas de granito-granodiorita, como origen de la intrusión de un batolito magmático del Terciario, este tipo de roca pertenece a una serie calcialcalina con composiciones amplias de granito de feldespato alcalino y rocas sobresaturadas en sílice, estas características petrogénicas expresan una asociación característica de arcos volcánicos asociados a límites convergentes de placas. Estas rocas se encuentran fracturadas por la tectónica que ha formado fallas y fracturas. Los lomeríos bajos aislados se localizan al suroeste del área de estudio, intercalados con planicies costeras y planicies de pantano de manglar.

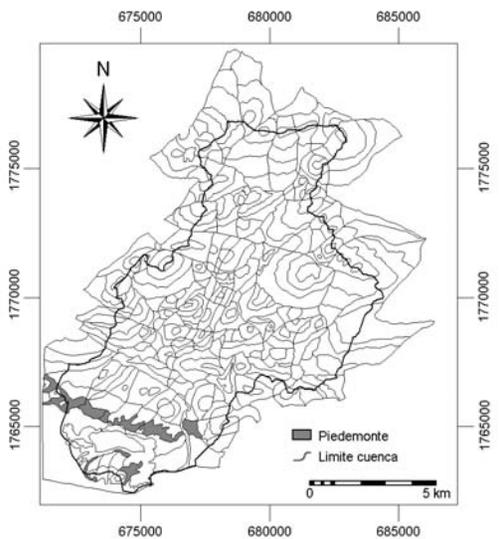


Figura B8. Distribución de piedemontes generales. Formaciones de origen exógeno acumulativo-denudativo de la era Cuaternaria de época del Holoceno, se encuentran sobre rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Terciario, estando constituido por el sustrato rocoso, con una capa de material no consolidado, consistente en capas de sedimentos proluviales. Este tipo particular del relieve ocupa el 2.2% del área de estudio, con una superficie de 3.1km.².

Está conformado por material de rocas graníticas-dioríticas por depositación gravitacional y aluvial, sus dorsos tienen una forma recta-convexa y están inclinadas en relación a la planicie costera que le avecina, con una pendiente de 8 a 16°, en este tipo particular la depositación es mayor que la erosión.

Se localizan en el sur del área de estudio y son marginales a laderas de montaña. Limitan con lomeríos, lomeríos aislados, laderas de montaña baja, planicie costera, planicie fluvio-deltaica y planicie de pantano de manglar.

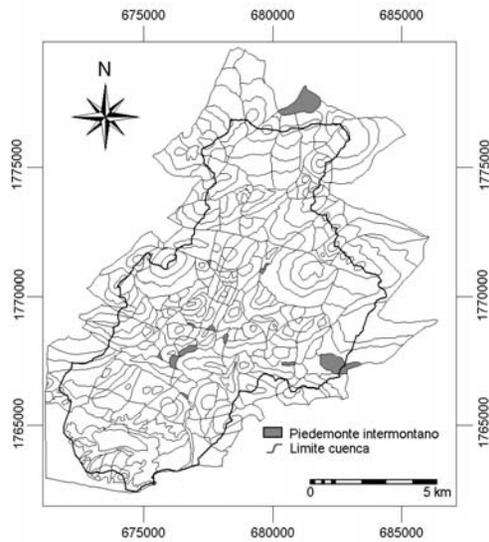


Figura B9. Distribución de piedemontes locales intermontanos. Estas formaciones ocupan el 1.5% del área, con una superficie de 2.1 km²; intercalados entre lomeríos y laderas de montaña. Su origen es exógeno acumulativo de la era Cuaternaria de la época del Holoceno, se encuentran sobre rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Terciario, esta constituido por el sustrato rocoso, con una capa de material no consolidado, se originaron por procesos de acumulación consistente en capas de sedimentos proluviales. Sus dorsos tienen una forma plana y cóncava con pendientes más representativas de 2 a 4° y de 8 a 16°, estando constituidos por material coluvial y proluvial de material granítico-granodiorítico. Se localizan en algunos puntos centrales del área de estudio y son marginales a laderas de montaña y lomeríos.

