



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO
PARA EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL
EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE (OAXACA)
USANDO PERCEPCIÓN REMOTA
Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A :

MARCO ANTONIO PABLO PABLO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ RAMÓN HERNÁNDEZ SANTANA



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F., ENERO 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**FORMA 3
APROBACIÓN DEL TRABAJO ESCRITO POR EL SÍNODO**

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

EGRESADO: PABLO PABLO MARCO ANTONIO
Nº de cuenta: 406067337
Generación: 2007-2011
P R E S E N T E

Por este conducto tenemos a bien comunicar a Usted que, después de revisar el trabajo escrito de **TESIS** titulado **CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO PARA EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE (OAXACA) USANDO PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA** para optar por el grado de **LICENCIADO** en GEOGRAFÍA, cada uno de los miembros del jurado emitió su dictamen aprobatorio considerando que dicho trabajo reúne los requisitos académicos necesarios para presentar el examen oral correspondiente.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 22 de julio de 2013.

NOMBRE DE SINODALES	ANTIGÜEDAD EN LA UNAM	FIRMA DE APROBACIÓN DEL TRABAJO ESCRITO
Presidente: <u>MTRA. ORALIA OROPEZA OROZCO</u>	<u>01-I-73</u>	
Vocal: <u>MTRO. JOSÉ MANUEL ESPINOZA RODRÍGUEZ</u>	<u>27-X-86</u>	
Secretario: A.T. <u>DR. JOSÉ RAMÓN HERNÁNDEZ SANTANA</u>	<u>01-II-03</u>	
Suplente: <u>DRA. OLIVIA SALMERÓN GARCÍA</u>	<u>01-XII-92</u>	
Suplente: <u>DR. ARTURO GARCÍA ROMERO</u>	<u>15-XI-98</u>	

Vo. Bo.

COORDINADORA DE LA CARRERA

DRA. PATRICIA GÓMEZ-REY

c.c.p. El(La) Egresado(a)
c.c.p. Coordinación de la Carrera
c.c.p. Secretaría Académica de Servicios Escolares

Dedicatorias

A la vida

Compleja sustancia de reveses, sueños y ventajas mancas.

A mis padres

Epifanio Pablo Pedro y Mariana Pablo Pablo.

Por su interminable confianza y apoyo, aun en los momentos difíciles.

A ti

Y a nuestro tiempo de semblanzas gravitacionales.

Agradecimientos

Al Dr. José Ramón Hernández Santana (Instituto de Geografía. Departamento de Geografía Física).

Por su conspicua cordialidad, por su tiempo para charlar, y consejos que permitieron atinar palabras y tejer ideas.

A la Dra. Oralia Oropeza Orozco (Instituto de Geografía. Departamento de Geografía Física).

Al Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez (Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras).

A la Dra. Olivia Salmerón García (Instituto de Geografía. Laboratorio de Análisis Geoespacial).

Al Dr. Arturo García Romero (Instituto de Geografía. Departamento de Geografía Física).

Por sus revisiones, comentarios y valiosas recomendaciones que se sumaron a esta investigación.

Al Mtro. Heliot Zarza Villanueva (Instituto de Ecología, Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre).

Por su revisión, comentarios y valiosas recomendaciones que se sumaron a la parte de biodiversidad.

Al Instituto de Geografía

Por la beca proporcionada para la realización de esta investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Por proporcionarme la infraestructura física e intelectual. ¡Gracias!.



Resumen

En el estado de Oaxaca, son escasos los estudios científicos de carácter integral enfocados hacia el ordenamiento ecológico territorial a escala semidetallada. Esta investigación desarrollada bajo la óptica del desarrollo sustentable, aborda el diagnóstico biofísico territorial partiendo de un enfoque transdisciplinario; estableciendo patrones espaciales de organización de las actividades humanas, en función de sus necesidades (agrícola, pecuario, forestal y de conservación) y la evaluación de los atributos naturales ofertantes del medio.

Se presentan una serie de metodologías y técnicas para la caracterización de los recursos naturales de la cuenca del río Grande (geología, morfometría del relieve, clima, agua, suelos y biodiversidad), la implementación de un sistema de clasificación taxonómico con base en la ecología del paisaje (región natural, geosistema y unidad de paisaje), derivando así, unidades de síntesis natural y cartográficas para el diagnóstico territorial con el fin de coadyuvar en la generación de unidades de gestión del modelo de ordenamiento ecológico regional del estado.

El análisis, interpretación y procesamiento de los resultados espaciales, dieron como resultado una leyenda final de cinco regiones naturales, diecisiete geosistemas y ochenta y cinco unidades de paisaje.

El área potencial generada con las mejores condiciones para la práctica de actividades agropecuarias equivale al 16%, es decir, 152 km² de la superficie total; para la actividad pecuaria se generó un área de 122 km² equivalente al 12%; la mejor aptitud trivalente, es decir “conservación-agropecuaria” derivó un área potencial de 64 km² equivalentes al 7%; la actividad mixta de “conservación-pecuario” derivó 108 km² equivalente al 11%; en el caso de la actividad de “conservación-forestal”, se generaron 114 km² (12%); para la actividad de conservación se generó un área potencial de 167 km² equivalente al 17% y finalmente el 26% del territorio equivalente a 250 km² encuadró en alguna categoría de manejo (agropecuaria, conservación-pecuario y conservación), pero que no clasificó como aptitud óptima.

Introducción

En la actualidad existe un creciente interés por los estudios de carácter sintético y pragmático en el ámbito de la planificación territorial. No sólo en México, sino en diversas partes del mundo se plantea la necesidad de integrar direcciones de esfuerzo encaminadas al aprovechamiento racional de los recursos naturales. El incremento y distribución desordenada de la población, la demanda de alimentos, agua y toda clase de servicios son algunos de los factores que han transformado drásticamente los ecosistemas en los últimos 60 años. Tal planificación demanda la conservación de áreas con elevado potencial y singularidad biológica, el manejo integral de cuencas, la implementación de estrategias de desarrollo sustentable a escala regional, municipal e incluso iniciativas locales comunitarias.

Es entonces cuando se vuelve necesario abordar la organización del territorio dentro de enfoques integradores, siendo el ordenamiento ecológico territorial (OET) un instrumento táctico en el manejo de la biodiversidad en México con el fin de condensar visiones comunes a corto y mediano plazo para regular de manera adecuada los patrones de ocupación del espacio geográfico.

Una de las líneas de investigación que aborda esta cuestión es la ecología del paisaje cuyo objetivo es el análisis del paisaje sistémico, concretamente desde la ciencia geográfica, encontrando sus bases teórico-metodológicas en la Teoría General de Sistemas. Su importancia se centra en la capacidad de cohesionar de manera lógica y estructuro-funcional los diversos componentes naturales del territorio, de manera armónica y jerarquizada, de tal manera que se puedan agregar y desagregar sistemas para su análisis sin perder sus cualidades inherentemente ligadas a la base de su estructura.

El territorio mexicano es producto de una gran diversidad de paisajes físico-geográficos, que han conformado su esencia a través del tiempo por la compleja evolución de sus componentes biofísicos. Cabe mencionar que la variabilidad climática provee los elementos esenciales para el desarrollo autóctono de dichas entidades, mientras que la compleja evolución geólogo-geomorfológica y por consiguiente los procesos morfodinámicos y morfoestructurales, confieren el desarrollo alóctono. Estos componentes actuando de manera armónica con factores como la latitud, altitud y la configuración regional de tierras y aguas, genera la gran variabilidad de ambientes, propiciando la generación de diversos paisajes físico-geográficos.

Esta investigación tiene como objetivo la generación de escenarios de aptitud natural para cuatro usos de suelo (agrícola, pecuario, forestal y de conservación) y un modelo de aptitud natural óptimo. Para esto se requiere de la revisión bibliográfica exhaustiva de los diversos enfoques, métodos y técnicas en el proceso de caracterización biofísica de la cuenca y su posterior evaluación en los paisajes físico-geográficos.

En el primer capítulo se aborda el concepto de ecología como una ciencia independiente e integradora que se vale de una gran variedad de métodos y técnicas de otras ciencias como la Física, la Química, las Matemáticas, la Geografía, la Economía, la Sociología etc., para analizar todos los niveles de interacción de los organismos con su medio físico. Se abre un espacio para cuestionar los alcances de cada ciencia en el proceso para generar conocimiento pragmático en la sociedad, sólo entonces se plantea la necesidad de abordar los problemas desde una enfoque transdisciplinario.

Dicha síntesis estructuro funcional se plantea desde la óptica de la Teoría General de Sistemas (TGS), pues ésta logra entender la cohesión de los ambientes naturales como un conjunto de partes poseedores de atributos, coordinados y en continua interacción para alcanzar diversos objetivos; es entonces cuando se definen las características de los sistemas: sinergia, recursividad y entropía. Se expone el concepto de territorio al igual que el espacio geográfico, como un preámbulo para entrar al análisis territorial.

Posteriormente se expone un bagaje de conceptos históricos sobre el Ordenamiento Territorial, desde su comienzo a principios del siglo XX, desde la perspectiva del urbanismo en Alemania e Inglaterra, hasta 1988 con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en México, consagrando a los ordenamientos ecológicos como instrumentos de política ambiental. Posteriormente se desarrolla un ensayo sobre la adopción del concepto del *desarrollo sustentable* a diversos espacios y escalas gubernamentales. La última parte del capítulo se centra en el desarrollo teórico de los sistemas de información geográfica así como los de percepción remota enfocados en el análisis vegetal.

El segundo capítulo aborda la caracterización biofísica. Éste inicia con una breve semblanza del significado e historia de la Mixteca Alta para continuar con sus rasgos fisiográficos. La localización y delimitación del área de estudio así como su topografía y la estructura conceptual del modelo de sombra orográfica.

Posteriormente se aborda la geología regional, haciendo énfasis en el estado relatando su compleja evolución tectonoestratigráfica, para finalmente abordar el área de estudio. El análisis morfométrico destaca por la elaboración de mapas detallados de altimetría, pendientes, la disección vertical o energía del relieve y la densidad de disección como atributos a evaluar en el diagnóstico integrado del paisaje.

Los elementos climáticos como la temperatura y precipitación son analizados con metodologías robustas que permiten elevar su aproximación a la realidad; se revelan los patrones de la marcha anual de la temperatura así como la media anual derivada de un análisis de correlación lineal; se exponen los aspectos que controlan la precipitación a escala regional así como el análisis e interpretación de la media anual; se define la nomenclatura empleada para referir los climas, subtipos, grado de humedad y el régimen de lluvias de la zona.

En lo que respecta a los recursos hídricos, se elabora una clasificación potamográfica por el método de Strahler (1952), para continuar con una estimación de la erosión hídrica por el método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) elaborado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1997), posteriormente se realiza una descripción de las características hidrogeológicas del acuífero Nochixtlán, basadas en el boletín "*Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 2016 Nochixtlán, Estado de Oaxaca*" de la CONAGUA.

En el apartado de suelos, se realizó una inspección visual y una descripción general de los distintos tipos de suelos de la cuenca del río Grande con base en el "*Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo*", del Instituto de Geología de la UNAM (2006).

Sin duda el apartado de biodiversidad es uno de los más amplios y complejos, derivado de la inherente variabilidad flori-faunística del estado y por consiguiente, de la cuenca del río Grande; se abordan algunos conceptos y características sobre los diversos tipos de vegetación a nivel comunidad y serie de formaciones, seguido de un análisis de variabilidad espectral de las cubiertas para generar el mapa de uso de suelo y vegetación. Finalmente dentro de este apartado, se realizó un análisis del estado de conservación de la fauna empleando dos especies (*Panthera onca* y *Lynx rufus*) que por sus características morfo-fisiológicas y conductuales, requieren de grandes extensiones del territorio para sobrevivir, convirtiéndolas en las denominadas especies paraguas, ya que al generar acciones para su conservación, se aseguran a las demás especies que se encuentren por debajo de su nivel trófico.

El tercer capítulo aborda el diagnóstico integrado del paisaje. En éste se exponen los conceptos fundamentales relacionados con la ecología del paisaje, se derivan las tres unidades de análisis sistémico (región natural, geosistema y paisaje) y se describen los criterios empleados en su delimitación. Inmediatamente se expone la importancia y evalúan los indicadores del segundo capítulo, para cada uso de suelo (agrícola, pecuario, forestal y de conservación). Como objetivo final de la investigación, se realizó la sumatoria de los cuatro mapas de aptitud natural, con la finalidad de derivar un quinto denominado *Uso potencial óptimo del territorio*, sobreponiendo espacial y matricialmente la información, a fin de seleccionar la aptitud por paisaje, con mayor número de puntos, equivalente a la mayor probabilidad de uso óptimo del territorio, sin deteriorar las condiciones medioambientales del mismo.

Finalmente en el cuarto y último capítulo se exponen los resultados, la discusión, las conclusiones y recomendaciones.

Objetivos

El objetivo central de este trabajo de investigación es la evaluación de la aptitud natural óptima del territorio en la cuenca del río Grande, dentro de cuatro tipos fundamentales de uso del suelo: agrícola, pecuario, forestal y de conservación. Esto implica un riguroso estudio de los sistemas biofísicos y su valoración en unidades de síntesis espacio-temporal (paisajes), haciéndose necesario:

La revisión bibliográfica exhaustiva de los diversos enfoques, métodos y técnicas más recientes y relevantes en el proceso de caracterización biofísica y diagnóstico integrado del paisaje.

La caracterización biofísica del territorio en sus principales sistemas (topografía, geología, morfometría del relieve, clima, agua, suelos y biodiversidad).

Identificación de tres unidades taxonómicas de análisis con base en la ecología del paisaje (región natural, geosistema y unidad de paisaje).

Valoración de unidades de paisaje por tipo de uso del suelo (agrícola, pecuario, forestal y de conservación) y determinación de la aptitud óptima.

Contenido

Resumen	VI
Introducción	VII
Objetivos	IX
Capítulo I Marco Teórico	1
I.1 La ecología	1
I.1.1 Del reduccionismo disciplinario al holismo transdisciplinario	1
I.1.2 Niveles de organización	2
I.2 Teoría General de Sistemas	2
I.2.1 Sinergia	3
I.2.2 Recursividad	4
I.2.3 Sistemas abiertos y cerrados	4
I.2.4 Entropía	5
I.3 El Territorio	6
I.3.1 Zonificación del Territorio	6
I.3.1.1 Las áreas homogéneas	6
I.3.1.2 Las áreas funcionales	7
I.3.2 La escala de trabajo	7
I.3.3 El territorio como sistema	7
I.4 El Ordenamiento Territorial	7
I.4.1 Objetivos del Ordenamiento Territorial	8
I.4.2 El Ordenamiento Territorial en México	8
I.4.3 Fases del Ordenamiento Ecológico Territorial (Estudio Técnico)	10
I.4.3.1 Caracterización	10
I.4.3.2 Diagnóstico	10
I.4.3.3 Pronóstico	10
I.4.3.4 Propuesta	10
I.5 El desarrollo sustentable	11
I.5.1 El término: desarrollo sustentable	12

I.6 El Sistema de Información Geográfica	12
I.6.1 Aplicaciones SIG	13
I.6.2 Definición de Sistema de Información Geográfica	14
I.7 La Teledetección espacial	14
I.7.1 El espectro electromagnético	15
I.7.2 Comportamiento espectral de la vegetación	17
I.7.3 Principales sensores y sus características	18
I.7.3.1 Resolución espacial	18
I.7.3.2 Resolución espectral	19
I.7.3.3 Resolución radiométrica	19
I.7.3.4 Resolución Temporal	20
I.7.3.5 El satélite LandSat	20
I.7.3.6 El satélite SPOT	21
Capítulo II Caracterización Biofísica	25
II.1 Generalidades de la Mixteca	25
II.1.1 La Mixteca en la época prehispánica	25
II.1.2 Fisiografía de la Mixteca	25
II.1.3 Localización del área de estudio	27
II.2 Topografía	27
II.3 Modelo de sombra orográfica	29
II.4 Geología	29
II.4.1 Geología regional	29
II.4.1.1 Orogenia Acateca	33
II.4.1.2 Orogenia Grenvilliana	33
II.4.2 Terrenos tectonoestratigráficos	34
II.4.2.1 Terreno Zapoteco	34
II.4.2.2 Terreno Mixteco	34
II.4.3 Cronoestratigrafía del Terreno Oaxaqueño	35
II.4.3.1 Cronoestratigrafía de la cuenca del río Grande	36
II.4.3.1.1 Formación Teposcolula	36
II.4.3.1.2 Formación Tilantongo	36
II.4.3.1.3 Formación Tamazulapam	36
II.4.3.1.4 Formación Tecomatlán	36
II.4.3.1.5 Formación Yanhuitlán	37
II.4.3.1.6 Formación Llano de Lobos	37
II.4.3.1.7 Andesita Yucudaac	37
II.4.3.1.8 Aluvión	37

II.5 Análisis morfométrico del relieve	37
II.5.1 Hipsometría	39
II.5.2 Pendientes	39
II.5.3 La disección del relieve	41
II.5.3.1 Disección vertical o energía del relieve	41
II.5.3.2 Densidad de disección	43
II.6 El clima	47
II.6.1 Temperatura, aspectos regionales	47
II.6.2 Marcha anual de la temperatura	47
II.6.3 Temperatura media anual	49
II.6.4 Análisis de correlación (altitud-temperatura)	49
II.6.5 Precipitación, aspectos regionales	54
II.6.6 Precipitación media anual	55
II.6.7 Tipos climáticos	57
II.7 El agua	58
II.7.1 Estimación de la erosión hídrica	61
II.7.1.1 Factor R	61
II.7.1.2 El Factor K	62
II.7.1.3 Factores LS: Longitud e inclinación de la pendiente	63
II.7.1.4 Factor C	64
II.7.1.5 Factor P	65
II.7.2 Calidad del agua superficial, un panorama general	66
II.7.3 Uso del Agua	69
II.7.4 Hidrogeología, el acuífero Nochixtlán	69
II.7.4.1 Unidades Hidrogeológicas	69
II.7.4.1.1 Unidad permeable	70
II.7.4.1.2 Unidad semipermeable	71
II.7.4.1.3 Unidad impermeable	71
II.7.4.1.4 Tipo de acuífero	71
II.8 Los suelos	71
II.8.1 El conocimiento del suelo para la planeación	71
II.8.2 Unidades de suelo en la cuenca del río Grande	74
II.8.2.1 Rendzina	74
II.8.2.2 Regosol	74
II.8.2.3 Feozem	75
II.8.2.4 Vertisol	76
II.8.2.5 Luvisol	77

II.9 La Biodiversidad de Oaxaca	80
II.9.1 La conservación, un panorama general	80
II.9.1.1 Estudios de vegetación previos en la Mixteca Alta	80
II.9.1.2 Clasificación de los tipos de vegetación	81
II.9.1.2.1 Selva caja caducifolia	82
II.9.1.2.2 Bosque de <i>Quercus</i>	83
II.9.1.2.3 Bosque de <i>Pinus</i>	83
II.9.1.2.4 Bosque mixto	84
II.9.1.2.5 Matorral xerófilo y desértico micrófilo	84
II.9.1.2.6 Pastizal natural e inducido	86
II.9.1.3 El proceso de clasificación	87
II.9.1.3.1 Clasificación no supervisada	87
II.9.1.3.1.1 Análisis de firmas espectrales	88
II.9.1.3.1.2 Separabilidad (encino, bosque mixto y sbc)	89
II.9.1.3.1.3 Índice de vegetación (NDVI)	91
II.9.1.3.1.4 Separabilidad (cultivos)	94
II.9.1.3.2 Clasificación supervisada	96
II.9.1.4 Biogeografía, un panorama general	101
II.9.1.5 Diversidad y patrones de distribución de mamíferos en México	101
II.9.1.6 El endemismo en México y Oaxaca	102
II.9.1.7 Áreas Naturales Protegidas	102
II.9.1.8 Regiones Terrestres Prioritarias	104
II.9.1.9 Factores de distribución de especies	104
II.9.1.10 Indicador ecológico	105
II.9.1.11 El nicho ecológico	105
II.9.1.11.1 MaxEnt (modelado del nicho ecológico)	106
II.9.1.11.1.1 El jaguar (<i>Panthera onca</i>)	106
II.9.1.11.1.2 El lince (<i>Lynx rufus</i>)	108
II.9.1.11.1.2.1 <i>Lynx rufus oaxacensis</i>	108
Capítulo III Diagnóstico Territorial	121
III.1 La regionalización ecológica	121
III.1.1 La ecología del paisaje, un panorama general	121
III.1.1.1 Niveles de integración del paisaje	123
III.1.1.1.1 Las macroestructuras	123
III.1.1.1.2 Las mesoestructuras	124
III.1.1.2 La regionalización geomorfológica	124
III.1.1.2.1 La región, el geosistema y la geofacie	125
III.2 Evaluación del uso del territorio	127
III.2.1 Aptitud natural del paisaje	128

III.2.1.1	Potencial natural agrícola	132
III.2.1.1.1	La fertilidad del suelo	133
III.2.1.1.2	El ángulo de inclinación de las laderas	134
III.2.1.1.3	El grado de pedregosidad del suelo	134
III.2.1.1.4	Pérdida de suelo	135
III.2.1.1.5	Acidez del suelo	135
III.2.1.2	Potencial natural pecuario	138
III.2.1.2.1	La fertilidad del suelo	140
III.2.1.2.2	El ángulo de inclinación de las laderas	140
III.2.1.2.3	La disección vertical del relieve	142
III.2.1.2.4	El grado de pedregosidad del suelo	142
III.2.1.2.5	Pérdida de suelo	142
III.2.1.2.6	Coefficiente de agostadero y carga animal	143
III.2.1.3	Potencial natural para la actividad forestal	146
III.2.1.4	Potencial natural para la actividad de conservación	149
III.2.1.4.1	Valor biológico	149
III.2.1.4.2	Perturbación del paisaje	153
III.2.1.5	Aptitud natural óptima del territorio	154
Capítulo IV	Resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones	163
IV.1	Resultados	163
IV.2	Discusión	164
IV.3	Conclusiones	165
IV.5	Recomendaciones	166
	Anexos	167

I Marco Teórico

I.1 La Ecología

En 1869, Ernst Haeckel, biólogo y filósofo alemán, habla de la ecología como la ciencia global de las relaciones entre los organismos y el medio circundante (Dajoz, 2001). Para esto, él precisa que los factores naturales inorgánicos (sistemas físicos) condicionan por un lado a los organismos a adaptarse a su medio y, por otro, son las condiciones de existencia, implantados por la interacción de organismos a todos niveles de organización biosistémica, los que influyen en el proceso de selección natural.

La ecología ha estado presente en la vida del hombre desde su etapa primitiva. En su andar por el espacio y a través del tiempo, las sociedades debieron adoptar formas de control sobre su medio, sobre las leyes que rigen las fuerzas de los elementos naturales, sobre la flora y la fauna, sobre la configuración del territorio para poder sobrevivir (Odum y Barrett, 2006). A principios del siglo XX, la ecología se consideró una ciencia por derecho propio, se aceptó como una rama de las ciencias biológicas, debido a que se desarrolló dentro de la historia natural, a menudo se le denomina biología ambiental, (Sutton y Harmon, 2006).

Esta disciplina incluye conocimientos de una gran cantidad de ramas de otras ciencias como la Geografía, la Química, la Física, las Matemáticas, la Economía, la Política, la Sociología, etc., y a medida que aumenta el grado de interacción entre los sistemas biofísicos y biogeoquímicos del planeta por la acción humana, surge la necesidad de abordar los estudios medioambientales con base en enfoques de carácter interdisciplinario.

En ecología existen fenómenos muy complejos, derivados de la interacción entre los elementos bióticos y abióticos, para su estudio se elaboran modelos, éstos se definen como la simulación de las condiciones a escala con las que se produce el fenómeno, son una representación gráfica-estadística-matemática de la realidad y se realizan con la finalidad de proporcionar datos que ayuden a predecir el futuro comportamiento, tendencia o evolución del hecho o fenómeno.

Los ecólogos se valen de diversas metodologías y técnicas para analizar la abundancia y distribución de los organismos, entre éstas se encuentran las observacionales, en donde se estudian en condiciones naturales a los organismos empleando censos, recapturas, imágenes aéreas, colocando radiotransmisores para conocer sus patrones de movimiento y uso del hábitat etc.

Pero sin duda una de las metodologías más empleadas, por la optimización de recursos, son las simulaciones por computadora, he aquí donde las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la Geoestadística, la Teledetección, la Fotogrametría, la Cartografía, o los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), por mencionar algunos, aportan una gran cantidad de información, ya que se puede hacer la superposición de diversos factores e indicadores para generar diversos escenarios y mediante esto, predecir cambios en la distribución de las especies o bien, de ecosistemas completos.

I.1.1 Del reduccionismo disciplinario al holismo transdisciplinario

A diferencia de la ecología de los primeros años, donde se analizaron problemas concretos y bajo criterios meramente biológicos, actualmente ésta se ha transformado en una nueva ciencia holística, pues tiene raíces de las ciencias biológica, física y social (Odum y Barrett, op cit.).

Marco Teórico

La degradación de las condiciones ambientales, ligada íntimamente con los modos de producción de las sociedades modernas, ha generado en las últimas décadas, problemas en los sistemas biofísico, social y económicos del planeta, por tal motivo, no se puede pretender abordarlos dentro del ámbito de disciplinas individuales específicas. Es entonces cuando se vuelve prioritario su abordaje desde puntos de vista transdisciplinarios y ésta se da cuando existe coordinación entre todos los niveles (Manfred, 2004).

Los problemas no se resuelven conformando equipos con diversos especialistas en diversas áreas del conocimiento, con esto sólo se alcanzará una acumulación de visiones desde cada una de las disciplinas que se involucran, esta síntesis no se logra con la acumulación de distintos cerebros, ésta deberá ocurrir en cada uno de éstos (**Figura I.1**). De esta manera, un posgrado en agua deberá convocar geógrafos, biólogos, ingenieros, químicos, agrónomos, economistas, etc., logrando de esta manera, la transdisciplina en cada uno de ellos, ya que no se trataría del estudio del agua desde el interés de la ingeniería, biología o economía, sino como un fenómeno integral, (Odum y Barrett, op cit.). (**Figura I.2**).

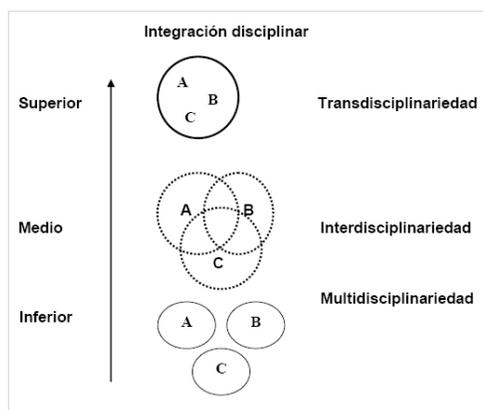


Figura I.1. Niveles de formación profesional. Fuente: Guillen 2006.

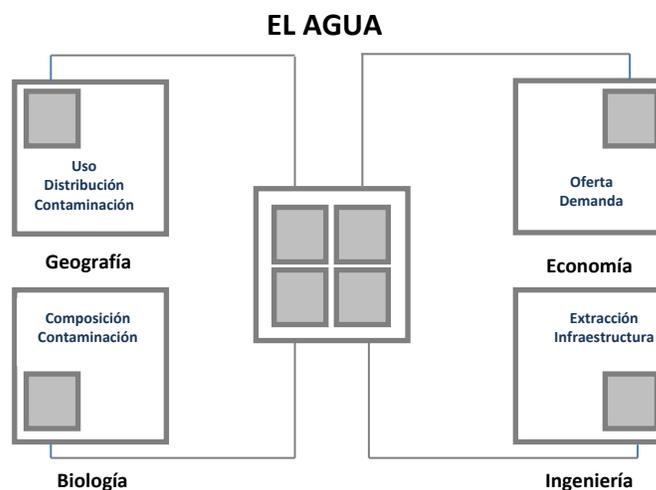


Figura I.2. De la disciplina a la transdisciplina. Fuente: Elaboración propia basado en Bertoglio, 1993.

I.1.2 Niveles de organización

En ecología se usa el término “niveles de organización” para hablar de patrones de gradación ordenados de manera jerárquica, bajo un comportamiento interactivo e interdependiente entre sí. Una vez hecho esto, se puede definir este gran conjunto de elementos como un sistema (*Ibid.*).

Según Odum (2006), los sistemas que contienen componentes bióticos y abióticos son llamados biosistemas y estos pueden ir desde los sistemas genéticos hasta los ecosistémicos, de esta forma, se podrá entender el funcionamiento de todos los niveles de organización de la materia, las interacciones, los flujos de energía, así como, las consecuencias de su degradación a nivel medioambiental.

I.2 Teoría General de Sistemas

La palabra “sistema” se define como un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos, un grupo de partes y objetos que interactúan, formando un todo o que se encuentran bajo la influencia de fuerzas en alguna relación definida (Bertoglio, 1993). Otra definición dice que un sistema es un conjunto de objetos y sus relaciones, y las relaciones entre los objetos y sus atributos (citado en Bertoglio, 1993), (**Figura I.3**).

Los objetos son partes o componentes de un sistema y estos poseen variedad limitada. En la mayoría de los sistemas estas partes son físicas; por ejemplo, átomos, estrellas, masa, neuronas, genes, músculos, gases, etc., aunque también existen objetos abstractos como variables matemáticas, ecuaciones, reglas, leyes, procesos, etc. (Bertoglio, op. cit.). Los atributos son las propiedades de los objetos, por ejemplo, los objetos anteriores tienen entre otros, los siguientes:

Átomos: el número de electrones, la energía atómica, número de partículas en el núcleo, peso atómico, etc.

Estrellas: temperatura, distancia a otras estrellas, velocidad relativa, etc.

Masas: desplazamiento, momentos de inercia, velocidad, etc.

1.2.1 Sinergia

En la Teoría General de Sistemas (TGS), la sinergia existe cuando la suma de las partes es diferente del todo; cuando $2+2$ no son 4 sino 5 u otra cifra, cuando un objeto cumple con este requisito se dice que posee o existe sinergia. Dicho de otra forma por el filósofo Fuller (citado en Bertoglio, 1993), quien señala que un objeto posee sinergia, cuando el análisis de alguna de sus partes en forma aislada, no puede explicar o predecir la conducta del todo. Esta se vuelve una herramienta poderosa, ya que si se descubre que el objeto de estudio posee como una de sus características, la sinergia, de inmediato el sistema reduccionista queda eliminado como método para explicar ese objeto (*Ibid.*).

En otras palabras, cuando se encuentra un objeto con características sinérgicas (sistemas), se deberá tener en cuenta la interrelación de las partes y el efecto final será un “efecto conjunto” (**Figura I.4**).

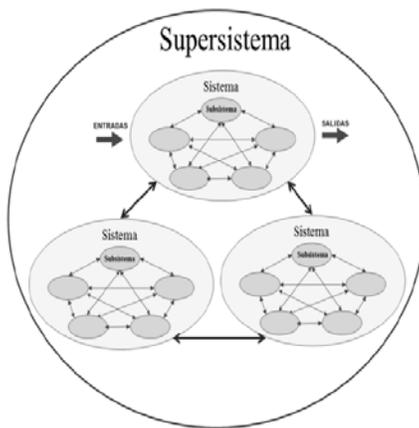


Figura I.3. Modelo de un sistema. Fuente: Elaboración propia basado en Bertoglio, 1993.

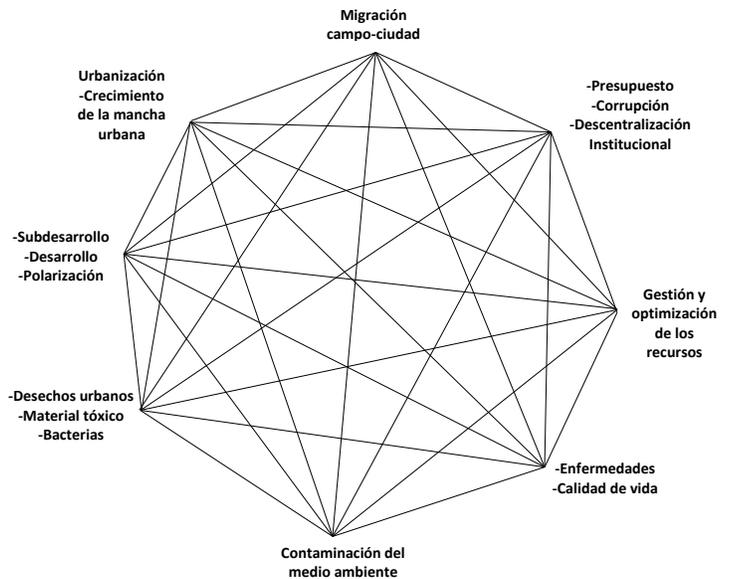


Figura I.4. Esquema sinérgico. Fuente: Elaboración propia, basado en Bertoglio, 1993.

Ahora bien, debe quedar clara una cuestión para evitar confusiones y éstas son por un lado las técnicas estadísticas del muestreo, las mismas consisten en extraer muestras representativas del sistema, hacer el análisis y extrapolar los resultados a toda la población. Estos métodos son sumamente efectivos, ya que evita la necesidad de efectuar censos que conllevan gran cantidad de recursos y tiempo (*Ibid.*).

Marco Teórico

Por un lado, se dice que la suma de las partes no es igual al todo, y por otra, se usan técnicas estadísticas para calcular usando una parte y extrapolarlo a la totalidad. Al parecer se vislumbra una confusión, pero no es así, pues *cuando se usan técnicas de muestreo, se supone (implícita o explícitamente), que los elementos o componentes son independientes entre sí, dada esta condición, entonces no existe sinergia y por consecuencia la suma de las partes es igual al todo (Ibíd.)*.

1.2.2 Recursividad

Se entiende por recursividad ¹, el hecho de que un objeto sinérgico esté compuesto de partes con características tales, que éstas a su vez, son objetos sinérgicos (sistemas), **(Figura I.5)**. Entonces se habla de subsistemas, sistemas, supersistemas etc. Cada uno de los objetos, no importando su tamaño, tiene propiedades que lo convierten en una totalidad, es decir en un elemento independiente. Por ejemplo: Se tiene: una célula, un hombre y un grupo humano.

En recursividad:

El hombre es un conjunto de células.
El grupo es un conjunto de hombres.
(Recursividad: célula, hombre, grupo).

En sinergia:

El hombre no es una suma de células.
El grupo no es una suma de individuos.
(Sinergia: célula, hombre, grupo).

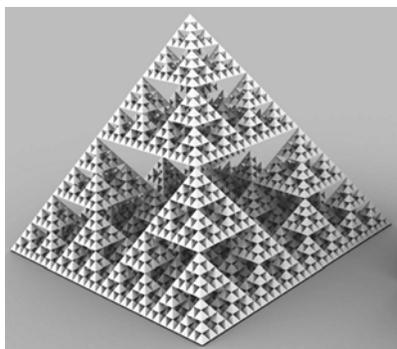


Figura I.5. Fractal. Pirámide compuesta de otras más pequeñas, las cuales siguen un patrón, formando una estructura recursiva. Fuente: Dumaine, 2013.

1.2.3 Sistemas abiertos y cerrados

La mayoría de los autores aceptan la definición de Von Bertalanffy, quien dice que un sistema cerrado es aquel que no intercambia energía con su medio (importación /exportación) y por el contrario, uno abierto es aquel que si lo hace.

V.L. Parsegian (citado en Bertoglio, 1993), define un sistema abierto como aquel en que:

- 1.- Existe intercambio de energía e información entre sistema y medio.
- 2.- El intercambio logra mantener un equilibrio o estado permanente.
- 3.-Las relaciones con el medio permiten cambios y adaptaciones como el crecimiento.

La definición de sistema abierto coincidiendo con Parsegian, sólo debe quedar completada diciendo que éste *“es un sistema que interactúa con su medio, ya sea importando o exportando energía, bajo la condicionante de que, él mismo, sea quien realice las transacciones”*. Por el contrario, un sistema será cerrado cuando no sea capaz de llevar a cabo esta actividad por su cuenta **(Figuras I.6 y I.7)**.

¹ **Recursividad:** Función que se llama así misma, proceso basado en su propia definición, es una estructura de repetición.

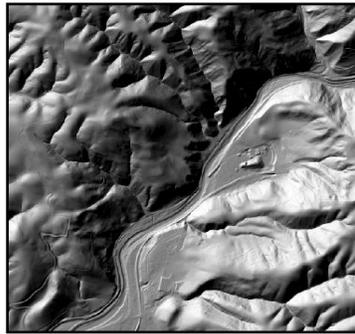


Figura 1.6. Sistema físico cerrado: Litología. Fuente: INEGI, 2013.



Figura 1.7. Sistemas biofísicos abiertos: Relieve, vegetación y sociedades. Fuente: García, 2008.

Un ejemplo de lo anterior, es una comunidad biológica de especies que interactúan y compiten entre sí, donde se representa un sistema abierto que se mantiene en continuo cambio, debido a los nacimientos, muertes, migración e inmigración de individuos (Bertalanffy, 1979).

1.2.4 Entropía

La Tierra no es un sistema cerrado, al contrario, se habla de un sistema que se encuentra recibiendo constantemente energía desde el exterior (radiación cósmica, energía radiante y gravitacional del sol, energía de la luna provocando las mareas, etc.). La entropía ejerce su acción sobre los sistemas aislados, es decir, aquellos que no comercializan con su medio, así estos sistemas se encuentran condenados al caos y a la destrucción (Bertoglio, op. cit.).

Entropía, en términos generales, se define como la tendencia natural de los sistemas a alcanzar su estado más probable o bien el estado de desorden al que irremediamente tienden los sistemas regidos por las leyes físicas de la naturaleza (**Figura 1.8**).

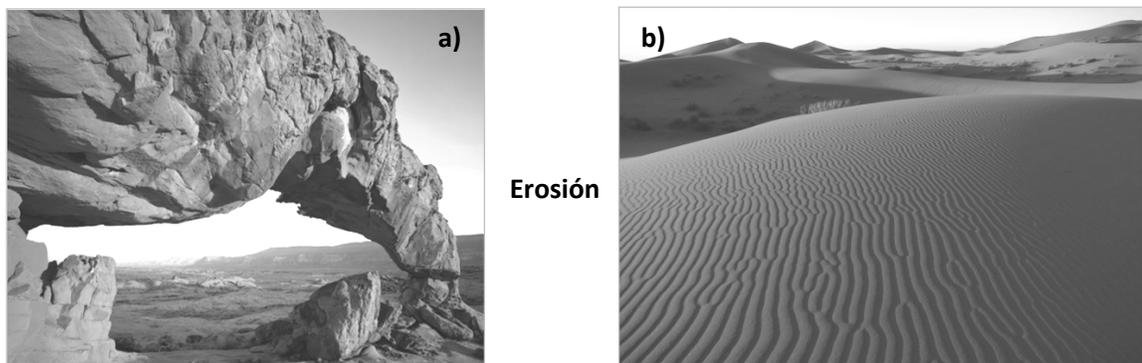


Figura 1.8. El estado más probable de los componentes de la geoforma no es la organización especial que asumen (a) sino la distribución estocástica² en la naturaleza (b). Fuente: Creative Commons, 2013.

Esta desorganización no ocurre de la misma manera en todos los sistemas, pues es bien sabido que en los sistemas abiertos, donde los flujos de materia, energía e interrelaciones son continuos, en ocasiones la entropía queda mermada, esto se debe básicamente a la dinámica interna en la estructura de estos sistemas, que generan un estado homeostático (reacciones metabólicas).

² **Estocástico:** Sistema cuyo comportamiento es intrínsecamente no determinístico, es decir que dependen del azar.

En el campo de las ciencias sociales la comprensión de la entropía juega un papel muy importante, ya que la evolución de los sistemas humanos a través del tiempo, comparten patrones de desorganización, decremento y caos. Sin embargo, esta aseveración no es absoluta, ya que es más aparente que real, si se observan los sistemas que “violan” la ley, se puede concluir que todos ellos poseen una importante característica en común, todos son sistemas vivos, y más general aún, todos son sistemas abiertos (*Ibíd.*).

1.3 El Territorio

Para poder definir un territorio es necesario hacerlo primeramente con el espacio geográfico; éste se entiende como el objeto de estudio de la ciencia geográfica y se define como el escenario producto de las actividades humanas en interacción con el medio natural y físico (elementos bióticos y abióticos).

De esta forma, obtenemos un sistema, producto de una construcción social conformado por elementos bióticos, abióticos y antrópicos expresados sobre la superficie terrestre a cualquier escala (global-local).

Una vez entendido el espacio geográfico como un escenario absuelto de límites administrativos y con propiedad de estudio a diferentes escalas, para ir de lo general a lo particular, podemos definir lo que es el territorio, y éste se entiende como un subsistema del espacio totalitario que también es resultado de una construcción social (Montañez y Mahecha, 1998). En sentido estricto, éste se define, según Sánchez y colaboradores (2010), como aquellas porciones del espacio geográfico que se encuentran bajo un orden administrativo o sentido de pertenencia, es decir, es una porción de la superficie terrestre donde la presencia de la sociedad es evidente, en cuanto a la apropiación de recursos, el ejercicio del poder o la adjudicación de valores sobre aquél, de esta forma, podemos hablar del territorio español, el territorio mexicano, el territorio oaxaqueño, etc.

En un principio, se cuenta con elementos naturales que conforman entre sí ecosistemas (relieve, suelos, ríos, clima, vegetación, fauna, etc.), posteriormente se sumarán los de tipo antrópico que aportarán elementos de carácter socioeconómico (vivienda, actividades económicas, servicios etc.) y culturales (patrimonio). De esta forma, los sistemas naturales presentarán una transformación para convertirse en sistemas antrópicos, que adquirirán nuevas propiedades de funcionalidad. Para el análisis del territorio como entidad compleja, la ciencia geográfica se basa en 3 cuestiones fundamentales, que se deben tomar en cuenta para su estudio:

1.3.1 Zonificación del territorio

Para ordenar el territorio, una de las primeras acciones a abordar, es la delimitación de la entidad y una primera forma es recurriendo a la arbitrariedad, con lo cual la dirección del ordenamiento carecerá de fundamento científico, por otro lado, se puede hacer recurriendo a la racionalidad derivada de la propia estructura territorial y, de esta forma, se asegura una mejor aproximación al modelo idóneo para cada entidad.

La geografía científica ha utilizado dos tipos de criterios principales para esta cuestión: los de homogeneidad y cohesión para delimitar áreas territoriales homogéneas y funcionales (Bielza, 2008).

1.3.1.1 Las áreas homogéneas

Hacen referencia a la delimitación de áreas con una repetición de los patrones de ciertos caracteres sobre un espacio sin solución de continuidad. Así, se delimitan áreas de montaña con patrones de similitud, en cuanto a sus pendientes, altitud, disección vertical, etc., o áreas económicas homogéneas, delimitadas por un determinado nivel de vida (*Ibíd.*).

1.3.1.2 Las áreas funcionales

Se definen a partir de un conjunto de patrones funcionales del territorio, que le confieren un sistema estructural propio, como por ejemplo, la cuenca hidrográfica, un ecosistema o un área de mercado.

Otra opción para la delimitación territorial, se hace por medio de los límites administrativos, como los municipios o la consideración de entidades locales superiores, como las regiones, que podrán tener más o menos homogeneidad y/o cohesión funcional siempre y cuando se sigan los 2 criterios anteriormente dichos (*Ibíd.*).

1.3.2 La escala de trabajo

Los criterios mencionados son aplicables a cualquier escala del territorio, de esta forma, el conjunto territorial a ordenar a menor escala, podrá ser un estado o conjunto de estados, o bien, a mayor escala un municipio. A medida que la escala sea de mayor detalle, será más fácil que puedan coincidir criterios de homogeneidad y funcionalidad (*Ibíd.*). Por ejemplo, la delimitación del territorio a escala de detalle y con el objetivo de ordenar los usos de suelo, debe partir de una delimitación homogéneo-funcional que se apoye en un mapa de usos de suelo, derivando así, unidades de uso ecológico, económico, relacional y residencial o cultural. De esta manera, quedarán definidas áreas de protección natural en el primero, zonas forestales, agrícolas, industriales o comerciales en el segundo, espacios de infraestructura, interconexión, equipamiento y ocio en el tercer orden y suelos con aptitud residencial o espacios de protección del patrimonio cultural en el cuarto grupo (*Ibíd.*).