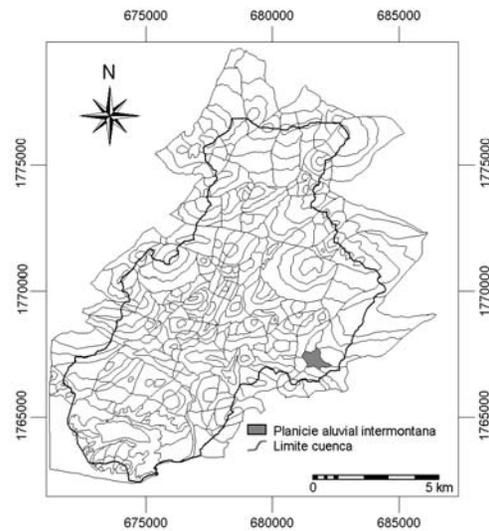


Figura B10. Ubicación de la planicie fluvial intermontana. Tienen un origen exógeno acumulativo aluvial y tiene una asociación con depósitos fluviales. Ocupa el 0.3% del área de estudio con una superficie de 0.4 km², teniendo una pendiente de 2 a 4°. Son depósitos cuaternarios del Holoceno, que son resultado del arrastre de material detrítico granítico-granodiorítico, estando compuestos por fragmentos líticos, como cuarzo y feldespato con una edad del terciario, y que sobreyace a roca ígnea intrusiva del Terciario. Están constituidas por gravas, arenas, limos y arcillas. Los detritos tienen diversa composición y grado de madurez. Esta forma del relieve se localiza al sureste del área de estudio y es marginal a laderas de montaña y lomeríos.

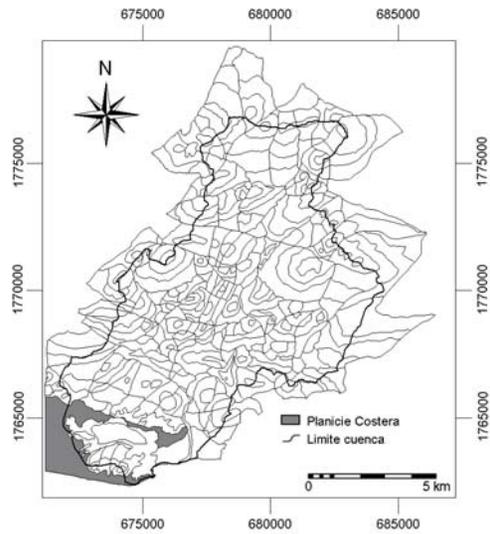


Figura B11. Ubicación de la planicie costera. Esta representa el 4.3% del área de estudio, ocupando una superficie de 6.0 km². Este tipo de relieve es de origen exógeno acumulativo, formada por depósitos fluviales y litorales, con edad de sus formas del cuaternario de la época del Holoceno. Esta sobryace a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Terciario. La unidad esta expuesta en franjas delgadas paralelas a la línea de costa. Tiene una morfología plana y esta ligeramente inclinada hacia el mar, con una pendiente de 0 a 1°. Las arenas que la constituyen varían de grano fino a grueso, principalmente de materiales de cuarzo, feldespato, fragmentos maficos, fragmentos líticos y fragmentos de conchas de organismos recientes (INEGI, 1994). Esta forma del relieve se localiza en el extremo sur-suroeste del área de estudio, en la costa del océano pacífico, Limita con sistemas de planicie de pantano de manglar, planicie fluvio-deltaica, piedemontes, lomeríos, lomeríos aislados y laderas de montaña bloque.

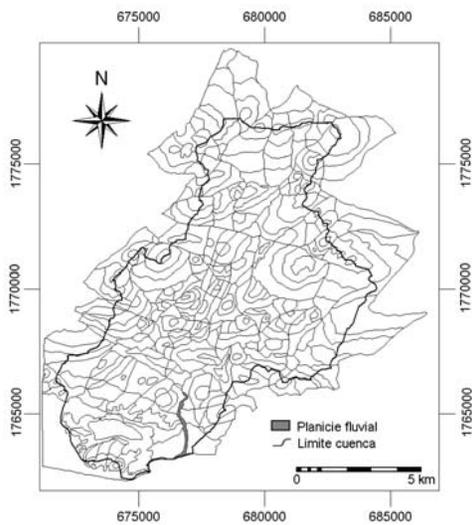


Figura B12. Ubicación de las planicies fluviales. Tienen un origen exógeno acumulativo, formando parte de la desembocadura del río Cacalotepec, ocupa el 0.2% del área de estudio, con una superficie de 0.3 km²; con pendientes de 0 a 1°. Son depósitos cuaternarios, con edad de sus formas de la época del Holoceno. Esta tiene depósitos detríticos no consolidados constituidos por bloques, gravas, arenas, limos y arcillas. Los detríticos son diversos, están compuestos por fragmentos líticos, como cuarzo y feldespatos, su color varia de pardo claro a oscuro sobryaciendo a rocas ígneas intrusivas del Terciario. Este tipo particular de relieve se localiza en el extremo Sur del área de estudio, en la costa del Océano Pacífico. Limita en sus márgenes con planicies fluviodeltaicas, planicie costera, piedemontes, lomeríos y laderas de montaña baja.

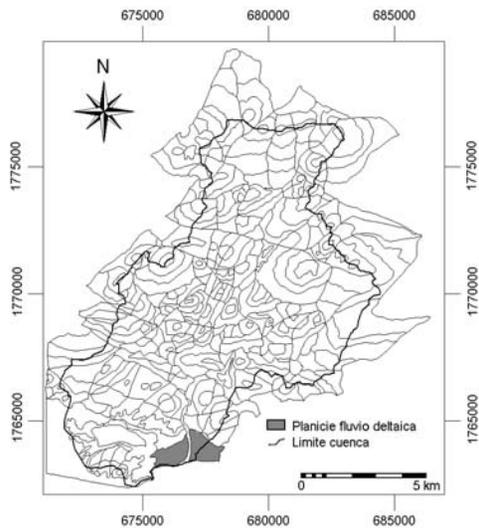


Figura B13. Ubicación de las planicies fluvio deltaicas. Estas planicies ocupan el 1.5% del área de estudio, ocupando una superficie de 2.1km². Tiene un origen exógeno erosivo en su parte continental superior y un origen exógeno acumulativo en las áreas con menor o sin pendiente de las márgenes de la costa, su pendiente va de los 0 a 2°. Es considerada una unidad geomorfológicamente compleja por estas características. Esta constituida por depósitos fluviales con edad de sus formas de la era Cuaternaria de época del Holoceno, sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Terciario de la época del Mioceno Inferior, sus depósitos forman un delta, observándose una distribución de sedimentos gruesos en su parte norte y más fino hacia la costa.

Esta formación se localiza en el extremo sur del área de estudio. Es marginal con los subtipos de planicie de pantano de manglar, planicie costera, piedemonte normal, lomeríos y laderas de montaña bajas.

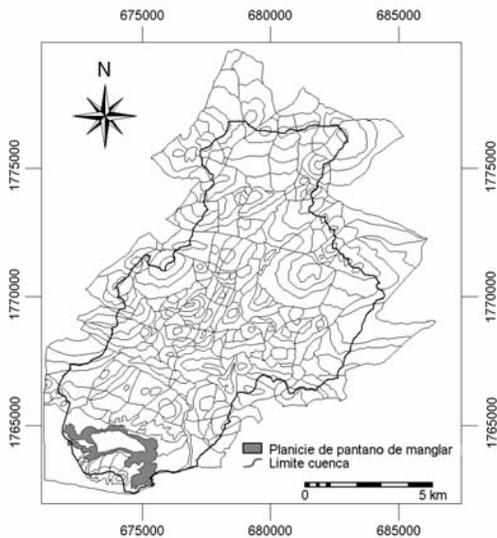


Figura B14. Ubicación de la planicie marginal lagunar costera. Estas planicies ocupan el 1.8% del área de estudio, con una superficie de 2.5 km²; formada por depósitos lacustres con edad del relieve de la era Cuaternaria de época del Pleistoceno-Holoceno, presentando una forma de cóncava a plana. Esta planicie tiene una pendiente de 0 a 1° respecto al océano. La unidad sobryace a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita de edades del Terciario de la época del Mioceno Inferior. Tiene una composición de suelo fangoso, rico en materia orgánica, ocupada por vegetación de manglar, con depositacion del material del río Cacalotepec, y también por acción marina de las olas y mareas del océano contiguo. Se localiza en el sur del área de estudio, rodeando a la Laguna Lagartero, Esta unidad limita con unidades de piedemontes, lomeríos aislados, planicies costeras, planicie lagunar costera y planicies fluvio-deltaicas.

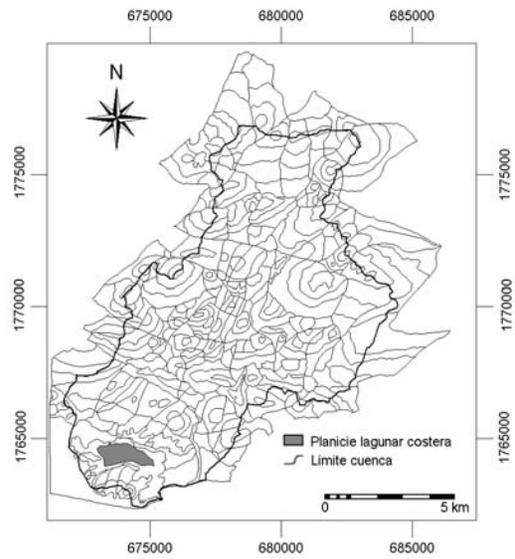
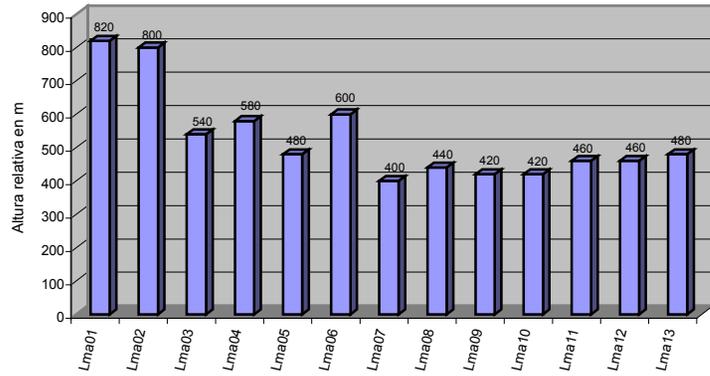