1.3.3 El territorio como sistema

La comprensión del territorio debe hacerse tomando en cuenta el tejido de relaciones e interacciones horizontales y verticales que dan como resultado una unidad cohesionada y funcional. En el medio natural, los criterios de homogeneidad, funcionalidad y escala, también se ven expresados en diferentes asociaciones como el bioma, la formación o bien la comunidad. Desde el punto de vista de la ecología, éstos se pueden abordar tomando como unidad al ecosistema, pero una vez ingresadas las transformaciones antrópicas, se llegará a la necesidad de abordar su planificación como un sistema socio-económico.

1.4 El Ordenamiento Territorial

La expresión *ordenación del territorio* tiene su origen a comienzos del siglo XX y éste surge desde la perspectiva del urbanismo en Alemania e Inglaterra, a partir de la crisis del concepto de ciudad como núcleo aislado de su entorno y de vislumbrar el futuro de las áreas urbanas dentro de un ámbito territorial más extenso, cuya ordenación (infraestructuras, usos de suelo, protección de la naturaleza, etc.) debía ser afrontada de manera unitaria, (Fernández, Abad y Roda, 2007).

Esta disciplina trata de lograr los máximos resultados para el desarrollo humano, sin comprometer los recursos naturales con los que interactúa al integrar la planeación física con el desarrollo económico y social. El origen de esta necesidad nace como solución a los problemas de ocupación inapropiada del territorio, que originaron procesos de desigualdad social y económica, repercutiendo en la destrucción del medio ambiente (*Ibíd.*).

Esta capacidad de controlar la interrelación entre actividades humanas y medio biofísico, determinará su persistencia y eficiencia en el tiempo, así como el potencial de desarrollo económico y social. A su vez, esta persistencia a largo plazo de las labores de ordenamiento dependerá, tanto del carácter sustentable de las políticas que la conforman como de la capacidad de carga del medio ambiente. De esta manera, el modelo de ordenamiento a generar se centrará en transformar sin superar los intereses del oportunismo y los beneficios económicos a corto plazo (*Ibíd.*).

La experiencia adquirida a partir del modelo de consumismo desmedido, adoptado por la población, ha enseñado que sin reflexión y previsión del futuro, el crecimiento espontáneo lleva a la aparición de actividades desordenadas, incompatibles con el medio ambiente e insostenibles a largo plazo, además de provocar desequilibrios territoriales reflejados en el nivel de vida de la población y recursos naturales, usos desordenados del suelo y degradación ambiental.

Esto se puede verificar en los países con mayores índices de desarrollo, pues hacen un mejor y más eficiente uso del enfoque de ordenamiento territorial y, por consecuencia, generan procesos de compatibilidad entre subsistemas, incrementando el potencial de desarrollo de sus sociedades a largo plazo, mientras que los menos desarrollados tienen grandes dificultades para poner los planes en práctica.

1.4.1 Objetivos del Ordenamiento Territorial

El objetivo final del OT es el desarrollo, entendido en términos de calidad de vida y plasmado en un sistema territorial y, para eso, se ponen en práctica conceptos como equilibrio, integración y funcionalidad.

El objetivo del **equilibrio** del territorio es prevenir y corregir desequilibrios territoriales, adoptando la idea de que la regulación de las distintas unidades es garantía de progreso y estabilidad. En este caso, la ordenación del territorio controla el crecimiento de regiones demasiado dinámicas, favorece el de las áreas más atrasadas o decadentes y conecta las de carácter periférico con las más desarrolladas.

El concepto de **integración** refiere a las direcciones verticales-horizontales del sistema, así se pueden integrar los territorios verticalmente, con base en un orden superior e inferior, y horizontalmente, se fusionan con base en los territorios que comparten un mismo nivel. Ahora, la integración entre sectores hace referencia a las relaciones socioeconómicas con el fin de articularlas bajo un mismo sistema funcional, a fin de restar competencia entre los mismos.

La **funcionalidad** del sistema territorial se manifiesta en la intensificación de interacciones positivas entre las diferentes actividades, esto implica organización espacial, control de uso de suelo, accesibilidad de la población, a la explotación de los recursos territoriales, a los lugares de trabajo, servicios, etc. (*Ibíd.*).

1.4.2 El Ordenamiento Territorial en México

El crecimiento económico de México en el siglo pasado, ha sido una de las causas de la transformación de un país esencialmente rural en 1900, a uno meramente urbano en el 2000 (Villareal, 2002). Este periodo de crecimiento económico impulsado marcadamente desde 1940, al nacionalizarse la industria del petróleo de manos del presidente Lázaro Cárdenas del Río, hasta 1970 fue llamado por los economistas como “El milagro mexicano”, que se caracterizó por una fuerte aplicación de reformas económicas y sociales para disminuir la tasa de mortalidad y aumentar la esperanza de vida de la población, que aunado al rápido crecimiento industrial vino a desencadenar una serie de procesos antropogénicos en el país. La tasa de crecimiento poblacional crece, situándose en 2.7% en el periodo 1940-1970, se crean nuevos núcleos urbanos, respondiendo a factores económicos, sociales y tecnológicos alcanzados por la sociedad (SEDESOL, 2004) y, con esto, el fenómeno migratorio “campo-ciudad” con una marcada concentración del capital y fuerza de trabajo en las metrópolis.

Una de las consecuencias más notables de esta rápida concentración poblacional, formando zonas urbanas en el país, es una mayor demanda de insumos para satisfacer sus necesidades básicas, bienes y servicios. México entra en una etapa de consumismo, donde las grandes ciudades comienzan a absorber desmesuradamente los recursos naturales.

La incorporación de la planeación territorial con un componente ambiental en los planes de desarrollo nacional, se originó en México en los años setenta, anteriormente, ésta se circunscribía a un enfoque de salud pública y de incipientes esfuerzos de planeación sectorial, en especial, el agropecuario, forestal y urbano (Rosete, 2006).

Fue en 1971, cuando se crea la ley federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental y como consecuencia, en 1972 surge la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, adscrita a la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA). Ésta fue la primera dependencia encargada de la gestión ambiental, sin embargo la ley todavía promovía cierta fragmentación y asignaba ciertos dominios de administración y control a ciertas dependencias. Así, la Secretaría de Agricultura y Ganadería tenía a su cargo la prevención y control de la contaminación de suelos, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la prevención y control de la contaminación del agua, y la Secretaría de Industria y Comercio se encargaba de la prevención y control de la contaminación causada por actividades industriales o comerciales (*Ibíd*). Por tanto, hasta mediados de los años setenta, no existía una política de uso del suelo que integrara aspectos ambientales al desarrollo urbano-regional.

Fue hasta 1976, cuando el gobierno crea el esquema de ordenamiento territorial con la publicación de la Ley General de Asentamientos Humanos, y a la par, la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), institución encargada de regular y planificar la distribución de los asentamientos humanos, así como el uso adecuado de los recursos naturales del país (Arriaga y Vázquez, 2006).

En 1982, se incluye por primera vez el concepto de ordenamiento ecológico en la Ley Federal de Protección al Ambiente, posteriormente en 1983, se pone en marcha el Plan Nacional de Desarrollo (1983-1988), incorporando propuestas de ordenamiento ecológico para el país y, creándose así, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), que sería la encargada de articular, investigar, normar y gestionar los planes de ordenamiento territorial (asentamientos humanos, infraestructura y obras públicas) y los de ordenamiento ecológico (aspectos de flora y fauna). Con la publicación en 1988, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), se consagra a los ordenamientos ecológicos como instrumentos de política ambiental (*Ibíd*), (**Figura I.9**).

Desde entonces el ordenamiento ecológico territorial se ha convertido en el modelo de acción por parte de las autoridades encargadas de gestionar el territorio, éste se define como una herramienta que integra aspectos teóricos, metodológicos y tecnológicos, que propicia la formación de planes operativos en materia de planeación territorial y ecológica, bajo un esquema de desarrollo sustentable.

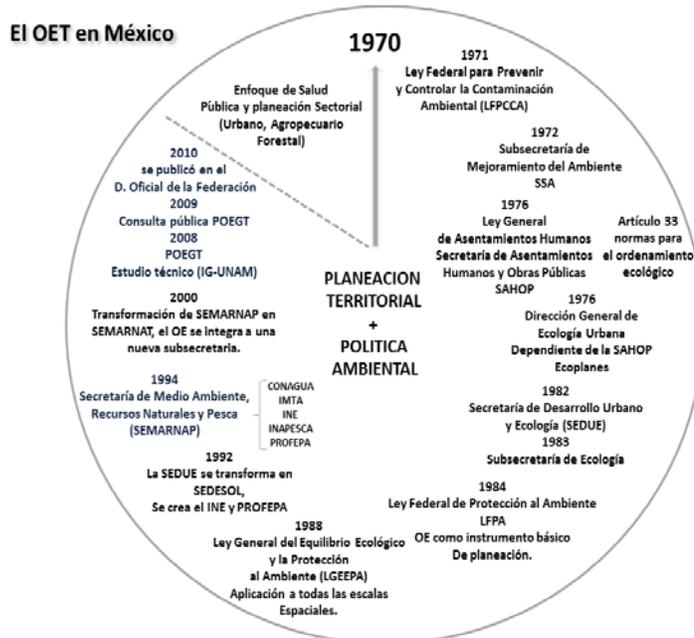


Figura I.9. El proceso de ordenamiento ecológico territorial en México. Fuente: Elaboración propia.

1.4.3 Fases del Ordenamiento Ecológico Territorial (estudio técnico)

1.4.3.1 Caracterización

El objetivo es describir el estado de los componentes natural, social y económico del área a ordenar. La delimitación del área de estudio se realizará, tomando en cuenta parámetros físicos (geología, relieve, suelos), funcionales (cuencas, ecosistemas) o bien por límites administrativos (*Ibíd*).

De la caracterización se desprenderán una serie de descripciones de los componentes y elementos del medio social, económico y físico-biótico del área a ordenar, este análisis deberá ser sumamente explícito, en cuanto a su distribución territorial, además de quiénes y para qué se utilizan los recursos naturales, los ecosistemas e infraestructuras (Rodríguez et al, 2005).

1.4.3.2 Diagnóstico

El objetivo de esta etapa es identificar y analizar los conflictos ambientales entre los sectores con actividad en el área a ordenar.

El análisis de aptitud permite conocer la capacidad del territorio para sostener las actividades de los diferentes sectores en el área de ordenamiento ecológico. De acuerdo con este enfoque, dicho análisis utiliza el conocimiento que tienen los sectores para decidir qué zonas proporcionan las mejores alternativas para su emplazamiento. El resultado es un mapa por actividad para toda el área de ordenamiento ecológico y que presenta un gradiente entre las zonas que son menos aptas y las zonas que son más aptas para cada sector (*Ibíd*). Este análisis supone que existen características claras (atributos ambientales), que hacen que un sitio sea “apto” o no para cada actividad.

1.4.3.3 Pronóstico

Es la fase de la evaluación del comportamiento futuro de la situación, basándose en el análisis del pasado. Por eso es de suma importancia que la fase del diagnóstico presente datos con alto índice de confiabilidad, para que las previsiones que se puedan hacer a través del pronóstico, sean confiables y permitan hacer inferencias válidas.

En general, el objetivo del pronóstico es examinar la evolución de los conflictos ambientales, a partir de la predicción del comportamiento de las variables naturales, sociales y económicas, que puedan influenciar el patrón de ocupación territorial (Arriaga y Vázquez, 2006).

1.4.3.4 Propuesta

En esta etapa el objetivo es obtener un patrón de ocupación del territorio, que maximice el consenso entre los sectores, minimice los conflictos ambientales y favorezca el desarrollo sustentable en el área a ordenar. En esta fase se determinarán los lineamientos y estrategias ecológicas para cada Unidad de Gestión Ambiental (UGA).

Esta propuesta debe resumir:

- 1.-La definición del estado actual de los ecosistemas del área a ordenar.
- 2.-La incorporación de los intereses de los actores en la determinación de la aptitud del territorio para el desarrollo sustentable de las actividades sectoriales.
- 3.-La estimación de tendencias del deterioro.
- 4.-La generación de la estrategia de gestión para maximizar el consenso y minimizar los conflictos ambientales, (*Ibíd*).

I.5 El desarrollo sustentable

Este término fue usado por primera vez, en el documento conocido como Informe Brundtland, como parte de los trabajos realizados por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas (ONU) y se consagraría en la cumbre de Río de Janeiro de 1992 (Bielza, 2008). El término sustentabilidad ha sido acuñado por una gran cantidad de actores en todas las esferas de la vida académica, social y política del mundo, hasta convertirse, como señala Barkin (1998), en el término vital de una serie de iniciativas a todas las escalas de trabajo promovidas por instituciones, que van desde el Banco Mundial (BM) y los gobiernos nacionales hasta las fundaciones internacionales, conservacionistas y ONG's.

A fin de dar cuenta de las características intrínsecas del término, debemos hacer énfasis en su definición para la cual fue creada y más tarde deformada y revalorada por el sistema capitalista.

En su ensayo "**Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable**", David Barkin señala algunas bases para crear el modelo ideal del desarrollo sustentable: éstas son la *diversidad, la autosuficiencia, el control social, la participación local, la democracia de base y la autonomía*, preceptos que por un lado pareciesen encaminarse a la creación de planes de desarrollo comunitario y, posteriormente, a otras escalas de trabajo, pero por el otro, no debería hacerse menos énfasis en la inevitable transformación de estas acciones en meros discursos políticos, con el fin de acaparar el poder y así obtener el control sobre los grupos o sectores sociales involucrados en dichos programas, pues como comenta Barkin: "*Toda ecología, y el concepto de sustentabilidad, que nació y creció arropado como un discurso ambientalista, al final terminará convirtiéndose en una Política Ecológica*" (Barkin, 1998).

Las sociedades rurales de los países latinoamericanos padecen el empobrecimiento, la desintegración social, emigración de su población y devastación ambiental, el debate actual sobre la búsqueda de la sustentabilidad en estos países sólo refleja el nivel de polarización que han sufrido estas zonas desde la época colonial (*Ibíd*).

Los procesos sociales, económicos y políticos que se dieron en la época colonial, responden a las consecuencias actuales del sistema rural. En los albores del siglo XXI, no se tiene más que un modelo estereotipado de la modernización en algunos países de América Latina, pues se habla de la marcha del progreso en términos exageradamente benévolos, cuando un análisis de las condiciones sociales y territoriales de la población rural, deja al descubierto una serie de incongruencias entre los programas de apoyo a este común denominador: el desarrollo sustentable sobre su territorio (*Ibíd*).

La colonización en México dio origen a una serie de desplazamientos y apropiaciones que durante el andar histórico del país, propició que olas sucesivas de colonizadores, demandaran cada vez más las tierras de mayor productividad, de esta manera, el uso de la tierra evolucionó de una vocación histórica, productora de requerimientos básicos para la supervivencia humana y social, al énfasis actual en la producción de cultivos que asegura ganancias a los propietarios, originando el desplazamiento de los indígenas a zonas impropias y vulnerables (Bielza, op. cit.). Sería entonces el comienzo para crear un modelo económico basado en el consumismo y generación de capital a costa de la explotación de los recursos del país.

En la actualidad, el sistema rural es acusado de perturbar los sistemas biofísicos, bajo esta cuestión es que se introducen una serie de planes, que lejos de tender un puente de equilibrio entre la dinámica de los ecosistemas y el nivel de bienestar de la población nativa, degradan más estas condiciones y, por otro lado, se aprueban formas de acumulación de riqueza a costa de estos últimos.

La reorganización del control, utilización del espacio y recursos, originado por la intensificación de la producción en los sistemas rurales, viola los principios básicos de la naturaleza y paralelamente pone en riesgo la viabilidad de los sistemas rurales.

El apogeo del sistema económico capitalista, a partir de la revolución industrial, la introducción de nuevas tecnologías como consecuencia de la llamada revolución verde a mediados del siglo XX, la concesión de créditos privilegiados y el creciente modelo de bienestar consumista adoptado por la población, generó en el territorio rural el ambiente polarizado, que sin duda, vino a desencadenar la serie de

procesos degenerativos para el medio ambiente.

Estos grandes desórdenes propiciados por la revolución industrial, bajo los grandes sistemas económicos imperantes del siglo XX, fueron de dos tipos: horizontales, desequilibrando entre sí las distintas partes del territorio (a escala de conjunto socioeconómico) y verticales, provocando desórdenes en la organización del espacio, en el uso del suelo por la actividad económica, generando problemas en los sistemas biofísicos del planeta (*Ibíd*).

Aludiendo a lo anterior, y si se es congruente con los modos de vida de gran parte de la población mundial, no se puede dejar de lado la parte “interactiva”, que nace del mismo término de sustentabilidad, cuando éste se construyó como un modelo de producción racional a causa de la preocupación de los gobiernos por los cambios drásticos en el ambiente, ya que si bien una de sus premisas fue la de preservar las condiciones ambientales en buen estado para futuras generaciones, también se debe analizar el grado de perversidad con que cada gobierno asimiló y asignó prioridades a cada subsistema de este término.

El concepto de sustentabilidad se desarrolla bajo 3 aspectos fundamentales:

- a) **El bienestar humano**, cuyos ejes de acción se fijan en acciones de salud, educación, vivienda, seguridad y protección de los derechos de la niñez.
- b) **El bienestar ecológico**, mediante acciones en torno al cuidado y preservación del aire, agua, suelos y biodiversidad.
- c) **Las interacciones**, establecidas a través de políticas públicas en materia de población, equidad, distribución de la riqueza, desarrollo económico, producción, consumo y ejercicio de gobierno.

El modelo económico que vino a sustituir al feudalismo en el siglo XII, fenómeno económico, político y social antecedente de la dinámica mercantil que se suscitó en las naciones europeas de la época, regido por los elementos de producción como el capital y el trabajo en la propiedad privada para producir riqueza. Es el capitalismo una forma de vida inculcada en el devenir de las sociedades, a través del tiempo, lo que ha generado la aparición de nuevos modos de vida contemporáneos, a tal grado de generar estas proyecciones negativas y creando estas líneas perpendiculares perjudiciales entre el bienestar de las sociedades humanas y el de los ecosistemas terrestres.

1.5.1 El término: desarrollo sustentable

La sustentabilidad es el estado o calidad de vida, en la cual las aspiraciones humanas puedan ser satisfechas, manteniendo la integridad ecológica. En otras palabras, se define como el proceso que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras.

Este concepto parte de 3 objetivos básicos, el primero es el ecológico, donde las condiciones de los ecosistemas deberán permanecer en estado de equilibrio y con sus características esenciales para la supervivencia a largo plazo, los objetivos económicos hacen referencia a un modelo productivo que proporcione ingresos suficientes para garantizar la continuidad en el manejo sustentable de recursos y, por último, los de tipo social donde hipotéticamente los beneficios y costos deberán distribuirse equitativamente (López y Borja, 2002).

1.6 El Sistema de Información Geográfica

Uno de los puntos relevantes que vale la pena mencionar acerca del origen de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se asocia a la convergencia de 3 aspectos: el impulso de la geografía cuantitativa, la teoría de sistemas y los avances teórico-metodológicos ligados al desarrollo tecnológico del siglo XX (García, 2005).

Sin duda alguna, los sistemas de información geográfica han tenido gran uso, durante las últimas décadas, en el ámbito de las ciencias geoespaciales para el estudio de la Tierra. Por ejemplo, para una adecuada planificación del territorio y los recursos naturales, se requiere de información geográfica elaborada, a partir, de instrumentos apropiados de análisis y gestión de datos biofísicos, sociales y económicos (*Ibíd.*).

A la par del desarrollo científico y tecnológico, en las últimas décadas han surgido un buen número de aplicaciones informáticas en la geografía y, con esto, un buen número de software específicamente para áreas como la cartografía, climatología, hidrología, ciencias biofísicas, la geografía social y económica. Un número creciente de métodos derivados de las ciencias físicas, matemáticas e informáticas han creado modelos de simulación con mayor grado de complejidad, los sistemas georreferenciados, los algoritmos de predicción, las fórmulas empíricas (RUSLE), análisis estadísticos (multicriterio, componentes principales etc.), están siendo satisfechos por los SIG, de modo que los principios básicos atribuidos a la práctica profesional del geógrafo (localización, generalización, interrelación, análisis e interpretación de hechos y fenómenos geográficos) pueden aplicarse de manera práctica, gracias a la ayuda de estas herramientas (*Ibíd.*).

Los sistemas de información geográfica y la teledetección se han venido usando en las últimas décadas por diversos sectores disciplinarios, profesionales e institucionales relacionados con el análisis y gestión del territorio. En 1962, vendría la primera utilización real de los SIG, concretamente en Ottawa, Canadá, a cargo del Departamento Federal de Silvicultura y desarrollo Rural, desarrollado por el geógrafo Roger Tomlinson, para llamarlo el *Canadian Geographic Information System (CGIS)* (*Ibíd.*).

En la actualidad, se dispone de abundante información geoespacial que resulta de suma utilidad para la toma de decisiones en campos muy diversos, y que van desde la prevención y mitigación de desastres naturales, el seguimiento ambiental y el desarrollo sustentable, hasta la planificación urbana, la construcción de infraestructura, agricultura o salud (*Ibíd.*).

1.6.1 Aplicaciones

Para estudios del medio ambiente, los SIG también son llamados Sistemas de Información Ambiental (SIA), estos van desde su aplicación a escala local (contaminación atmosférica urbana, recogida de basura, parques y jardines), regional (proyectos de infraestructura, calidad de aguas, parques naturales etc.), hasta los de escala global o continental (programas de actuación medioambiental auspiciadas por distintas organizaciones internacionales) (*Ibíd.*).

En hidrología, las aplicaciones SIG, se desarrollan principalmente en tres líneas de investigación: evaluación de recursos hídricos, análisis y definición de áreas con riesgos de inundación y modelización de procesos hidrológicos, tanto superficiales como subterráneos.

Dentro de la planificación del territorio, estos sistemas también juegan un papel trascendental, pues los incrementos en oferta y demanda de espacios, son aspectos que el gobierno nacional, regional y local, así como planificadores y propietarios, deben analizar. De esta manera, los diversos actores sociales deberán armarse de las más novedosas técnicas y metodologías que les proporcione una mayor visión de ordenamiento, planificando usos y buscando alternativas compatibles con el desarrollo social, económico y ambiental.

Dentro de la planificación, los SIG tienen aplicaciones como la caracterización, el diagnóstico, la delimitación de unidades territoriales, la identificación de problemas clave, la determinación de áreas de influencia de los actores locales, etc. En esta práctica, el SIG se vuelve una herramienta fundamental para la toma de decisiones.

Los recursos naturales juegan un papel fundamental para el desarrollo humano, pues de la conservación de éstos, dependerá la supervivencia de las sociedades, es por eso, que el crecimiento y desarrollo de poblaciones urbanas y rurales crean nuevos desafíos para los investigadores, planificadores y gestores, con el fin de ordenar el uso de los espacios, optimizando la explotación de los recursos y de esta manera, reduciendo el riesgo de desastres, logrando en definitiva, un desarrollo sustentable.

En resumen, los SIG constituyen una potente herramienta de trabajo para el manejo de multitud de

variables espaciales que son abordadas desde diversas disciplinas científicas. Las posibilidades técnicas de estos sistemas han crecido de forma espectacular, mejorando capacidades de almacenamiento, análisis y gestión, al tiempo que favorecen la comprensión integral del territorio, ayuda en la toma de decisiones y utilidad práctica en la planificación ambiental y territorial (*Ibíd.*).

1.6.2 Definición de Sistema de Información Geográfica

Existen variadas definiciones del sistema de información geográfica, sin embargo, para efectos prácticos y no caer en terminologías redundantes, se mencionará la definición hecha en 1990, por la National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), quien los define como: un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Llopis, 2009). Un sistema de información geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de técnicas de análisis. Por lo tanto, cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG.

Entre las aplicaciones más usuales destacan:

Científicas: ciencias medioambientales, desarrollo de modelos empíricos, modelización cartográfica, modelos dinámicos y teledetección. **Gestión:** cartografía automática, información pública, catastro, ordenamiento territorial, planificación urbana, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de actuaciones. **Empresarial:** marketing, estrategias de distribución, planificación de transportes y localización óptima.

1.7 La Teledetección Espacial

La teledetección o percepción remota se define, como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, de esta forma se está asumiendo que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, o por emisión propia del objeto (Chuvieco, 2002).

Ahora bien, la energía se transfiere de un lugar a otro por tres procesos: convección, conducción y radiación, de estos la teledetección se basa en el último. En este caso, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética. Los fundamentos de la teledetección se abordan desde el campo de la física, para esto la radiación electromagnética se ha estudiado desde 2 teorías: *la teoría ondulatoria* y *la teoría cuántica* (Pérez y Nieto, 2006).

-*La teoría ondulatoria* dice que la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro, siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas perpendiculares entre sí (eléctrico y magnético). El físico escocés *James Clerk Maxwell* propondría una serie de ecuaciones, que demostrarían que la propagación ondulatoria de la energía lumínica, eléctrica y magnética son manifestaciones del mismo fenómeno: el campo electromagnético (**Figura 1.10**). Las características de este flujo energético pueden describirse por [1]:

$$c = \lambda v$$

Donde c indica la velocidad de la luz (300, 000 km/s), λ indica la longitud de onda expresada en micrómetros, (1000 μ m=1mm) o en nanómetros (1000nm=1 μ m) y v es la frecuencia en Hertz (1 hz= 1 ciclo por segundo).

-*La teoría cuántica* del siglo XX, desarrollada por Max Planck, Albert Einstein y Richard Feynman, explica el fenómeno de la radiación electromagnética, basándose en sus propiedades energéticas, con esta

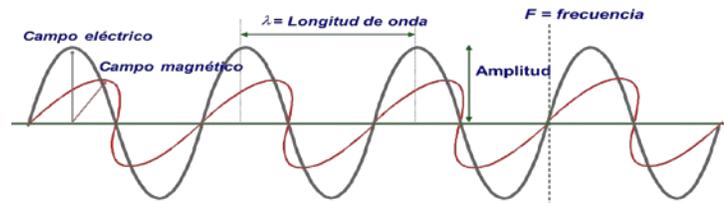


Figura 1.10. Movimiento de la energía electromagnética según Maxwell.

teoría se puede calcular la energía que transporta una onda constituida por fotones ³ aglomerados y siguiendo un modelo dinámico discreto en el espacio, esta carga energética se obtiene conociendo la frecuencia de la onda electromagnética proveniente del sol. La fórmula esencial queda [2]:

$$Q = h\nu$$

Donde Q = Energía radiante transportada por una onda (*julios*), h = constante de Planck ⁴ (*julios*) multiplicada por la ν = frecuencia (Hz).

Despejando la frecuencia en la ecuación [1], también podría expresarse de la siguiente manera [3]:

$$Q = h \left(\frac{c}{\lambda} \right)$$

Donde Q es la energía que resulta de multiplicar la constante de Planck por la división entre la velocidad de la luz y la longitud de onda.

En definitiva y a manera de conclusión, se dice que a mayor longitud de onda, será menor la frecuencia y el contenido energético también será menor y viceversa. Por consiguiente, las radiaciones en longitudes de onda larga serán más difícil de detectar que aquellas que provienen de longitudes de onda corta, de ahí, que las primeras requieran medios de detección más refinados (Chuvienco, op. cit.).

Así, la energía proveniente del sol en forma de ondas electromagnéticas, se traduce en una diferenciación por su longitud de onda y frecuencia, quedando como resultado una organización en base a parámetros similares de comportamiento, éstas van desde las longitudes de onda corta como los rayos gama y rayos x, hasta las longitudes de onda larga como las de radio y telecomunicaciones.

1.7.1 El espectro electromagnético

El arreglo de radiación de todas las longitudes de onda, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, se conoce como espectro electromagnético (Gómez, 2009). Desde el punto de vista de la tele-detección conviene destacar una serie de bandas, que son las más frecuentemente utilizadas con la tecnología actual.

1.- Espectro visible: (0,4- 0,7 μ m). Se denomina así, por ser la única radiación electromagnética que puede percibir el ojo humano. Dentro de esta región suelen distinguirse 3 bandas elementales, el azul

³ **Fotón:** Partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética (gama, X, ultravioleta, RGB, IR, microondas, ondas de radio). Tiene la capacidad de comportarse como una partícula o bien, como una onda.

⁴ **Constante de Planck:** Según la Física Cuántica, la energía o Fotones que son transportados por las ondas electromagnéticas no se desplazan de manera continua o lineal ($-\infty +\infty$) si no de manera discreta o puntual aglomerando paquetes de energía por unidad de tiempo en un onda electromagnética conocidas como "cuantos", de esta forma se multiplica la constante de Planck por la frecuencia de la onda (núm. ciclos / seg) para conocer la cantidad de energía (Fotones) que circula por determinada onda en el espectro electromagnético.

(0,4-0,5 μm), verde (0,5-0,6 μm), y rojo (0,6-0,7 μm) en razón a los colores primarios que el ojo humano percibe a esas longitudes de onda.

La radiación infrarroja, radiación térmica o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 100 micrómetros. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0° Kelvin, es decir, -273.15° Celsius (cero absoluto).

2.- Infrarrojo cercano (IRC, 0,7-1,3 μm). También se le denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

3.- Infrarrojo medio (1,3-8 μm). En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. La primera de sus bandas se sitúa entre 1,3 y 2,5 μm y se llama infrarrojo de onda corta (*short wave Infrared, SWIR*) y sirve para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda comprende en torno a 3,7 μm y se conoce propiamente como infrarrojo medio (*IRM*), siendo determinante para detectar focos rojos de alta temperatura (incendios, volcanes activos etc.), (Chuvieco, op. cit.) (**Figura I.11**).

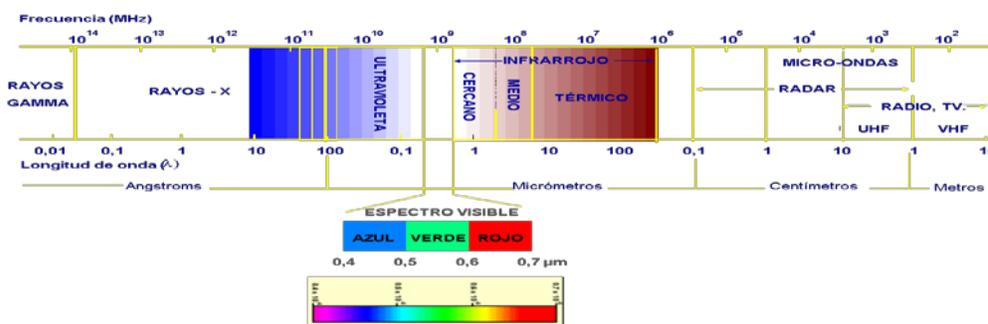


Figura I.11. Regiones del espectro electromagnético. Fuente: Chuvieco, 2002.

4.- Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8-14 μm), incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.

5.- Microondas (M por encima de 1mm), es de gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

Para poder caracterizar una determinada cubierta, se deberá analizar el comportamiento reflectivo en diversas longitudes de onda, ya que esto ayudará a discriminarla frente a otras espectralmente similares.

En el caso del espectro visible, este patrón de reflectividad a distintas longitudes de onda se le llama color: un objeto es azul si refleja intensamente la energía en esa banda (0,4-0,5 μm) y poco en el resto. A partir de medidas en laboratorio pueden obtenerse las curvas de reflectividad espectral para las distintas cubiertas terrestres denominadas, *signaturas o firmas espectrales (Ibíd)*, (**Figura I.12**).

Ahora bien, es importante considerar que el flujo de energía percibido por el sensor, no sólo dependerá de la reflectividad de la cubierta, sino también de factores externos como:

- 1.- Condiciones atmosféricas.
- 2.- Condiciones ambientales cercanas a la cubierta.
- 3.- Geometría de la observación (Ángulos de observación e iluminación) (*Ibíd*).

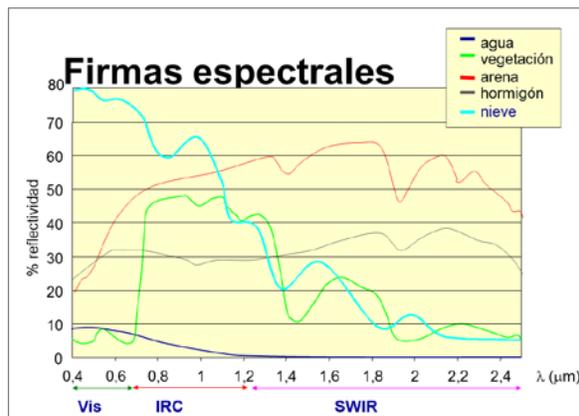


Figura I.12. Firmas espectrales del agua, la vegetación, la arena, el hormigón y la nieve. Fuente: Chuvieco, 2002.

1.7.2 Comportamiento espectral de la vegetación

La caracterización de la vegetación usando la información de un sensor, suele ser una tarea interesante, sin embargo, pese a la gran importancia de esta labor, aún se tienen notables dificultades por la cantidad de factores que intervienen para la obtención final de la radiancia.

1.- Factores de reflectividad de la hoja: Pigmentos, estructura de la hoja y humedad.

2.- Características geométricas de la planta: Área foliar, forma de la hoja, distribución en la planta, geometría del dosel, etc.

3.- Situación geográfica de la planta: Pendiente, orientación, asociación con otras especies, reflectividad del sustrato, geometría de plantación, condiciones atmosféricas etc. (*Ibíd*).

La baja reflectividad en la porción visible del espectro se debe al efecto absorbente de los pigmentos de la hoja, principalmente las clorofilas, xantofila y caroteno (65, 29, y 6% respectivamente). Estos absorben en la banda del espectro situada en torno a los 0,445 μm , pero la clorofila presenta una segunda banda de absorción en torno a los 0,645 μm . Entre estas dos porciones del espectro aparece una banda intermedia alrededor de los 0,55 μm , en donde se absorbe menos, es por eso que aparece un pico en la región del visible coincidente con la banda verde del espectro y causa el color con el que el ojo humano percibe la vegetación vigorosa (*Ibíd*).

Según Sobrino (2000), en la región del visible la reflectividad de la planta es del 10%, pues la mayor parte de la energía es absorbida por la clorofila (65%), mayormente en la banda del azul y rojo.

En el infrarrojo próximo se absorbe muy poca radiación incidente (<10%), debido a que los pigmentos foliares y la celulosa que constituyen las paredes celulares son transparentes. Esta radiación es por tanto reflejada o transmitida sin ser aprovechada por la planta, la reflexión pasa rápidamente del 1 a más del 50%.

El infrarrojo de onda corta (1.3 - 2.5 μm) se denomina *zona hídrica*, ya que en ésta sirve como indicador del contenido de agua y humedad de la planta (*Ibíd*), (**Figura I.13**).

Las hojas de las plantas se componen en esencia de 4 capas; la epidermis superior e inferior, el parénquima en empalizada y el mesófilo esponjoso. En la epidermis superior e inferior se encuentran los estomas que son pequeños orificios localizados en la superficie foliar, estas estructuras son importantes para la fotosíntesis, ya que a través de ellos ocurre el intercambio gaseoso (entra CO_2 y sale O_2).

El parénquima clorofiliano en empalizada está formado por células cilíndricas, alargadas, logrando así más superficie y menor volumen, muy ricas en cloroplastos y con espacios intercelulares pequeños. Su alto contenido en cloroplastos es lo que hace posible la fotosíntesis, ya que estas estructuras, a su vez, contienen las moléculas y pigmentos (clorofila) que transforman la energía luminosa del espectro, en energía química.

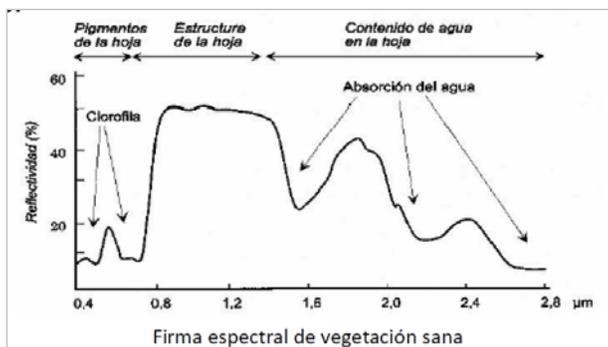


Figura I.13. Factores en la reflectividad de las hojas verdes. Fuente: Chuvieco, 2002.

El parénquima clorofiliano lagunar o esponjoso está formado de células cortas, redondeadas o variadamente lobuladas, menos ricas en cloroplastos y que dejan espacios intercelulares grandes, llamados lagunas, por donde circula el aire necesario para el intercambio gaseoso y la respiración. Son precisamente estas cavidades las que dispersan la mayor parte de la radiación incidente en esta banda del espectro. Por esta razón, la hoja sana ofrece una alta reflectividad en el infrarrojo cercano, en contraste con la baja que presenta en el espectro visible, especialmente en la banda roja (**Figura I.14**).

A manera de resumen, se dirá que la elevada reflectividad en el IRC se debe, por un lado, a la baja absorción de la clorofila y, por otro, a la estructura interna celular de la hoja (Chuvieco, op. cit.).

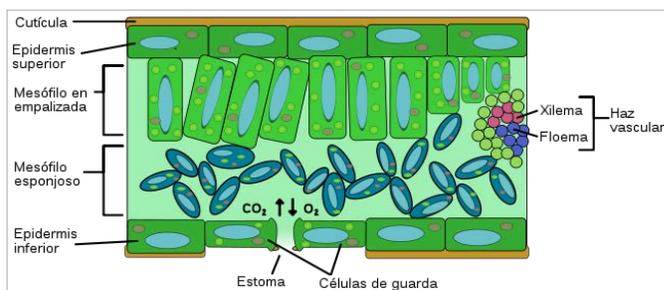


Figura 1.14. Parénquima clorofiliano en empalizada y lagunar o esponjoso. Fuente: Creative Commons, 2013.

1.7.3 Principales sensores y sus características

Como se mencionó anteriormente, un sistema de teledetección requiere al menos de 3 componentes: fuente energética, superficie terrestre y el sensor. Los sensores se diferencian por el tipo de procedimiento para adquirir la información de la superficie. Los sensores pasivos son los que se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, los sensores activos son capaces de emitir su propio haz de energía.

1.7.3.1 Resolución espacial

Este término refiere al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen, en teledetección se entiende como el tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, a ésta se le denomina pixel (Pérez y Nieto, op cit.). Así, esta propiedad de la imagen ofrece para propósitos particulares una mejor interpretación del territorio (**Figura I.15**).

La resolución espacial juega un papel fundamental, condicionando la escala de trabajo y fiabilidad de interpretación. De modo que cuanto menor sea el tamaño del pixel, menor será la probabilidad de que éste sea un compuesto de 2 cubiertas fronterizas (Chuvieco, op. cit.). Para estudios de escala regional si será preciso contar con pixeles de mayor tamaño con la finalidad de reducir la variabilidad de categorías y realizar mejores interpretaciones.

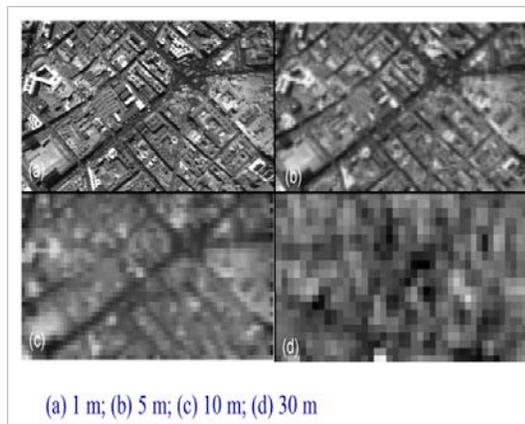


Figura 1.15. Distintos tipos de resolución espacial.
Fuente: Chuvieco, 2002.

1.7.3.2 Resolución espectral

La resolución espectral de un sensor expresa su aptitud para separar señales de longitudes de onda diferentes y depende del dispositivo de filtro óptico que separa la radiación incidente en bandas espectrales más o menos amplias. De esto resulta el número y anchura de las bandas espectrales que discrimina el sensor (*Ibíd*). Es de gran interés el análisis del comportamiento espectral de las cubiertas para diferentes bandas del espectro, ya que permitirá sintetizar información redundante, o ver patrones en los valores de reflectancia por factores o elementos externos al sensor. En este sentido, entre más bandas proporcione un sensor, facilitara más la caracterización del territorio (**Figura I.16**).

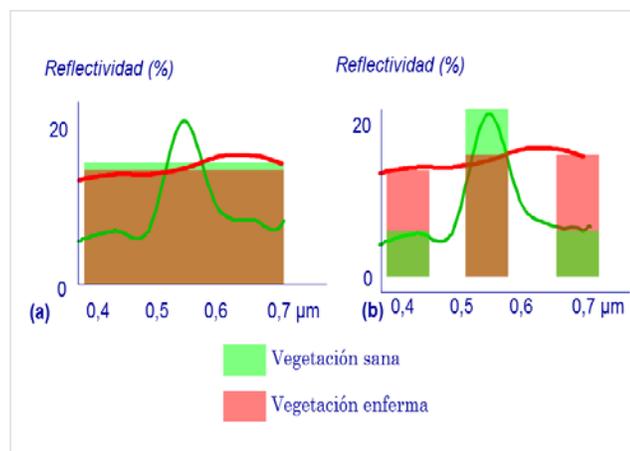


Figura I.16. Efecto de la resolución espectral sobre la discriminación de cubiertas. Una banda pancromática sólo recoge una señal promedio, que no permite distinguir entre vegetación sana y enferma, mientras que esta distinción es factible para una observación multispectral. Fuente: Chuvieco, 2002.

1.7.3.3 Resolución radiométrica

Esta resolución se refiere a la sensibilidad del sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe, esto se entiende como el rango de valores que codifica el sensor. Esta codificación digital se traduce en el número de bits que almacena cada elemento de la imagen (pixel). De esta manera, se habla de un rango de 256 niveles de codificación (8 bits, $2^8 = 256$), cuando podemos distinguir en una imagen, 256 posibles tonalidades de gris (Chuvieco, op. cit.), (**Figuras I.17 y I.18**).

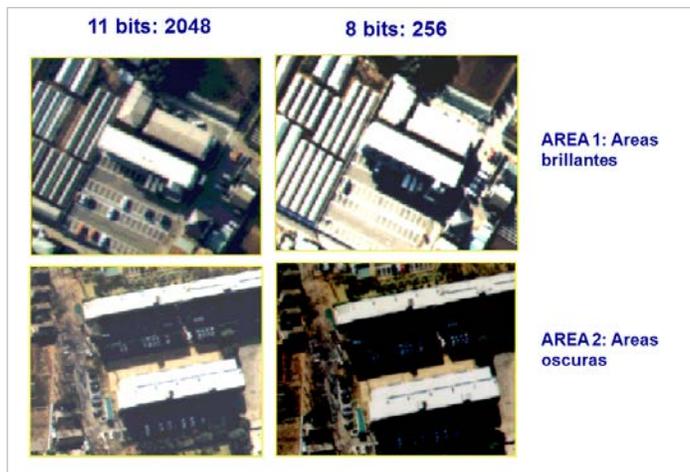


Figura I.17. Efecto de la resolución radiométrica. Fuente: Chuvieco, 2002.

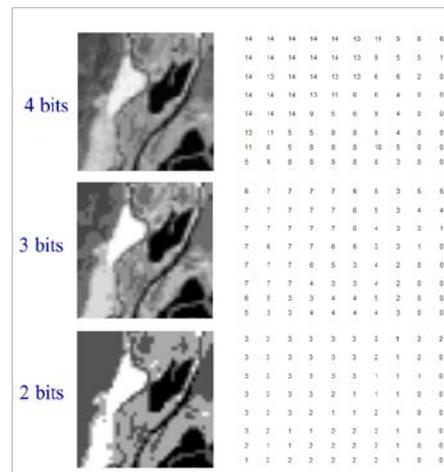


Figura I.18. Codificación radiométrica de una imagen pancromática. Fuente: Chuvieco, 2002.