Figura B15. Ubicación de la planicie lagunar costera. Esta forma es lo que se conoce como Laguna Lagartero, y ocupa el 0.8% del área de estudio, con una superficie de 1.2 km². Su pendiente es de 0 a 1° en declive hacia el Océano Pacífico. Tiene un origen exógeno acumulativo, con edades del Cuaternario de época del Holoceno con aproximadamente 18.000 años de antigüedad. Su suelo es de origen lacustre, compuesto por una alternancia de depósitos arcillosos y arenosos en Laguna Lagartero. Los sedimentos se encuentran interestratificados en capas laminares y delgadas, y tienen arreglo de estratificación cruzada con un color pardo claro, sobreyace a rocas de granito-granodior del Terciario, (Contreras, 1993). Se localiza en el extremo sur del área de estudio. Esta forma particular del relieve limita con una planicie de pantano de manglar, junto al poblado de Cacalotepec y al norte con piedemontes normales.

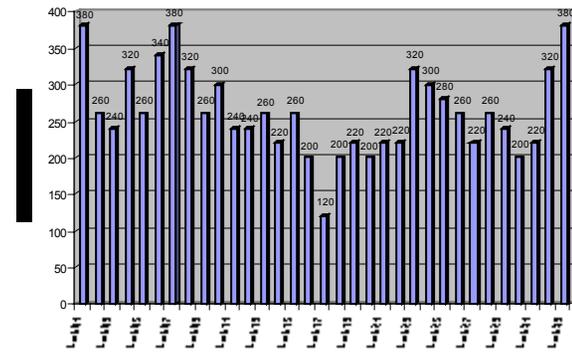
Anexo C

Graficas de alturas relativas y absolutas de los tipos particulares del relieve

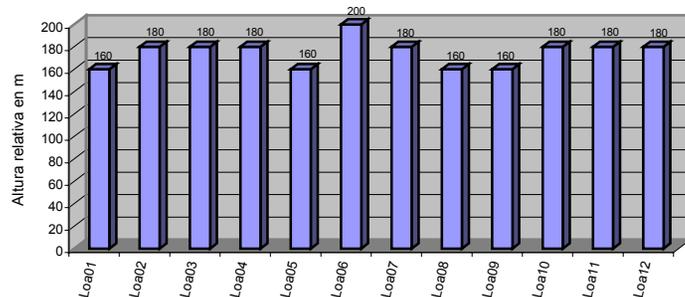
Altura relativa de las unidades morfológicas de laderas de montaña altas



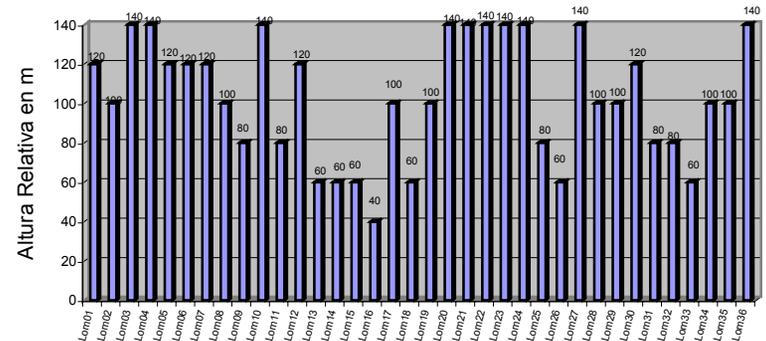
Altura relativa de las unidades morfológicas de laderas de montaña baja

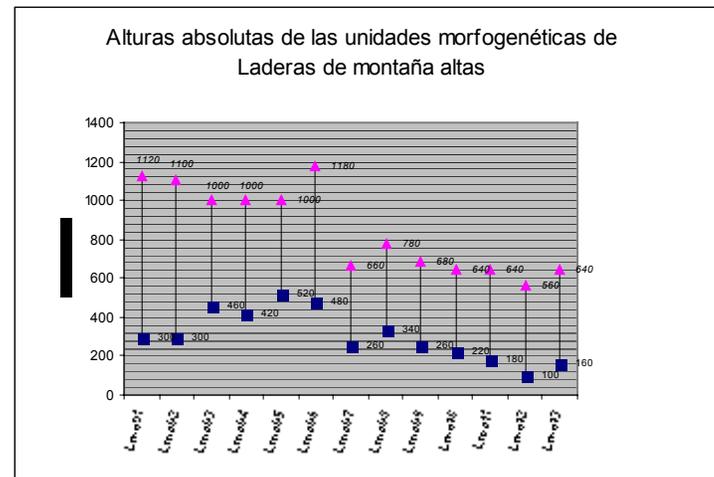
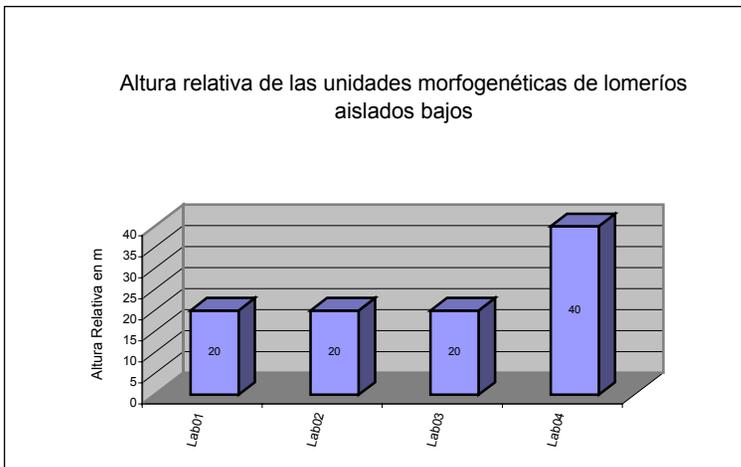
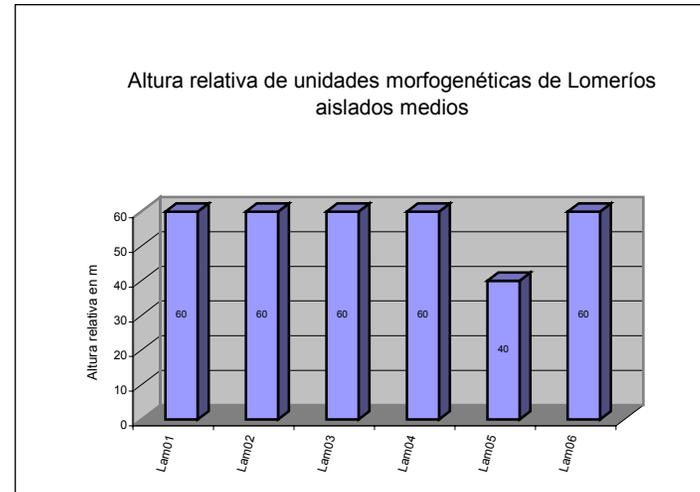
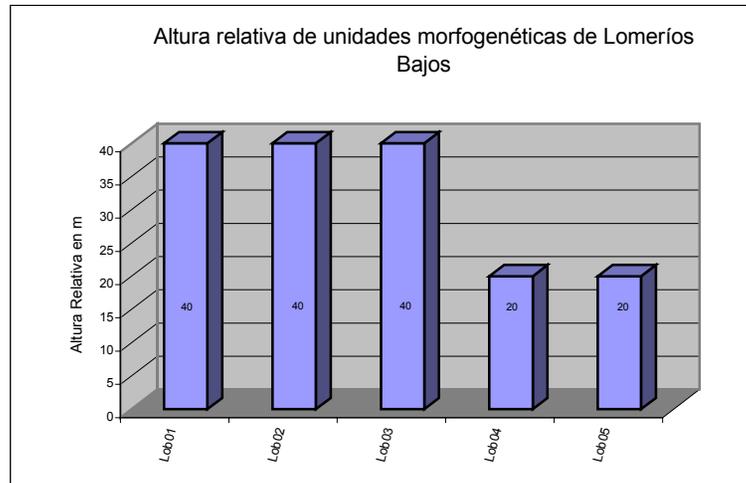