1.7.3.4 Resolución temporal

Este concepto se refiere a la periodicidad con la que se adquieren imágenes de la misma porción de la superficie terrestre (frecuencia de cobertura) (Sobrino y Chuvieco op. cit.). Esta disponibilidad estará sujeta a las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), además de la dependencia de las condiciones atmosféricas por la dificultad de los sensores para observar áreas cubiertas por nubes.

Esta producción de imágenes de los sistemas espaciales varía de acuerdo con los objetivos fijados para el sensor, por ejemplo, los satélites meteorológicos que observan fenómenos tan dinámicos en el espacio-tiempo, están obligados a ofrecer al usuario imágenes en periodos de tiempo corto (Meteosat, GOES, GMS cada 30 minutos), por el contrario, los satélites para la observación de recursos naturales ofrecen imágenes en periodos mayores (Landsat cada 16 días), (SPOT cada 26 días) (*Ibid.*).

1.7.3.5 El satélite LandSat

En la década de los setenta, se marcaría el inicio del mapeo para uso civil desde satélites (Gómez, op. cit.). En 1972, se lanza al espacio el ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), siendo el primer satélite de prospección de recursos naturales, posteriormente este sistema es renombrado como LandSat-1 (Land: Tierra, Sat: Satélite). En 1975 y 1978 se lanzarían el LandSat-2 y el LandSat-3 respectivamente; la órbita de estos satélites era heliosincrónica polar, ligeramente inclinada, con una altura orbital media de 917 km y un periodo de revisita al punto de inicio de 18 días. La resolución espacial de este satélite se programó para 30 m, (Chuvieco, 2002., Martínez y Ponce, 2005).

En 1982, se lanza el LandSat-4, este satélite destacaría por la incorporación del sensor TM (Mapeador Temático), el cual poseía más bandas, mejor resolución del terreno y mayor resolución radiométrica (más niveles de discriminación). Ya en 1984 se lanzaría el LandSat-5 que hasta la fecha sigue activo. Para estos 2 satélites se reduciría su altura de vuelo de 917 a 705 km para mejorar el ciclo de recubrimiento de 18 a 16 días.

Para 1994, continuaría el proyecto con el LandSat-6, pero desafortunadamente esta plataforma presentó fallas técnicas severas en el lanzamiento y no logró entrar en órbita. Para 1999, la serie LandSat se actualiza poniendo en órbita el satélite LandSat-7, a una altura de 705 km, con un periodo de revisita de 16 días y con la incorporación del sensor ETM (Enhanced Thematic Mapper) (Sobrino y Chuvieco, op. cit.).

Finalmente para el 11 de febrero del 2013, la NASA-USGS ponen en órbita el LandSat-8, similar a sus predecesores en cuanto al tipo de órbita (heliosincrónica), a 705 km de altura, con un periodo de revisita de 16 días, pero con la incorporación de 2 sensores: OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor) con una resolución radiométrica de 12 bits. Presenta una resolución espectral de 30 m de la banda 1 (aguas costeras y concentración de aerosoles en la atmósfera) a la banda 7 (SWIR2), 15 m en la pancromática, 30 m en la banda 9 (detección de nubes *cirrus*) y 100 m en las bandas 10 y 11 (infrarrojos de onda larga) (USGS, 2013), **(Cuadro I.1)**.

Cuadro I.1. Alineación de las bandas de Landsat 7 y Landsat 8. Fuente: Recursos ArcGis, 2013.

Banda	Landsat 7		Banda	Landsat 8	
	Rango espectral (µm)	Resolución (m)		Rango espectral (µm)	Resolución (m)
			Banda 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Banda 1 azul	0.45 – 0.52	30	Banda 2 azul	0.45 – 0.51	30
Banda 2 verde	0.52 – 0.60	30	Banda 3 verde	0.53 – 0.59	30
Banda 3 rojo	0.63 – 0.69	30	Banda 4 rojo	0.64 – 0.67	30
Banda 4 IRC	0.77 – 0.90	30	Banda 5 IRC	0.85 – 0.88	30
Banda 5 SWIR 1	1.55 – 1.75	30	Banda 6 SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Banda 7 SWIR 2	2.09 – 2.35	30	Banda 7 SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Banda 8 Pancromático	0.52 – 0.90	15	Banda 8 Pancromático	0.50 – 0.68	15
			Banda 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Banda 6 TIR	10.40 – 12.50	30/60	Banda 10 TIRS 1	10.6 – 11.19	100
			Banda 11 TIRS 2	11.5 – 12.51	100

1.7.3.6 El satélite SPOT

El primer satélite SPOT (Sistema Probatorio de Observación de la Tierra o Satélite Para la Observación de la Tierra), se lanzó en 1986, desde entonces se han lanzado 4 satélites más (1990, 1993, 1998, 2002). Todos estos se han desarrollado en el CNES (*Centro Nacional de Estudios Espaciales francés*) en colaboración con Bélgica y Suecia. El SPOT orbita a una altura de 822 km, cuenta con una órbita heliosincrónica y el periodo de revisita es de 26 días.

Este satélite incorporó 2 sensores denominados HRV (*Haute Resolution Visible*), que permitían obtener imágenes en 2 modalidades: pancromático y multibanda (V, R, IRC) con resolución espacial de 10 y 20 m respectivamente, (Chuvieco, 2002., Martínez y Ponce, 2005).

El área cubierta en cada escena es de 60 km de lado, además de incorporar en su sensor, un dispositivo móvil que le permite observaciones bajo ángulos oblicuos (<90°, <180°), a los 2 lados del Nadir de 27° respectivamente, esto le permite observar la misma zona en órbitas sucesivas (Sobrino, op. cit.). Además de su sofisticado sensor, SPOT incorporó a partir de su tercera generación, el POAM (*Polar Ozone and Aerosol Measurement*), que mide el contenido de ozono, aerosoles, nitrógeno, oxígeno y vapor de agua en la atmósfera.

En el lanzamiento del SPOT 4, en 1998, su sensor pasó a denominarse HRVIR, incorporando una nueva banda en el SWIR, este satélite también incorpora POAM, sin embargo, su novedad radica en la inclusión de un nuevo sensor llamado “*Vegetation 1*” con resolución espacial de 1 km² en 4 bandas espectrales (0 (0.45 a 0.52 µm), 2 (R), 3 (IRC), 4 (SWIR)). El SPOT 5 fue lanzado en 2002 y lleva consigo mejoras en el sensor “*Vegetation 2*”, (Martínez y Ponce, 2005).

Marco Teórico

Finalmente el SPOT 6 fue lanzado el 9 de septiembre del 2012, orbita heliosincrónicamente a una altitud de 694 km, con un ciclo de revisita de 26 días. El SPOT 7, se planea lanzarlo el 1^{er} trimestre del 2014 (**Cuadro I.2**).

Cuadro I.2. Resolución espacial y espectral del satélite SPOT. Fuente: ASTRIUM, 2013.

Sensores	Espectro electromagnético	Tamaños de pixel	Rango espectral
Spot 6	Pancromático	1.5 m	0.45 – 0.74 μm
	B1: azul	6 m	0.45 – 0.52 μm
	B2: verde	6 m	0.53 – 0.59 μm
	B3: rojo	6 m	0.62 – 0.69 μm
	B4: infrarrojo cercano	6 m	0.76 – 0.89 μm
Spot 5	Pancromático	2.5 m y 5 m	0.48 – 0.71 μm
	B1: verde	10 m	0.50 – 0.59 μm
	B2: rojo	10 m	0.61 – 0.68 μm
	B3: infrarrojo cercano	10 m	0.78 – 0.89 μm
	B4: infrarrojo medio (MIR)	20 m	1.58 – 1.75 μm
Spot 4	Monoespectral	10 m	0.61 – 0.68 μm
	B1: verde	20 m	0.50 – 0.59 μm
	B2: rojo	20 m	0.61 – 0.68 μm
	B3: infrarrojo cercano	20 m	0.78 – 0.89 μm
	B4: infrarrojo medio (MIR)	20 m	1.58 – 1.75 μm
Spot 3	Pancromático	10 m	0.50 – 0.73 μm
Spot 2	B1: verde	20 m	0.50 – 0.59 μm
Spot 1	B2: rojo	20 m	0.61 – 0.68 μm
	B3: infrarrojo cercano	20 m	0.78 – 0.89 μm

Bibliografía:

Alba L. L., A. A. Villamar., E. A. D. Cárdenas...M. L. S. Valdez., (2010), *Enciclopedia de conocimientos fundamentales*, Siglo veintiuno editores, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 708 p.

Arriaga M. V., A. C. Vázquez., (2006), *Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico*, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales /Instituto Nacional de Ecología, Primera edición, México, 360 p.

Bertalanffy V. L., (1979), *Perspectivas en la Teoría General de Sistemas*, Editorial Alianza, Madrid, 166 p.

Bertoglio J. O., (1993), *Introducción a la Teoría General de Sistemas*, Editorial Limusa, Octava reimpre-sión, México, 168 p.

Bielza V. O., (2008), *Introducción a la Ordenación del Territorio, Un enfoque Geográfico*, Prensas Univer-sitarias de Zaragoza, primera edición, Universidad de Zaragoza, Aragón, España, 274 p.

Chuvieco S. E., (2002), *Teledetección Ambiental, La observación de la Tierra desde el Espacio*, Editorial Ariel, Primera edición, España, 600 p.

Dajoz R., (2001), *Tratado de Ecología*, Editorial Mundi-Prensa, segunda edición, México, 600 p.

Fernández F. A., Abad P. C., Roda M., (2007), *Ordenación del Territorio y Medio Ambiente*, Editorial UNEP, Unidad Didáctica, Universidad Nacional de Educación a Distancia, primera edición, Madrid, 592 p.

García C. C., (2005), *Tecnologías de la Información Geográfica: Territorio y Medio Ambiente*, Servicio de Publicaciones, Primera edición, Universidad de Murcia, España, 219 p.

Gómez A. R., (2009), *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*, Instituto de Geografía Uni-versidad, Nacional Autónoma de México, primera edición, México, 365 p.

Llopis P. J., (2009), *Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio*, Editorial Club Universitario, Departamento de Ecología, Universidad de Alicante, Cuarta edición, España, 310 p.

López B. R., J. C. Borja., (2002), *Unidades del paisaje para el desarrollo sustentable y manejo de los recur-sos naturales*, Revista de Información y Análisis Número 20, INEGI, pp 43-49.

Manfred A., M. N., (2004), *Fundamentos de la Transdisciplinariedad*, Universidad Austral de Chile, Val-divia, Chile, 22 p.

Martínez M. J., A. D. Ponce, (2005), *Percepción Remota, Fundamentos de Teledetección Espacial*, Jefatura de Control Cartográfico, Comisión Nacional del Agua, México, 62 p.

Morlans C., (2004), *Introducción a la Ecología de Poblaciones*, Editorial Científica Universitaria ,Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina, 16 p.

Núñez G. P., Nuñez I. C., Nuñez A. M., (2008), *La ecología en tensión. Una indagación histórica del presen-te de la disciplina*, Observatorio Medioambiental, volumen 11, Universidad Complutense de Madrid, pp. 13-24.

Marco Teórico

Odum E. P., W. Barrett., (2006), *Fundamentos de ecología*, Editorial Thompson, Quinta edición, México, 597 p.

Pérez G. C., Á. M. Nieto., (2006), *Teledetección: Nociones y Aplicaciones*, Universidad de Salamanca, España, 359 p.

Rodríguez G. A., A. D. L. Corral., G. B. Verdinelli, (2005), *“Términos de referencia para la elaboración del programa municipal de ordenamiento ecológico y territorial (PMOET)”* SEMARNAT-INE-SEDESOL, 22 p.

Rosete V. F., (2006), *Semblanza Histórica del Ordenamiento Ecológico Territorial en México*, SEMARNAT-INE, México, 56 p.

Sánchez C. A, N. A. A. Dávila...A. R. Trejo., (2010), *Enciclopedia de conocimientos fundamentales*, Siglo veintiuno editores, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 579 p.

SEDESOL, CONAPO, INEGI (2004), *Delimitación de zonas metropolitanas de México*, Primera edición, México, 110 p.

Sobrino A. J., (2000), *Teledetección*, Guada Impresiones S.L, Universidad de Valencia, España, 468 p.

Starr C., R. Taggart., (2008), *Biología, La unidad y diversidad de la vida*, Cengage Learning, Undécima Edición, México, 1064 p.

Sutton B. D., N. P. Harmon., (2006), *Fundamentos de Ecología*, Editorial Limusa, México, 293 p.

Villareal G. G., (2002), *“Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX”*, Revista de Información y Análisis, Número 29, INEGI, pp 7-16.

Citas electrónicas:

Barkin D., (1998), *Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable*, Editorial Jus y Centro de Ecología y Desarrollo, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, 43 p.
[<http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/db/db.pdf>: 27 de mayo de 2013].

Montañez G. G., D. O. Mahecha., (1998), *“Espacio, Territorio y Región: conceptos básicos para un proyecto Nacional”* cuadernos de Geografía, revista del departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia, Volumen VII, pp 120-134.
[http://www.insumisos.com/lecturasinsumisas/Espacio_territorio%20y%20region.pdf: 27 de mayo de 2013].

Odum T. H., (1988), *Environmental Systems and Public Policy*, Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville, Florida.
[<http://www.unicamp.br/fea/ortega/eco/esp/index.htm>: 27 de mayo de 2013].

USGS, (2013) “LandSat-8” [<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>: 12 de agosto de 2013].

II Caracterización Biofísica

II.1 Generalidades de la Mixteca

II.1.1 La Mixteca en la época prehispánica

La zona de estudio se encuentra dentro de la región Mixteca, que significa Ñuu Savi (Pueblos de la lluvia o de las nubes), (Dalton, 2004), ésta se sitúa al oeste del estado de Oaxaca y está conformada por siete de los treinta distritos que integran el estado: Huajuapam, Silacayoapam, Coixtlahuaca, Teposcolula, Juxtlahuaca, Tlaxiaco y Nochixtlán (**Figura II.1**). La Mixteca cuenta con una superficie de 15,700 km² equivalente al 17% del total de la entidad, además de sumar 155 municipios.

Desde el punto de vista geográfico, la Mixteca puede dividirse en 2 áreas: la Mixteca Alta y Baja. Al territorio que comprende una altitud superior a los 1500 msnm se conoce como Mixteca Alta, ésta ocupa la parte oriental de la región y comprende los distritos de Nochixtlán, Teposcolula, Coixtlahuaca, Tlaxiaco y parte de los distritos de Huajuapam (*Ibíd.*), Juxtlahuaca y Silacayoapam (interpretación en cartografía).

Se sabe por cuenta de los diversos códices dejados por algunos pueblos de la región, que la Mixteca estaba densamente poblada en la época prehispánica, esto por el gran número de esclavos que Moctezuma II llevaba a Tenochtitlán después de sus conquistas en esta región, (Macías, 2005).

Las conquistas mexicas en territorio mixteco, iniciadas en 1458, dieron lugar al sometimiento de algunas poblaciones en el oriente de la región (Coixtlahuaca, Teposcolula), debido al gran interés de éstos, por su riqueza natural. Estos hechos desencadenarían una serie de fuertes tributos que los mixtecos debían pagar a la capital mexicana. Más tarde esto generaría divisiones entre los diferentes pueblos que favorecería a la conquista española de la región, la cual se dio incluso antes que la dominación de México-Tenochtitlán, al contar los españoles con el apoyo de los grupos locales que se oponían a la dominación mexicana (*Ibíd.*).

II.1.2 Fisiografía de la Mixteca

Los pueblos mixtecos tienen una distribución sobre un territorio de 15,700 km², situados en el extremo norponiente del estado oaxaqueño. Sub-fisiográficamente la Mixteca está comprendida entre las sierras del sur de Puebla, la cordillera costera del sur de Oaxaca, la Mixteca Alta y las sierras centrales de Oaxaca.

La región presenta agricultura de riego, pero predomina la de temporal para la mitad húmeda del año (mayo a octubre). Existe una densa cobertura forestal, predominando el encinar sobre el bosque de pino y cobertura mixta (pino y encino), bosque de táscate, el bosque mesófilo de montaña, el chaparral, además de poder encontrar pastizal inducido y selva baja caducifolia.

En el noreste de la región predominan los climas secos y semisecos con lluvias en verano, mientras que en el occidente, la alternancia de los cálidos y semisecos con lluvias en verano, hasta llegar al centro, donde predominan los climas templados con régimen de lluvias en verano.

La temperatura media anual mayor (20 a 24°C) se registra en el norte de Coixtlahuaca, norte y sur de Huajuapam, la mayor parte del territorio de Silacayoapam, norte y sur de Juxtlahuaca, sureste de Tlaxiaco y suroeste de Nochixtlán, siendo moderada (16 a 18°C) hacia el centro de Juxtlahuaca, centro de Huajuapam, norte de Tlaxiaco, la mayor parte del territorio de Teposcolula, centro-sur de Coixtlahuaca y

Caracterización

norte-centro de Nochixtlán, mientras que los niveles más bajos de temperatura (12 a 14°C) se registran en Cerro Grande, límite poniente entre Teposcolula y Tlaxiaco, en Cerro Negro, formación montañosa ubicada al poniente de las localidades San Juan Diuxi y San Pedro Tidaá y el Cerro del Águila, ubicado al sur de Ciudad de Tlaxiaco.

Los niveles más bajos de precipitación media anual (400 a 600 mm), registrados en la región, se localizan al noreste de los distritos de Coixtlahuaca y Nochixtlán, los niveles moderados (600 a 1000 mm), en la zona centro abarcando los distritos de Silacayoapam, Huajuapam, Teposcolula, norte de los distritos de Juxtlahuaca, Tlaxiaco y centro-sur de Nochixtlán, mientras que los niveles más elevados (1000 a 2500 mm), se localizan al sur de la región, abarcando la zona meridional de los distritos de Juxtlahuaca y Tlaxiaco ¹.

Los tipos de suelo predominantes en la región son el litosol y regosol, estos suelos jóvenes suelen asociarse y son característicos de las sierras, barrancas y lomeríos, con una profundidad menor a 10 cm, limitados por la presencia de roca. En menor proporción se localizan unidades feozem en los distritos de Nochixtlán y Tlaxiaco, caracterizado por la presencia de materia orgánica en su capa superficial y ser utilizado para la agricultura de riego o temporal con altos rendimientos, (FAO, 2006; INEGI, 2004.).

Hacia el norte, noroeste y suroeste de la región Mixteca, sobre los distritos de Huajuapam, Silacayoapam y Juxtlahuaca sobreyacen unidades de roca metamórfica con predominio de esquistos, hacia el oriente de Nochixtlán esta condición cambia con la presencia de gneises precámbricos, posteriormente se localizan grandes unidades de caliza, arenisca, yesos, lutitas y conglomerados distribuidos por prácticamente todos los distritos, formando grandes cadenas montañosas plegadas y, finalmente, se encuentran algunas sierras con predominio de rocas ígneas extrusivas, en unidades con orientación norte-sur y contenidas en los distritos de Huajuapam, Coixtlahuaca, Teposcolula y Tlaxiaco ¹.

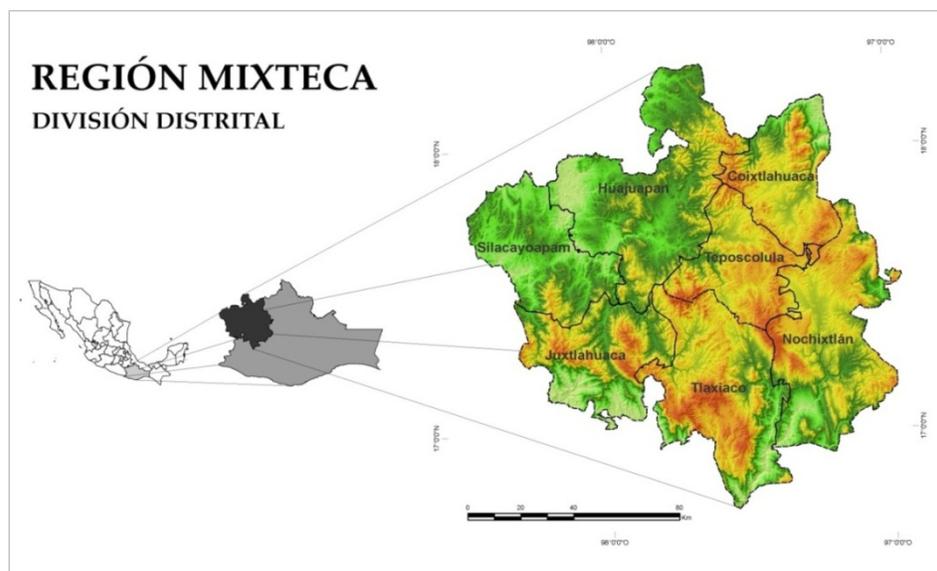


Figura II.1: División distrital de la región Mixteca. Elaboración propia con base en la enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, 2013.

¹ Análisis e interpretación de cartografía vectorial, escala 1: 1 000 000 (INEGI).

II.1.3 Localización del área de estudio

Según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la zona de estudio se localiza dentro de la vertiente norte de la cuenca del río Atoyac-B. Ahora bien, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ésta queda contenida dentro del área drenada por el colector principal de la subcuenca Sordo Peñoles (**Figura II.2**).

Dentro de esta subcuenca, se seleccionó un área compuesta por 8 microcuencas, según la entidad paraestatal *Fideicomiso de Riesgo Compartido* (FIRCO), dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), éstas son San Juan Yucuita, San Francisco Chindua, Asunción de Nochixtlán, San Francisco Nuxaño, San Mateo Etlatongo, San Juan Diuxi, Magdalena Jaltepec y el Venado.

Las coordenadas extremas de la cuenca son 17°37'00", 17°11'00" de latitud Norte, y 97°26'00", 97°09'00" de longitud Oeste. Ésta, cubre una superficie de 977 km² (97,700 ha). La cuenca de estudio es drenada por el colector principal denominado río Grande, que en su parte sur, a la salida de ésta, se reconoce localmente como río Culebra. El nivel altitudinal mínimo reconocido es de 1952 msnm, localizado en la parte sur de la microcuenca El Venado, el nivel máximo se encuentra localizado al poniente de la microcuenca San Juan Diuxi, en el extremo suroccidental de la zona, ésta se caracteriza por la presencia de fuertes pendientes y una densa cobertura forestal de pino-encino, formando el parteaguas de la zona de estudio (**Figura II.3**).

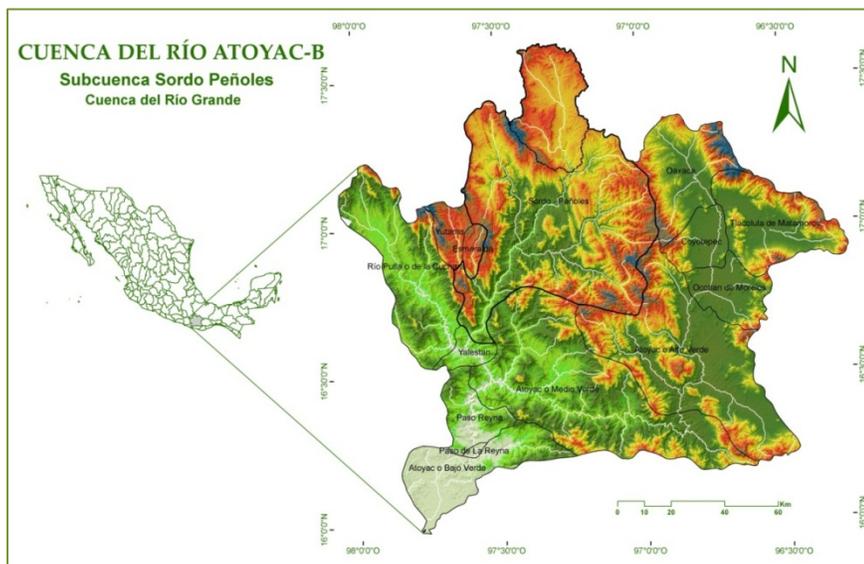


Figura II.2: Localización de la cuenca del río Atoyac-B, subcuenca Sordo-Peñoles y cuenca del río Grande, Oaxaca. Elaboración propia basado en CONABIO, 2013.

II.2 Topografía

El mapa topográfico de la cuenca del río Grande (CRG), fue elaborado a partir del conjunto topográfico vectorial, a escala 1:50,000 del INEGI. La capa final derivó de la unión de las cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. La referencia planimétrica empleada en su elaboración consta de un sistema de coordenadas geográficas y UTM. El control vertical está georreferenciado con respecto al nivel medio del mar, dejando una equidistancia entre las curvas de nivel cada 20 metros para las auxiliares y 100 m para las curvas maestras.



1
Caracterización

Valles de Yanhuitlán
17°32'00", 97°21'00"



2
Erosión en la Mixteca
Oaxaqueña
17°32'00", 97°21'00"

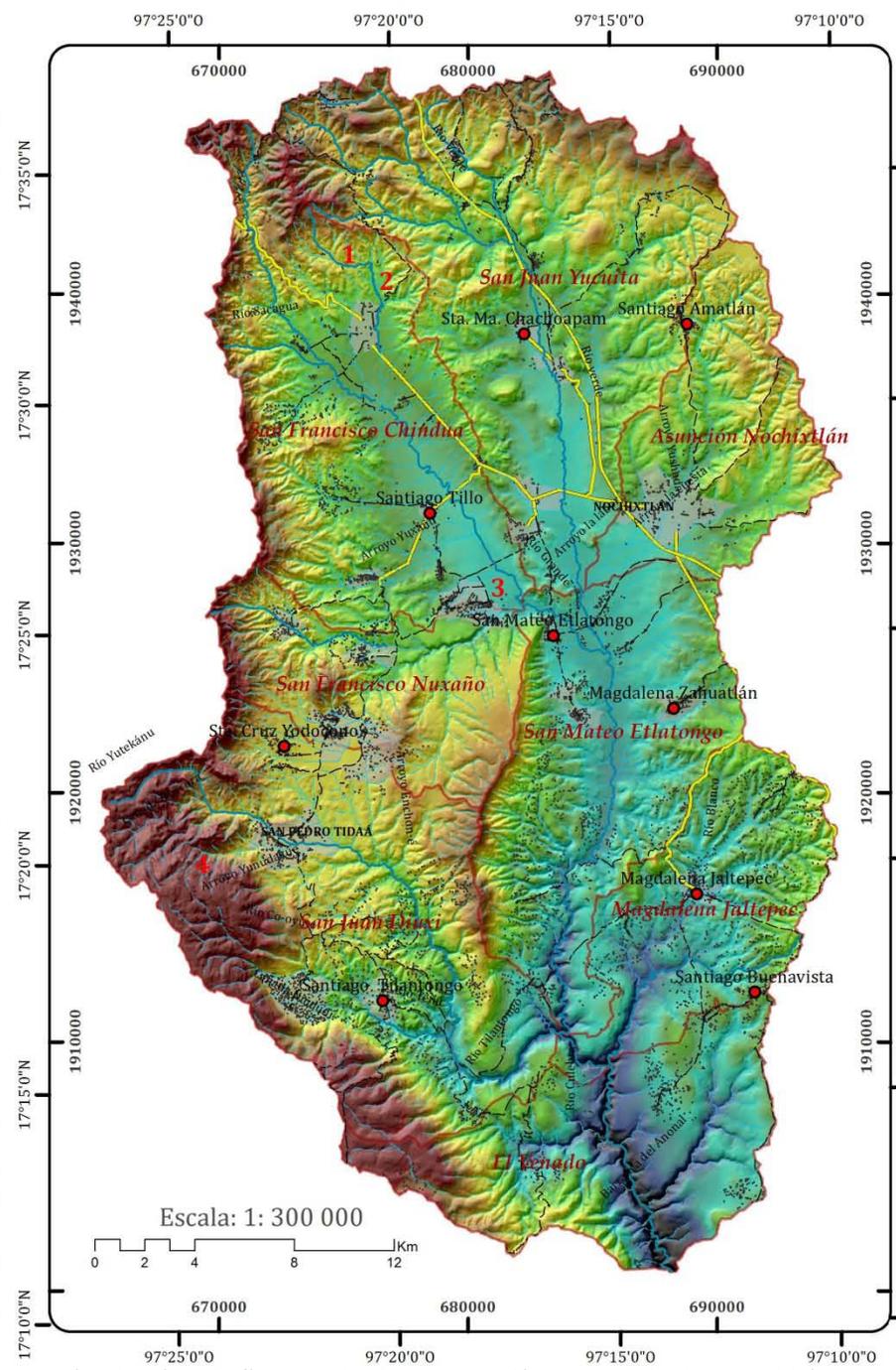


3
Caminando
por el río Grande
17° 25'00", 97° 16'00"

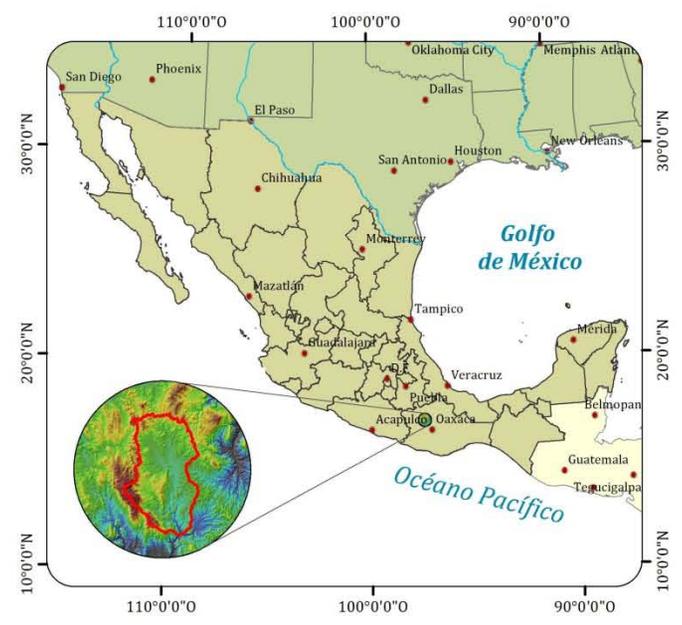


4
Bosque de pino y encino
17° 20'00", 97° 24'00"

Caracterización y diagnóstico biofísico para el Ordenamiento Ecológico Territorial en la cuenca del río Grande, Oaxaca, usando Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.



Cuenca del Río Grande



- SIGNOS CONVENCIONALES: PARÁMETROS GEODÉSICOS:**
- LOCALIDADES CON > 500 HAB. Esferoide..... GRS80
 - NOCHIXTLÁN Proyección..... UTM
 - LOCALIDADES CON < 500 HAB. Datum Horizontal..... ITRF92
 - Santiago Tillo ● Zona..... 14
 - RED HIDROGRÁFICA** Meridiano Central..... -99°
 - PERENNE Meridiano Base..... Greenwich
 - INTERMITENTE Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
 - Microcuencas ☞ Cuadrícula UTM a cada 10,000 mts

- VÍAS DE COMUNICACIÓN**
- Pavimentada —
 - Terracería - - -
 - Edificaciones ■
 - ÁREA URBANA ⊕
- FUENTES:**
- INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. FIGURA II.3

El mapa se representa con el elipsoide GRS80, el sistema de coordenadas proyectadas Universal Transversal de Mercator (UTM), con una retícula geográfica cada 5 minutos y una cuadrícula UTM cada 10 000 m. El DATUM horizontal es ITRF92.

En el mapa aparecen diferenciados los asentamientos humanos con más de 500 habitantes, por ejemplo, Nochixtlán y con menos de 500, como Santiago Tillo. Las vías de comunicación aparecen en las categorías de pavimentada dos carriles y terracería. Dentro de los cuerpos de agua, se indican las corrientes perennes e intermitentes.

La escala del mapa topográfico es 1: 300 000, apareciendo indicada tanto numérica como gráficamente, ésta fue seleccionada para estandarizar el nivel de detalle en toda la cartografía (**Figura II.4**).

II. 3 Modelo de Sombra Orográfica

Éste se define como un modelo de simulación del relieve; su elaboración se basó primeramente en la creación del Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución espacial de 10 m, estando referido al mismo sistema de coordenadas planas, angulares y verticales, que el mapa topográfico.

El MDE fue elaborado, a partir de las curvas de nivel a cada 20 metros, tomadas del conjunto topográfico vectorial en formato digital, a escala 1: 50 000 del INEGI. Su elaboración requirió:

- a) Obtención de los 6 archivos digitales, a escala 1: 50 000 (E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46).
- b) Extracción de las curvas de nivel a cada 20 metros.
- c) Unión de los archivos vectoriales.
- d) Interpolación en un sistema de información geográfica (ArcGis v. 10.0), empleando el algoritmo *Topo to Raster*.
- e) Aplicación del filtro direccional Hillshade, sobre el MDE. En este caso, se seleccionó la dirección noroeste, (Spatial Analyst 2010).

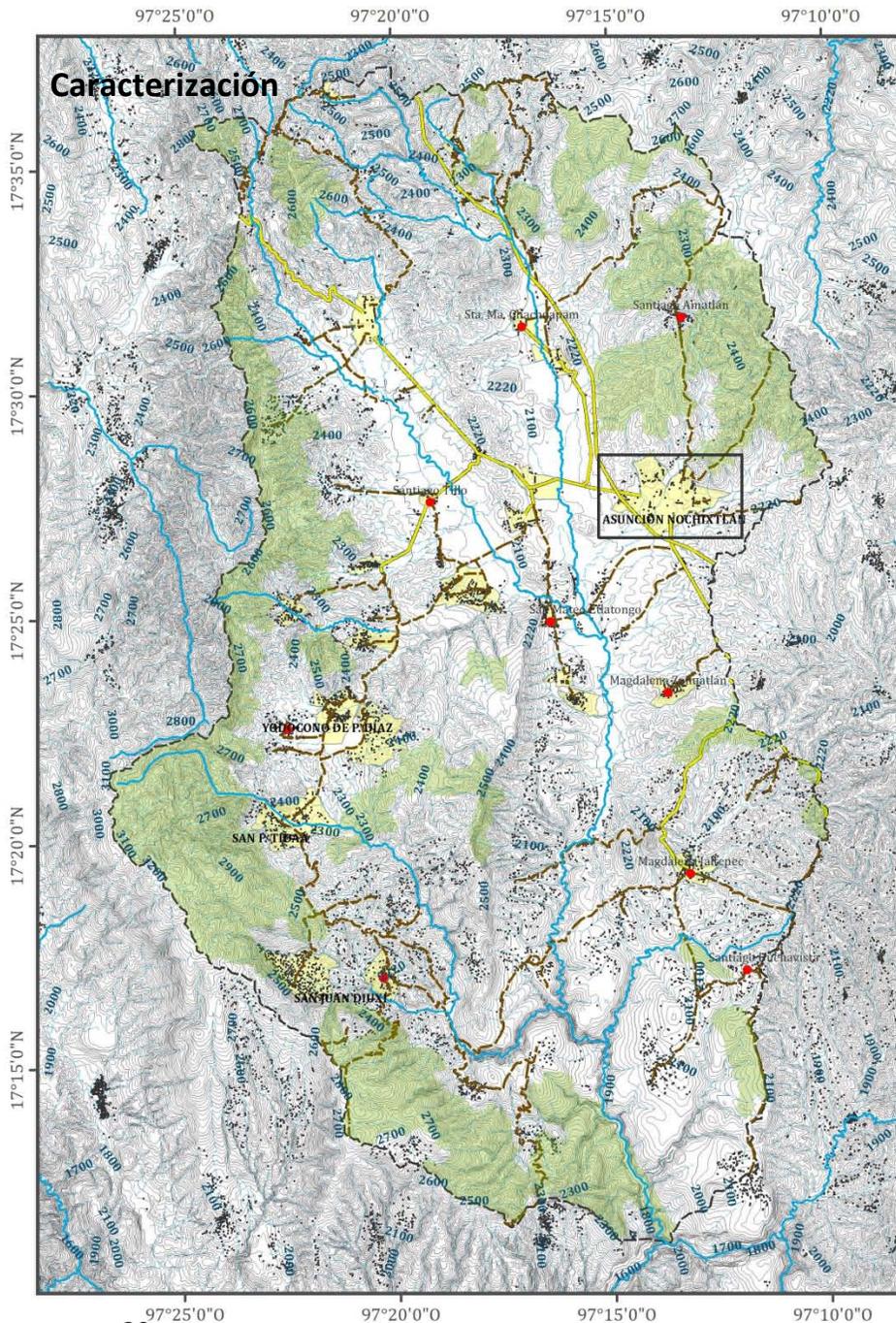
Una de las grandes utilidades del modelo de sombras es la interpretación fisiográfica del territorio, identificación de las principales categorías del relieve, como montañas, valles, lomeríos, planicies, así como algunas subcategorías, pero esto dependiendo de la resolución espacial que se trabaje. Además del análisis general que permitirá apreciar algunos rasgos estructurales. Durante la caracterización biofísica de la zona de estudio, el modelo de sombra orográfica, permitirá generar diversos análisis de sobreposición, a fin de poder destacar características tipológicas de cada componente natural, asociado a éste (**Figura II.5**).

II.4 Geología

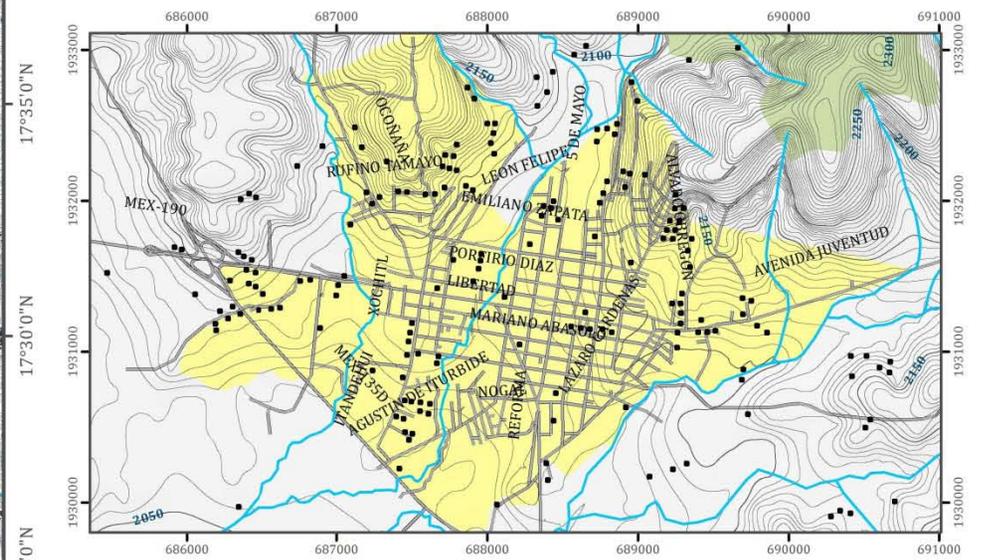
II.4.1 Geología regional

Gran parte del basamento del territorio oaxaqueño fue conformado bajo la acción de los mecanismos geotectónicos planetarios y regionales, (Hernández et. al., 2009), de tiempos proterozoicos (542-2500 millones de años). Bajo este territorio se localiza el basamento más antiguo del sur del país demostrado en 1962, año en que comienzan los fechamientos absolutos por métodos radiactivos en México (Ortega, 1998).

A partir de los estudios petrográficos efectuados en las rocas de Oaxaca y la posterior comparación con rocas de la misma edad procedentes del noreste de los E.U.A. y Canadá, en 1962 Carl Fries y Zoltan de Cserna propusieron una relación de continuidad entre estas rocas y nombran *Orogenia Oaxaqueña* al evento que produjo el basamento de Oaxaca, Tamaulipas e Hidalgo (*Ibíd.*).



Cuenca del Río Grande



Cuenca del Río Grande: 1: 300 000
 Nochixtlán: 1: 50 000

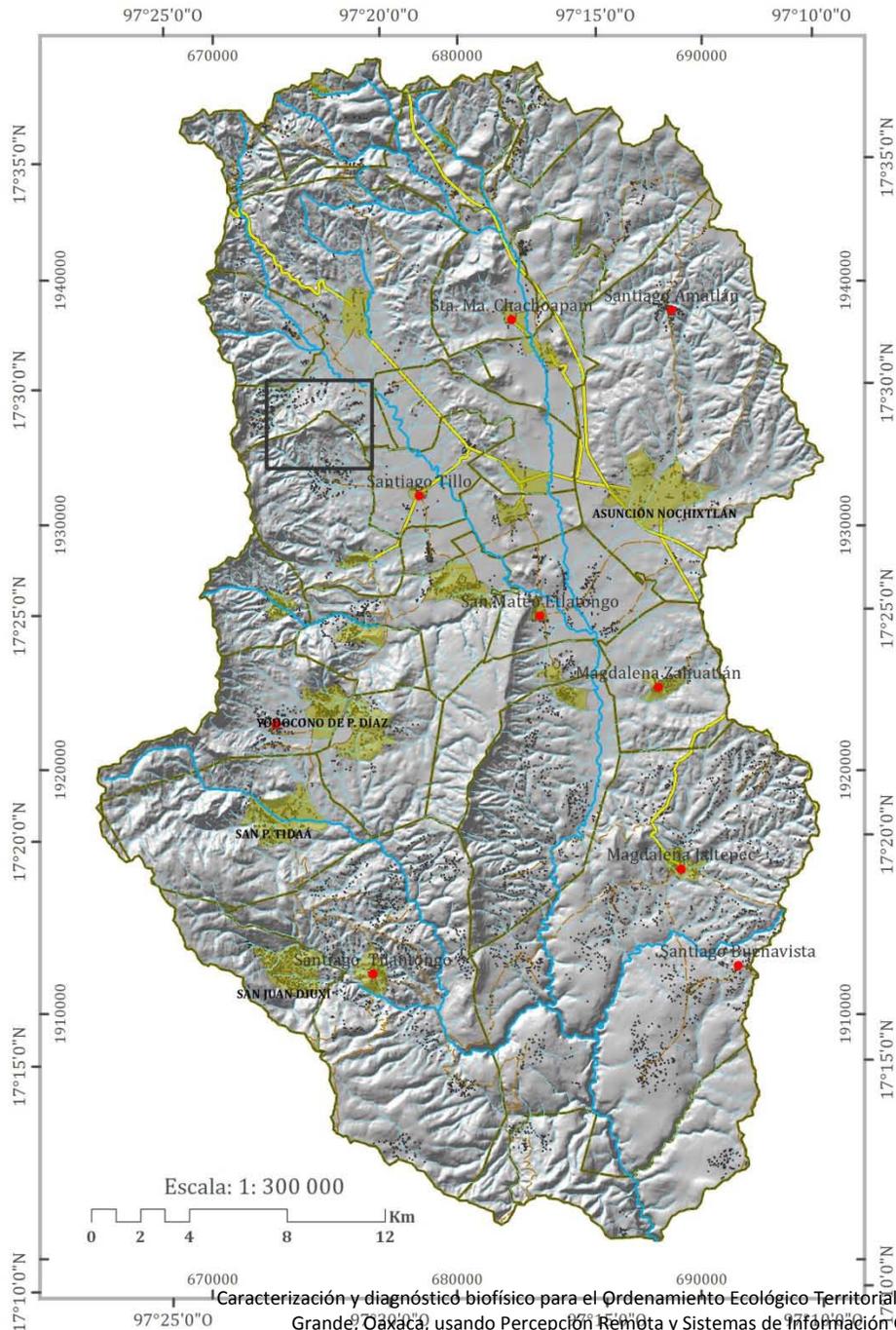
0 2 4 8 12 Km
 0 500 1,000 2,000 mts.

CONVENCIONALES:	PARÁMETROS GEODÉSICOS:	OBSERVACIONES:
LOCALIDADES CON > 500 HAB.	Esferoide-----GRS80	El mapa topográfico de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando en cuenta el conjunto topográfico vectorial escala 1: 50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46.
ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN	Proyección-----UTM	
LOCALIDADES CON < 500 HAB.	Datum Horizontal-----ITRF92	Se realizó la combinación de las cartas, además de la incorporación del modelo de sombra orográfica, derivado del modelo digital de elevación, con resolución de 10 m. El mapa muestra la distribución de la altitud, representada por curvas de nivel a equidistancias de 100, 20 y 5 m.
Santiago Tillo	Zona-----14	
RED HIDROGRÁFICA	Meridiano Central-----99°	Se realizó un acercamiento de la cabecera municipal en el municipio de "Nochixtlán" con la finalidad de apreciar la configuración del relieve. La escala de este último es: 1: 50, 000.
PERENNE	Meridiano Base-----Greenwich	
INTERMITENTE	Cuadrícula geográfica-----a cada 5 min	
VEGETACIÓN	Cuadrícula UTM-----a cada 1,000 mts	
Vegetación densa		
VÍAS DE COMUNICACIÓN	FUENTES:	
Pavimentada	INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ) , cartografía vial digital.	
Terracería		
Edificaciones		
ÁREA URBANA		
CURVA DE NIVEL MAESTRA		
Equidistancia 100 mts.		
CURVA DE NIVEL AUXILIAR		
Equidistancia 20 mts.		

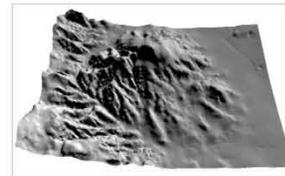
ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



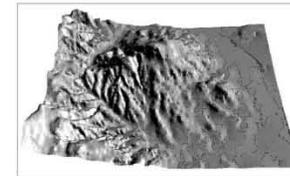
TOPOGRAFÍA
FIGURA II.4



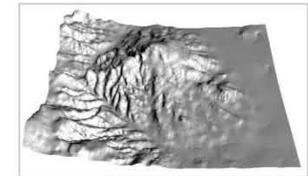
Cuenca del Río Grande



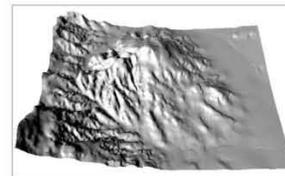
Azimut: 45°
Altitud: 45°



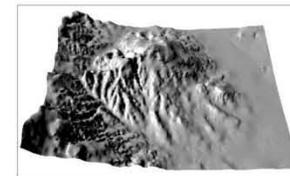
Azimut: 90°
Altitud: 45°



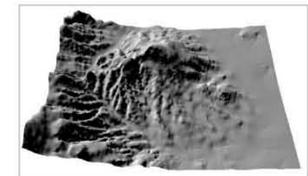
Azimut: 135°
Altitud: 45°



Azimut: 225°
Altitud: 45°



Azimut: 270°
Altitud: 45°



Azimut: 315°
Altitud: 45°

El mapa se crea a partir del modelo digital de elevación tomando en cuenta el ángulo incidente artificial azimutal (0-360°) y altitudinal (0-90°)

SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES >15 HAB. ●
- ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN ●
- LOCALIDADES < 500 HAB. ●
- Santiago Tillo ●
- RASGOS HIDROGRÁFICOS
- Perenne —
- Intermitente —
- VÍAS DE COMUNICACIÓN
- Pavimentada —
- Terracería —
- Edificaciones ■
- ÁREA URBANA ■
- LIMITE MUNICIPAL —

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide..... GRS80
- Proyección..... UTM
- Datum Horizontal..... ITRF92
- Zona..... 14
- Meridiano Central..... -99°
- Meridiano Base..... Greenwich
- Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
- Cuadrícula UTM..... a cada 10,000 mts

FUENTES:

- INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

OBSERVACIONES:

El modelo de sombra orográfica de la cuenca del río Grande, fue elaborado tomando como base la cartografía vectorial de INEGI, escala 1:50 000. Se elaboró el modelo digital de elevación con resolución de 10 metros, posteriormente se aplicó un filtro direccional basado en la proyección de un haz de luz artificial, con un ángulo de incidencia azimutal y altitudinal definido previamente. El mapa y las figuras, muestran la variabilidad de los parámetros, equivalentes a la distribución de la luz solar durante el día, sobre el relieve.



SOMBRA OROGRÁFICA
FIGURA II.5 31

Caracterización

Para 1998, Fernando Ortega retomaría este trabajo, con la diferencia de no considerar la porción del territorio mexicano como parte del cratón norteamericano, sino como un microcontinente independiente que tiene una historia de desplazamientos y colisiones desde su formación hace 1100 millones de años, nace así el nombre de *Oaxaquia*, un antiguo continente que actualmente es parte constitutiva del territorio mexicano (*Ibíd.*).

La *Orogenia Grenvilliana* fue la primer colisión entre 2 supercontinentes en la historia de la Tierra, que produjo una larga cadena montañosa semejante a los Alpes e Himalaya, este evento geológico perturbó profundamente la estructura y composición de la litosfera del planeta, evidencia de esto es la localización de tipos de roca bastante singulares como las anortositas y charnoquitas², cuya petrografía no tiene comparación en la evolución tectónica del planeta (*Ibíd.*).

Sin duda, uno de los eventos más relevantes durante el Proterozoico Medio (1700-1000 millones de años) fue la Orogenia Grenville, de la cual surgió Oaxaquia. Ésta comenzó con intrusiones de magma sumamente máfico y flujos volcánicos hace 1300 millones de años, que al parecer indicarían el momento en que los continentes comenzarían a aproximarse, posteriormente se cerrarían los océanos y la etapa culmina con la orogenia a los 1100 millones de años (**Figura II.6**). De esta manera, se formaría un gran orógeno en toda la costa este del escudo canadiense, a causa de la colisión entre Gondwana, por el sur, y Europa, por el este, sería entonces cuando Norteamérica comenzaría a subducir bajo Gondwana, elevando un sistema montañoso que alcanzaría 1000 km de ancho por 5000 de largo (Llorente, 2001).



Figura II.6. Localización de Oaxaquia. Elaboración propia basado en Ortega, 1998.

Tras la desintegración de Rodinia hace 700 millones de años, se sabe que Oaxaquia se incorporó a Gondwana hace aproximadamente 490 (límite entre el Cámbrico y el Ordovícico) por el hallazgo de Robison y Pantoja (1968), en la región de Nochixtlán, Oaxaca, de un afloramiento rocoso de 1 km² donde se localizan rocas marinas que contienen fósiles (trilobites), con una afinidad paleobiogeográfica indiscutible con Gondwana. Más tarde pero con base en este descubrimiento, Dukan Keppie propondría la permanencia cámbrica de *Oaxaquia* en Gondwana, quien planteó que a principios del Tremadociano del Ordovícico (Paleozoico), la región sur de México se debió encontrar frente a las costas actuales de Perú, es decir en la margen occidental de Gondwana (Ortega, 1998).

² **Anortosita:** Roca ígnea poco común en la Tierra formada por un feldespato rico en calcio; se ha encontrado en el este de Norteamérica y sur de África, **Charnoquita:** Roca de composición granítica de origen metamórfico a causa de una recrystalización a alta temperatura y presión, o bien de origen ígneo a causa de una cristalización fraccionada del magma a gran profundidad.

II.4.1.1 Orogenia Acateca (Hace 450 millones de años)

El Complejo Acatlán (CA), es el resultado de los movimientos tectónicos planetarios ocurridos hace 450 millones de años, cuando el microcontinente Oaxaquia colisionó con Laurencia. Sin duda alguna, los tipos de roca resultantes de este fenómeno constituyen un fiel registro que evidencia la naturaleza de los fenómenos profundos, que ocurren cuando dos masas continentales chocan.

Hace aproximadamente 450 millones de años, durante el Ordovícico Superior, la parte sureste de lo que hoy es México, chocaría con Laurencia (hoy el este de los E.U.A.) , surgiendo de este evento las cadenas montañosas de los Apalaches; entonces Oaxaquia se sobrepondría a Laurencia, viajando sobre ella varios cientos de kilómetros (Ortega, 1981 y 1998).

En la actualidad, se han encontrado rocas metamorfoseadas originadas de rocas ultramáficas muy singulares en el CA, rocas como el basalto o gabro sometidas a grandes presiones y temperaturas bajo la corteza terrestre, generarían un tipo de roca como la *eclogita*³, roca más densa que las del manto superior de la Tierra, caracterizadas por generarse sometidas a presiones muy elevadas y temperaturas variables en zonas de subducción y colisión continental, la *anatexita*⁴ un conjunto de granitos que surgen por la fusión de la corteza en las raíces de las montañas y suelen acompañar a las orogenias de colisión y, por último, la *milonita*⁵, caracterizada por ser típica de zonas con cizallamiento y recristalización. Esta es una roca cristalina que surge de la “molienda dinámica” de sus cristales en zonas de fallamiento profundo, hasta que éstos desaparecen de la vista y llegan a dimensiones micrométricas (**Figura II.7**).



Figura II.7. Milonita (izquierda), eclogita (derecha). Fuente: Creative Commons 2013.

II.4.1.2 Orogenia Grenvilliana (Hace 1100 millones de años)

Es un hecho que, en términos generales, los magmas y, por consiguiente, las rocas formadas a partir de éstos, se asocian con situaciones geodinámicas concretas, es decir, que en situaciones geológicas equivalentes se suele encontrar el mismo tipo de roca.

El Complejo Oaxaca (CO), derivado de la Orogenia Grenvilliana de hace 1100 millones de años, presenta un basamento compuesto principalmente de charnoquitas, una roca metamórfica compuesta de hiperstena (hierro y magnesio) , cuarzo y feldespato, muy inusual en la corteza terrestre por formarse en terrenos con alto grado de metamorfismo.

³ **Eclogita:** Roca metamórfica máfica de grano grueso de composición basáltica sumamente densa, formada a grandes profundidades (presiones) en la corteza terrestre, asociada a eventos de subducción.

⁴ **Anatexita:** Roca ultrametamórfica producto de la fusión diferencial de las rocas ígneas a causa de la variabilidad de los puntos de fusión de las especies de minerales contenidos en ella.

⁵ **Milonita:** Roca metamórfica de grano fino formada por milonitización, un tipo de metamorfismo dinámico en el cual el tamaño de grano de la roca es disminuido por cizallamiento de bloques bajo la corteza terrestre (>10 km). Los minerales recristalizan en tamaños menores, si la cizalla es extrema puede haber fusión de los minerales.

La serie charnoquita se supone que se ha desarrollado por *cristalización fraccionada*⁶ de un magma silicatado o bien por recristalización de la roca ígnea, como el granito a alta presión y temperatura. Estas peculiares rocas que se han datado para una edad de 1100 millones de años aproximadamente, sólo se han comparado según estudios petrográficos con rocas de la misma edad, procedentes de las regiones de los Adirondacks, en el noreste de los Estados Unidos y Quebec-Ontario, en Canadá (Ortega, 1998, y Turnstone Geological Services, 2002). Esta litología expresada en gneises precámbricos sobre el CO, salió a la superficie después de movimientos tectónicos y la erosión del territorio.

II.4.2 Terrenos tectonoestratigráficos

El sur de México es un mosaico de litologías, la edad de las rocas en esta región va del Precámbrico hasta el Cuaternario. En esta zona del país, afloran rocas metamórficas de grados diferentes, rocas sedimentarias depositadas en ambientes continentales y marinos, rocas ígneas intrusivas, extrusivas, piroclásticas, y rocas de falla.

Para hacer un panorama general de la geología de México, se emplea el análisis de los terrenos tectonoestratigráficos. Según Campa, Coney (1983) y Howell (1985), (citados en Dávalos, 2006, p 11.), éstos se definen como un conjunto de rocas de extensión regional, que se caracterizan por tener una evolución geológica diferente a terrenos adyacentes. El límite entre éstos es tectónico.

II.4.2.1 Terreno Zapoteco

El Terreno Zapoteco se extiende hacia la porción meridional de la Sierra Madre del Sur, algunos afloramientos se pueden observar al sur y sureste de Tehuacán, además del noroeste y sureste de la capital, sin embargo el más extenso, es una franja de ~200 km con dirección noroeste-sureste, que va del municipio de San Juan Bautista Cuicatlán a Pluma Hidalgo en el contacto con la llanura costera del pacífico. Según Sedlock y colaboradores (1993), el basamento de este terreno está formado por el Complejo Oaxaca (Dávalos, 2006).

Este complejo está compuesto principalmente por ortogneis, cuarzo feldespático, charnoquita, meta-sedimentos (calco-silicatos), metagabro y mármol intrusionado por anortosita. Las edades del protolito para rocas del basamento cristalino son del Proterozoico, datos isotópicos de U-Pb en zircones dan edades entre los 990 y 1300 Ma. (*Ibid.*).

II.4.2.2 Terreno Mixteco

El Terreno Mixteco tiene un basamento metamórfico del Paleozoico, éste es cubierto por una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Carbonífero-Pensilvánico y por rocas volcánicas con edades del Paleozoico al Jurásico Medio. El terreno abarca la porción este y noreste del estado de Guerrero, la parte sur de Puebla y se extiende al oeste y noroeste del estado de Oaxaca (*Ibid.*), (**Figura II.8**).

El basamento del Terreno Mixteco está formado por el Complejo Acatlán, afloramientos de éste se observan dentro y en las inmediaciones de municipios como Acatlán de Osorio en el estado de Puebla, Malinatepec, Acatepec y Olinalá en el noreste de Guerrero, y Silacayoápan, Santiago Juxtlahuaca, San Juan Mixtepec etc., en Oaxaca.

⁶ **Cristalización fraccionada:** A medida que el magma enfría, sus componentes comienzan a cristalizar y los gases que contiene se condensan, los minerales no cristalizan al mismo tiempo sino sucesivamente a medida que la temperatura y presión quedan por debajo de las de sus puntos de fusión. Esto hace que en cualquier momento de la consolidación de un magma, coexistan: **1a Fase sólida:** Minerales con puntos de fusión más elevados que la temperatura a la que se encuentra el magma, **1a Fase líquida:** Minerales fundidos, agua y gases.

La unidad está constituida por más de 3000 m de rocas metamórficas paleozoicas, parte de su litología se conforma por migmatitas (migmatita Magdalena), metagabro (Formación Chazumba), esquisto pelítico, cuarcita, pedernal, esquisto calcáreo (Formación Cosoltepec), rocas miloníticas, metagabro, serpentinita, eclogita, cuarcita, metapelita (Formación Xayacatlán), y por rocas plutónicas graníticas, aplíticas y pegmatíticas (granitos la Esperanza), (*Ibíd.*)

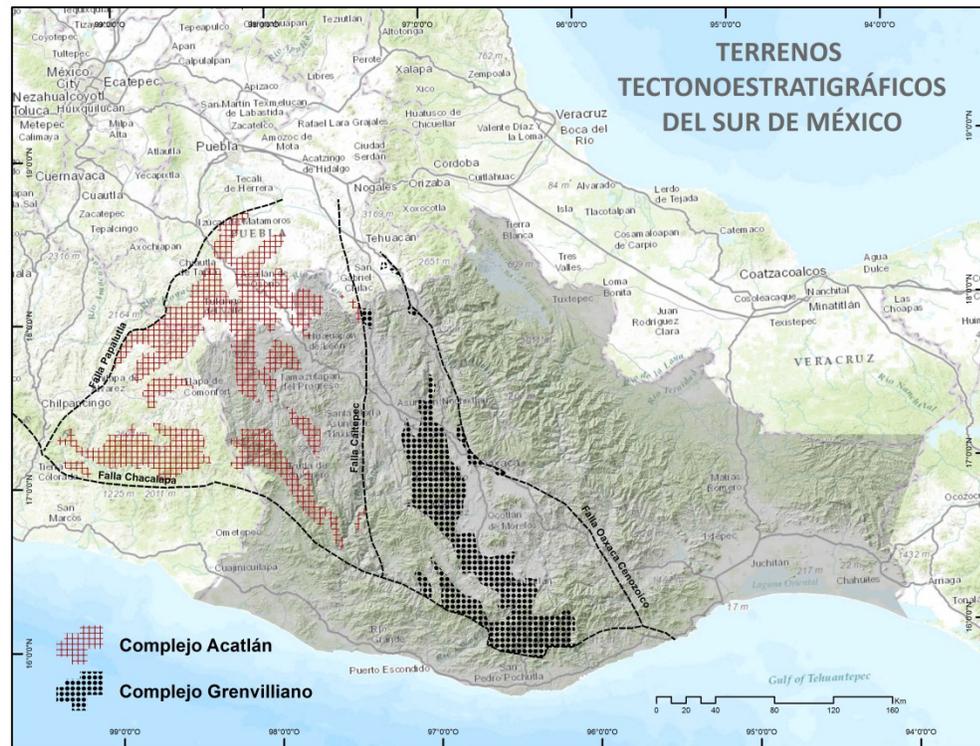


Figura II.8. Terrenos tectonoestratigráficos (Complejo Acatlán y Grenvilliano). Elaboración propia basado en Hernández et al., 2009.

II.4.3 Cronoestratigrafía del Terreno Oaxaqueño

Sobre la zona centro-oriente de la cuenca del río Grande, sobre los municipios de San Francisco Jaltepetongo y Magdalena Jaltepec aflora una parte del basamento grenvilliano, constituido hace 1100 millones de años, compuesto de charnoquitas, gneis sienítico, gneis anortosítico, nelsonitas, migmatitas, mármoles, secuencias de metasedimentos y una de rocas máficas, constituida por gabros. Este basamento queda limitado al occidente de la cuenca por la falla Tamazulapam y, al oriente, por la falla Oaxaca.

Posterior a la formación del paleocratón oaxaqueño, con su singular petrología y episodios de metamorfismo a gran profundidad, y como consecuencia de periodos de erosión y acumulación, se llega al periodo comprendido entre el Cámbrico y Ordovícico Inferior (540-440 m. a.), donde se forma una secuencia de caliza y lutita, representada por la Formación Tiñú, al oriente de la localidad San Isidro Yododeñe, 70 Km al noroeste de la capital del estado. Posterior a este evento, se identificarían una serie de lutitas y areniscas de la Formación Ixtaltepec del Mississípico-Pérmico (360-250 m. a.), situada en la localidad de Santiago Ixtaltepec, a 1 km de la Formación Tiñú.

Entre 300 y 245 m.a., del Pérmico y comienzos del Triásico Inferior, se identificaría un conglomerado polimíctico rojo, representado por la Formación Yododeñe, sobreyaciendo a la Formación Ixtaltepec y situado entre esta última y la unidad de caliza-lutita de la Formación Tiñú.

Para el Jurásico Medio (175-160 m.a.) se identifica una secuencia de limolita-arenisca de la Formación Todos Santos, distribuida sobre los terrenos Oaxaca y Maya, aflorando sólo en la porción meridional del Terreno Oaxaca y antepuesta a una secuencia de arenisca y lutita con lentes calcáreos de la Formación Jalpetongo del Cretácico Inferior (145-112 m.a.). A la secuencia de arenisca y lutita del Neocomiano le sobreyacen calizas con bandas de pedernal negro de la Formación Yushe, localizadas entre el Albiano-Cenomaniano (112-93 m.a.), que son sobreyacidas, a su vez, por calizas y lutitas de la Formación Yucunama, del Cretácico Superior (93-65 m.a.), (SGM-E14-9, 2000).

II.4.3.1 Cronoestratigrafía de la cuenca del río Grande

II.4.3.1.1 Formación Teposcolula (caliza y dolomía, 100 a 93 m.a)

Anterior a las formaciones de calizas y lutitas de la Formación Yucunama, a principios del Cretácico se deposita una secuencia de calizas y lutitas de la Formación Tlaxiaco, con espesores que van de 200 a 838m en el Terreno Mixteco (145-112 m.a.), que posteriormente sería cubierta a finales de éste (112-100 m.a.) por una capa de yeso y dolomía de 1000 m de espesor de la Formación San Juan Teita, marcando así el inicio de una plataforma carbonatada, que evolucionaría hasta el Cenomaniano (principios del Cretácico Superior, 100-93 m.a.), representada por calizas de la Formación Teposcolula, (Santa María et al., 2008, e interpretado del SGM-E14-9, 2000).

La caliza Teposcolula sería propuesta, en 1949, para designar una secuencia de calizas que afloran en los poblados de San Pedro y San Juan Teposcolula y que continúa hacia el sur de Tlaxiaco. Esta formación está constituida por un potente espesor de calizas de color gris claro que presentan facies de plataforma carbonatada, con espesores variables que van de 500 a 1800 m, (Santa María et al. 2008).

II.4.3.1.2 Formación Tilantongo (marga y limolita, 93 a 65 m.a.)

La Formación Tilantongo son rocas calcáreo-arcillosas margosas que afloran en la región de Tilantongo, Oaxaca. Su edad se ubica entre el Turoniano y el Campaniano, e incluso hasta el Maastrichtiano (Cretácico Superior), y su ambiente de depósito es de cuenca marina (*Ibid.*). Cabe mencionar, que la composición básica consta de carbonatos y arcilla para las litologías margosas, definiendo así las proporciones de calcita en la roca para determinar su tipología.

II.4.3.1.3 Formación Tamazulapam (conglomerado y arenisca, 65 a 40 m.a.)

Posterior a la Formación Tilantongo, sobreyace un conglomerado de la Formación Tamazulapam, que se esparce por los Terrenos Mixteco y Oaxaca, abarcando la mayor parte de la cuenca del río Grande, éste se compone de fragmentos sub-redondeados de caliza de tamaño variable (5 mm hasta 25 cm), incluidos en una matriz arenosa de color rojiza, el espesor aproximado es de 20 a 400 m. Debido a que no se han encontrado restos fósiles, la edad está dada con base en la posición estratigráfica, del Paleoceno-Eoceno (Terciario inferior, 65 a 30 m. a.), (Santa María et al. 2008, e interpretado del SGM-E14-9, 2000).

II.4.3.1.4 Formación Tecmatlán (conglomerado, ~65 a 55 m.a)

El nombre de conglomerado Tecmatlán fue introducido por Schlaepfer (1970) para definir a un conglomerado calcáreo que aflora al oeste de San Miguel Tecmatlán. Éste está constituido en su mayoría,

por fragmentos de caliza de forma subredondeada, soportados por una matriz arenosa color rojiza, el tamaño de los fragmentos es variable (mm hasta 15 cm). La edad de esta formación está dada con base en relaciones estratigráficas, ya que sobreyace discordantemente a las calizas del Cretácico y es sobreyacida por la Formación Yanhuatlán del Eoceno, por lo que se le puede atribuir una edad paleocénica. El conglomerado Tecomatlán es correlacionable con la Formación Tamazulapam (Santa María, 2008).

II.4.3.1.5 Formación Yanhuatlán (limolita y arenisca, ~55 a 48 m.a.)

Esta formación fue referida por Ferrusquía, en 1970, para indicar una secuencia de depósitos cenozoicos, pero en particular a una serie de depósitos piroclásticos y areniscas, de la cual deriva otra de limolitas de color rojo a crema, estratificadas, rítmicamente en capas delgadas que afloran en la mitad septentrional de la cuenca (*Ibíd.*).

El espesor de esta formación se encuentra entre 300 y 600 m. Martiny y colaboradores (2000) fecharon rocas ígneas ubicadas al norte de Yanhuatlán, las cuales intrusionan a esta formación. Estas rocas derivaron edades del Eoceno (40.5 ± 1.7 m.a.), por lo que se puede asignar a la Formación Yanhuatlán una edad pre-Eoceno o Eoceno Inferior (Ypresiano de 55.8 a 48.6 m.a.) (*Ibíd.*).

II.4.3.1.6 Formación Llano de Lobos (toba, $\sim 33.9 \pm 0.1$ m.a.)

La Toba Llano de Lobos está compuesta por una secuencia de tobas de composición riódacítica a andesítica, de textura vítrea o vitroclástica, de color rojizo a beige, con intercalaciones de arenisca color café y conglomerados constituidos de fragmentos de caliza, incluidos en una matriz arenosa. El espesor estimado para esta secuencia va de 300 a 500 m. (*Ibíd.*).

Según Ferrusquía y Villafranca (1976), la edad de la Toba Llano de Lobos es del Oligoceno Tardío (26.5 m.a.) (*Ibíd.*), sin embargo por relaciones de campo, esta formación es sobreyacida por la Andesita Yucudaac (28.9 ± 0.6 m.a.), por lo que cabe la posibilidad de que la edad de la Toba Llano de Lobos, sea del Oligoceno Temprano (33.9 ± 0.1 m.a.). Una de las zonas donde ésta aflora, es el noreste de Yanhuatlán, donde sobreyace discordantemente la Formación Yanhuatlán y está sobreyacida discordantemente por la Andesita Yucudaac. (Santa María, 2008, e Interpretado del SGM-E14-9, 2000).

II.4.3.1.7 Andesita Yucudaac ($\sim 28.9 \pm 0.6$ m.a.)

La andesita Yucudaac se encuentra distribuida al occidente de la zona de estudio, dominando los derrames lávicos y toba intermedia, sobreyaciendo discordantemente a las tobas félsicas de la Formación Llano de Lobos, alcanzando espesores aproximados de 500 m. La unidad se encuentra coronando algunas de las partes altas de las sierras. Las edades de estas rocas han sido investigadas por diversos autores en la región de Tamazulapam y Yanhuatlán, obteniendo fechas de 28.9 ± 0.6 m.a. (*Ibíd.*).

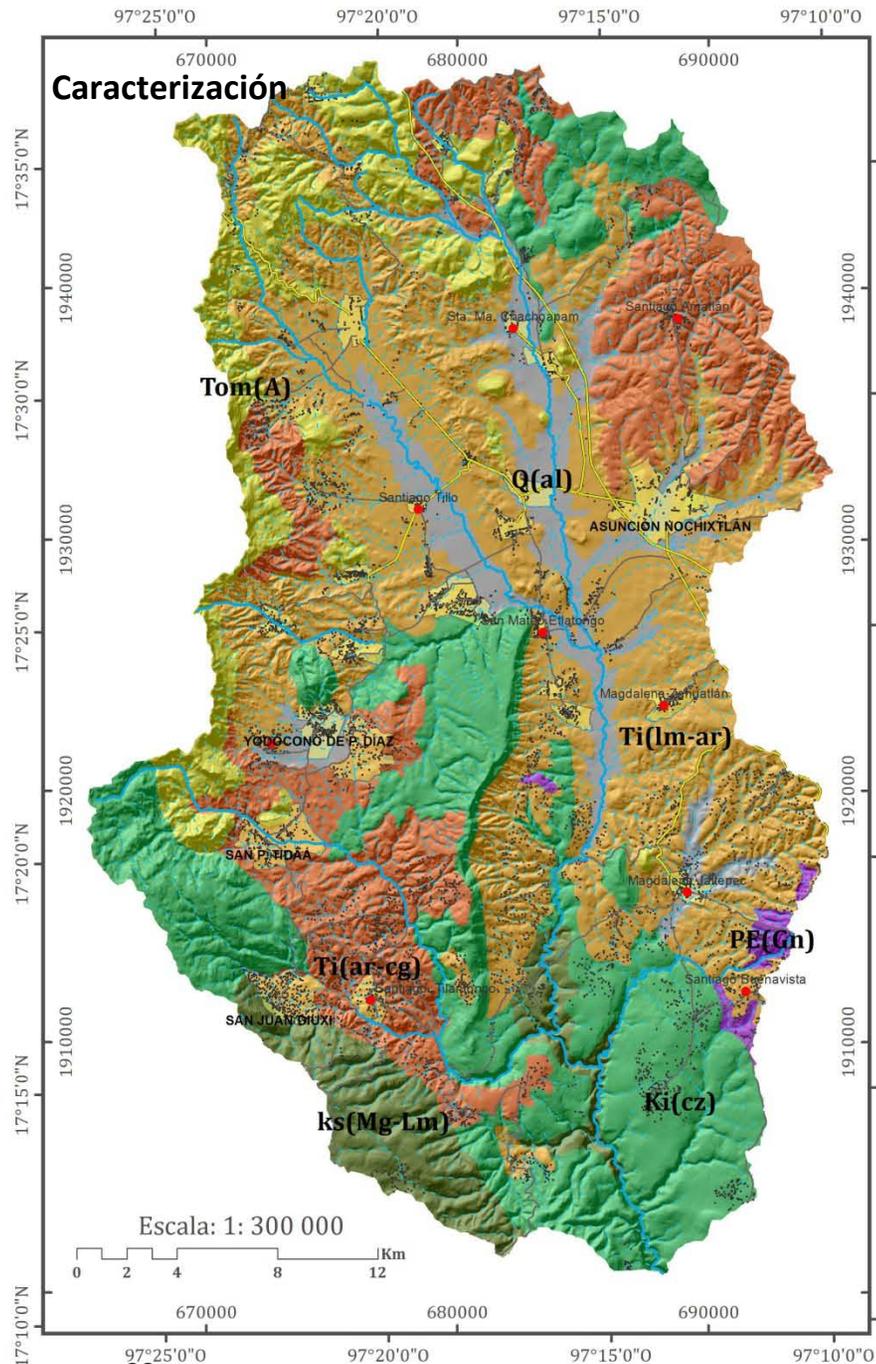
II.4.3.1.8 Aluvión (~cuaternario)

Éste está representado por depósitos aluviales constituidos de gravas, arenas y suelo residual, que es depositado en las zonas bajas de la cuenca y riberas de los ríos (**Figura II.9**).

II.5 Análisis Morfométrico del Relieve

El propósito de un levantamiento geomorfológico es proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno, los procesos geomorfológicos y los fenómenos naturales conexos (Ortiz et al., 2006). Los mapas elaborados no sólo son documentos científicos en sí mismos, sino también,

Cuenca del Río Grande



Clave	Formación	Sistema	Serie	Litología	Espesor aprox.	Edad
Q(al)	Depósitos aluviales	Cuaternario	Holoceno	Depósitos aluviales	-	~11,784 años a la actualidad.
Tom(A)	Formación Llano de lobos Formación Andesita Yucudaac	Terciario Inferior (Paleógeno)	Rupeliano	Toba-Andesita	500 m.	~33.9±0.1-~28.9±0.6
Ti(lm-ar)	Formación Yanhuatlán		Ypresiano	Limonita-Arenisca	300 a 600 m.	~55-48 m. a
Ti(ar-cg)	Formación Tamazulapam		Daniano-Lutetiano	Arenisca-Conglomerado	20 a 400 m.	65-40 ma
ks(Mg-Lm)	Formación Tilantongo	Cretácico Superior	Turoniano-Maastrichtiano	Marga-Limolita	-	93-63 m.a
Ki(cz)	Formación Tepecolula	Cretácico Inferior	Cenomaniano	Caliza-Dolomia	500 a 1800 m.	100-93 m.a
PE(Gn)	Orogenia Grenvilliana	Proterozoico	Steniano	Gneis, Gabro	-	1200-1000 m.a

SIGNOS CONVENCIONALES: **PARÁMETROS GEODÉSICOS:** **OBSERVACIONES**

LOCALIDADES CON > 500 HAB. Esferoide----- GRS80 El mapa geológico de la ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN Proyección----- UTM cuenta del río Grande fue LOCALIDADES CON < 500 HAB. Datum Horizontal----- ITRF92 elaborado tomando como Santiago Tillo ● Zona ----- 14 base la cartografía vectorial Meridiano Central----- -99° del INEGI, escala 1: 250 000 y Meridiano Base----- Greenwich actualizada posteriormente Cuadrícula geográfica----- a cada 5 min con base en la cartografía del Cuadrícula UTM ----- a cada 10,000 mts Servicio Geológico Mexicano (SGM).

RED HIDROGRÁFICA
 PERENNE
 INTERMITENTE

VÍAS DE COMUNICACIÓN
 Pavimentada
 Terracería

Edificaciones

ÁREA URBANA

FUENTES:
 INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 mientos de rocas metamórficas 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto pertenecientes al complejo topográfico vectorial escala 1:50000, car-Oaxaca y afloramientos de tas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, marga-limolita en la porción E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



GEOLOGÍA
FIGURA II.9

valiosas herramientas en estudios de recursos naturales. Cabe mencionar que para esto, se distinguen 3 tipos de levantamientos que dan origen a 3 clases diferentes de mapas (Verstappen and Van Zuidam, 1991).

1.- Mapas geomorfológicos analíticos: son el resultado de profundos estudios geomorfológicos monodisciplinarios, que proporcionan información sobre formas del relieve y procesos, destacando la morfogénesis y la morfocronología, pero también incluyendo datos sobre litología y morfoestructuras (*Ibíd.*).

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. Dicho análisis geomorfológico es realizado en el contexto de una síntesis del paisaje y para uso de levantamientos multidisciplinarios del terreno (*Ibíd.*).

3.- Mapas geomorfológicos pragmáticos: son el resultado de investigaciones geomorfológicas que están guiadas desde el principio por un propósito específico, frecuentemente en el contexto de un proyecto de planificación del desarrollo (*Ibíd.*).

De esta manera, la elaboración de un levantamiento geomorfológico, demanda una etapa preliminar, con la preparación de mapas especiales, denominados morfométricos; éstos muestran las dimensiones de los rasgos morfológicos básicos del relieve, entre ellos se encuentran la hipsometría, los ángulos de inclinación, orientación y forma de las laderas, la disección vertical o energía del relieve y la densidad de disección.

La morfometría permite reflejar características complejas del mismo, categorizando información para un análisis sintético, proporcionando valiosos datos sobre la intensidad de los movimientos neotectónicos, su diferenciación espacial, el grado de disección, las direcciones predominantes de las zonas de falla y algunos elementos lineales del relieve, como la configuración de planicies, valles, sistemas montañosos, etc.

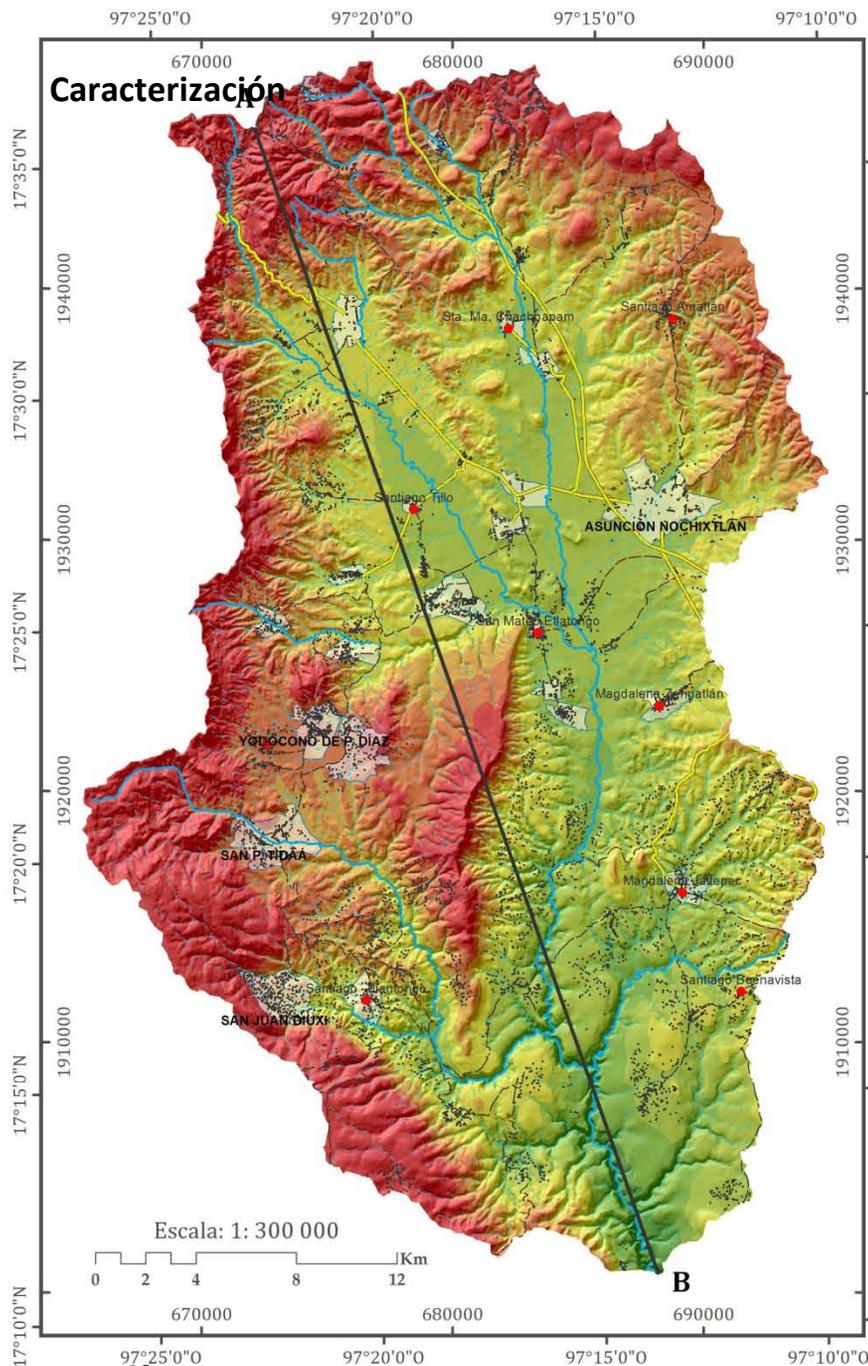
II.5.1 Hipsometría

En el análisis territorial de la cuenca del río Grande, se generó el mapa de rangos altitudinales, (Topo to Raster, Spatial Analyst, 2010), basándose en el nivel mínimo y máximo de cota, además del rango de distribución de algunas comunidades vegetales para posteriores análisis. De esta forma, el mapa final reflejó la variabilidad hipsométrica del relieve, en el cual se puede apreciar una unidad montañosa de alineación norte-sur, al occidente de Nochixtlán, formada por una secuencia de tobas volcánicas mezclada con depósitos de arenisca y andesitas del Terciario. Hacia el sur esta unidad se alterna con calizas del Cretácico Superior, alcanzando altitudes mayores a los 3000 msnm en las cúspides de Cerro Negro, al norponiente del municipio de San Juan Diuxi.

Hacia la zona septentrional de la cuenca, se pueden apreciar superficies amplias, homogéneas, formando un relieve definido por la llanura fluvio acumulativa del río Grande, reportando una de las menores altitudes de la cuenca, oscilando de 2000 a 2100 msnm, y finalmente la zona comprendida por el cañón del río Grande, localmente conocido como río Culebra, en el extremo meridional, a la salida de ésta, predominando altitudes inferiores a 1900 msnm (**Figura II.10**).

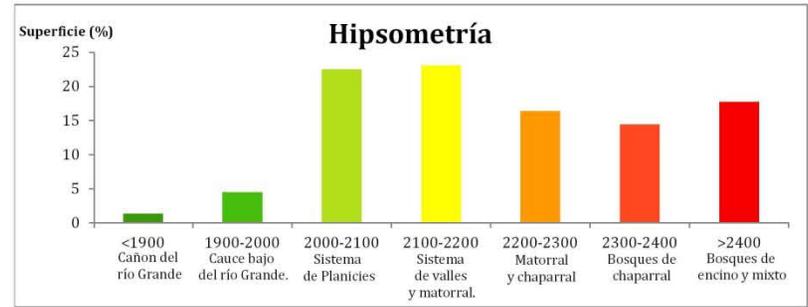
II.5.2 Pendientes

La mayor parte de la superficie terrestre está formada por laderas y puede considerarse como una de las componentes principales del relieve. El estudio de su forma y evolución espacio-temporal, es una de las tareas de la geomorfología. Los principales pisos o escalones altitudinales del relieve han reflejado una estupenda relación y notable influencia en el comportamiento y distribución de las pendientes de la cuenca, y a su vez, en cada una de las categorías geomorfológicas (montañas, lomeríos, valles, llanuras fluviales etc.).



Cuenca del Río Grande

Altimetría (msnm)



SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA PERENNE
- INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN Pavimentada
- Terracería
- Edificaciones
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide-----GRS80
- Proyección-----UTM
- Datum Horizontal-----ITRF92
- Zona-----14
- Meridiano Central-----99°
- Meridiano Base-----Greenwich
- Cuadrícula geográfica-----a cada 5 min
- Cuadrícula UTM-----a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies (NAVTEQ)**, cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

OBSERVACIONES:

El mapa hipsométrico de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando como base el conjunto topográfico vectorial de INEGI escala 1: 50 000.

Los rangos se establecieron con base en la relación existente entre las categorías geomorfológicas principales y las comunidades de vegetación. Por ejemplo las comunidades de encino y bosque mixto en unidades de montaña > 2400 msnm y la selva baja caducifolia en unidades del cañón del río grande por debajo de los 1900 msnm.



HIPSOMETRÍA
FIGURA II.10

En este sentido, la generación del mapa de pendientes, (Lugo, 1986) de la zona, arrojó dicha relación, atribuyendo primeramente los valores más altos (mayor a 45°) a la distribución del conjunto de macizos ubicados al poniente de la cuenca, formando el parteaguas, así como en la porción central aludiendo a un macizo de rocas calcáreas, denominado La Mesa El Llano, de orientación norte-sur.

Esta relación hipsometría-pendientes, queda interrumpida al encontrarse unidades fuertemente escarpadas por debajo del nivel de las llanuras fluvio acumulativas, hacia el extremo meridional de la cuenca, en la salida de ésta, conformada por el río Culebra, y perteneciente a la microcuenca El Venado. Las paredes de éstas quedan fuertemente diseccionadas, claramente bajo control tectónico.

Otra zona que presenta pendientes fuertes se localiza en la porción septentrional, al norte de los municipios de Yanhuatlán y Sta. María Chachoapam, donde se reconoce un sistema de montañas de origen volcánico-tectónico-erosivo que va de 2200 a 2400 msnm.

Las pendientes con valores de 18° a 45°, además de predominar en las zonas coronarias de los sistemas montañosos, se localizan en la mayoría de los valles con orientación W-E asociados a las partes medias de las principales cadenas montañosas, aisladas e intermontanas, además de algunos lomeríos.

Las llanuras fluviales, algunas colinosas y ligeramente diseccionadas, quedan situadas al norte de la cuenca con valores de 0 a 6°, sobre los municipios de Santa María Chachoapam, Santo Domingo Yanhuatlán, Santiago Tillo, etc. Estas zonas son representadas por llanuras fluvio acumulativas y de inundación, regiones agrícolas y de asentamientos humanos.

Como se puede apreciar, las condiciones energéticas básicas para el desarrollo de los procesos erosivos y gravitacionales, de manera general, están en función de la altitud e inclinación de las laderas, así pues, para el estudio de la dinámica de materiales cuenca abajo y, por consiguiente, la salvaguarda de rasgos culturales, será de suma importancia su constante evaluación (**Figura II.11**).

II.5.3 La disección del relieve

El relieve terrestre es el resultado de la interacción de procesos endógenos, creadores de las irregularidades de la superficie de la Tierra, y los exógenos, niveladores de las mismas. La intensidad con que se presentan estos procesos está condicionada por factores tectónicos, climáticos y litológicos (grado de fractura de las rocas, movimientos de ascenso y hundimiento, actividad volcánica, precipitaciones, resistencia de las rocas al intemperismo y denudación etc.).

El principal de los agentes modeladores de la superficie es el agua, que disecciona el relieve original por medio de las escorrentías temporales y permanentes. Esta dinámica se analiza en el presente trabajo desde dos perspectivas, la profundidad de corte por la acción erosiva y actividad tectónica, y la longitud total de talwegs por unidad de superficie (Lugo et al., 1981).