Altura relativa de las unidades morfológicas de Lomeríos altos

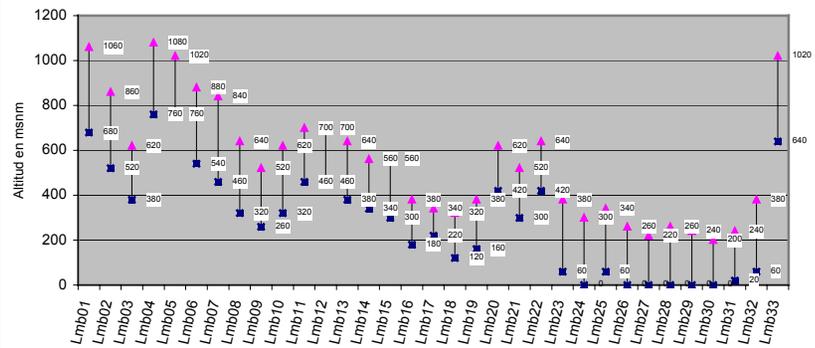


Altura relativa de las unidades morfológicas de Lomeríos medios

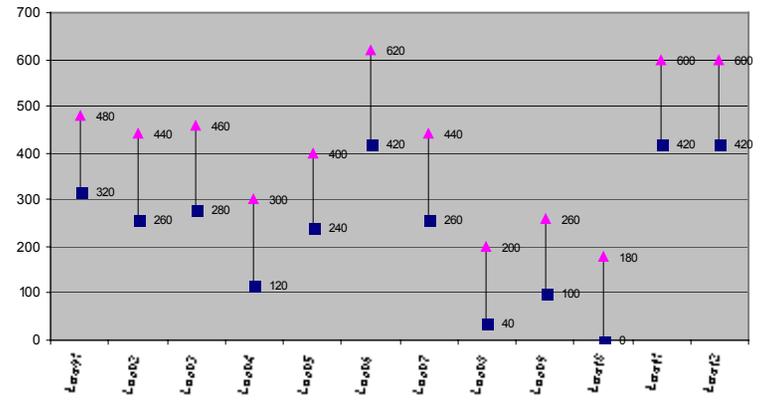




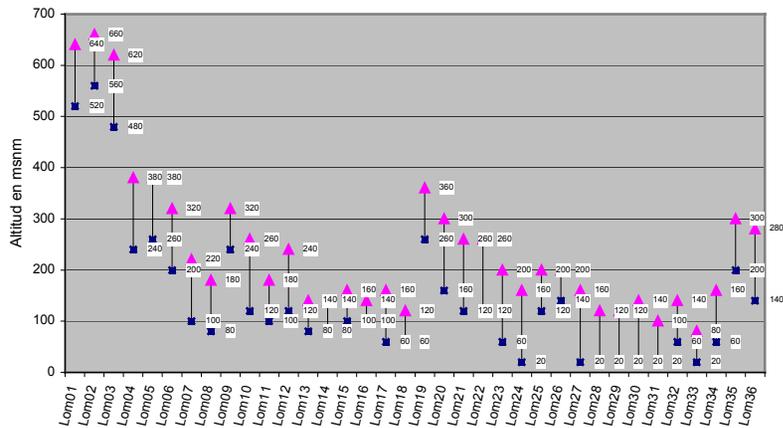
Altura absoluta de las unidades morfológicas de laderas de montaña baja



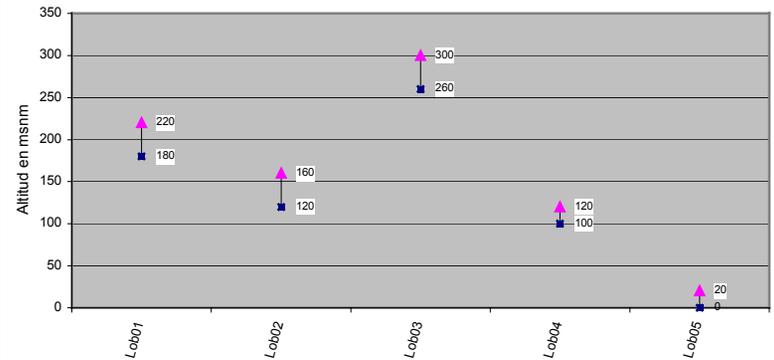
Altura absoluta de las unidades morfológicas de Lomeríos altos



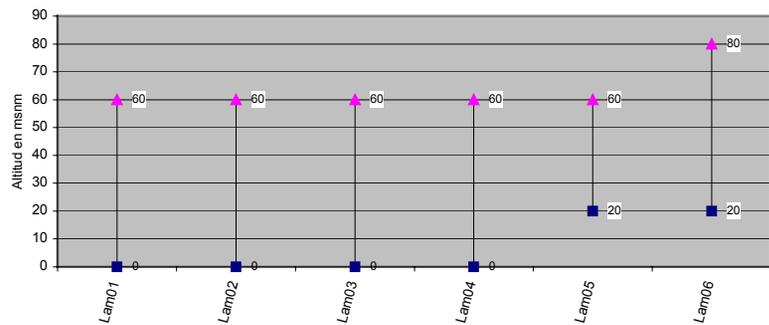
Altura absoluta de las unidades morfológicas de Lomeríos Medios



Altura absoluta de las unidades morfológicas de Lomeríos Bajos



Altura absoluta de las unidades morfológicas de las unidades de lomeríos aislados medios