II.5.3.1 Disección vertical o energía del relieve

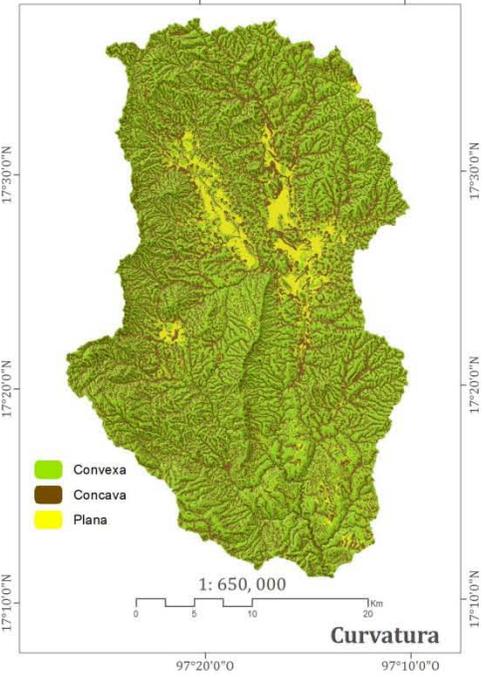
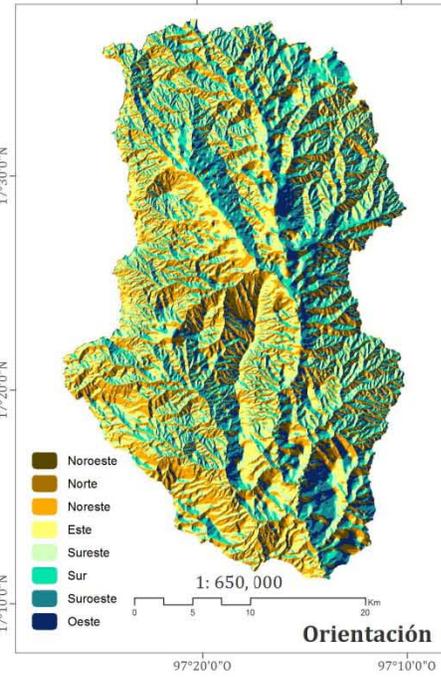
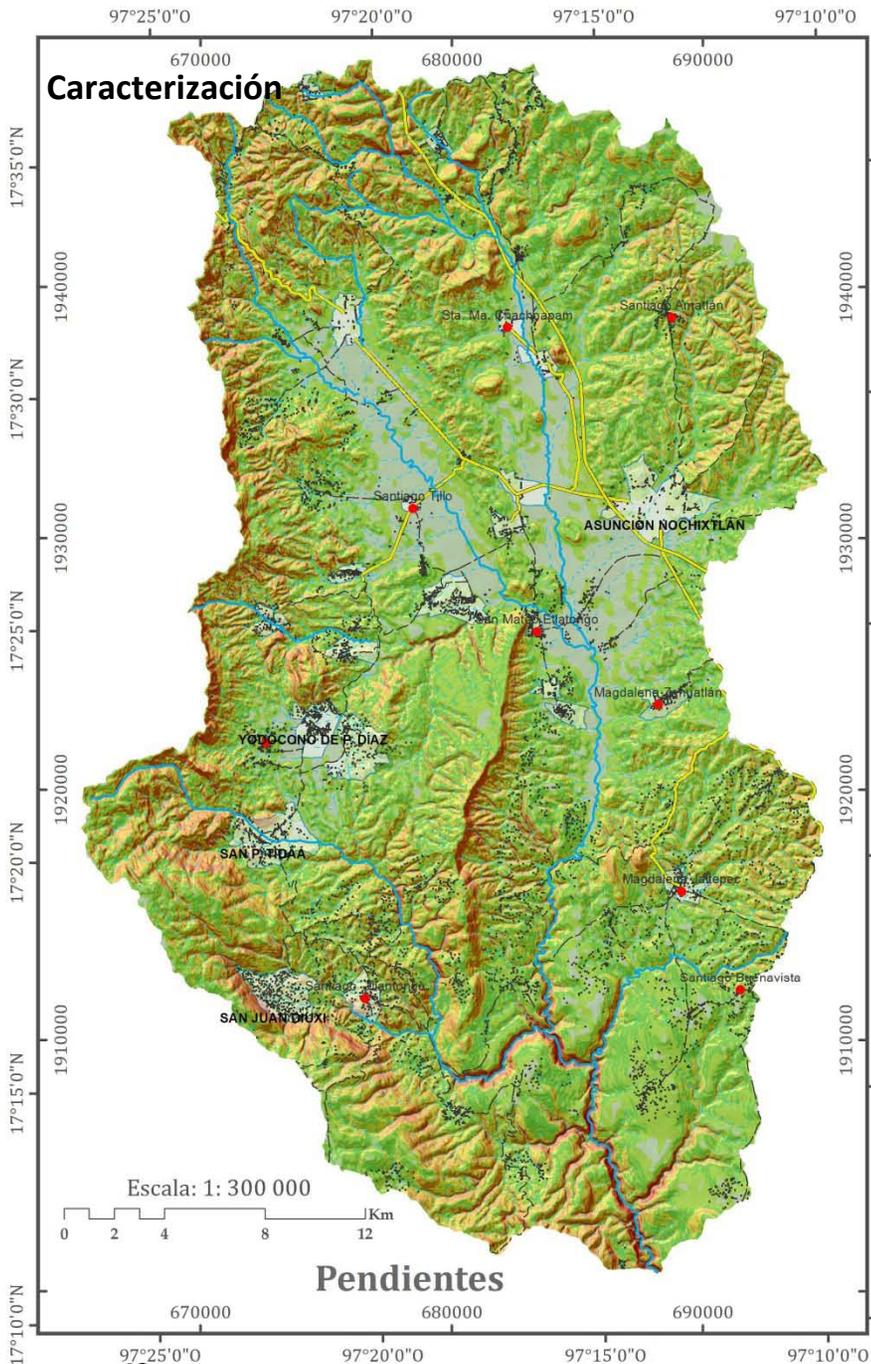
Para el mapa de energía del relieve, disección vertical o profundidad de disección, como uno más de los indicadores morfométricos, se tomó el criterio de amplitud de oscilación de las altitudes por unidad de área (4 km²).

En el proceso de elaboración se emplearon las curvas de nivel a equidistancia de 20 m. De esta manera se calculó para cada unidad, la amplitud entre los valores deprimidos mínimos y los máximos, con el fin de identificar el grado de disección vertical, establecer una gradación numérica y por último, un fondo de color cualitativo para su expresión cartográfica, (Lugo et al., 1981, 1982, y 1986).

En el mapa final se observa una clara relación entre la categorización geomorfológica derivada de la actividad morfoclimática, neotectónica diferenciada y los rangos de encajamiento erosivo de la cuenca, por ejemplo, los valores máximos asociados a las unidades de montaña alta, que corren paralelas a la dirección de la cuenca. Otra unidad sumamente asociada es el cañón esculpido por el río Grande, en la parte meridional, donde los valores oscilan entre los 300 y 700 metros de encajamiento erosivo por unidad (4 km²).

Cuenca del Río Grande

Caracterización



- PENDIENTE (GRADOS)**
- 0-2°
 - 2.1-6°
 - 6.1-12°
 - 12.1-18°
 - 18.1-30°
 - 30.1-45°
 - >45°
- SIGNOS CONVENCIONALES:**
- LOCALIDADES CON > 500 HAB.**
 - LOCALIDADES CON < 500 HAB.**
 - RED HIDROGRÁFICA**
 - PERENNE
 - INTERMITENTE
 - VÍAS DE COMUNICACIÓN**
 - Pavimentada
 - Terracería
 - Edificaciones**
 - ÁREA URBANA**

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

Esferoide.....GRS80
 Proyección.....UTM
 Datum Horizontal.....ITRF92
 Zona.....14
 Meridiano Central.....-99°
 Meridiano Base.....Greenwich
 Cuadrícula geográfica.....a cada 5 min
 Cuadrícula UTM.....a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



MORFOMETRÍA DE LADERAS
 FIGURA II.11

Los valores de 100 a 300 m, se distribuyen sobre una zona de confluencia gradual compuesta de material mixto dominando unidades sedimentarias, material calcáreo cementado en matrices arenosas de color ocre a rojizo por el contenido y continuo aporte de materiales ferromagnesianos. En estos rangos también se involucran unidades septentrionales de la llanura fluvial, y lomeríos alternando con valles.

Finalmente el último escalón geomorfológico, claramente asociado a este parámetro morfométrico, corresponde principalmente a la zona central y suroccidental, con el sistema de llanuras fluviales del río Grande, Verde y La Labor e intramontañas de Magdalena Yodocono, con pendientes menores a 3°. Los valores oscilan entre 0 y 100 metros.

El relieve de las llanuras fluvio acumulativas de la cuenca, posee niveles de 0 a 200 m de socavamiento vertical, lo que se traduce en un bajo a medio potencial para desatar procesos erosivos, ya que más bien, su función consiste en la concentración de la escorrentía generada cuenca arriba. Ahora bien, en las zonas de montaña, lomeríos altos, valles y la zona del cañón del río Grande, existe energía potencial muy elevada para el desarrollo de diversos procesos geomorfológicos (meteorización, transporte de material de diversa granulometría y posterior sedimentación cuenca abajo), por lo que este uso de suelo debería orientarse a la categoría de conservación, mediante planes de reforestación de especies autóctonas del territorio, en función de la vocación edáfico-climática de cada paisaje (**Figura II.12**).

II.5.3.2 Densidad de disección

Otro de los índices morfométricos del relieve es la intensidad de su disección horizontal o densidad de disección, que permite evaluar el grado de influencia litológica, la intensidad y tendencia de los movimientos neotectónicos, características espacio-temporales del clima, actividad biológica, entre otros, en la formación y desarrollo de la red fluvial.

La importancia de la generación de cartografía morfométrica de este tipo radica en la resolución de problemas prácticos, tales como, la organización espacial del diseño constructivo de la infraestructura civil, el trazado de vialidades, solución de accesibilidad regional, análisis del riesgo a infraestructura y actividades humanas, establecimiento de los planes de reforestación como medida a la restauración ambiental, etc.

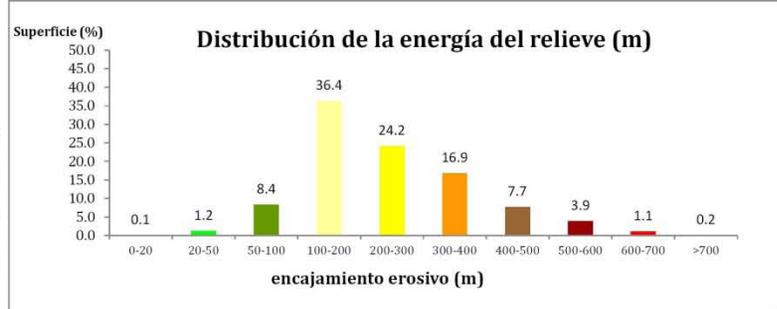
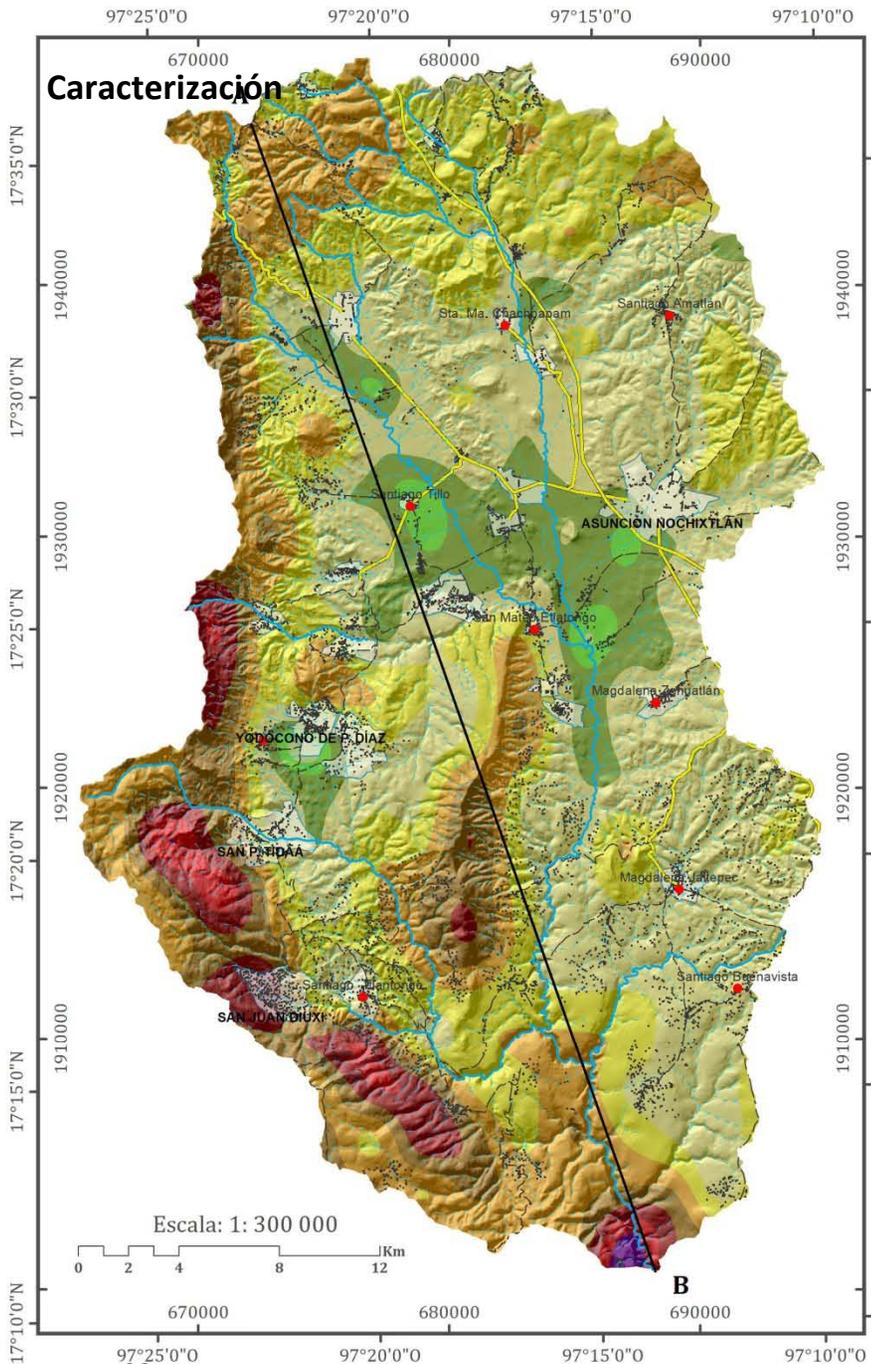
La caracterización de la densidad de disección se basa en la longitud de la red erosiva por unidad de superficie. La generación de esta red, se basó en el modelo digital de elevación de la cuenca del río Grande, con una resolución de 10 m; a partir de éste se generaron una serie de clasificaciones y reclasificaciones direccionales. Se trazó la retícula del sistema de cuadrados, manejando la unidad de 4 km², en cada uno de ellos, se calculó la longitud total de la red y las cifras obtenidas se sumaron y dividieron entre el área de cada unidad de superficie, derivando así, la densidad de corte erosivo, (Lugo et al., 1981, 1982, y 1986).

Para el análisis hidrológico se empleó la extensión Arc Hydro Tools v2.0. Primeramente, se generó un *fill sink* para sustituir por remuestreo a aquellos píxeles (+/-), que pudiesen interrumpir el trazado continuo de cada segmento hidrológico (**Figura II.13**). Posteriormente se generó un modelo de *dirección de flujos*, éste se entiende como una reclasificación o cálculo usando una matriz de 8 píxeles para cada valor digital, esto para conocer la orientación de cada celda y, por consiguiente, la dirección de los posibles flujos de agua.

Modelo de *acumulación de flujos*. Éste se interpreta como la cantidad de agua que fluiría hacia cada celda (omitiendo cobertura de suelo, evapotranspiración, infiltración, etc.). El modelo genera una matriz, donde se cuantifica el número de píxeles que confluyen hacia una dirección, los patrones oscuros son niveles altos y representan zonas de flujo concentrado que pueden ser usados para definir corrientes de agua, (Hidrology 2010 y Pablo 2012) (**Figura II.14**).

En la zona de estudio, los mayores valores se concentran prácticamente asociados a lomeríos alternando con valles, además de presentar fuerte asociación con materiales constituidos básicamente de arenas, conglomerados de diversas fuentes como calizas sub-redondeadas, limolitas estratificadas y algunas unidades de toba andesítica sobre las laderas occidentales.

Cuenca del Río Grande



SIGNOS CONVENCIONALES: LOCALIDADES CON > 500 HAB. LOCALIDADES CON < 500 HAB. RED HIDROGRÁFICA PERENNE INTERMITENTE VÍAS DE COMUNICACIÓN Pavimentada Terracería Edificaciones

PARÁMETROS GEODÉSICOS: Esferoide GRS80 Proyección UTM Datum Horizontal ITRF92 Zona 14 Meridiano Central -99° Meridiano Base Greenwich Cuadrícula geográfica a cada 5 min Cuadrícula UTM a cada 10,000 mts

FUENTES: INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

OBSERVACIONES: El mapa de profundidad de disección de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando como base el conjunto vectorial de INEGI escala 1: 50 000. Éste muestra el grado de encajonamiento erosivo como consecuencia de la actividad morfoclimática y morfotectónica. Para su elaboración se tomó como referencia una unidad de superficie de 2x2 km (4km²). En el proceso de elaboración se emplearon las curvas de nivel a equidistancia de 20 m. De esta manera se calculó para cada unidad, la amplitud entre los valores deprimidos mínimos y los máximos. Se calculó el porcentaje total por rango de profundidad de disección, además de un perfil transversal (NW-SE).

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



ENERGÍA DEL RELIEVE
FIGURA II.12

Sobre las montañas altas, la red queda asociada con litologías de caliza, margas y areniscas, donde la disección es media (1.0 a 2.0 km/km²) sobre todo al NW de San Juan Diuxi, conocido como *Cerro Negro* y *Monte Negro*.

Finalmente, el grado de densidad de disección y socavamiento es menor (0 a 1.0 km/km²), sobre las llanuras fluviales de los ríos Verde y La Labor, en las inmediaciones de Nochixtlán, además de los lomeríos y amplias superficies de planación en el extremo suroriental de la cuenca.

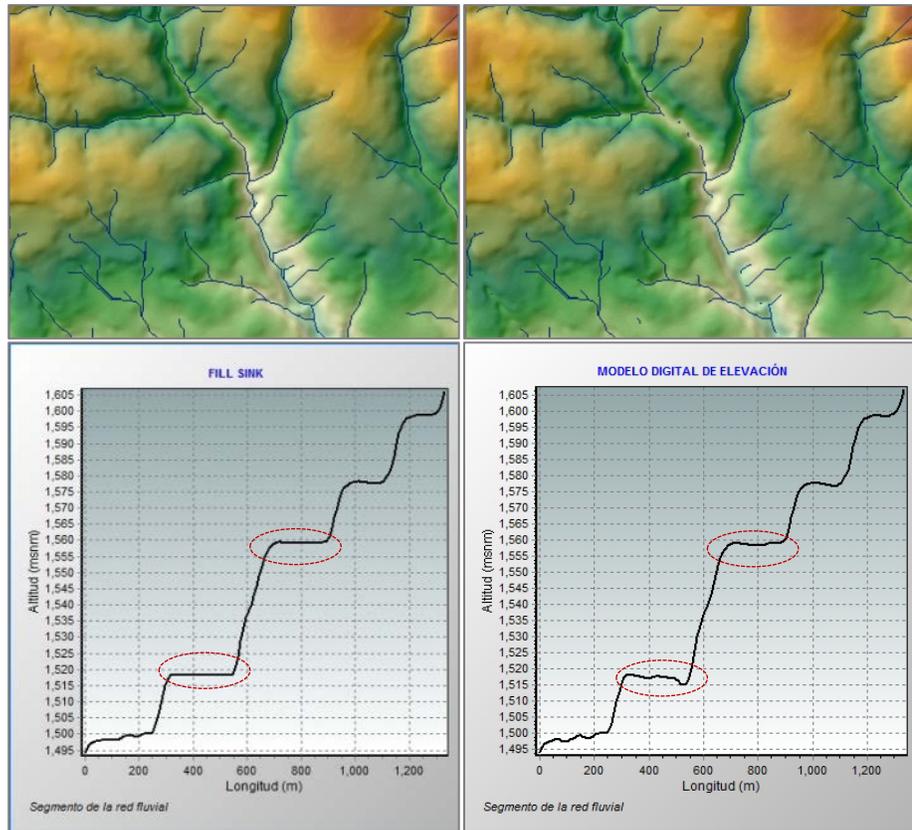


Figura II.13. Red hidrológica interrumpida (derecha) y nivelación por remuestreo del terreno (izquierda). Elaboración propia.

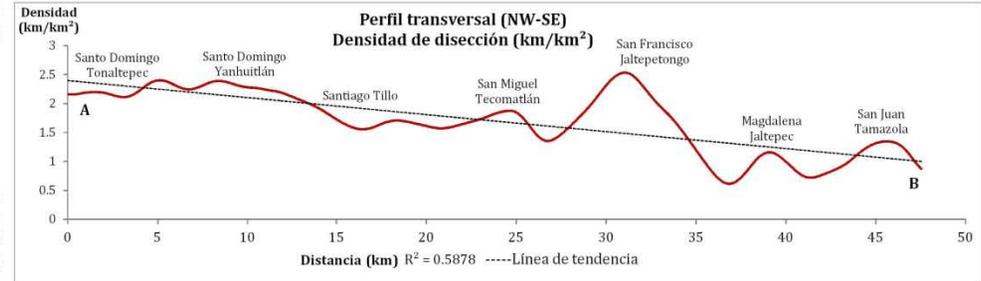
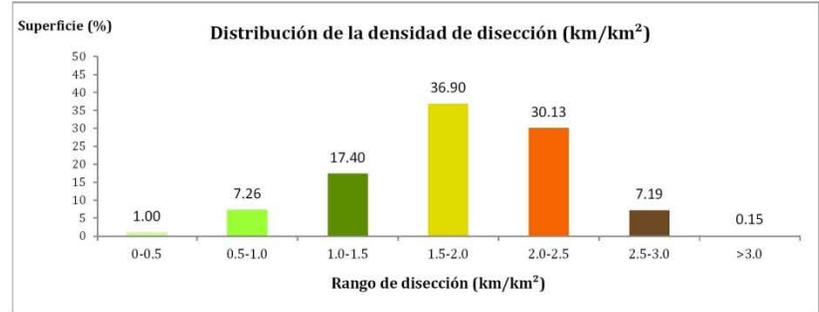
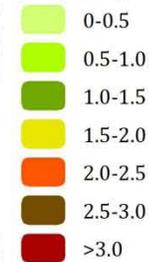


Figura II.14. Clasificación de los valores de un raster de acumulación de flujos. Elaboración propia.

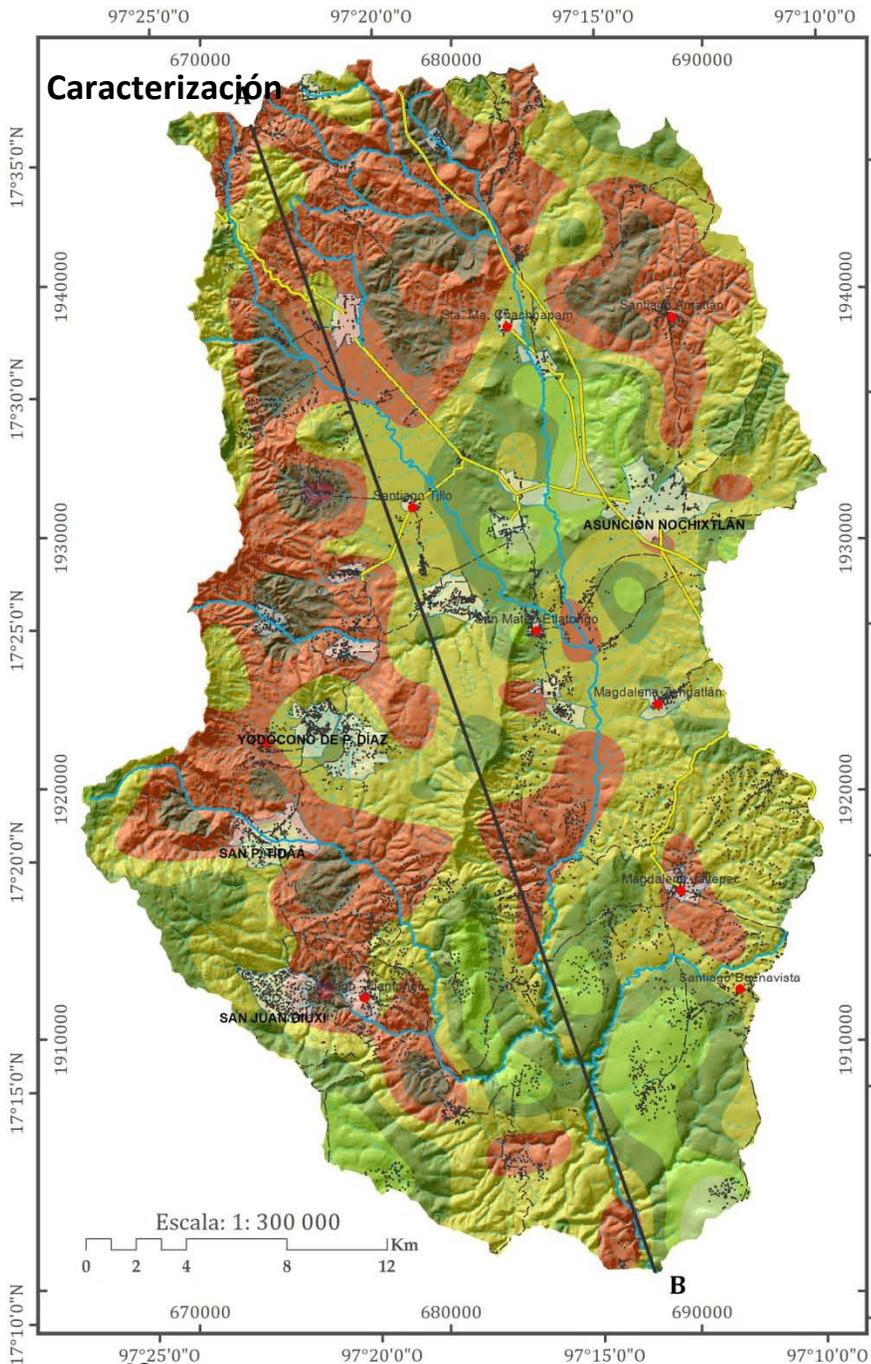
En las llanuras fluvioacumulativas, la pendiente es generalmente inferior a 3° y la red fluvial presenta una distribución concentrada en afluentes importantes, como los ríos Grande, Verde y La Labor, que se fusionan en las inmediaciones de San Mateo Etlatongo, para generar un solo caudal, colector principal que recibe las aguas de la red densificada del norte, noroeste y suroeste de la cuenca (**Figura II.15**).

Cuenca del Río Grande

Densidad de disección (km/km²)



Caracterización



SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ●
- ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN ●
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. ●
- Santiago Tillo ●
- RED HIDROGRÁFICA**
- PERENNE ———
- INTERMITENTE - - - - -
- VÍAS DE COMUNICACIÓN**
- Pavimentada ———
- Terracería - - - - -
- Edificaciones ■■■■
- ÁREA URBANA** □

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide..... GRS80
- Proyección..... UTM
- Datum Horizontal..... ITRF92
- Zona..... 14
- Meridiano Central..... -99°
- Meridiano Base..... Greenwich
- Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
- Cuadrícula UTM..... a cada 10,000 mts

OBSERVACIONES:

El mapa de densidad de disección de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando como base el conjunto vectorial de INEGI escala 1: 50 000. El mapa muestra el grado de influencia litológica, morfotectónica y morfoclimática, sobre la configuración y distribución de la red erosiva.

Para la elaboración se tomó como referencia una unidad de superficie de 2x2 km (4 km²). Se calculó la superficie total por rango de densidad de disección, además de la elaboración de un perfil transversal.

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



DENSIDAD DE DISECCIÓN
FIGURA II.15

II.6 El Clima

El hombre vive sobre la parte sólida de la superficie de la Tierra, pero dentro y en el fondo de un *mar de aire* y, por lo tanto, influyen en su vida las transformaciones que suscitan en el medio gaseoso que le rodea. Entre los diversos elementos de una región, el clima es, sin duda, el más importante para el hombre, esto porque da lugar a variaciones considerables en la potencialidad productiva del territorio. Así, éste se vuelve el eje rector de la geodinámica externa y actividades humanas en el planeta, porque afecta directamente al suelo y a la vegetación, al desarrollo de la red hídrica y posee el potencial para propiciar desde sequías a inundaciones.

Un aspecto sumamente importante es la influencia del clima sobre la configuración del mosaico de estados del tiempo, en lugares determinados de la superficie terrestre. A lo largo de la historia, la dinámica y evolución de las actividades humanas se han visto sumamente influenciada por las condiciones del medio físico, estimulándola o bien mermando su desarrollo.

Elementos como la distribución de temperaturas influyendo, a su vez, en la distribución de formas de vida necesarias para la supervivencia humana, así como generadora de otros elementos como la presión y los vientos, creando centros de baja y alta presión en la atmósfera desencadenando la formación de tormentas y huracanes, capaces de modificar las condiciones del estado del tiempo, benéficas para la agricultura, pero también, creando escenarios de riesgo para la infraestructura humana.

En la actualidad, el clima es un elemento fundamental en el diseño de políticas medioambientales y de desarrollo, como se deduce de las diversas publicaciones y noticias en los medios de comunicación, en donde se parte de los problemas derivados de la degradación medioambiental y se mencionan las causas de la misma. A continuación se analizarán aquellos elementos de mayor expresión en la configuración de los diversos climas de la región.

II.6.1 Temperatura, aspectos regionales

La temperatura superficial del aire es conjuntamente con la precipitación, la variable climatológica más importante por su influencia en todas las actividades del hombre, en la vegetación y fauna, es un elemento principal para el desarrollo de las plantas, ya que la mayor parte de las actividades de éstas depende o está influenciada por varios factores térmicos, por lo que el conocimiento del comportamiento de las plantas ante el calor, el frío y el régimen de temperaturas es fundamental (Ortiz et al, 2006).

El comportamiento de la distribución de la temperatura a nivel mundial, generalmente registra una relación de proporcionalidad inversa hacia la latitud y altitud, de manera que a mayor sean éstas, menor será la temperatura.

La variabilidad de las condiciones de iluminación e insolación se manifiesta en todas las escalas espaciales, pero generalmente es muy pequeña a bajas latitudes y muy grande en las altas, por ejemplo, la isoterma de 21°C rodea al mundo aproximadamente a lo largo del paralelo 20°, mientras que la isoterma de 0°C queda a los 35° Norte en el este de Asia, hasta unos 40° Norte en América del Norte y sube casi a los 70° Norte sobre la costa de Noruega. De esta manera, entran en juego otros elementos que fungan como reguladores climáticos, como las corrientes marinas cálidas y frías, además de la circulación general de vientos en la atmósfera.

II.6.2 Marcha anual de la temperatura

La baja latitud del área de estudio la coloca dentro de la zona intertropical del hemisferio norte, las gráficas de la marcha anual de la temperatura (estaciones Nochixtlán, Yodocono, Tilantongo, Etlatongo y Jaltepec) presentan dos máximos que corresponden al doble paso del sol por el cenit del territorio, el primero se presenta en el mes de abril y el segundo en el mes de mayo.

Las gráficas donde se muestra la marcha anual de los promedios de las temperaturas mínimas, medias y máximas, se realizaron para obtener una relación, y de esta manera establecer el patrón de

Caracterización

comportamiento espacial de la temperatura a lo largo del año. De manera general se puede observar cierto paralelismo entre las tres curvas, esto se debe a que la distribución mensual de la temperatura en la zona es regular, y que las temperaturas más altas se presentan generalmente en el mes de abril, mientras que las bajas ocurren, por lo general, en el mes de enero. Se seleccionó un periodo de 9 años (2000-2008), por presentarse en todas las estaciones de la cuenca sin interrupción de datos (<2000, por lo menos un año), (Figuras II.16 a II.20).

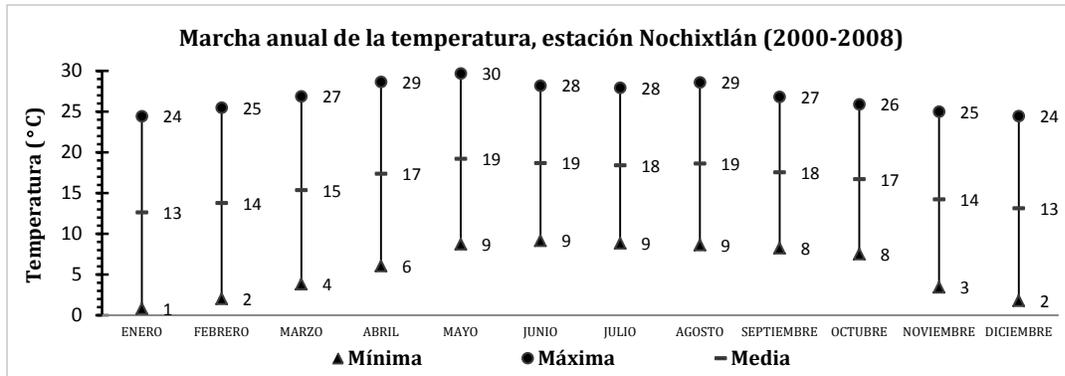


Figura II.16. Temperaturas mensuales de la estación Nochixtlán, (mínima, media y máxima del período 2000-2008).

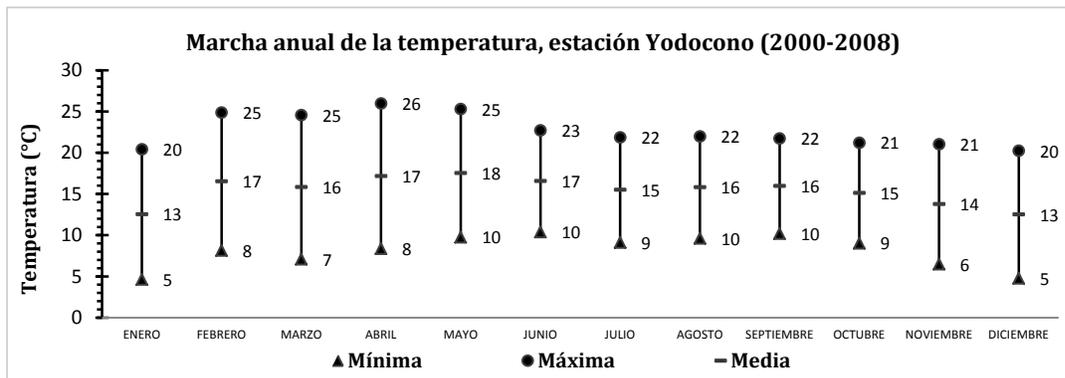


Figura II.17. Temperaturas mensuales de la estación Yodocono, (mínima, media y máxima del período 2000-2008).

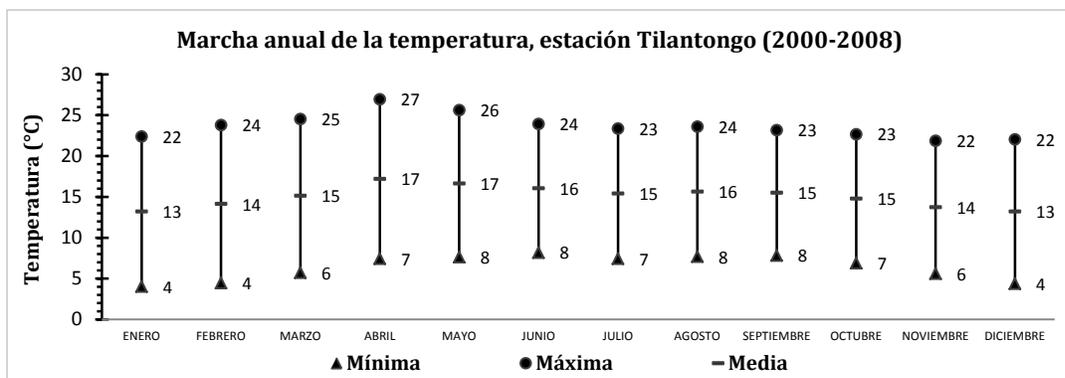


Figura II.18. Temperaturas mensuales de la estación Tilantongo, (mínima, media y máxima del período 2000-2008).

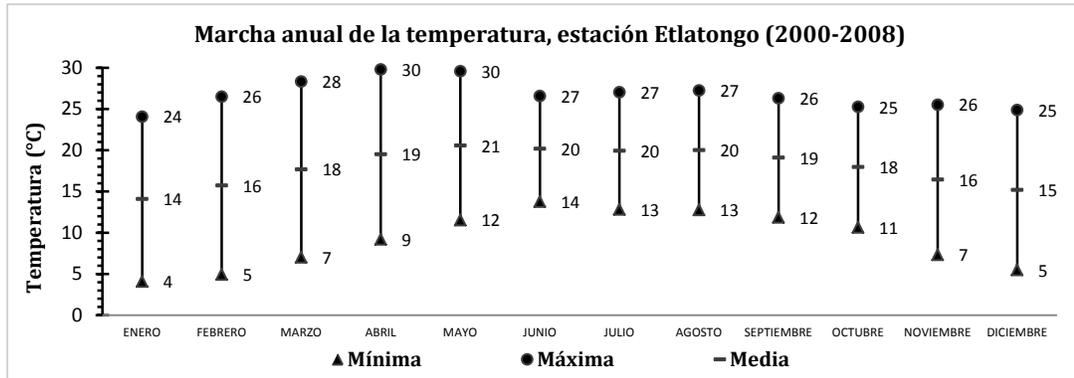


Figura II.19. Temperaturas mensuales de la estación Etlatongo, (mínima, media y máxima del período 2000-2008).

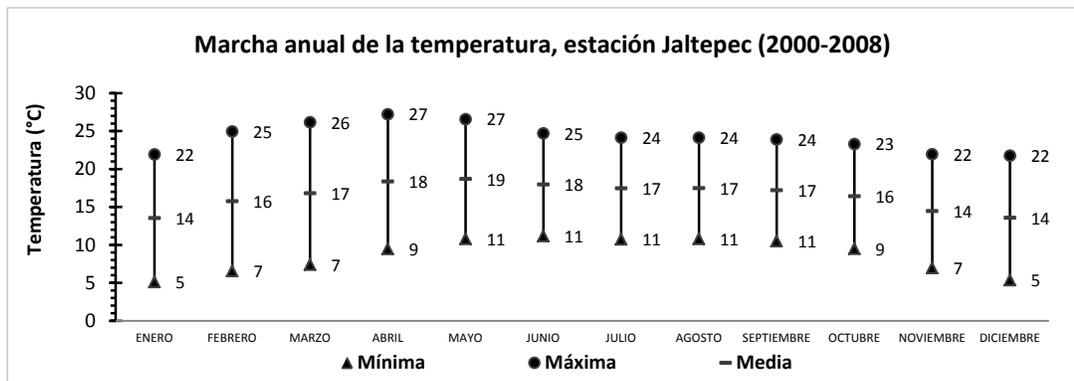


Figura II.20. Temperaturas mensuales de la estación Jaltepec, (mínima, media y máxima del período 2000-2008).

II.6.3 Temperatura media anual

La zona de estudio se extiende sobre 30' de latitud (≈ 55.5 km), razón por la cual éste no es el factor más importante en la distribución de las temperaturas; la altitud tiene mayor influencia. De esta manera, las temperaturas medias anuales decrecen, conforme aumenta la altitud hasta llegar a temperaturas menores o iguales a 12°C en las zonas coronarias de los macizos montañosos, hacia la ladera poniente de la cuenca.

La distribución temporal de las temperaturas en la zona de estudio presenta dos variantes, las mayores que van de marzo a junio, con una máxima de 18.35°C en el mes de mayo, y una mínima de 16.90°C para marzo, y las menores van de noviembre a febrero, con una máxima de 15.02°C para febrero y una mínima de 13.97°C para enero (Figura II.21).

II.6.4 Análisis de correlación (altitud-temperatura)

Para calcular el coeficiente de correlación, primeramente se calcula la media aritmética para el conjunto de datos, que en este caso serían la altitud y la temperatura media anual, una vez hecho esto, se procede a calcular la desviación estándar y el coeficiente de variación; medidas de dispersión que sirven para cuantificar el grado de desviación de cada valor sobre su media aritmética, tendencia (+ / -), y de esta manera inferir si existe alguna correlación entre las variables. Por esta razón, la sumatoria de todas las desviaciones siempre se deberá igualar a cero, que es el punto de partida equivalente a la media.

Caracterización

La determinación de la desviación estándar y el coeficiente de variación en la hoja de cálculo, nos permite observar de manera gráfica la dinámica de las 2 variables, la distribución homogénea o bien heterogénea de éstas (**Figuras II.22, II.23, II.24 y II.25**).

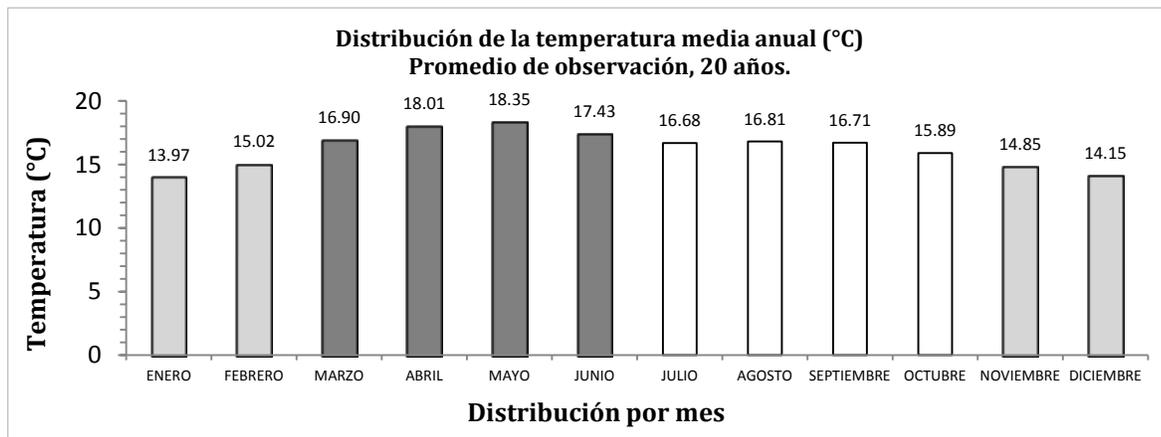
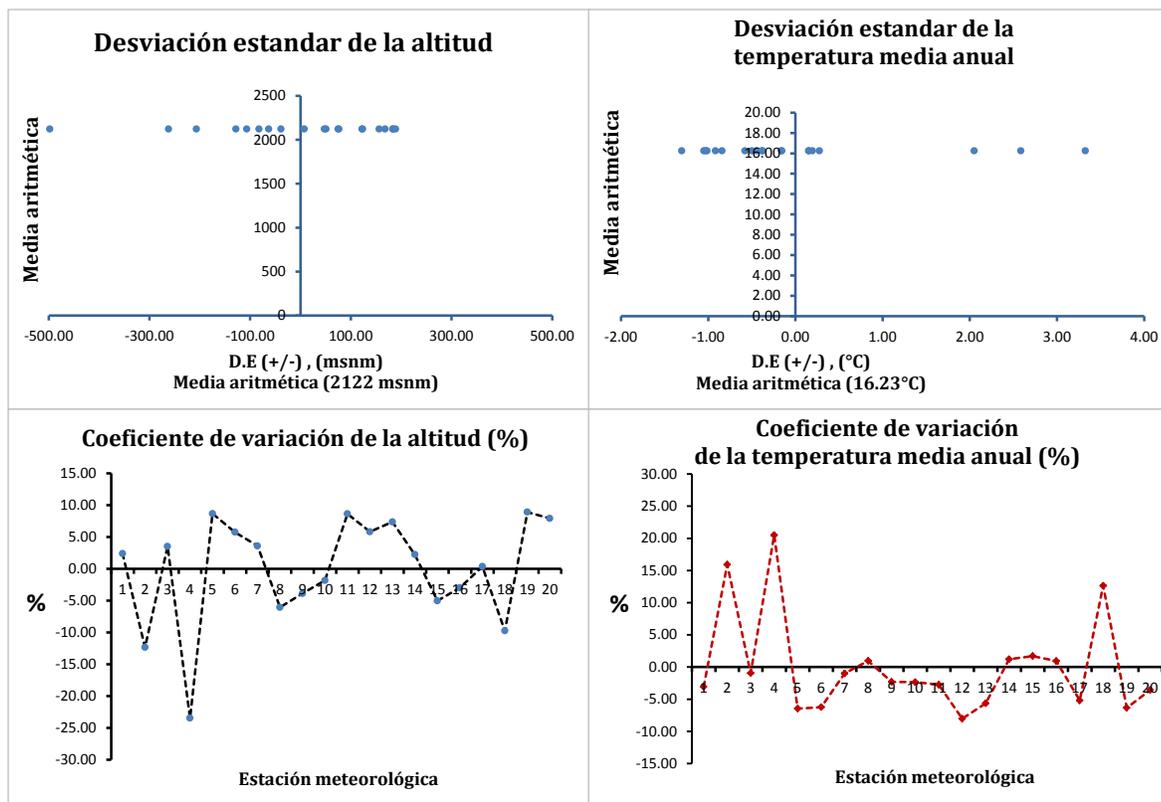


Figura II.21. Distribución de la temperatura media anual en la cuenca del río Grande, Oaxaca. Promedio de observaciones: 20 años (1953 a 2008).



Figuras II.22, II.23, II.24 y II.25. Desviación estándar, coeficiente de variación, y correlación de la altitud y temperatura media anual.

Seguido del análisis gráfico derivado de la desviación estándar y del coeficiente de variación, se observó la tendencia de los valores de temperatura media anual, colocando un modelo digital de elevación (MDE) bajo la nube de puntos con su respectivo valor de temperatura. El objetivo final fue determinar el porcentaje de relación existente entre las 2 variables, utilizando un modelo matemático y representaciones gráficas (**Figura II.26**). De esta manera, se representó la relación entre 2 variables, que permitió estimar una variable en función de la otra, con la ayuda de un procesador de bases de datos y un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para analizar el grado de relación entre dichas variables, se usó el análisis de correlación que se ve representado por el gráfico denominado *diagrama de dispersión*, éste arroja la ecuación de la línea de tendencia en su forma $Y=mx+b$ (pendiente de la recta). El modelo matemático permitió estimar el valor de una variable basado en el valor de la otra (interpolación y extrapolación), a esto se le conoce como análisis de regresión.

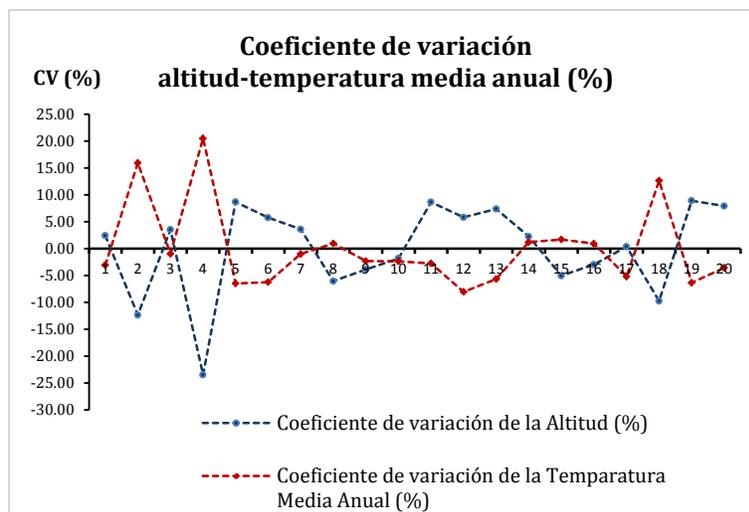


Figura II.26. Análisis de relación entre los coeficientes de variación de la altitud y temperatura media anual.

Además de analizar cómo varía cada una de las variables por separado, se determinó, cómo varían conjuntamente, es decir, cómo *covarian*. Se dice que dos variables están variando conjuntamente, y en el mismo sentido, cuando al crecer o decrecer los valores de una de éstas, también aumentan o disminuyen, los valores de la otra, a esto se le denomina *correlación directa*, o bien, están variando conjuntamente, pero en sentido contrario, cuando al aumentar los valores de una, los de la otra disminuyen o viceversa, es la *correlación inversa* (Spiegel 1976., Fuenlabrada 2007., y Canavos 1998). Para cuantificar la intensidad de la relación lineal entre dos variables, se emplea el *coeficiente de correlación lineal de Pearson R*, cuyo valor oscila entre -1 y $+1$.

El coeficiente **R** de correlación derivado de la relación entre la temperatura media anual y la altitud es >0.5 , quedando definido en 0.90 , razón por la cual éste presenta una correlación positiva fuerte. La recta de mínimos cuadrados presenta una tendencia o correlación inversa, esto se puede entender como una relación dada por la variable independiente que es la altitud sobre la temperatura, así a mayor altitud, menor temperatura y viceversa (**Figura II.27**).

En el mapa de temperatura media anual, puede distinguirse la franja que contiene temperaturas inferiores a 13°C y que corresponde con las partes más elevadas del sistema de macizos de rocas calcáreas y agregados con dirección norte-sur de la cuenca. Como se mencionó anteriormente, existe una relación entre los escalones altitudinales y los ambientes bioclimáticos, pues en este rango de temperaturas llegan a predominar comunidades de bosque de latifoliadas y coníferas en ambientes templados de categoría dos y fríos. Otro rango a destacar es la franja de 16 a 17°C , que cubre prácticamente las 3 llanuras fluviales de los ríos Grande, Verde y La Labor que conforman la zona central de la cuenca y el sistema de valles, lomeríos y mesetas de Etlatongo, Zahuatlán y Jaltepec hacia la porción suroriental de ésta.

Caracterización

Finalmente, se observa una franja con orientación NW-SE de 17-20°C, coincidente con la parte más deprimida del relieve y conformada por el cañón esculpido por el río Culebra, nombre local que se le da al río Grande en el extremo sureste de la cuenca y localizadas por debajo de los 1900 msnm. La vegetación predominante es de selva baja de hoja caduca (**Cuadro II.1 y Figura II.28**).

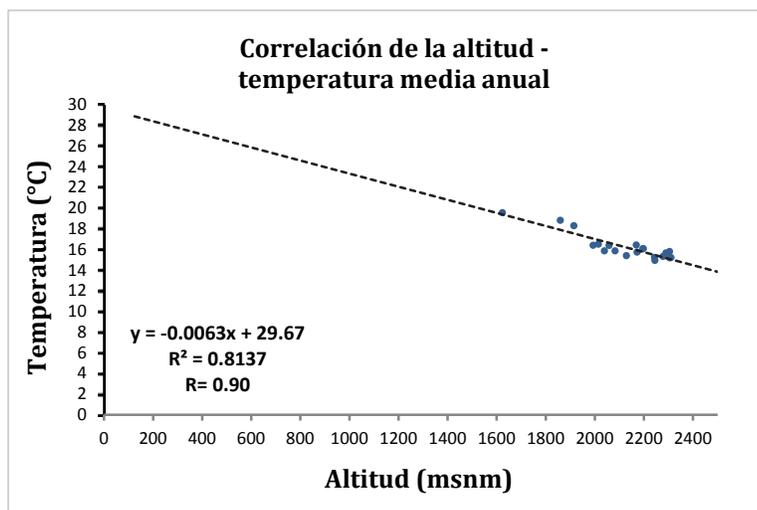


Figura II.27. Diagrama de dispersión lineal (altitud - temperatura media anual).

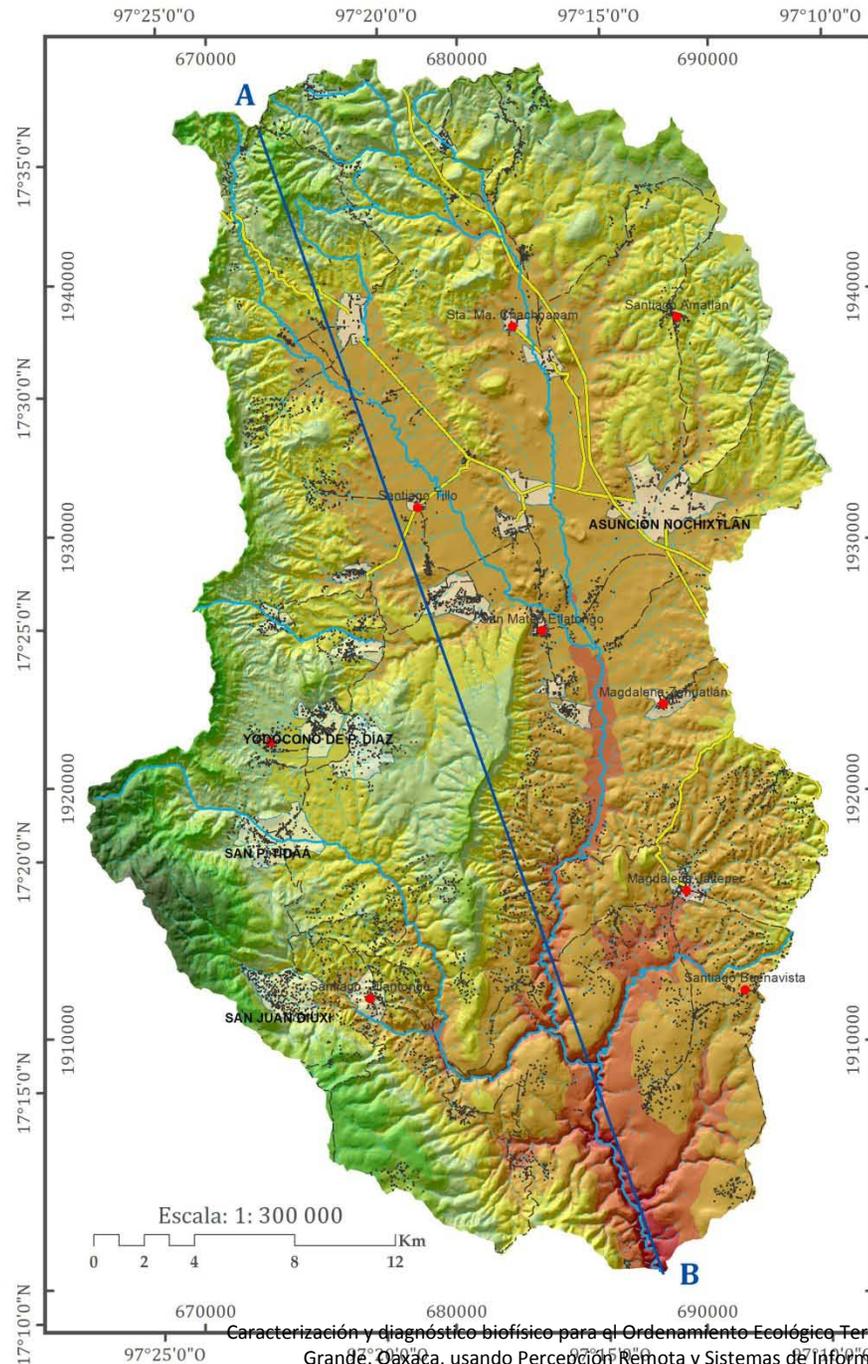
Donde:
-0.0063x= Pendiente de la línea de tendencia.
29.67= Ordenada al origen, cuando X=0.
R² = 0.8137= Coeficiente de determinación.
R = 0.90= Coeficiente de correlación.

Cuadro II.1. Cálculo del coeficiente de correlación entre la altitud y temperatura media anual.

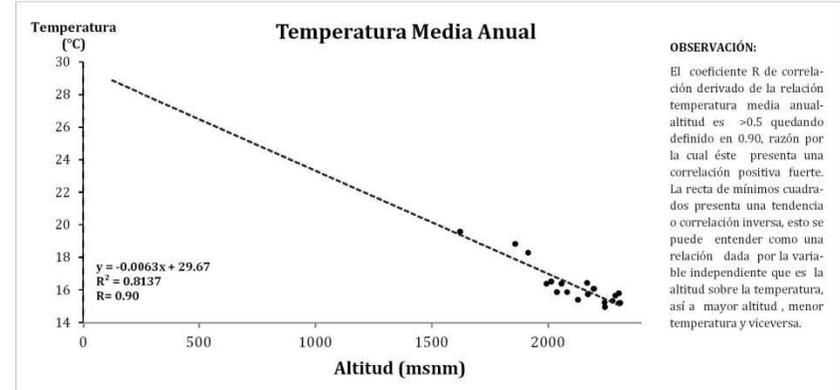
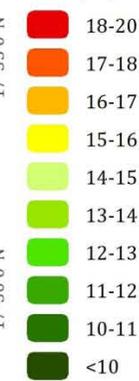
Altitud (en m)	TM (en °)	S Altitud (en m) (X)	S TMA (en °) (Y)	S ² Altitud (en m)	S ² TMA (en °)	S (X ₁ *Y ₁) + (X _n *Y _n)
2173	16	51.02	-0.50	2603.38	0.25	-25.38
1860	19	-261.77	2.59	68523.61	6.69	-676.89
2197	16	74.84	-0.15	5600.47	0.02	-11.56
1624	20	-497.77	3.33	247775.36	11.07	-1655.81
2306	15	184.05	-1.05	33875.54	1.10	-193.03
2244	15	122.27	-1.01	14948.73	1.02	-123.76
2198	16	76.40	-0.16	5837.00	0.03	-12.21
1994	16	-128.26	0.16	16451.23	0.02	-19.91
2040	16	-82.15	-0.37	6749.01	0.14	30.80
2083	16	-38.60	-0.38	1489.64	0.15	14.73
2305	16	183.48	-0.44	33665.93	0.20	-81.64
2246	15	123.66	-1.30	15293.01	1.70	-161.21
2279	15	156.55	-0.92	24507.34	0.84	-143.55
2170	16	47.60	0.20	2266.18	0.04	9.34
2015	17	-106.69	0.28	11382.43	0.08	-29.45
2059	16	-63.01	0.15	3970.00	0.02	-9.60
2130	15	7.73	-0.84	59.72	0.71	-6.50
1915	18	-206.61	2.05	42688.90	4.21	-423.73
2311	15	189.09	-1.03	35756.86	1.06	-194.35
2290	16	168.16	-0.58	28277.55	0.34	-97.35
2122	16	0	0	30086.09	1.48	-190.55
\bar{x}	\bar{y}	\bar{x}	\bar{y}	\bar{x}^2	\bar{y}^2	$\bar{x} \bar{y}$
Altitud	TMA	S, Altitud	S, TMA	S², Altitud	S², TMA	S (x*y)

r = 0.9020
r² = 0.8137

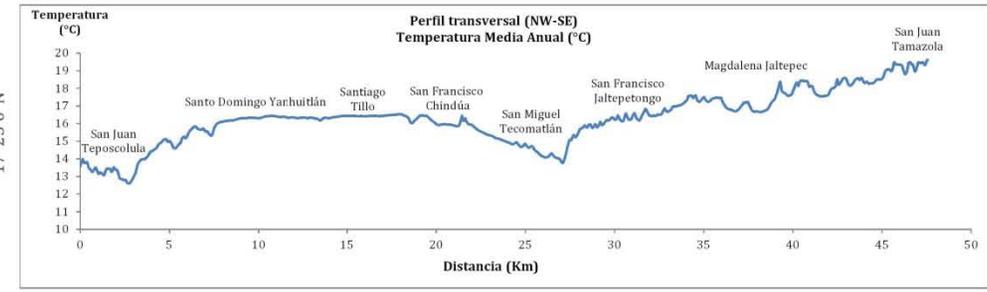
Cuenca del Río Grande



TMA (°C)



OBSERVACIÓN:
 El coeficiente R de correlación derivado de la relación temperatura media anual-altitud es >0.5 quedando definido en 0.90, razón por la cual éste presenta una correlación positiva fuerte. La recta de mínimos cuadrados presenta una tendencia o correlación inversa, esto se puede entender como una relación dada por la variable independiente que es la altitud sobre la temperatura, así a mayor altitud, menor temperatura y viceversa.



SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB.
- ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB.
- Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA
- PERENNE
- INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN
- Pavimentada
- Terracería
- Edificaciones
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide..... GRS80
- Proyección..... UTM
- Datum Horizontal..... ITRF92
- Zona 14
- Meridiano Central..... -99°
- Meridiano Base..... Greenwich
- Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
- Cuadrícula UTM a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

OBSERVACIONES:

El mapa de temperatura media anual de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando la base de datos CLICOM y el conjunto vectorial del INEGI escala 1: 50 000. Ésta sólo cuenta con 5 estaciones climatológicas, razón por la cual se agregaron 15 estaciones distribuidas sobre una distancia media de 20 km al parteaguas. Se calculó el grado de relación entre la variable dependiente que es la altitud y la dependiente o temperatura, posteriormente se elaboró el mapa final con la ecuación de la pendiente obtenida en la línea de tendencia de ambas variables.



11.6.5 Precipitación, aspectos regionales

La precipitación junto con la temperatura, es uno de los elementos más importantes del clima y por consecuencia, del ciclo hidrológico de una región, razón por la cual, resulta de suma importancia su incorporación en estudios de climatología aplicada.

Sobre la región del Golfo de México se extiende la parte sur y vertiente este de la Sierra Madre Oriental, parte de la Llanura Costera del Golfo de México y la vertiente boreal de las montañas del norte de Chiapas, estos sistemas se extienden del paralelo 16° al 23° N, quedando íntegramente dentro de la zona tropical. Hacia el este, la Sierra Madre desciende a la Llanura Costera del Golfo de México, la cual no es continua, pues se halla interrumpida por pequeñas sierras aisladas que actúan como importantes barreras climáticas. Las montañas del norte de Chiapas que bordean por el sur la llanura costera del golfo, no son muy elevadas, ya que no alcanzan los 2000 msnm, sin embargo son muy importantes desde el punto de vista climático, pues, por poseer una orientación perpendicular a la dirección de los vientos dominantes, propician su ascenso orográfico y rápido enfriamiento, lo que se traduce en abundante precipitación. Esta región se ve influenciada por el dominio de los vientos alisios del noreste, que provienen de la celda anticiclónica del atlántico septentrional a los 30° Norte, que al atravesar el océano recogen humedad (Maderey, 1982., y Martínez, 1946).

Durante el verano, con el desplazamiento hacia el norte de dicha celda, los vientos alisios, con una dirección general de noreste a suroeste en superficie, o de oeste a este en las alturas, incrementan su contenido de humedad al recorrer grandes distancias sobre las aguas calientes del Océano Atlántico, posteriormente al encontrarse con las laderas montañosas que se inclinan al Golfo de México, se ven obligados a ascender, se enfrían y depositan en forma de lluvia su abundante humedad (*Ibíd.*).

Las perturbaciones ciclónicas que tienen su origen en el mar de las Antillas y Golfo de México y que son más frecuentes hacia finales del verano y principios de otoño, introducen abundante humedad en la troposfera media, su influencia se pone de manifiesto en el aumento de la cantidad de lluvia de los meses de junio a octubre (*Ibíd.*).

Durante el invierno los nortes que se originan por el desplazamiento hacia el sur de masas de aire procedentes de Canadá y E.U.A, al pasar sobre las aguas relativamente cálidas del Golfo de México se cargan de humedad y modifican sus condiciones térmicas, al llegar a la región producen precipitaciones que son más abundantes sobre las laderas orientales de las sierras.

La precipitación aumenta localmente por la presencia de montañas, de manera que hay grandes contrastes en la cantidad de lluvia entre pendientes de diferente orientación, además de considerar el efecto de barrera que impide el avance de la precipitación y descarga sobre sus laderas. Otro ejemplo, es que la precipitación es menor durante el invierno a diferencia del verano, sin embargo, las áreas mejor expuestas a los nortes presentan abundantes precipitaciones, (Maderey, 1982 y Hernández, 2008).

Durante el verano la región de la cuenca del río Balsas y valles de Oaxaca se ven influenciados por los vientos alisios del hemisferio norte, que descargan su humedad en las laderas exteriores de la Sierra Madre Oriental, sierras del norte de Chiapas y Eje Neovolcánico, para finalmente llegar como vientos secos descendentes al sistema de sierras y valles de Oaxaca, sin embargo, en la época de verano, cuando éstos son más intensos y profundos aportan precipitación asociada, especialmente con las ondas del este (Hernández, 2008).

Esta precipitación de verano y parte del otoño se incrementa por la presencia de los ciclones tropicales del pacífico, cuya humedad penetra por el sur, asociada por el efecto de los vientos monzónicos producidos por la elevada temperatura de la altiplanicie y cuenca del Balsas (centros de baja presión), así como, por el avance de la zona de convergencia, que se desplaza hasta 20° Norte (*Ibíd.*).

La Sierra Madre del Sur al quedar interrumpida en la desembocadura del río Balsas, facilita la entrada de los sistemas de vientos húmedos provenientes del Océano Pacífico, por esta razón las laderas meridionales del Eje Neovolcánico y las occidentales de la Mixteca presentan mayor precipitación (*Ibíd.*).

En parte, la precipitación sobre las cuencas interiores del sur, como la depresión central de Chiapas, la cuenca del Balsas y las cuencas altas de los ríos Verde, Mixteco y Papaloapan, se debe también a la presencia de precipitación de carácter convectivo, en donde la radiación solar va calentando la superficie durante el día tomando la humedad disponible para formar columnas de aire caliente, que comienzan a ascender, produciendo un rápido enfriamiento y condensación en capas altas de la atmósfera, formando nubes verticales, principalmente cúmulos-cumulonimbos.

II.6.6 Precipitación media anual

La variabilidad de las precipitaciones en la zona de estudio es tanto espacial como temporal, está relacionada con la dinámica general de la atmósfera, de la que depende el régimen pluviométrico anual y las oscilaciones interanuales, que junto con la topografía y el relieve introducen desequilibrios marcados en la distribución espacial de las precipitaciones (Ortiz et al, 2006).

La distribución temporal de las precipitaciones en la zona de estudio presenta dos variantes. El régimen de lluvias en verano marcado por los meses de junio a septiembre con un máximo de 143 mm para junio y una mínima de 110.5 para julio, y el régimen de lluvias en invierno, marcado por los meses de diciembre a marzo con un máximo de 12.5 para marzo y una mínima de 4 mm para enero (**Figura II.29**).

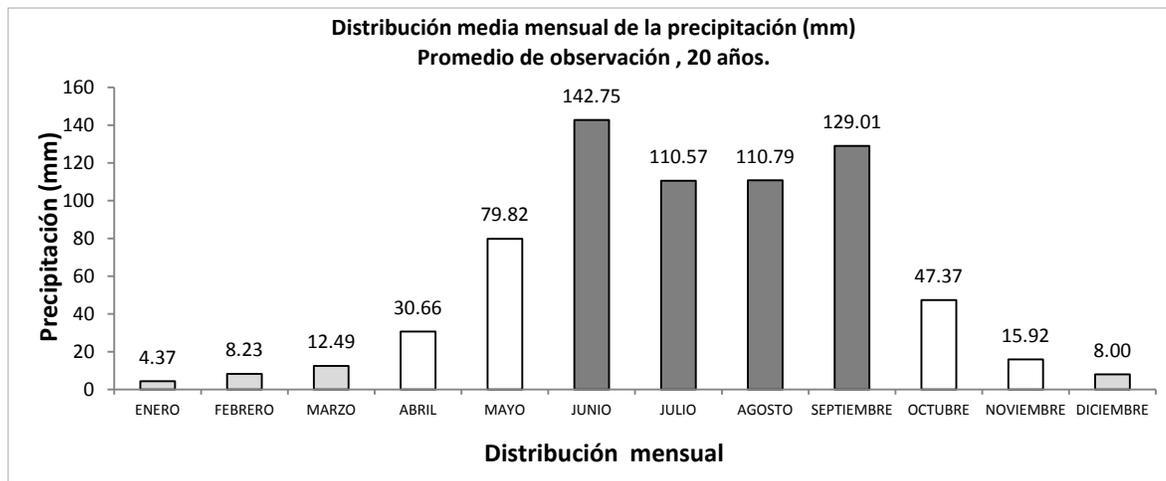
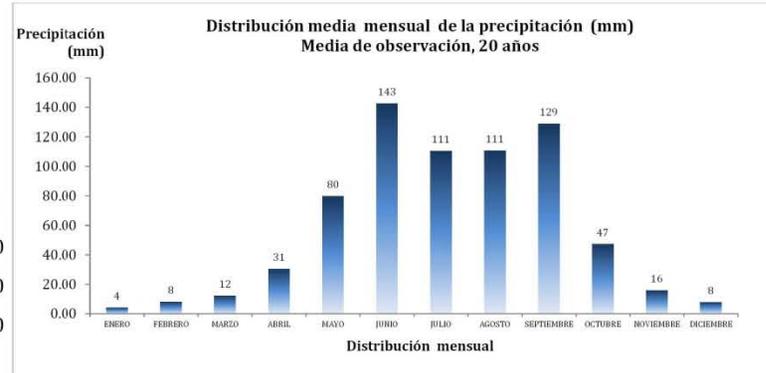
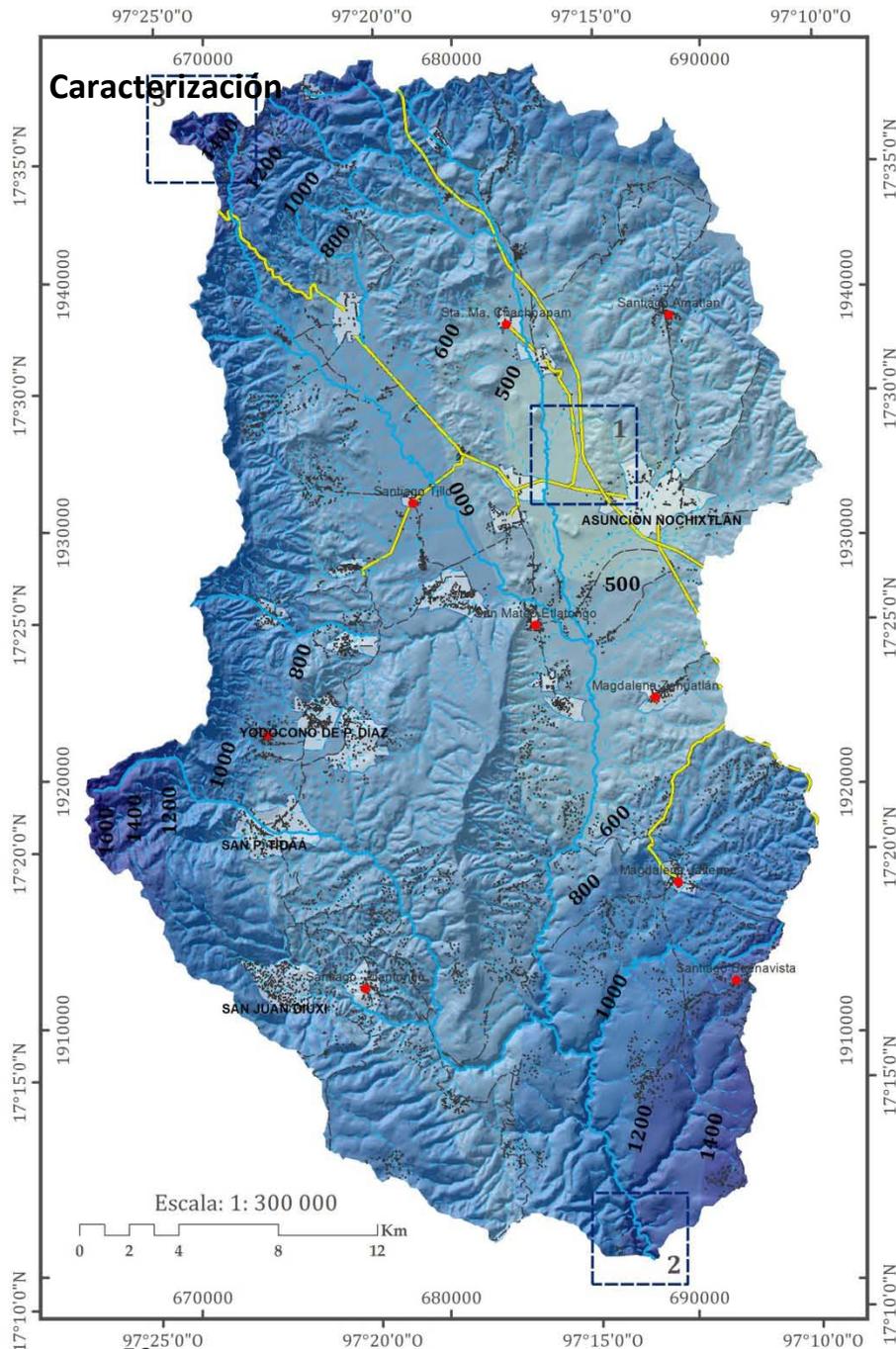


Figura II.29. Distribución de la precipitación media anual en la cuenca del río Grande, Oaxaca. Promedio de observaciones: 20 años (1953 al 2008).

Dos de los factores medulares en el control de la variabilidad espacial de la precipitación a escala regional, son la dirección de los vientos y la orografía, denominándose conjuntamente como *efecto de barrera orográfica*. En la cuenca del río Grande, este fenómeno correlaciona los efectos de los sistemas de vientos provenientes del atlántico y pacífico, con la humedad que se va descargando en las partes más elevadas del barlovento de la cuenca.

En la **Figura II.30**, de distribución anual de la precipitación en la cuenca del río Grande, se observa una relación atribuida mayormente al factor orográfico, mas no completamente dominante. Éste se realizó utilizando una interpolación de los valores pluviométricos, para posteriormente ajustar la curvatura, empleando capas de comunidades de latifoliadas y coníferas. El modelo digital de elevación se empleó principalmente para delimitar los rangos más elevados de precipitación por la correlación que existe entre la vegetación, la elevación y mínimo de lluvia requerida para tal distribución.

Cuenca del Río Grande



PMA (mm)

- <500
- 500-600
- 600-800
- 800-1000
- 1000-1200
- 1200-1400
- 1400-1600
- >1600



1 En las inmediaciones, de Nochixtlán, Oaxaca.



2 Cañon del río del Pedimento San Juan Tamazola, Oaxaca.



3 San Miguel Marcos Pérez, Teposcolula, Oaxaca.

SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA PERENNE
- INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN Pavimentada
- Terracería
- Edificaciones
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Eferoide-----GRS80
- Proyección-----UTM
- Datum Horizontal-----ITRF92
- Zona-----14
- Meridiano Central-----99°
- Meridiano Base-----Greenwich
- Cuadrícula geográfica-----a cada 5 min
- Cuadrícula UTM-----a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000 000 / 1: 250 000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50 000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

OBSERVACIONES:

El mapa de precipitación media anual de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando la base de datos CLICOM y el conjunto vectorial del INEGI escala 1: 50 000. El mapa muestra la distribución de la precipitación media anual, tomando como base 20 años de observaciones. El mapa final se realizó utilizando una interpolación de los valores pluviométricos para posteriormente ajustar la curvatura en zonas con ausencia de estaciones, empleando capas de vegetación (bosque de encino y mixto) y el modelo digital de elevación, por la correlación directa que existe entre estas 3 (precipitación, altitud y vegetación).

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL
FIGURA II.30

II.6.7 Tipos climáticos

En cuanto a las condiciones del clima, de acuerdo con el sistema modificado por Enriqueta García (1964), la zona de estudio presenta 4 tipos climáticos.

El primero corresponde a la unidad de clima cálido, donde se manifiestan los elementos meteorológicos (temperatura y precipitación), a través de un determinado número de años, esta unidad se define por el valor de la temperatura media del mes más frío, que es mayor de 18°C, la clave del grupo de esta unidad es **A(C)** que corresponde al **semicálido** con una temperatura media anual entre 18 y 22°C.

La siguiente clave conformada por la letra **(w)**, corresponde al subtipo climático, que es el **subhúmedo**, junto a éste se localiza el subíndice que denota el grado de humedad (_{0,1,2}) que en este caso es ₂ para indicar al **más húmedo de los subhúmedos**. Finalmente viene el régimen de lluvias, que en este caso es **(w)** que corresponde al **régimen de precipitación de verano** (Maderey 1982., INEGI 2000). La clave final del tipo climático queda:

A(C) w₂ (w) = Clima semicálido, presenta al más húmedo de los subhúmedos con un régimen de precipitación de verano. Este clima se localiza principalmente en la saliente sur de la cuenca del río Grande, abarcando gran parte de la microcuenca El Venado.

El siguiente tipo climático viene dado por la clave **BS**, que corresponde al menos seco de los secos, es decir al **seco estepario**; posteriormente viene el índice de sequía ₁ para indicar al **semiseco**, después viene la clave de condición de temperatura, tomando en consideración las temperaturas media anual, del mes más frío y más cálido, denotada por la **(k)**, para indicar al **templado con verano cálido**. Posteriormente, viene la clave de régimen de lluvia para indicar la época del año, en que se concentran las precipitaciones, que en este caso es **(w)**, correspondiente al **régimen de precipitación de verano** (junio a septiembre) y, finalmente, viene la clave de porcentaje de lluvia invernal con respecto a la media anual, identificado por la **(w)**, para indicar **<5%** (Ibíd.). La clave final del tipo climático queda:

BS₁ Kw (w) = Clima seco estepario, semiseco, con régimen de temperatura templado, pero con verano cálido, régimen de lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal <5%. Este tipo climático se localiza básicamente en la porción septentrional de la cuenca, cargándose hacia el este sobre las inmediaciones de Nochixtlán.

La unidad **C** corresponde al **templado**, con temperatura media anual entre 12 y 18°C. La siguiente **w**, corresponde al subtipo climático **subhúmedo**, junto a éste se localiza el subíndice que denota el grado de humedad _{0,1,2}, que presenta el subtipo climático; para la zona de estudio existen 3 composiciones del templado subhúmedo, éstas se distribuyen con una dirección noreste-suroeste, desde Santa María Chachoapam, con índice ₀ que corresponde al templado subhúmedo con **el menos húmedo de los subhúmedos** hasta la franja montañosa que comparten los municipios de Magdalena Yodocono, San Pedro Tidaa y San Juan Diuxi con índice ₂ para indicar al **más húmedo de los subhúmedos**. Posteriormente, viene el régimen de lluvias **(w)**, para indicar que corresponde al **régimen de precipitación de verano**. (Ibíd.). La clave final del tipo climático queda:

C (W_{0,1,2}) (W) = Clima templado, (subhúmedo con el índice menor, medio o alto de humedad) con un régimen de precipitación de verano.

Finalmente, se presenta en el área de estudio el tipo climático **C(E)**, que corresponde al clima **templado semifrío**, caracterizado por presentar una temperatura media anual entre 5 y 12°C, le sigue una **(w)**, para aclarar que corresponde al subtipo **subhúmedo**, junto a éste aparece el índice para especificar el grado de humedad ₂ que corresponde al **más húmedo de los subhúmedos**. Finalmente, aparece el régimen de lluvia **(w)** que corresponde al verano, (Ibíd.).

Caracterización

La clave climática queda:

C(E) (w₂) (w)= Clima templado semifrío, subhúmedo, presenta al más húmedo de los húmedos, con régimen de lluvias en verano. Este tipo climático se distribuye en la porción suroccidental de la zona de estudio, abarcando parte de los municipios de San Juan Diuxi y San Pedro Tidaá, en las partes altas del Cerro Negro (**Figura II.31**).

II.7 El Agua

El área de estudio ocupa un territorio de 977 km² (97,700 ha), con 25 municipios contenidos o bien que intersectan el área; la superficie de éstos oscila entre 10 y 150 km², presentando una media de 30 km². La cuenca del río Grande se localiza al norte, dentro del colector principal de la subcuenca Sordo Peñoles, drenada por el río Grande y ésta, a su vez, dentro del colector principal de la cuenca Atoyac-B, drenada por el río Verde o Atoyac (SRH, CONAGUA, 1975). De acuerdo con la división de cuencas hidrográficas de la República Mexicana, elaborada por la Comisión Nacional del Agua, esta zona pertenece a la región hidrológica ⁷ 20 Costa Chica-Río Verde, (**Figura II.32**).

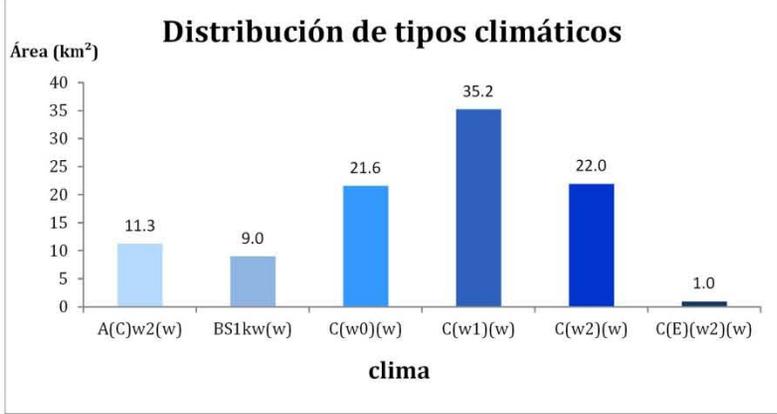
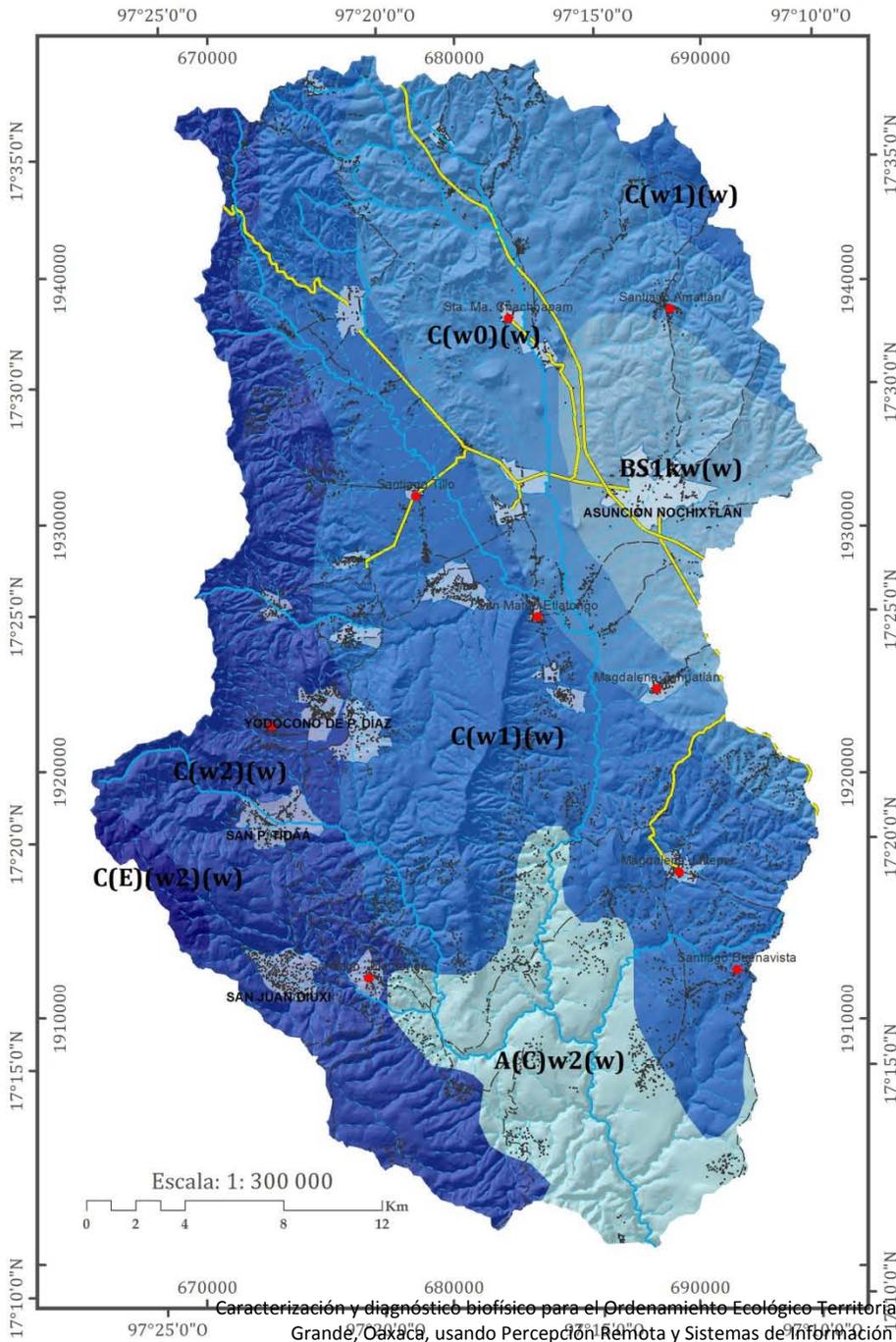


Figura II.32. Región hidrológica 20, Costa Chica-Río Verde. Elaboración propia.

Los climas presentes en la cuenca, van del seco estepario con régimen de temperaturas templado y precipitaciones en verano, al templado semifrío, húmedo y régimen de precipitaciones de verano; la temperatura media anual va de 16 a 20°C en la zona meridional, en la salida de la cuenca, a menos de 13°C en la zona montañosa; la precipitación media anual es menor a 500 mm en las inmediaciones de Nochixtlán a más de 1200 mm en la sierra occidental, conformada por el Cerro Negro, al noroeste del municipio de San Juan Diuxi, estas lluvias presentan un régimen de distribución temporal que coincide principalmente con el verano (junio a septiembre), provocado la formación de colectores de primer y segundo orden que descienden sobre la sierra para formar la red densificada (**Figura II.33**).

⁷ **Región Hidrológica:** Área territorial conformada en función de sus características orográficas e hidrológicas, con el fin de agrupar la información hidrológica y de calidad del agua. Los límites regionales no coinciden con los estatales ni municipales. La República Mexicana está dividida en 37 Regiones hidrológicas (CNA, 2004).