Altura absoluta de las unidades morfológicas de lomeríos aislados bajos

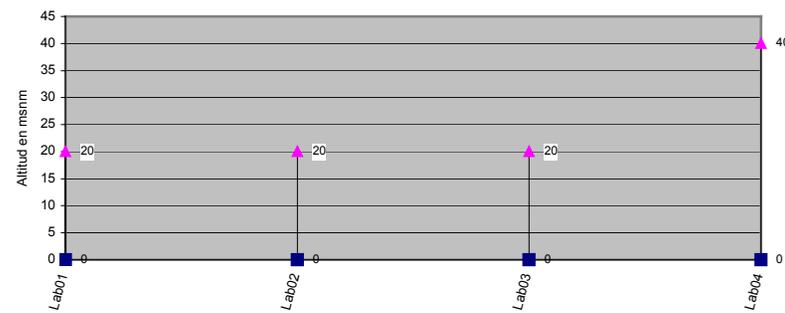


Tabla 4.3 Síntesis de unidades morfogénicas del SM Aguacatal Grande

Unidad Morfogénica (Tipo del relieve)	Origen del relieve	Edad	Litología	Geometría del relieve			Observaciones (Formas del relieve)
				Pendiente dominante (°)	Altura relativa (m)	Altitud máxima (msnm)	
Laderas de montaña alta	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	16 a 24°	600	1180	Montañas bloque afalladas, presentan cimas agudas y en menor medida planas, las formas de sus laderas son convexas y rectas, con afallamientos de NE-SO. Son las altitudes absolutas más altas del área de estudio
Laderas de montaña baja	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	8 a 16°	260	1080	Montañas bloque afalladas, presentan cimas agudas, redondeadas y en menor medida rectas, las formas de sus laderas son convexas y planas
Lomeríos altos	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	16 a 24°	180	600	Lomeríos comprimidos por la tectónica. Su cima es aguda y la forma de sus laderas convexas a rectas
Piedemontes locales intermontanos	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del periodo del Holoceno	Depósitos aluviales y coluviales cuaternarios de material detrítico de roca granítica-granodiorítica	8 a 16°	140	800	Material coluvial dispuesto en capas, con depósitos gruesos en su base y material más fino en la parte superior, se localizan intercalado entre laderas de montaña altas y bajas forma de su dorso es recta-convexa

Tabla 4.4 Síntesis de unidades morfogénicas del SM Cacalotepec

Unidad Morfogénica (Tipo del relieve)	Origen del relieve	Edad	Litología	Geometría del relieve			Observaciones (Formas del relieve)
				Pendiente dominante (°)	Altura relativa (m)	Altitud máxima (msnm)	
Laderas de montaña alta	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	16 a 24°	480	680	Montañas bloque afalladas, presentan cimas agudas y en menor medida redondeadas, con forma de sus laderas convexas y rectas
Laderas de montaña baja	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	8 a 16°	320	700	Montañas bloque afalladas, presentan cimas agudas y en menor medida redondeadas, con forma de sus laderas convexas y rectas
Lomeríos altos	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	8 a 16°	180	600	Lomeríos con cimas redondeadas y en menor grado agudas, la forma de sus laderas son convexas.
Lomeríos medios	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	8 a 16°	140	660	Lomeríos con cimas redondeadas y en menor grado agudas, la forma de sus laderas son convexas y rectas.
Lomeríos bajos	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario del Mioceno temprano	4 a 8°	40	300	Lomeríos con cimas redondeadas con laderas rectas y pendiente suave.
Piedemontes locales íntermontanos	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del Holoceno	Depósitos aluviales y coluviales cuaternarios de material detrítico de roca granítica-granodiorítica	4 a 8°	¿	540	Material gravitacional y aluvial, la forma de sus dorsos es recta-convexa, es marginal a laderas de montaña altas y bajas.

Tabla 4.5 Sintético de unidades morfogénicas del SM Cerro El Tecolote

Unidad Morfogenética (Tipo del relieve)	Origen del relieve	Edad	Litología	Geometría del relieve			Observaciones (Formas del relieve)
				Pendiente dominante (°)	Altura relativa (m)	Altitud máxima (msnm)	
Laderas de montaña alta	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	8 a 16°	460	660	Montañas bloque afalladas, presentan cimas agudas y en menor medida redondeadas, las formas de sus laderas son convexas y en menor grado rectas
Laderas de montaña baja	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	16 a 24°	240	620	Montañas bloque afalladas, presentan cimas agudas y redondeadas, con forma de sus laderas convexas y en menor medida rectas
Lomeríos altos	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	16 a 24°	180	600	Lomeríos con cimas agudas y redondeadas, y la forma de sus laderas son convexas.
Lomeríos medios	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	8 a 16°	140	640	Lomeríos con cimas redondeadas y agudas, la forma de sus laderas son convexas que van de abruptas a suaves.
Lomeríos bajos	Endógeno-intrusivo, denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	8 a 16°	40	220	Lomeríos con cimas redondeadas con laderas convexas a rectas muy suaves.
Piedemonte local intermontano	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del periodo Holoceno	Depósitos aluviales y coluviales cuaternarios de material detrítico de roca granítica-granodiorítica	4 a 8°	¿	260	Material aluvial por deposición gravitacional y aluvial. La forma de sus dorsos es recta-convexa. Es marginal a laderas de montaña altas y bajas, así como a lomeríos altos y medios
Planicie aluvial intermontana	Exógeno - acumulativo	Cuaternario del periodo Holoceno	Material de depósito aluvial y fluviales, son depósitos no consolidados de material de rocas de granito-granodiorita del Terciario de época del Mioceno de composición calciocalina	2 a 4°	¿	120	Formada de material aluvial de rocas plutónicas de granito-granodiorita, tiene una forma morfológicamente plana, ligeramente inclinada hacia el cauce del río San Martín