Cuenca del Río Grande



- #### TIPOS CLIMÁTICOS
- A(C)w2(w)
 - BS1kw(w)
 - C(w0)(w)
 - C(w1)(w)
 - C(w2)(w)
 - C(E)(w2)(w)

Clima	Clave del grupo	Régimen de temperatura	Subtipo climático	Grado de humedad	Régimen de lluvias
A(C) w2 w	A(C) = Semicálido	18 a 22°C	(w) = Subhúmedo	2° El más húmedo de los subhúmedos	(w) = Precipitación de verano.
BS 1 Kw (w)	BS= Seco estepario	(k) = <18°C	Frío	1° Semiseco	
C (W 0) (W)	C= Templado	12 a 18°C.	(w) = Subhúmedo	0° El menos húmedo de los húmedos.	
C (W 1) (W)				1° Húmedo	
C (W 2) (W)				2° El más húmedo de los subhúmedos	
C(E) (w2) (w)	C(E) = Templado semifrío	5 a 12°C		2° El más húmedo de los subhúmedos	

SIGNOS CONVENCIONALES: LOCALIDADES CON > 500 HAB. ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN LOCALIDADES CON < 500 HAB. Santiago Tillo

RED HIDROGRÁFICA
 PERENNE
 INTERMITENTE

VÍAS DE COMUNICACIÓN
 Pavimentada
 Terracería

Edificaciones
ÁREA URBANA

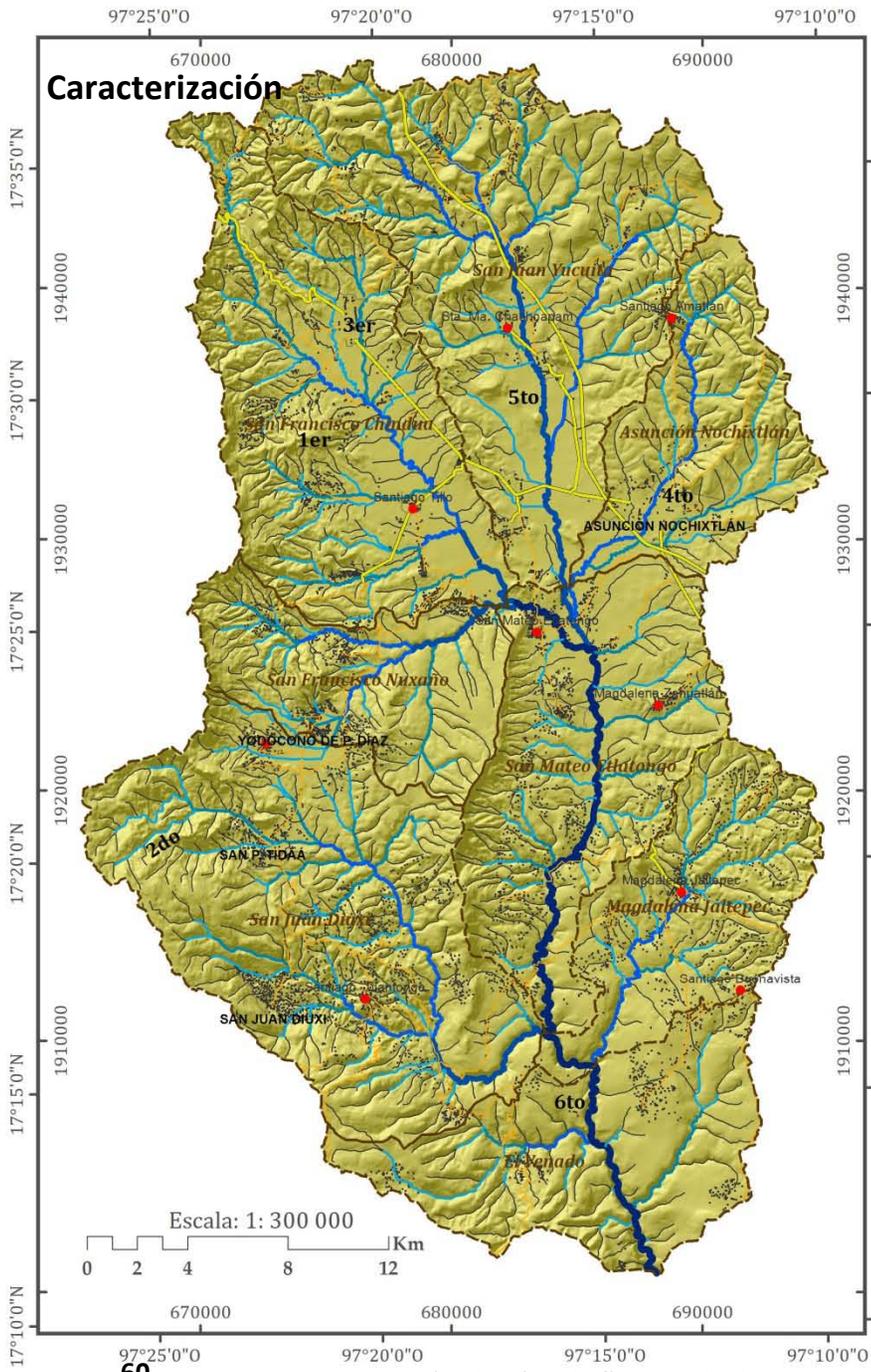
PARÁMETROS GEODÉSICOS:
 Esferoide..... GRS80
 Proyección..... UTM
 Datum Horizontal..... ITRF92
 Zona 14
 Meridiano Central..... -99°
 Meridiano Base..... Greenwich
 Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
 Cuadrícula UTM a cada 10,000 mts

FUENTES:
 INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000 000 / 1: 250 000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50 000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

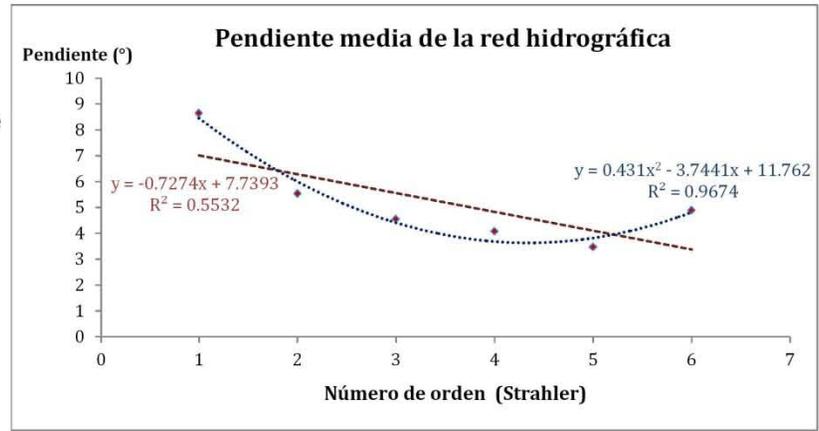
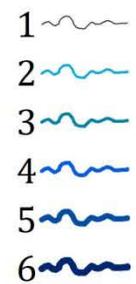
OBSERVACIONES:
 El mapa de tipos climáticos de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando como base el conjunto vectorial de unidades climáticas del INEGI escala 1: 1 000 000.
 El mapa es el resultado de la conjugación de las diversas propiedades físicas de la atmósfera que definen el clima de diferentes zonas de la superficie terrestre.
 Elementos climáticos:
Termodinámicos: Temperatura, presión y vientos atmosféricos.
Acuosos: Humedad, nubosidad y precipitación.

Cuenca del Río Grande



Caracterización

Ordenes de corriente



Se obtuvo la pendiente media de la red hidrográfica categorizada previamente en los 6 órdenes de acuerdo con la clasificación de Strahler (1952).

En el gráfico se observan 2 tendencias, la primera es una relación lineal que logra condensar la relación inversa que existe entre el incremento en el número de orden de corriente y el descenso de la pendiente media hasta el quinto orden, que corresponde a 3.47°. Posteriormente ésta se vuelve a elevar (4.88°), como resultado del elevado grado de encajonamiento erosivo en la parte sur de la cuenca, constituyendo el cañón del río Grande, cuestión que es explicada por una relación polinómica de segundo orden

SIGNOS CONVENCIONALES: PARÁMETROS GEODÉSICOS: OBSERVACIONES:

LOCALIDADES CON > 500 HAB.	Esferoide.....	GRS80	El mapa de clasificación de órdenes de corriente de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando como base la cartografía vectorial del INEGI, escala 1:50 000.
ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN	Proyección.....	UTM	
LOCALIDADES CON < 500 HAB.	Datum Horizontal.....	-ITRF92	Se utilizó la capa de corrientes creada anteriormente a partir de un modelo digital de elevación con resolución de 10 m y posteriormente se definieron los órdenes de acuerdo al sistema de clasificación de Strahler (1952).
Santiago Tillo	Zona.....	14	
RED HIDROGRÁFICA	Meridiano Central.....	-99°	Para mostrar la relación entre la distribución del número de orden y las pendientes, éstas se confrontaron mediante un análisis de correlación lineal y polinómica.
Microcuencas	Meridiano Base.....	Greenwich	
VÍAS DE COMUNICACIÓN	Cuadrícula geográfica.....	a cada 5 min	
Pavimentada	Cuadrícula UTM.....	a cada 10,000 mts	
Terracería			
Edificaciones			
ÁREA URBANA			

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



ÓRDENES DE CORRIENTE
FIGURA II.33

II.7.1 Estimación de la erosión hídrica

Las investigaciones sobre la erosión del suelo y su efecto en la productividad agrícola se inició en 1930. Durante 1940 y 1956, los investigadores comenzaron a desarrollar un procedimiento cuantitativo para estimar la pérdida de suelo en un cinturón de maíz en los Estados Unidos. Varios factores fueron introducidos a una primera ecuación, en la cual la pendiente y las prácticas culturales fueron consideradas. De los resultados, se reconoció que dicha ecuación podría tener un gran valor en la planificación agrícola y posteriormente, adaptarla a otras regiones (Ouyang, 2002).

Basados en los datos recopilados por el Centro Nacional de Datos de Escorrentía y Pérdida de Suelos (CNDEPS), Wischmeier, Smith y otros investigadores desarrollaron la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS o USLE), misma que fue publicada en 1965 (*Ibíd*).

Posteriormente con nuevos recursos, datos y experimentos, se llegó al desarrollo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (EUPSR o RUSLE) con la misma fórmula de la USLE, pero incluidas varias mejoras para determinar los factores. Éstas incluyen la revisión de los mapas de isoerosividad de los EEUU, una solución que toma en cuenta el factor tiempo para determinar el factor de erodabilidad de los suelos y un subfactor para evaluar los factores de manejo de la cobertura, una nueva ecuación de longitud de la pendiente, su inclinación y nuevos factores de prácticas de conservación; ésta última revisión fue publicada por el USDA en 1997 (*Ibíd*).

La ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A = Pérdida estimada promedio de suelo en Ton/ha/año

R = índice de erosividad asociado a la lluvia

K = Factor de erodabilidad del suelo

L = Factor de longitud de la pendiente

S = Factor de inclinación de la pendiente

C = Factor de cobertura del suelo

P = Factor de las prácticas de control de la erosión.

II.7.1.1 Factor R

Es el factor que mide la fuerza erosiva de las lluvias, es decir la suma de los valores promedio anual en un año normal de lluvia. De esta manera, las pérdidas debidas a la lluvia son directamente proporcionales al producto de la energía cinética total de la tormenta (E), por la máxima intensidad de la lluvia con 30 minutos de duración (I) y está en función de las características físicas de las mismas como: intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas (Ramírez, 2010; c.p Uribe, 2012).

En el caso de México, Cortés (1991; c.p Uribe, 2012)) regionalizó las estaciones del país a fin de caracterizar áreas sujetas a condiciones similares de lluvia, obteniendo 14 regiones; de las que generó mediante un análisis de regresión, ecuaciones que permiten estimar el factor R en función de la lluvia (*Ibíd*), (**Figura II.34**).

En este sentido, se utilizó la capa de precipitación anual, obtenida de la página "WorldClim - Global Climate Data" a 1 km² de resolución, posteriormente se convirtió a un archivo de puntos e interpoló para generar el mapa de precipitación anual (~ 1950-2000), a 10 m de resolución. El cálculo del factor R, se generó a partir de la ecuación de regresión para la región V que contiene a la zona de estudio:

Caracterización

$$Y = 3.48801 X - 0.000188 X^2 \quad R^2 = 0.94$$

Donde:

Y= Factor R

X= Precipitación anual

R²= Coeficiente de determinación (calidad predictiva del modelo).



Figura II.34: Regionalización de la intensidad de la lluvia en México y las 14 ecuaciones de regresión. Fuente Cortés, 1991.

II.7.1.2 El Factor K

Es el factor de erodabilidad que representa tanto la susceptibilidad del suelo a la erosión como la tasa de escorrentía y su valor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad (Figueroa, 1991; c.p Uribe, 2012). El factor K se puede calcular a partir de la ecuación de regresión de Wischmeier donde pone en relación al factor K con diversas propiedades del suelo como la textura, estructura, permeabilidad, presencia de materia orgánica y profundidad. Otra manera de estimar el parámetro es por medio de un nomograma de erodabilidad en donde Wischmeier pone en relación de forma gráfica los valores de K con las propiedades anteriormente dichas. Además de estos, existen tablas donde se presentan los valores estimados de K teniendo en cuenta la naturaleza de las litofacies o tipo de suelo (Dumas, 2012).

En esta investigación se estimó K a partir de la textura superficial y la unidad de suelo a que pertenece según la clasificación FAO y la clasificación de litofacies según Velázquez (2008), (Cuadro II.2). De una validación visual, se concluyó que el método de estimación por tipo de suelo y textura parece subestimar los resultados (según el mapa de erosión potencial para México, SEMARNAT-UACH, 2003) ya que la mayor parte de las zonas fuertemente erosionadas, las clasifica como ligera a moderada

(5 a 10 y 11 a 50 ton/ha/año respectivamente), a diferencia de las litofacies en donde se establece un método de asignación de valores de manera gradativa (de la tipología litológica +/- susceptible a erodarse), donde las clasifica como moderada a alta (11 a 50 y 51 a 200 ton/ha/año respectivamente), razón por la cual se escogió este último para la elaboración del mapa final de erosión (**Figura II.35**).

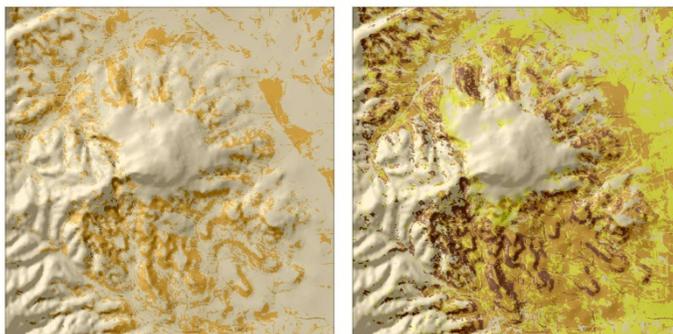


Figura II.35. RUSLE empleando K con unidades de suelo (izquierda) y RUSLE empleando K con litología (derecha).

Cuadro II.2. Factor K para el tipo de suelo y litología. Fuente: Ramírez, 2010; Figueroa, 1991., c.p Uribe, 2012.

Tipos de rocas formadores del substrato superficial o litofacies	K mínimo	K máximo	K medio	factor K medio (SI)	Unidad	Diagnóstico	Textura	K
Rocas correspondientes al estrato cristalino (granito, gneis, etc) y rocas basálticas.	0.050	0.150	0.125	0.01646	Feozem	Háplico	Fina	0.00700
Rocas silíceas compactas (metamórficas, areniscas duras, cuarcitas etc).	0.100	0.250	0.225	0.02963	Litosol		Media	0.02000
Rocas sedimentarias bien consolidadas (calizas duras, dolomías, calcarenitas, etc.).	0.200	0.400	0.400	0.05268	Luvisol	Vértico	Fina	0.02600
Rocas sedimentarias blandas (margas, yesos, formaciones flysh, calizas poco consolidadas, areniscas disgregables etc.).	0.400	0.600	0.700	0.09219	Luvisol	Crómico	Fina	0.01300
Rocas cuaternarias (depósitos recientes).	0.400	1.000	0.900	0.11853	Luvisol	Crómico	Media	0.04000
					Regosol	Eútrico	Media	0.04000
					Rendzina		Fina	0.00700
					Vertisol	Crómico	Fina	0.02600

II.7.1.3 Factores LS: Longitud e inclinación de la pendiente

L representa la longitud de la pendiente y su efecto en la erosión; se entiende como la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo a la localidad donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido.

S se conoce como el grado de inclinación de la pendiente y representa los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. Esta estrecha relación, hace que generalmente se calculen de manera conjunta (factor LS).

Caracterización

El factor L: Donde λ es la longitud de la pendiente (m), m es el exponente de la longitud de la pendiente y β es el ángulo de la pendiente ⁸

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56} \quad m = \frac{F}{(1+F)} \quad L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

a) Primeramente se calcula F en la calculadora raster con la siguiente secuencia:

$$((\sin(\text{"pendiente_grados"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin(\text{"pendiente_grados"} * 0.01745), 0.8) + 0.56))$$

b) Posteriormente se calcula M en la calculadora raster con la siguiente secuencia:

$$\text{"F"} / (1 + \text{"F"})$$

c) Finalmente se calcula L con el área de drenaje aportadora (Desmet & Govers, 1996: c.p Velázquez, 2008) con la siguiente ecuación y secuencia en la calculadora raster:

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.13)^m}$$

Dónde:

A(i,j)[m] = Es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda).

D= Es el tamaño del pixel.

X= Es el factor de corrección de forma.

$$(\text{Power}(\text{"Acumulación"} + 100, (\text{"M"} + 1)) - \text{Power}(\text{"Acumulación"}, (\text{"M"} + 1))) / (\text{Power}(10, (\text{"M"} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{"M"}))$$

El factor S es el grado de la pendiente y representa su efecto en las laderas sobre la acción erosiva. De esta manera las pérdidas de suelo se relacionan con el incremento de este factor, sin embargo esta relación se puede ver mermada por la presencia de cobertura vegetal y la estructura del suelo.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 10.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases}$$

La secuencia queda:

$$\text{Con}(\tan(\text{"pendiente_grados"} * 0.01745) < 0.09, (10.8 * \sin(\text{"pendiente_grados"} * 0.01745) + 0.03), (10.8 * \sin(\text{"pendiente_grados"} * 0.01745) - 0.5))$$

Para el cálculo de LS, se multiplican los 2 factores (**Figura II.36**).

$$\text{"L"} * \text{"S"}$$

II.7.1.4 Factor C

Este factor se utiliza para reflejar el efecto de los cultivos, las formaciones arbóreas, la biomasa del suelo y las prácticas de manejo en las tasas de erosión.

⁸ Cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0.01745 radianes).

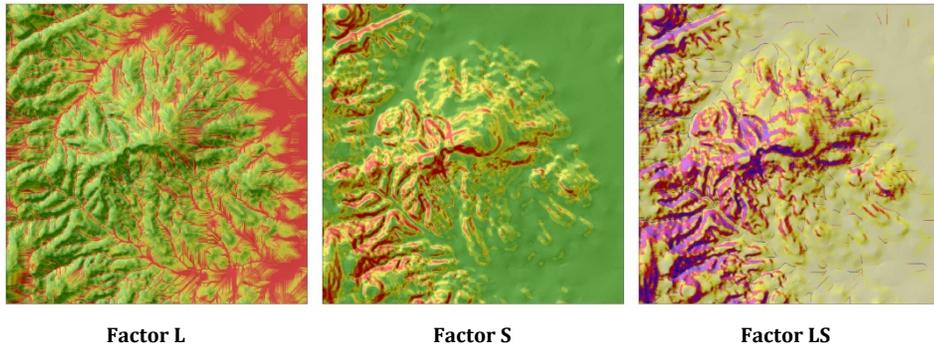


Figura II.36. Cálculo de la longitud de la pendiente (L) y pendiente (S).

Wischmeier y Smith propusieron en su modelo valores entre el 0 y 1 para este parámetro que dependerá del tipo de vegetación existente y de su grado de cobertura. Supone un factor decisivo en la RUSLE ya que por muy abrupto que sea el terreno si la vegetación se encuentra bien desarrollada la erosión será leve (Dumas, 2012).

Para la elaboración de dicho factor, se realizó una clasificación supervisada de la imagen de satélite SPOT 5 del 10 de abril del 2010 y posteriormente se asignaron los valores para cada clase según Velázquez (2008) (**Cuadro II.3**).

Cuadro II.3. Media anual del factor C según Wischmeier y Smith (1978); Velázquez (2008).

Uso del suelo	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.0
Bosques	0.001
Pastizal	0.01
Cultivo de riego	0.05
Cultivo de temporal (anual)	0.33
Matorral	0.01

II.7.1.5 Factor P: Prácticas de cultivo

Este factor representa el efecto que tienen las prácticas de tipo mecánicas como cultivos en contorno, en fajas y terrazas en el proceso de la erosión hídrica. Su valor depende de la pendiente del terreno y se obtienen a través de tablas, sus valores varían entre 0 y 1. Cuando no se realizan prácticas, P es igual a 1 (Ramírez, 2010; c.p Uribe, 2012).

Debido a que el mapa de uso del suelo no hace diferencias entre los cultivos, se asumirá que el valor de P es 1 para todas las coberturas y por lo tanto no se elaborará una capa para este factor.

Caracterización

Resultados

El sistema de clasificación de erosión hídrica más empleado corresponde al propuesto por la FAO-PNUMA-UNESCO y contempla cuatro niveles de erosión (**Cuadro II.4**).

Cuadro II.4. Tolerancias de pérdida de suelo establecidas por la FAO-PNUMA-UNESCO. Fuente: FAO, 1980.

Clase de erosión	Pérdida de suelo (Ton./Ha./año)	Descripción
Nula a ligera	Menor a 10	Agrupar suelos que han perdido parte del horizonte "A" original, pero en porcentajes inferiores al 25%
Moderada	10- 50	Suelos que han perdido entre 25 y 75% de la profundidad del horizonte "A" original. En su mayor parte, el estrato superficial consiste en una mezcla de horizonte "A" y del estrato subyacente.
Alta	50 - 200	Suelos que han perdido más del 75% del horizonte "A" original. En su mayor parte, la capa arable consiste enteramente o en gran medida, del material que subyace al horizonte "A"
Muy alta	Mayor a 200	Estos suelos han perdido todo el horizonte "A", más parte o todo el horizonte inmediatamente inferior. La mayor parte de estas áreas pueden presentar un intrincado patrón de cárcavas.

Los resultados revelaron que el 61% de la cuenca del río Grande presenta pérdidas por erosión hídrica de menos o igual a 10 ton/ha/año, el 12% pérdidas que van de 11 a 50, el 18% pérdidas que van de 51 a 200 y el 9% pérdidas que superan las 200 ton/ha/año. En términos generales se puede decir que el 27% del área presenta problemas severos de erosión hídrica (**Cuadro II.5**).

Cuadro II.5. Pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Grande.

Erosión (ton/ha/año)	Km ²	ha	%
< 10	595	59492	60.9
11 a 50	121	12109	12.4
51 a 200	173	17338	17.8
> 200	87	8687	8.9

Ahora bien, de este 70% del área total de la cuenca con erosión < a 10 ton /ha/año, el 31% de la superficie se concentra sobre los municipios de Asunción de Nochixtlán y Magdalena Jaltepec, mientras que sólo el 1.3% sobre los municipios de San Juan Sayultepec y Santiago Tillo (**Cuadro II.6**).

Del 9% del área total de la cuenca con erosión > a 200 ton /ha/año, el 34% se concentra sobre los municipios de Santiago Tilantongo y San Francisco Jaltepetongo, mientras que el sólo el 0.5% sobre los municipios de San Juan Tamazola y Santiago Tillo (**Cuadro II.7**), (**Figura II.37**).

II.7.2 Calidad del agua superficial, un panorama general

Según el análisis realizado por la CONAGUA sobre la calidad del agua superficial en México, con base en los sólidos suspendidos totales, en el 2008, el colector principal río Verde o Atoyac presentó un alto contenido de sólidos suspendidos totales, que fue > 400 mg/litro, este fuerte impacto deriva de las descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales, con alta carga de contaminante, categorizada así, como *mala condición para peces*, (CONAGUA, 2008). (**Figura II.38**).

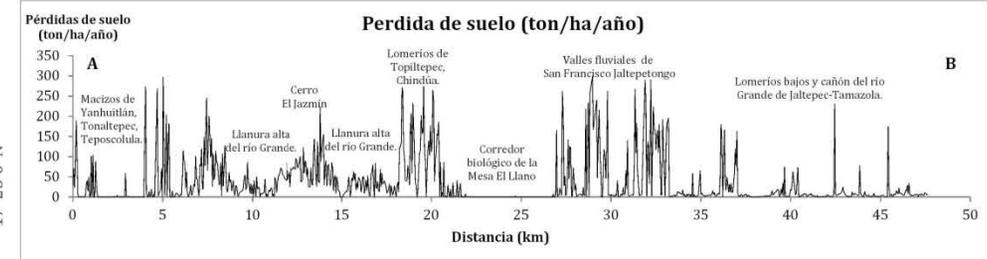
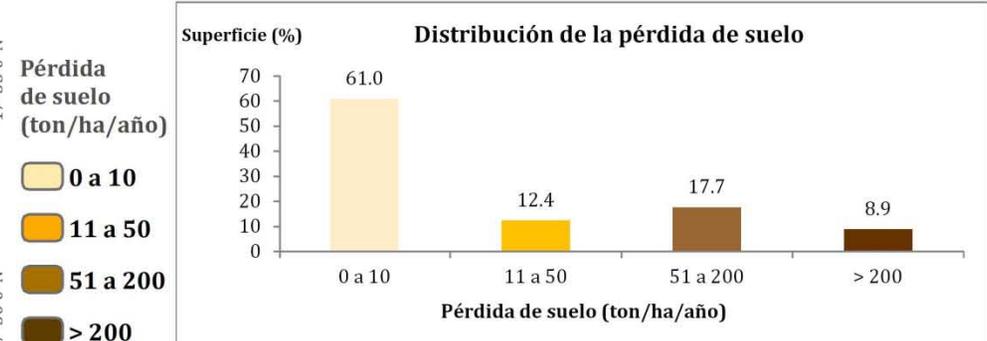
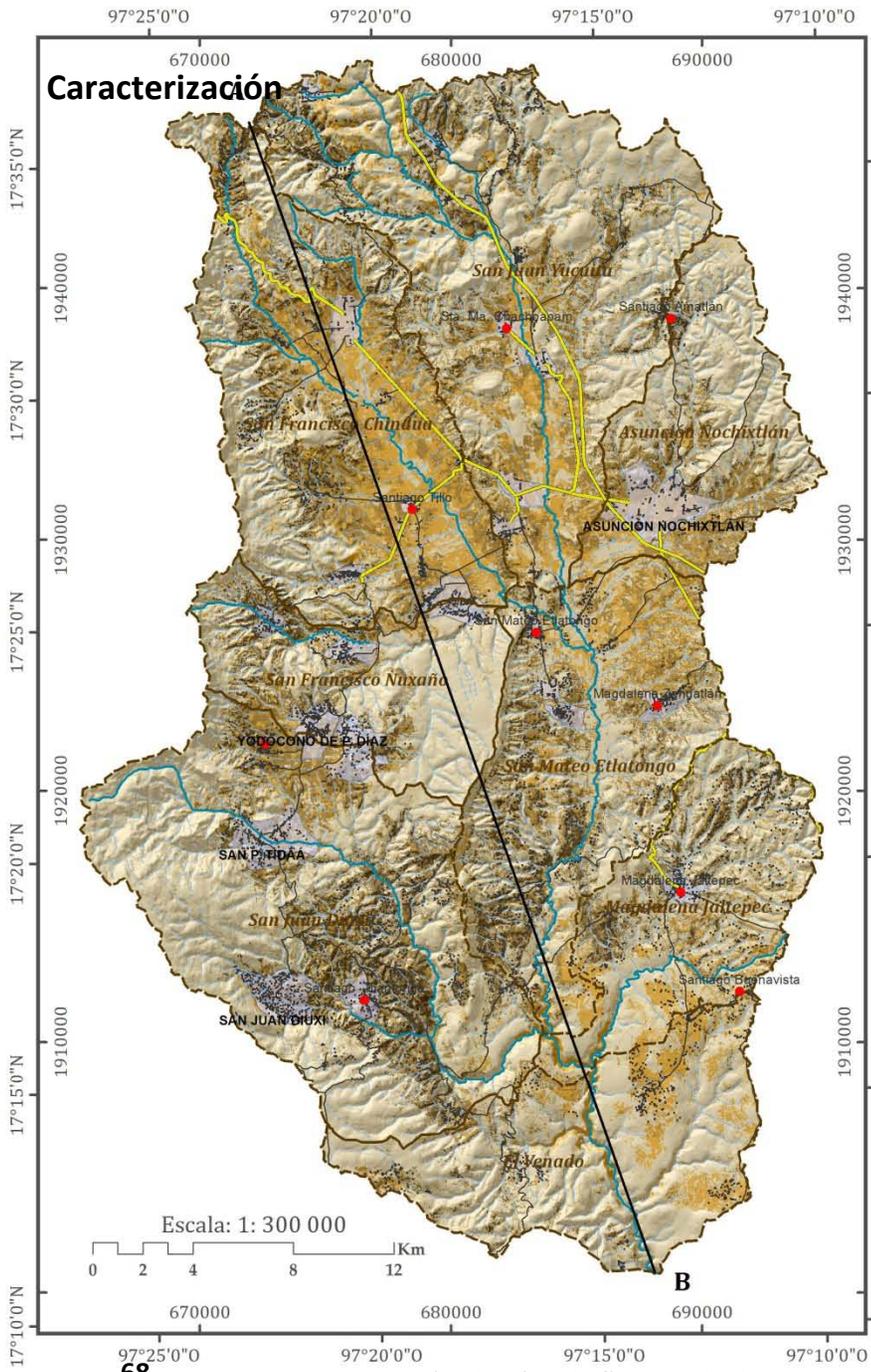
Cuadro II.6. Pérdidas por erosión hídrica < a 10 ton/Ha/año.

Pérdidas < 10 ton/Ha/año		
Municipio	Superficie (Ha)	Superficie (%)
San Juan Sayultepec	365	0.62
Santiago Tillo	403	0.68
San Juan Teposcolula	469	0.79
San Andrés Sinaxtla	748	1.26
Santiago Nejapilla	843	1.42
Santo Domingo Tlatayápam	877	1.48
Santo Domingo Tonaltepec	992	1.67
San Juan Yucuita	1149	1.94
San Mateo Etlatongo	1211	2.04
Magdalena Zahuatlán	1260	2.12
San Francisco Chindúa	1311	2.21
San Juan Diuxi	1338	2.25
San Francisco Nuxaño	1388	2.34
San Juan Tamazola	1411	2.38
San Miguel Tecomatlán	1594	2.69
Magdalena Yodocono de Porfirio Díaz	1747	2.94
San Pedro Topiltepec	1883	3.17
San Francisco Jaltepetongo	2438	4.11
San Bartolo Soyaltepec	3079	5.19
San Pedro Tidaá	3569	6.01
Santo Domingo Yanhuitlán	3672	6.19
Santa María Chachoápam	3841	6.47
Santiago Tilantongo	5389	9.08
Asunción Nochixtlán	7818	13.18
Magdalena Jaltepec	10542	17.77

Cuadro II.7. Pérdidas por erosión hídrica > a 200 ton/Ha/año.

Pérdidas > 200 ton/Ha/año		
Municipio	Superficie (Ha)	Superficie (%)
San Juan Tamazola	7	0.08
Santiago Tillo	34	0.39
San Andrés Sinaxtla	46	0.53
San Juan Sayultepec	49	0.56
Santo Domingo Tlatayápam	66	0.76
San Miguel Tecomatlán	85	0.98
San Juan Yucuita	94	1.08
San Mateo Etlatongo	95	1.09
San Francisco Chindúa	112	1.29
Magdalena Zahuatlán	148	1.70
San Juan Teposcolula	148	1.70
San Francisco Nuxaño	225	2.59
San Juan Diuxi	230	2.65
Magdalena Yodocono de Porfirio Díaz	232	2.67
San Pedro Tidaá	236	2.72
San Pedro Topiltepec	246	2.83
Santiago Nejapilla	305	3.51
Santo Domingo Tonaltepec	322	3.71
Santa María Chachoápam	344	3.96
Santo Domingo Yanhuitlán	555	6.39
San Bartolo Soyaltepec	570	6.56
Asunción Nochixtlán	645	7.43
Magdalena Jaltepec	954	10.99
San Francisco Jaltepetongo	963	11.09
Santiago Tilantongo	1972	22.71

Cuenca del Río Grande



SIGNOS CONVENCIONALES: LOCALIDADES CON > 500 HAB. LOCALIDADES CON < 500 HAB. Microcuencas RED HIDROGRÁFICA PERENNE INTERMITENTE VÍAS DE COMUNICACIÓN Pavimentada Terracería Edificaciones ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS: Esferoide.....GRS80 Proyección.....UTM Datum Horizontal.....ITRF92 Zona.....14 Meridiano Central.....-99° Meridiano Base.....Greenwich Cuadrícula geográfica.....a cada 5 min Cuadrícula UTM.....a cada 10,000 mts

FUENTES: INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

OBSERVACIONES: El mapa de pérdida de suelo de la cuenca del río Grande fue elaborado con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (EUPSR o RUSLE), tomando como base la cartografía de elementos climáticos de "WorldClim", las unidades de suelo y litología del INEGI escala 1: 250 000, el conjunto topográfico del INEGI escala 1:50 000 y los resultados de la clasificación supervisada del apartado "vegetación y uso de suelo". Se presenta un perfil transversal expresando la variabilidad de la pérdida de suelo por erosión hídrica en toneladas por hectárea al año y la distribución de cada categoría basada en la clasificación propuesta por la FAO, 1980.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



EROSIÓN DEL SUELO
FIGURA II.37

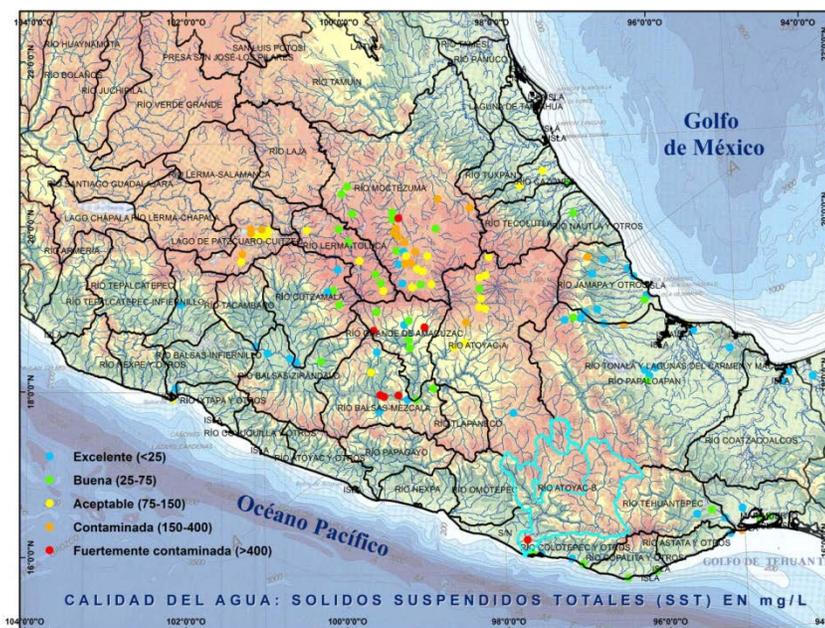


Figura II.38. Sólidos suspendidos totales (SST), para la zona centro-sur de México. Elaboración propia basado en CONAGUA, 2008. Hipsometría, Lugo, 1989.

II.7.3 Uso del agua

El agua se utiliza, de manera general, para las actividades domésticas, aunque cabe mencionar que ésta también se destina para proyectos locales, como huertos e invernaderos. Para la práctica de actividades agrícolas, queda dependiente de las condiciones climatológicas que trae cada año el temporal, que arriba en los meses de mayo a octubre. La ganadería ocupa otra rama que aprovecha el agua, aunque en su mayoría, la cría de ganado es básicamente para autoconsumo. Los tipos ovino, caprino y bovino ocupan la mayor distribución en este ramo.

La disponibilidad y distribución del agua potable varía notablemente, así en la cabecera municipal Asunción de Nochixtlán la principal fuente de abastecimiento son los pozos profundos como el denominado La Labor, pero existe el problema de escasez en épocas de estiaje. Otras fuentes secundarias de aporte son los manantiales y arroyos, previo almacenamiento en los tanques de depósito para su potabilización, pero también existe la problemática de escasez durante los meses de sequía, (Ramírez, 2008).

II.7.4 Hidrogeología, el Acuífero Nochixtlán

Éste se localiza en la parte noroeste del estado de Oaxaca, cubriendo una superficie aproximada de 1 353 km², colinda al norte y este con el acuífero Cuicatlán; al noroeste con el de Tamazulapan, al sur-suroeste con Jamiltepec y al sureste con Valles Centrales, todos dentro del estado de Oaxaca, (CONAGUA, 2008) (**Figura II.39**).

II.7.4.1 Unidades hidrogeológicas

Las rocas que afloran en la zona de estudio tienen una edad que van del Cretácico Inferior (100 m.a) al Cuaternario, con algunos afloramientos de menor superficie de gneis precámbrico. La presencia de una plataforma carbonatada, alternando con secuencias de conglomerados, toba y material andesítico, rodeando el extremo sur y noroccidental de la cuenca, sugiere en primera instancia un potencial moderado a alto en el coeficiente de infiltración y posterior recarga del acuífero.

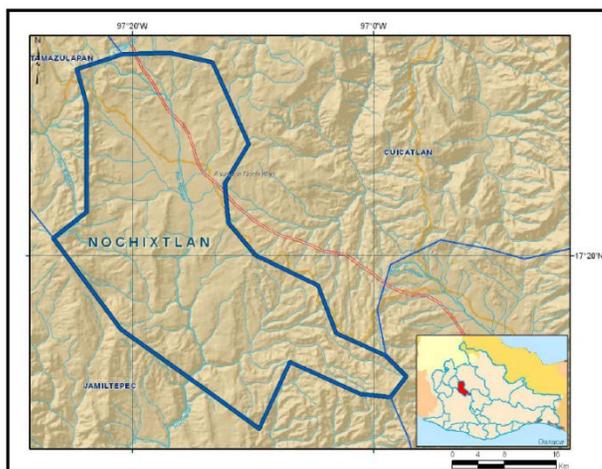


Figura II.39. Localización del acuífero Nochixtlán. Fuente: CONAGUA, 2008.

Se encontró que en la zona se localiza un sistema de fallas geológicas con orientación noroeste-sureste, siendo la más importante la falla de Caltepec-Tamazulapán, que divide los terrenos tectonoestratigráficos Mixteco y Zapoteco-Oaxaca, (Hernández et al., 2009.). Otro sistema de fallas es el localizado al sur de la cuenca, conformado por el cañón del río Culebra, nombre local que adquiere la corriente principal del río Grande a la salida de ésta. La concordancia geométrica de esta geoforma y la localización de la falla sugiere la génesis de la primera a favor del control tectónico que ejerce la segunda sobre el terreno (interpretado del SGM-E14-9, 2000).

Muchos de los lineamientos corresponden a fallas regionales o a complejas zonas de fracturamiento. Se identifican dos patrones estructurales, el primero, con orientación general noroeste-sureste con curvamientos en la misma dirección y de variable magnitud. En algunas ocasiones, éstos presentan drenaje profundo, como el río Grande que corresponde a la falla Tejupan, o los ríos Yocodono, Hondo y Aparecido que se correlacionan con otros lineamientos sin nombre conocido (CONAGUA, 2008, pp 11 y 12.).

El segundo patrón, son una serie de lineamientos que corren en dirección noreste-suroeste, cortando casi perpendicularmente a los noroeste-sureste, siendo el más representativo, una falla de desplazamiento lateral derecho, que corta a la falla Tejupan. Los demás son de menor dimensión, afectando principalmente a las rocas del terciario, aunque algunas también lo hacen a las metamórficas. La región Mixteca está activa rompiéndose mediante fallas laterales activas (*Ibid.*).

Conjuntando el resultado del análisis litológico, el de lineamientos estructurales y drenaje, se determinaron tres unidades hidrogeológicas: permeable, semipermeable e impermeable (*Ibid.*).

II.7.4.1.1 Unidad permeable

Constituida por la caliza de la Formación Teposcolula, es porosa, con alta disolución cárstica y saturación. De las rocas presentes es la que tiene mayor grado de fracturamiento y en consecuencia es la que presenta un drenaje dendrítico más espaciado, porque el agua que precipita no escurre sobre la roca, sino que se infiltra al subsuelo, que recarga y almacena el agua económicamente explotable. Es la más importante dentro del área del acuífero, porque además de aflorar ampliamente en superficie, puede constituir un acuífero extenso en las partes bajas, donde está cubierta por la Formación Yanhuitlán (*Ibid.*).

Las fallas regionales más importantes afectan a estas rocas y podrían funcionar como áreas de recarga subterránea al acuífero ya que tienen su origen longitudinal a varios kilómetros fuera del área. El acuífero alojado en calizas refleja que las curvas son concéntricas hacia el centro del valle, marcadas por la curva de 70 m, reduciéndose hacia la periferia a valores de 10 m (*Ibid.*).

II.7.4.1.2 Unidad semipermeable

Unidad constituida por lutitas-areniscas, calizas-lutitas, rocas ígneas extrusivas, conglomerados, areniscas y limolitas con areniscas. El grado de fracturamiento es de medio a bajo, en consecuencia el drenaje varía de fino a muy espaciado y en la litología abunda la mala clasificación granulométrica. Son de media a baja permeabilidad (*Ibíd.*).

II.7.4.1.3 Unidad impermeable

Constituida por las rocas metamórficas del complejo Oaxaca, tienen fracturamiento pero un drenaje dendrítico muy fino, es decir, el agua no se infiltra al subsuelo. Son rocas de baja permeabilidad y funcionan como límites y fronteras naturales del acuífero regional, (CONAGUA, 2008, pp 11 y 12.).

II.7.4.1.4 Tipo de acuífero

El agua subterránea circula a través de fracturas y canales de disolución de las calizas de la Formación Teposcolula, tal como lo demuestran los diferentes manantiales de la región, o bien en el contacto con rocas de baja permeabilidad, surgen pozos de carácter artesiano (*Ibíd.*).

Este acuífero está formado por rocas calizas y dolomías de la Formación Teposcolula, la cual tiene porosidad secundaria elevada, producto de un fracturamiento moderado a intenso, continuo y con aberturas de hasta 10 cm en promedio sin material de relleno y un desarrollo cárstico amplio en sentido horizontal y vertical. Aflora ampliamente en superficie, puede constituir un acuífero extenso en las partes bajas de la cuenca, donde se encuentra cubierto por la Formación Yanhuatlán; lo que le imprime condiciones de semiconfinado. La dirección del flujo subterráneo regional es con dirección noroeste-sureste, casi norte-sur, (*Ibíd.*). **(Figura II.40).**

II.8 Los Suelos

II.8.1 El conocimiento del suelo para la planeación

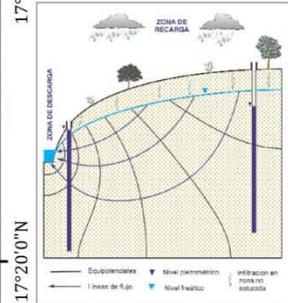
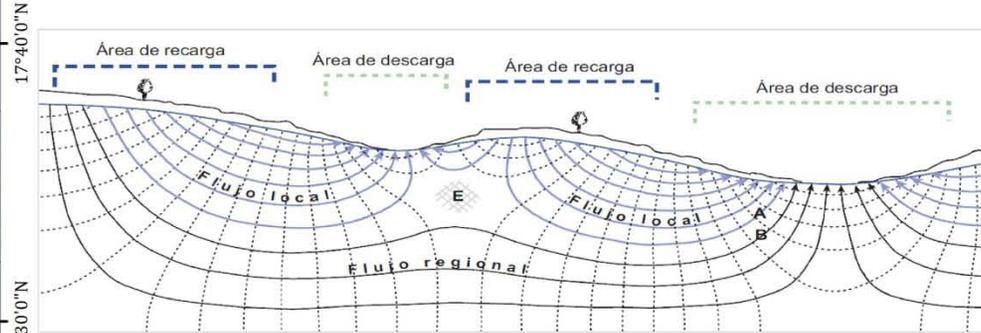
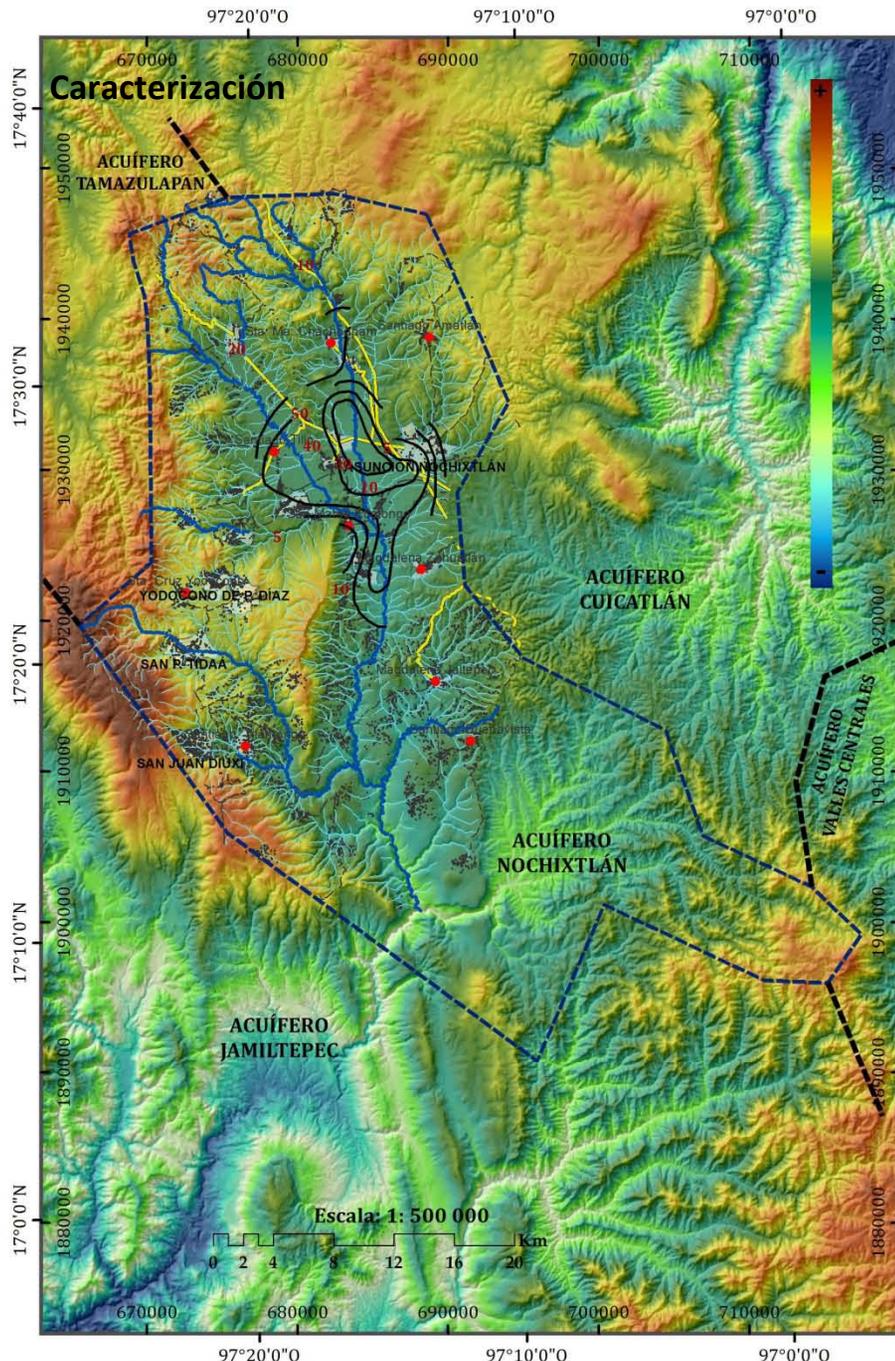
El propósito que persigue el efectuar estudios de suelos, es el de planear el desarrollo agrícola. La gran mayoría de los alimentos que se consumen provienen de éste, por lo que para incrementar su productividad y, al mismo tiempo protegerlo, es de suma importancia llevar a cabo estudios que permitan conocer su constitución física, química y biológica para poder planear el uso correcto de acuerdo a sus aptitudes naturales, (Gallegos, 1997).