Planicie costera	Exógeno acumulativo	Cuaternario del periodo Holoceno	Material de deposito fluvial y litoral, son depósitos no consolidados de material de rocas de granito-granodiorita del Terciario de época del Mioceno	0 a 1°	20	20	Tiene una morfología plana y esta ligeramente inclinada hacia el mar, están formadas por el resultado de la abrasión marina sobre las rocas preexistentes y que se acumulan por la acción de las olas. Afectada por movimientos tectónicos de levantamiento Las arenas que la constituyen varían de grano fino a grueso
Planicie fluvial	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del periodo Holoceno	Material de depósitos fluviales , depósitos de rocas de granito-granodioritas del Terciario de época del Mioceno.	0 a 1°	20	20	Forma parte del río cacalotepec. Es una unidad geomorfológica compleja ya que en su parte superior donde tiene mayor pendiente predominan los procesos erosivos y en su nivel de base los acumulativos. Con material grueso y medio
Planicie fluviodeltaica	Exógeno-acumulativo-erosivo	Cuaternario del periodo Holoceno	Material de depósitos fluviales, sobreyaciendo a rocas ígneas intrusivas de granito-granodiorita del Terciario del periodo del Mioceno temprano	0 a 1°	20	20	Forma parte de la desembocadura del río Cacalotepec sus depósitos forman un delta, notándose una distribución de sedimentos gruesos en su parte norte y mas finos en la desembocadura, Esta área se caracteriza por tener sedimentos laminados.
Planicie marginal lagunar costera	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del periodo Pleistoceno al Holoceno	Formada de material lacustre y fango de material orgánico del cuaternario sobreyaciendo a roca ígnea intrusiva del Terciario de época del Mioceno temprano	0 a 1°		20	Presenta una forma plana. Esta UM tiene una composición de suelo fangoso y rico en materia orgánica, ocupada por vegetación de manglar, alimentada por escorrentías y depositacion del río Cacalotepec y por acción marina de las olas y mareas
Planicie Lagunar-costera	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del periodo Pleistoceno al Holoceno	Formada por material lacustre y fango con material orgánico de textura predominantemente limosa-arcillosa del Cuaternario , sobreyaciendo a roca ígnea intrusiva del Terciario de época del Mioceno	0 a 1°		10	Este UM es la llamada Laguna Lagartero, es alimentada por escorrentías del río Cacalotepec y su consecuente depositacion de material de origen fluvial y también por acción marina de olas y mareas

Tabla 4.6 Síntesis de unidades morfogenéticas del SM Laguna Lagartero

Tabla 4.7 Síntesis de unidades morfo genéticas del SM Monte Oscuro

Unidad Morfo genética (Tipo del relieve)	Origen del relieve	Edad	Litología	Geometría del relieve			Observaciones (Formas del relieve)
				Pendiente dominante (°)	Altura relativa (m)	Altitud máxima (msnm)	
Laderas de montaña baja	Endógeno-intrusivo denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	8 a 16°	220	240	Montañas bloque afalladas, presentan cimas agudas, la forma de sus laderas son convexas y en menor grado rectas,
Lomeríos altos	Endógeno-intrusivo denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	8 a 16°	180	180	Lomeríos con cimas redondeadas, con laderas suaves y de formas convexas.
Lomeríos medios	Endógeno-intrusivo denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	8 a 16°	60	140	Lomeríos con cimas redondeadas y en menor medida agudas, la forma de sus laderas son convexas y rectas.
Lomeríos bajos	Endógeno-intrusivo denudatorio	Plioceno-Cuaternario	Granito-Granodiorita del Terciario de la época del Mioceno temprano	1 a 2°	40	160	Lomeríos con cimas redondeadas con laderas convexas a rectas, con pendientes muy suaves.
Piedemontes Generales	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del periodo del Holoceno	Depósitos aluviales y coluviales cuaternarios de material detrítico de roca granítica-granodiorítica	0 a 1°	60	60	Material coluvial y aluvial por depositación gravitacional y aluvial de material no consolidado. Forma de sus dorsos recto-convexo. Están inclinados en relación a la planicie costera que les avecina. Marginal a laderas de montaña baja y lomeríos altos
Piedemontes locales intermontanos	Exógeno-acumulativo	Cuaternario del periodo del Holoceno	Depósitos aluviales y coluviales cuaternarios de material detrítico de roca granítica-granodiorítica	4 a 8°		120	Material coluvial y aluvial por depositación gravitacional y aluvial, forma de sus dorsos es recta-convexo, es marginal a laderas de montaña altas y bajas, así como lomeríos altos y medios
Planicie fluviodeltaica	Exógeno - acumulativo	Cuaternario del periodo del Holoceno	Material de depósito aluvial y fluviales, son depósitos no consolidados.	1 a 2°		20	Forma parte de la desembocadura del río Cacalotepec sus depósitos forman un delta, notándose una distribución de sedimentos gruesos en su parte norte y mas finos en la desembocadura, Esta área se caracteriza por tener sedimentos laminados.