Para los estudios ecológicos, la función del suelo en la configuración de los paisajes es importante, desde el punto de vista de la diversidad de suelos (edafodiversidad), y ésta a su vez, un punto medular dentro de la sustentabilidad de los ecosistemas. Esta variabilidad edáfica se ve reflejada en la diversidad florística, especialmente en los ecosistemas forestales. A manera de resumen puede decirse, que sin un conocimiento profundo de las condiciones edáficas no hay oportunidad para la planeación, el uso y la conservación de los recursos naturales, (Ortiz et al, 2006).

Cerca del 90% de la superficie del estado de Oaxaca se ubica en áreas montañosas, con gradientes altitudinales amplios que dan pie a una distribución climática importante y a su vez, la existencia de ecosistemas diversos, sustentados en una variada estructura geológica y edafológica (González, 2011).

Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en el estado predominan los acrisoles, regosoles, luvisoles, cambisoles, litosoles y feozem, concentrando el 95% de la superficie; y de fertilidad moderada, con excepción de los acrisoles y algunas subunidades dísticas (déficit de Ca, Mg y K) y ferrálicas (concentración de Fe y Al) (*Ibíd.*). **(Figura II.41).**

Cuenca del Río Grande



El potencial hidráulico

El agua subterránea circula de donde hay mayor energía (mayor columna de agua), a donde hay menor, independientemente de la altura del terreno. A esa energía se le conoce como potencial hidráulico y se expresa como la altitud o cota absoluta (msnm), que resulta de la elevación del nivel de agua sobre una base de referencia al equilibrarse con la presión atmosférica.

Profundidad al nivel estático

El mapa muestra la superficie equipotencial del centro de la cuenca del río Grande, es decir la unión de los puntos (muestras) que presentan el mismo potencial hidráulico (columna de agua). En 2002 la conformación de las curvas se distribuyó de forma concéntrica hacia el centro del valle de Nochixtlán, la mayor profundidad fue de 50 metros hacia el norte del valle y en las zonas periféricas, de 5 metros.

Fuente: Yélamos y Villarroya (2008)

SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA
 - PERENNE
 - INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN
 - Pavimentada
 - Terracería
- Edificaciones
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide.....GRS80
- Proyección.....UTM
- Datum Horizontal.....ITRF92
- Zona.....14
- Meridiano Central.....-99°
- Meridiano Base.....Greenwich
- Cuadrícula geográfica.....a cada 10 min
- Cuadrícula UTM.....a cada 10,000 mts

OBSERVACIONES:

El mapa del acuífero de Nochixtlán fue elaborado tomando como base el documento "Determinación de disponibilidad de agua en el acuífero Nochixtlán, Oaxaca", elaborado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Se extrajeron las curvas equipotenciales del acuífero de la zona centro y norte de la cuenca del río Grande, basadas en datos de 26 pruebas de bombeo. La interpretación de las curvas permite sugerir que el flujo subterráneo en el acuífero de calizas es concéntrico hacia la parte central del valle, recibiendo aportes en forma longitudinal a lo largo del sentido de las corrientes principales (ríos Grande y Verde); aparentemente controlado por las condiciones estructurales.

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



ACUÍFERO NOCHIXTLÁN
FIGURA II.40

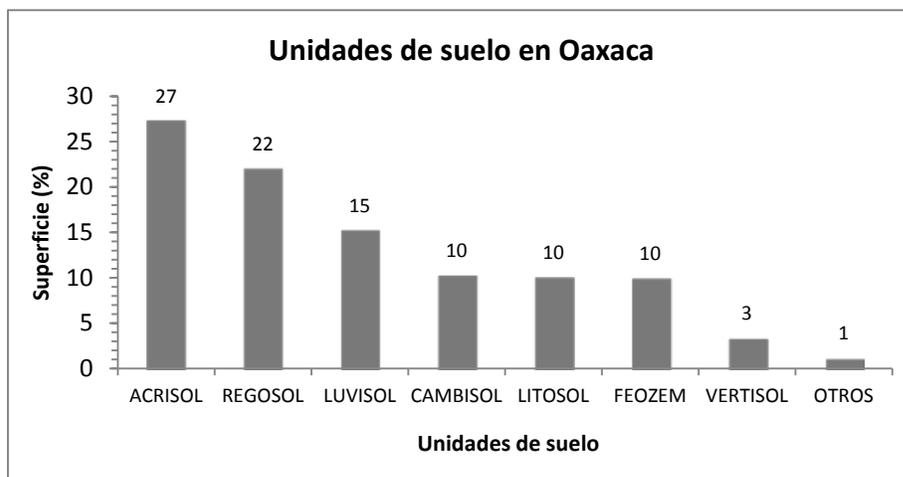


Figura II.41. Unidades de suelo predominantes en Oaxaca. Fuente: INEGI, 2007.

La erosión de los suelos del estado es un fenómeno preocupante que aumenta gradualmente sin que se tomen medidas serias. La deforestación, los incendios, el libre pastoreo y el uso agrícola de la tierra bajo prácticas de alto impacto, inducidas por los programas institucionales y la pérdida de conocimientos agronómicos valiosos por los campesinos acrecientan los efectos erosivos (*Ibíd*).

Una estimación de la SEMARNAT (2009), calcula que existe medio millón de hectáreas del territorio oaxaqueño (5.3%), que se encuentran desertificadas, considerando esta situación como un foco rojo en la entidad. La principal zona afectada es la región de la Mixteca, concretamente sobre los municipios de Nochixtlán, Huajuapán y Tlaxiaco.

Oaxaca presenta dos condiciones antagónicas referentes a la cartografía temática y los estudios básicos sobre sus recursos naturales (Montes, 2009), ya que por un lado, es uno de los estados que mayor edafodiversidad posee, sin embargo, están incompletos, no disponibles o bien, no existen estudios a escala semidetallada de toda su superficie (P. Ej., E14-9, 1: 250 000). Esta situación conlleva ciertas complicaciones cuando se inicia una investigación en donde se requiere de este tipo de datos (*Ibíd*), razón por la cual, en esta investigación se realizó una inspección visual y una descripción general de los distintos tipos de suelos de la cuenca del río Grande con base en el “Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo”, del Instituto de Geología de la UNAM (2006).

La zona de estudio se localiza en el norte de la cuenca del río Atoyac-B, en la porción noroccidental del estado de Oaxaca. La zona se caracteriza por sus condiciones climáticas que van del semiseco al semicálido y de ahí al templado subhúmedo; condiciones que logran generar una gran diversidad de flora y fauna. Desde la época colonial, en la mitad septentrional de la cuenca, concretamente en las inmediaciones de Nochixtlán y Yanhuítlán, se produce un cambio de uso del suelo relativamente acelerado, como consecuencia, la distribución de riqueza florí-faunística se ha visto disminuida e incluso mermado, al compás del incremento de tales actividades.

La presencia de actividades productivas de orden primario, se localizan en la región central y suroccidental intramontano de la cuenca, sobre los municipios de San Mateo Etlatongo, suroeste de Nochixtlán, San Juan Sayultepec, San Andrés Sinaxtla y sur de Magdalena Yodocono, por mencionar algunos, se practica básicamente la agricultura de maíz y algunas leguminosas, generalmente para autoconsumo y, en menor proporción, para el comercio local. Esta actividad se distribuye en pendientes de 0 a 3° prácticamente.

Caracterización

II.8.2 Unidades de suelo en la cuenca del río Grande

II.8.2.1 Rendzina

Desde el punto de vista del desarrollo de suelos, la litología y los procesos morfoclimáticos, esta unidad se muestreó a 2887 msnm, localizada en las partes coronarias del corredor de macizos de rocas calcáreas Cerro Negro, al noroccidente del municipio de San Juan Diuxi. La unidad se caracteriza por poseer una densa cobertura de comunidades de encino y pino que proporcionan relativa estabilidad al terreno (plano a ligeramente convexo), una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil, que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en carbonatos (caliche). Como consecuencia de la intensa actividad de los factores pedogenéticos (clima regional, biota potencial, topografía, material parental y tiempo), el perfil presenta buen desarrollo, (de 0 a 25 cm en el horizonte A), con texturas franco arcillosas a franco arcillo limosas, pH de 5 a 7.5, con contenidos de materia orgánica que van de 2 a $\geq 3\%$ y densidad de raíces muy alta (21 a 50/dm²). Presenta tonalidades que van del oscuro, marrón y pardo a las rojizas por el alto contenido de óxidos de hierro derivado del grado de impureza de las calizas o la alternancia con otras rocas como la limolita (**Figura II.42**).



Figura II.42. (A) Rendzina en la pared de un lomerío al norte de Yanhuitlán, sobreyaciendo una estructura masiva paralítica. (B) Rendzina al noroccidente de San Juan Diuxi, sobre la cima del Cerro Negro. Agosto de 2012. Archivos del autor.

Estos suelos se pueden usar en la ganadería con rendimientos bajos a moderados, pero con gran peligro a la erosión en laderas y lomeríos. En general, presentan susceptibilidad moderada a procesos erosivos (FAO, 2006., e INEGI, 2004.).

II.8.2.2 Regosol

La presencia de suelos someros, poco desarrollados sobre los municipios de San Juan Yucuita, sur de Santa María Chachoápam y algunas localidades como Santiago Amatlán, hace referencia a los regosoles, éstos se distribuyen sobre las laderas de lomeríos de mediana a baja estabilidad, condicionados por la cobertura vegetal, condiciones climáticas (seco estepario), con régimen de lluvias en verano (< 600 mm) y sobre conglomerados de diversas granulometrías, areniscas, limolitas y calizas. En algunas zonas es evidente la presencia de material suelto que cubre la roca, presentando poco desarrollo, motivo por el cual, no tienen capas diferenciadas entre sí. No presentan horizontes de diagnóstico móllico o úmbrico (primer horizonte de estructura blanda, oscuro y abundante materia orgánica), pero sí eútrico, es decir que son ligeramente ácidos a alcalinos (Ph de 6.5 a 7.5), con niveles moderados de calcio, magnesio y potasio, importantes para el crecimiento de las plantas. Presentan texturas franco arcillo-arenosas

y franco arenosas, gravas de diversas granulometrías (2-20 mm), contenidos de materia orgánica de 0.5 a 1.5%, carbonatos de 2 a 10% y densidad de raíces alta (11 a 20/dm²) (**Figura II.43**).

Por sus características de desarrollo, este tipo de suelo generalmente suele estar asociado con litosoles, tepetate o caliche, presentan fertilidad variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. En regiones donde existen precipitaciones de 500 a 1000 mm por año, necesitan de riego por aspersión o goteo para una producción agrícola satisfactoria, ya que tienen baja capacidad de retención de humedad, pero rara vez esto es remunerable, (FAO, 2006.).

Cuando las precipitaciones superan los 750 mm/año, el perfil del regosol eleva su capacidad de retención de agua, razón por la cual, es más congruente la inversión en mejoras a las prácticas de agricultura de temporal que la instalación de costosas instalaciones de riego. Gran parte de estos suelos, se utilizan para el pastoreo extensivo, (FAO, 2006., e INEGI, 2004.).

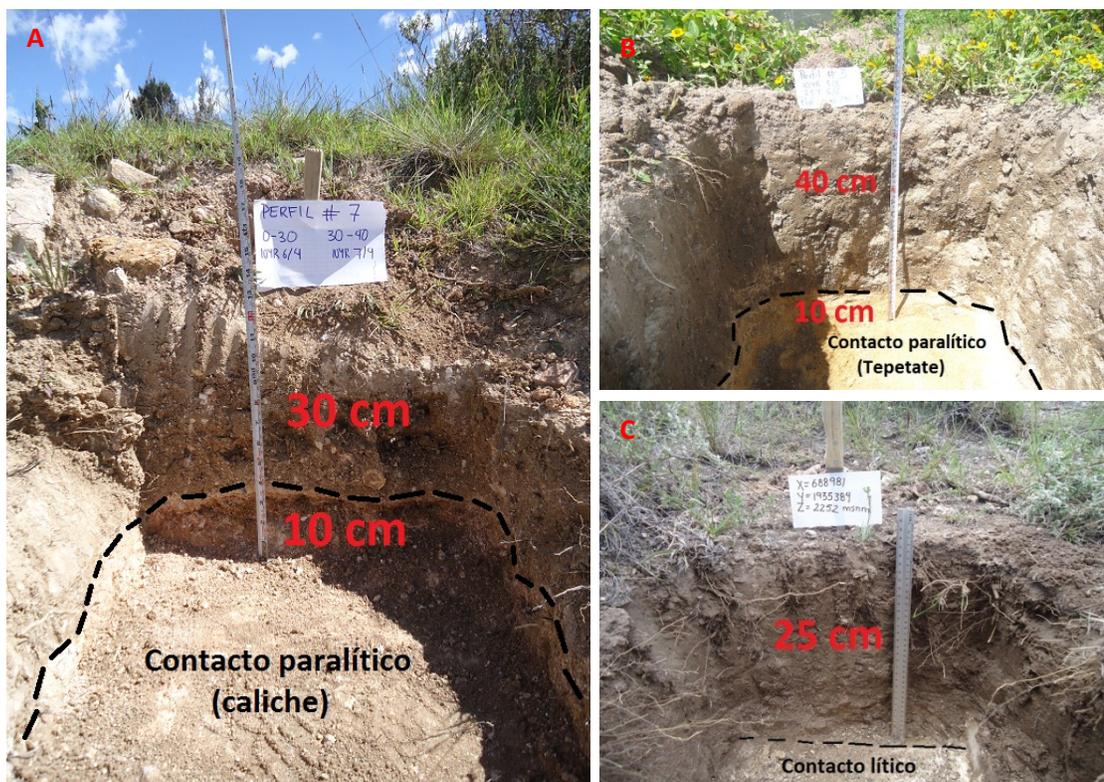


Figura II.43. (A) Regosol en las inmediaciones de Magdalena Jaltepec. (B) Regosol en las inmediaciones de Santiago Amatlán. (C) Litosol sobre un sistema de lomeríos calcáricos, entre Santiago Amatlán y Nochixtlán. Agosto de 2012. Archivos del autor.

II.8.2.3 Feozem

Esta unidad presenta una variabilidad importante de tonalidades, que van del marrón oscuro a las parduzcas y rojizas, predominando estas últimas. En términos generales, el suelo es relativamente profundo y bien drenado; en algunas zonas éste posee una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes o bases (Ca, Mg, K, Na), y en otras presenta una estructura masiva, de profundidad variable, dependiendo básicamente de la topografía y pendientes del terreno.

Caracterización

A diferencia de otras unidades como el regosol y litosol de Santiago Amatlán, que presentaron una capa de caliche en sus capas inferiores, éste no lo presenta, a cambio contiene una estructura masiva (franco arcillosa) en los primeros 25 cm y franco arenosa en las capas inferiores. Subyaciendo a esta última, se reconocen conglomerados de diversas granulometrías intercalados con cantos rodados de materiales calcáreos. La unidad presenta un enriquecimiento de carbonatos alto, es decir del 10 a 25% (HCL al 10%), en los primeros 25 cm de suelo (Feozem calcárico), un contenido de materia orgánica de 2% y densidad de raíces alta (21 a 50/dm²). **(Figura II.44).**

Cuando estos suelos son profundos y se encuentran en terrenos planos, son usados para la agricultura de riego o temporal con rendimientos altos, sin embargo los Feozems menos profundos, situados en laderas, presentan como principal limitante la roca madre o bien alguna estructura con fuerte cementación en el suelo, por consecuencia tienen rendimientos bajos y son más propensos a la erosión (*Ibid.*).



Figura II.44. Feozem calcárico (Santa María Tiltepec). Agosto de 2012. Archivo del autor.

II.8.2.4 Vertisol

Sobre las partes más deprimidas de la cuenca, es decir, las llanuras fluvio-acumulativas de los ríos Grande, Verde, La Labor y llanuras intramontanas de Yodocono-Tidaá se distribuyen vertisoles con tonalidades cremosas, parduzcas y marrones (diagnóstico crómico). La unidad se presenta especialmente en zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa, presentando una estructura masiva con alto contenido de arcilla, la cual se expande bajo condiciones de humedad saturando el suelo, pero resecando y desarrollando colapsos en época de sequía, formando grietas en la superficie, (INEGI, 2004.).

El suelo presenta textura franco arcillosa, con pH que va de 5.5 a 6.5 y contenidos de materia orgánica $\geq 3\%$, enriquecimiento de carbonatos que va del 10 al 25% y densidad de raíces alta (11 a 20/dm²). Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo, ya que suelen ser muy fértiles, pero su dureza dificulta la labranza, presentan baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo a la salinización, (FAO, 2006., e INEGI, 2004.) **(Figura II.45).**

La superficie de los paisajes vérticos da lugares a complejas micro-topografías, como algunas protuberancias y pequeñas depresiones. La roca madre que le da origen se encuentra constituida principalmente por sedimentos de arcilla producida por la neoformación a partir de la meteorización de rocas o de antiguos materiales sub-acuosos, éstos suelen ubicarse en depresiones onduladas y llanuras, (FAO, 2006.).

En estos suelos se socavan profundas grietas por toda su superficie cuando se secan en ausencia de precipitaciones. Además, su labranza se ve obstaculizada por la pegajosidad cuando el suelo está mojado y dureza cuando está seco. La susceptibilidad de los vertisoles a la saturación de agua por el incremento del nivel freático es otro factor que dificulta su labranza y reduce el periodo de crecimiento de las plantas. Por otro lado tiene la capacidad de almacenar el exceso de agua en la temporada de lluvias para su uso posterior, cuando la tasa de infiltración es lenta, (USDA, 2010., FAO, 2006., e INEGI, 2004.).



Figura II.45. Vertisol crómico en las inmediaciones de San Mateo Etlatongo. Agosto de 2012. Archivo del autor.

II.8.2.5 Luvisol

Esta unidad presenta mayor contenido de arcilla en el subsuelo, que en la superficie, como resultado de procesos pedogenéticos (migración de arcillas al horizonte B), que derivan en un horizonte de diagnóstico árgico ⁹ y denota tonalidades que van del rojo amarillento al pardo; que no llegan a ser oscuros, por la acumulación de óxidos de hierro, (INEGI, 2004.). El material parental que los conforma procede de una amplia variedad de materiales no consolidados provenientes ladera arriba, como son los depósitos coluviales de diversas granulometrías y los transportados por la red hídrica, formando depósitos aluviales. Este tipo de suelo es más común en terrenos planos o con pendientes menores en regiones templadas, esto por presentar fuertes niveles de lixiviación. En terrenos con mayor pendiente se requieren medidas de control para evitar su erosión, (FAO, 2006., INEGI, 2004.) **(Figura II.46).**

Sobre los municipios de San Pedro Tidaá y San Juan Diuxi, se localizan luvisoles con propiedades vérticas, generando suelos pesados, ricos en arcillas y clastos de carbonatos, que saturan la superficie en épocas de lluvia. Éste presenta textura franco arcillo limosa en sus horizontes, discriminando en tonalidades que van del marrón, pardo a cremosas; con mayores contenidos de materia orgánica en el segundo horizonte ($\geq 2.5\%$), pH muy ligeramente ácido (6.5) y densidad de raíces extremadamente alta ($>50/\text{dm}^2$) **(Figura II.47).**

⁹ **Árgico:** es un horizonte subsuperficial con contenido de arcilla más elevado que el horizonte superior.

Caracterización

La mayoría de los luvisoles son suelos fértiles y aptos para una amplia gama de usos agrícolas, sin embargo aquellos con un alto contenido de sedimentos, son susceptibles al deterioro de la estructura del suelo, cuando se usa maquinaria pesada, (FAO, 2006.). Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados, en algunos cultivos de café, frutales en zonas tropicales y de aguacate en zonas templadas, registran rendimientos muy favorables. Con pastizales cultivados o inducidos pueden dar buenas utilidades en la ganadería, sin embargo, se debe tener en cuenta que son suelos con alta susceptibilidad a la erosión, (INEGI, 2004.). **(Figura II.48).**

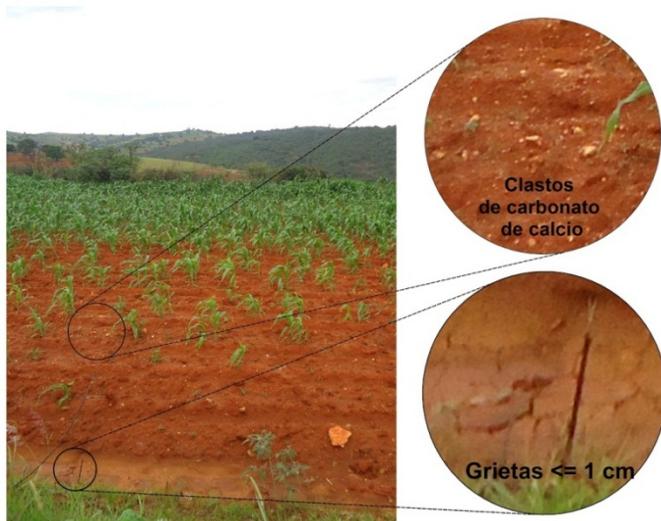


Figura II.46. Luvisol con propiedades crómico-vérticas, empleado para el cultivo de maíz en La Unión Jaltepec. Agosto de 2012. Archivo del autor.

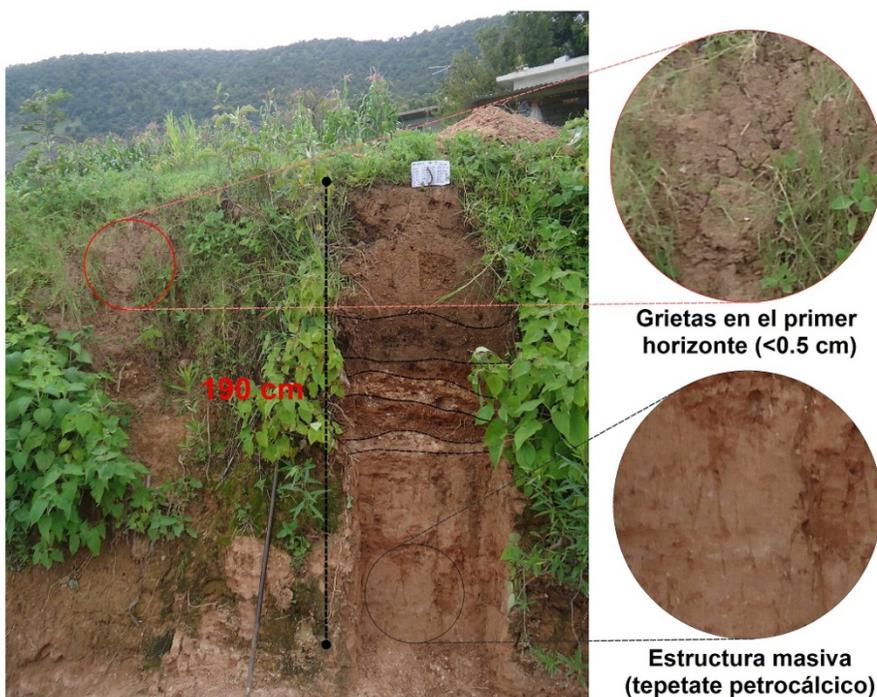
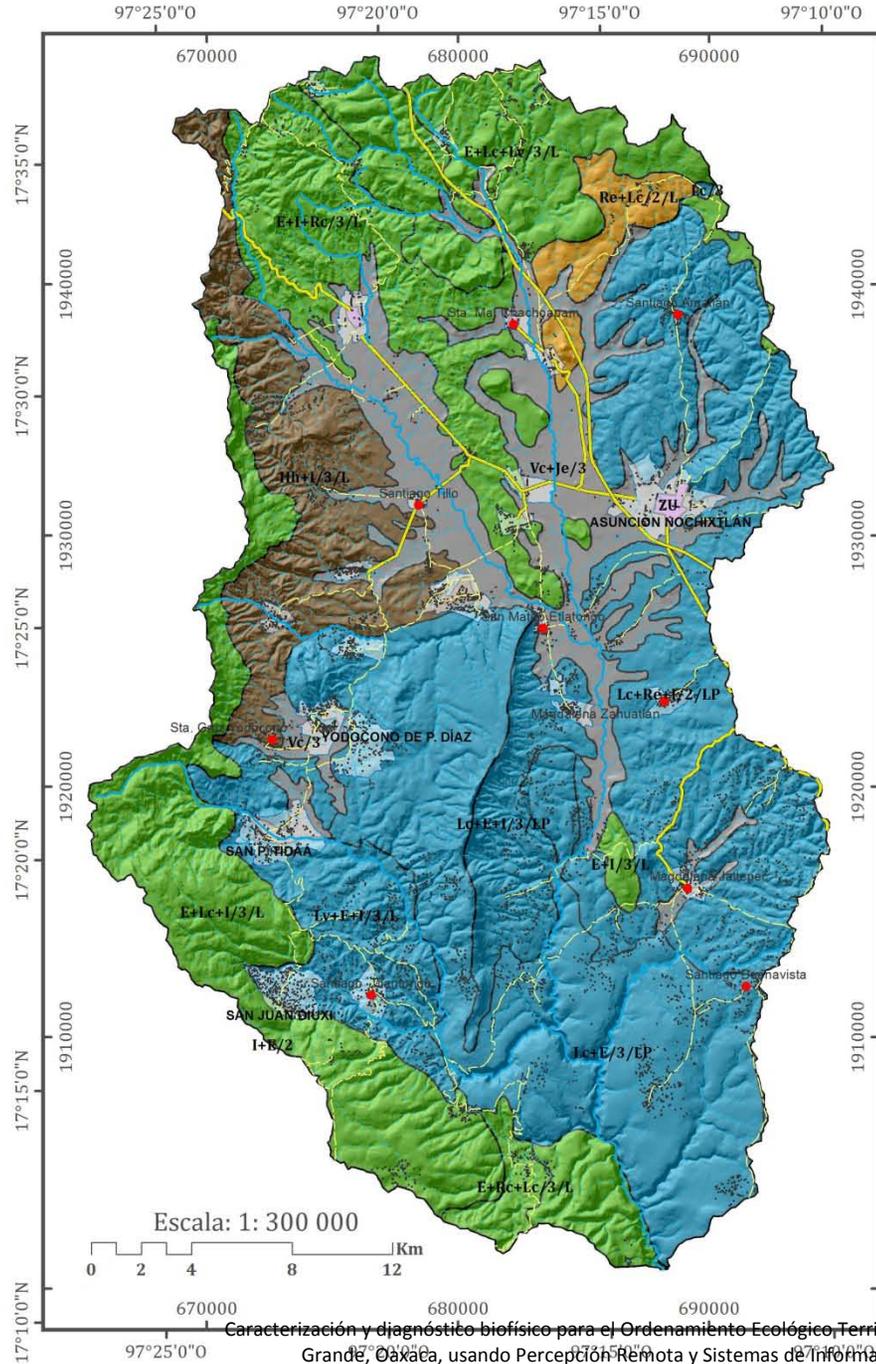


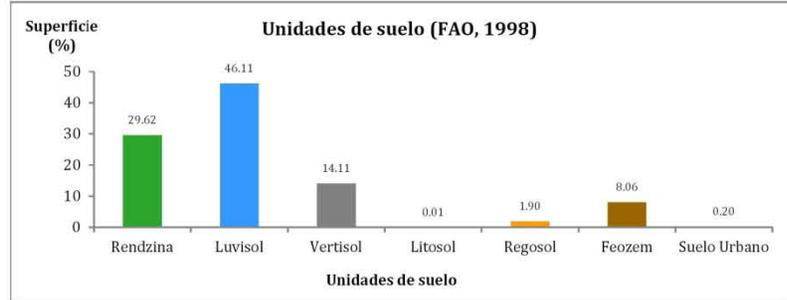
Figura II.47. Luvisol parduzco con propiedades vérticas, empleado para el cultivo de maíz en San Juan Diuxi. Agosto de 2012. Archivo del autor.

Cuenca del Río Grande



Unidades de suelo

- Rendzina
- Luvisol
- Vertisol
- Litosol
- Regosol
- Feozem
- Suelo Urbano



UNIDAD 1	ASOCIACIÓN FAO (1998)	DIAGNÓSTICO 1	UNIDAD 2	DIAGNÓSTICO 2	UNIDAD 3	DIAGNÓSTICO 3	TEXTURA	FASE FÍSICA
Rendzina	E+Rc/3/L	N/D	Litosol	N/D	Regosol	Calcárico	Fina	Lítica
	E+I/3/L		Luvisol	Crómico	Litosol	N/D		
	E+Lc+I/3/L		Regosol	Calcárico	Luvisol	Vértico		
	E+Lc+Lv/3/L		Regosol	Calcárico	Luvisol	Vértico		
	E+Rc+Lc/3/L		Regosol	Calcárico	Luvisol	Vértico		
Luvisol	Lc+E+I/3/LP	Crómico	Rendzina	N/D	Litosol	N/D	Media	Lítica Profunda
	Lc+E/3/LP		Regosol	Eútrico	Litosol	N/D		
	Lc+Re+I/2/LP		N/D	N/D	N/D	N/D		
	Lc/3		N/D	N/D	N/D	N/D		
Vertisol	Lv+E+I/3/L	Crómico	Rendzina	N/D	Litosol	N/D	Fina	Lítica
	Vc+Je/3		Fluvisol	Eútrico	N/D	N/D		
	Vc/3		N/D	N/D	N/D	N/D		
Regosol	Re+Lc/2/L	Eútrico	Luvisol	Crómico	N/D	Media	Lítica	
Feozem	Hh+I/3/L	N/D	Litosol	N/D	N/D	Fina	Lítica	

SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA PERENNE
- INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN Pavimentada
- Terracería
- Edificaciones
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

Esferoide..... GRS80
 Proyección..... UTM
 Datum Horizontal..... ITRF92
 Zona 14
 Meridiano Central..... -99°
 Meridiano Base..... Greenwich
 Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
 Cuadrícula UTM a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

OBSERVACIONES:

Además de la unidad, se utiliza el horizonte de diagnóstico para determinar las características morfofisiológicas y estructurales de cada suelo. P. Ej.

Crómico: Del griego kromos, color. Suelos de color pardo o rojizo, en algunas ocasiones amarillento. Son de fertilidad moderada y con alta capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas.

Vértico: Del latín verto, voltear. Suelos que cuando están secos presentan grietas notables en alguna parte del subsuelo. Son de fertilidad moderada a alta.

Eútrico: Del griego eu, bueno. Suelos ligeramente ácidos a alcalinos.

Caracterización y diagnóstico biofísico para el Ordenamiento Ecológico, Territorial y la Cuenca del Río Grande, Oaxaca, usando Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.



II.9 La Biodiversidad

II.9.1 La conservación, un panorama general

El estado de Oaxaca es la entidad con mayor diversidad biológica en México, aun cuando los inventarios biológicos no están completos y existen grandes áreas del estado prácticamente desconocidas. La flora y fauna son relativamente poco conocidas en comparación con las de los estados de Chiapas y Veracruz. Buena parte de su diversidad corresponde a grupos endémicos, lo cual acentúa la importancia de su conservación. Se calcula que la entidad puede albergar entre 8,000 y 10,000 especies de plantas vasculares, número que la ubica junto con Chiapas y Veracruz, entre los estados florísticamente más ricos del país, sin embargo, el desconocimiento de las plantas en algunas provincias, hace aún imposible estudiar el número de endemismos que se presenta en cada una de ellas, (Centeno et al., 2004).

Los primeros esfuerzos de conservación de flora y fauna oaxaqueña datan de 1937, año en el que se crean por decreto del gobierno federal, 2 parques nacionales, el Benito Juárez y el de las lagunas de Chacahua. El primero ubicado al norte de la ciudad de Oaxaca, es un área de recarga de manantiales, que abastecen de agua a la ciudad, el segundo, localizado en la costa tiene la función de proteger las lagunas y la vegetación tropical circundante que sirve como refugio a la fauna nativa de la región. En 1998, se establece la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), que representa una excelente muestra de los ecosistemas áridos y semiáridos de la entidad (*Ibíd.*).

Salvo la RBTC mencionada anteriormente, existen diversas disciplinas enfocadas al estudio de la biología de especies y proponer actividades de conservación, principalmente sobre el norponiente del estado, sin embargo aún siguen siendo de carácter puntual, dirigidos hacia colectas de flora, fauna y algunos modelos de anfibios y reptiles, pero carece de un análisis de carácter integral, que logre condensar los aspectos biofísicos más relevantes, y de esta manera dar un panorama general sobre las condiciones de los recursos naturales, con el fin de ayudar en la toma de decisiones y por consiguiente, un mejor aprovechamiento.

El objetivo de esta investigación, es generar un análisis geo-estadístico de los principales componentes bióticos que conforman el sistema territorial de la cuenca del río Grande, atendiendo las condiciones actuales (calidad y cantidad de los recursos), con el propósito de generar el escenario de aptitud natural de conservación, para el uso del territorio.

II.9.1.1 Estudios de vegetación previos, en la Mixteca Alta

“Entre los pocos trabajos botánicos que se han realizado para la región, está el de Schenck (1921-1922). Cruz Cisneros y Rzedowski (1980), estudiaron la dinámica de 17 comunidades vegetales en la Cuenca del Río Tepelmeme, distrito de Coixtlahuaca y presentaron una lista de 386 especies de plantas vasculares, sin considerar las endémicas de la región. García (1983) en un trabajo florístico en la sierra de Tamazulapan, distrito de Teposcolula, enumera 486 taxones y señala la existencia del 5% de endemismo para la zona. Flores y Manzanero (1985) realizan un estudio de la vegetación y su relación con el medio abiótico en el distrito de Tlaxiaco, reconociendo 9 asociaciones y proporcionando una lista de 142 especies de plantas, sin mencionar el endemismo (García et al. 1994). Cruz (1988), estudió áreas de exclusión de especies dentro de comunidades de pastizal en Tiltepec, distrito de Nochixtlán (Guizar, 2011). Por su parte, Reyes (1993), trabajó los aspectos florísticos y fitogeográficos en el municipio de San Juan Mixtepec, distrito de Juxtlahuaca, donde encontró 800 especies; de acuerdo con este autor, la zona presenta una fuerte afinidad con el Eje Neovolcánico y la Cuenca del Río Balsas, (García et al. 1994).

II.9.1.2 Clasificación de los tipos de vegetación

Como se mencionó en el capítulo I, una población queda definida como una colección de individuos que comparten un acervo genético particular formando, especies vegetales, ahora bien, al conjunto de interacciones entre poblaciones que crecen bajo un ambiente arbitrario (secciones de bosque o llanura) o natural (una cuenca, una montaña, una ladera, una playa, etc.), y poseen cierto grado de asociación, afinidad y estructura, se le denomina, comunidad vegetal.

Dicho de otra manera, es una colección de especies vegetales que crecen en una localidad determinada y que muestran una asociación o afinidad una con otra, (González, 2004, p 44.), donde se dan interacciones entre los organismos y están caracterizadas por un número de propiedades únicas incluidas en la estructura y función, (Guizar, 2011). Particularmente la estructura biofísica de las comunidades vegetales abarca su riqueza (número de especies), abundancia (N individuos por especie), distribución, cambios temporales e interacciones entre las especies, (Ibíd.).

La unidad mayor que se usa para clasificar las comunidades vegetales en México es el *bioma*, definido por la morfología de las comunidades a escala global o regional, la cual está dada por las formas de vida o biotipos dominantes, así se reconocen los *bosques*, dominados por árboles, plantas leñosas con un tronco bien definido, generalmente de más de 4m de alto; *los matorrales*, dominados por arbustos, plantas leñosas de 0.5-5 m de alto con tallos ramificados desde la base y *los herbazales*, dominados por plantas herbáceas, (González, 2004, p 41.)

Otro nivel de integración es la *serie de formaciones*, es decir, el agrupamiento de las formaciones vegetales (tipos de vegetación), ecológicamente relacionadas entre sí por algún gradiente ambiental, (clima, altitud, suelos, relieve etc.). De esta manera, para una “región tropical con vegetación zonal (afinidad y dependencia del clima), y clima húmedo” puede definirse la serie de formaciones: *bosque alto perennifolio*, *bosque alto subperennifolio* y *bosque mediano subperennifolio* (Ibíd.).

Para una “región tropical con vegetación zonal y clima seco”, puede definirse la serie: matorral submontano, matorral crasicale, matorral rosetófilo espinoso, matorral desértico, el matorral micrófilo, etc. Es decir, la propia estructura y distribución de ambientes climáticos, propician la asociación de diversas formaciones (Ibíd.).

El siguiente nivel lo constituye la formación, y éste corresponde concretamente a los tipos de vegetación, y está definido por la fisonomía, estructura y fenología, por ejemplo: la selva baja caducifolia. Los valores de bajo, mediano y alto, de las formas de vida siguen la propuesta de Miranda y Hernández (1963) (Ibíd.).

Dentro de las formaciones pueden diferenciarse 2 niveles más por su composición florística, las *asociaciones* y *consociaciones*, éstas corresponden a una de las unidades más detalladas de clasificación de vegetación antes de llegar a las poblaciones. La primera hace referencia a un binomio de distribución, es decir a una interacción o relación recíproca de especies. Por ejemplo:

Formación: bosque bajo abierto de aciculi-escumifolios.

Asociación: bosque bajo de *Pinus cembroides* “pino piñonero”
y *Juniperus flaccida* “táscate”.

La consociación hace referencia a aquella comunidad en la que el estrato dominante está constituido por una sola especie. Por ejemplo:

Formación: bosque bajo de durifolios (encinar)

Consociación: bosque bajo de *Quercus oleoides* “encino tesmol”,
en la planicie costera del Golfo de México (Ibíd.).

Este arreglo jerárquico es lo que permite identificar atributos de la vegetación y el ambiente, a diversas escalas, en función de ello se habla de mapas a gran, media y pequeña escala. Las escalas menores o

Caracterización

pequeñas identifican grandes unidades de vegetación a nivel de bioma y/o series de formaciones, estrechamente relacionadas con los rasgos climáticos y fisiográficos. En ocasiones pueden estar relacionados con el sustrato geológico y su representación puede hacerse a escalas 1:1,000,000; 1:2,000,000 o más. El siguiente nivel de integración, es la formación (en sentido amplio, equivalente al tipo de vegetación), éste se puede representar a escalas medias 1:500,000; 1:250,000, como lo ha hecho el INEGI (1:250,000). Finalmente las asociaciones y consociaciones se pueden representar a gran escala 1:50,000 o mayores (*Ibíd.*).

II.9.1.2.1 Selva baja caducifolia

Esta formación vegetal también se le conoce con la denominación de bosque tropical bajo caducifolio, presentándose en la zona climática de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5. El sustrato geológico puede ser de rocas calizas o ígneas, lo que definirá la variación de los suelos en que se desarrolla. En la cuenca del río Grande se presenta asociado a rocas calizas y margas, el suelo predominante, es somero y pedregoso, bien drenado, pH de ácido a ligeramente alcalino (6.5 a 7.5), (INEGI, 2009, y Guizar, 2011.). La presencia de esta vegetación corresponde, por lo general, a terrenos de laderas escarpadas y cerriles (**Figura II.49**).



Figura II.49. Selva baja caducifolia, río Culebra, al sur de la cuenca del río Grande. © Todos los derechos reservados, Stonedan, 2011. [<http://www.panoramio.com/photo/61662817>; <http://www.panoramio.com/photo/61616187>: consultado el 19-09-2013].

Sus rasgos fisionómicos en estado natural corresponden a una comunidad densa, su altura oscila generalmente entre 5 y 15 m, los árboles que lo constituyen forman un techo de altura uniforme, las copas de las especies del estrato dominante son convexas o planas y su anchura a menudo iguala o aventaja la altura de la planta, lo que proporciona a los árboles un porte muy característico. El diámetro de los troncos por lo general no sobrepasa los 50 cm, éstos con frecuencia son retorcidos y se ramifican a baja altura o casi desde la base, de tal manera que el tronco principal pierde su individualidad muy pronto, (*Ibíd.*).

Muchas especies tienen cortezas de colores llamativos y superficie brillante, exfoliándose continuamente sus partes externas. La característica más sobresaliente de esta formación vegetal lo constituye la pérdida de sus hojas durante un período de 5 a 8 meses. Por el carácter estacional de las lluvias, las cuales se presentan desde principios de mayo a finales de octubre, este tipo de vegetación se encuentra en su máxima expresión de desarrollo y presencia de follaje durante este periodo, en tanto que al término de la temporada de lluvias (principios de noviembre), la vegetación presente en las laderas presenta tonalidades muy diversas que van desde verde claro, amarillo-rojizas a verde oscuras según la fenología de cada especie (*Ibíd.*).

II.9.1.2.2 Bosque de *Quercus*

Este tipo de vegetación se le reconoce también como bosque tropical bajo de durifolios, son comunidades vegetales características de las zonas montañosas de México con clima templado, aunque como lo señala Rzedowski (2005), también suelen encontrarse en condiciones ecológicas de zonas semiáridas, tropicales y subtropicales, denotando una diversidad florística y fisonómica. Fisionómicamente se encuentra constituido normalmente por árboles bajos de 6 a 8 m de altura, aunque esto es relativo, ya que algunos pueden llegar a los 15 m, son de tallo robusto y tortuoso, caducifolios y de hojas coriáceas. Los encinares guardan relaciones complejas con los pinares, con los cuales comparten afinidades ecológicas generales; derivado de esto, son muy frecuentes los bosques mixtos de géneros *Quercus* y *Pinus*. Se conocen encinares en casi todos los estados, y se encuentran desde el nivel del mar hasta 3 100 msnm, aunque más de 95% de su extensión se halla a altitudes entre 1 200 y 2 800 msnm. No tolera, aparentemente, deficiencias de drenaje, aunque puede crecer a orillas de arroyos en tierra permanentemente húmeda., (Rzedowski, 2005, e INEGI, 2009).

La distribución de los encinares en la cuenca del río Grande obedece principalmente al factor altitudinal y climático, éstos se localizan por arriba de los 2 400 msnm, sobre la franja montañosa occidental, con clima templado y semifrío, el suelo es de reacción ácida moderada (pH 5.5 a 6.5), con abundante hojarasca y material orgánico descompuesto en el horizonte superficial y, a menudo, también a mayor profundidad; presenta textura franco-arcillo-limosa con tonalidades que van del oscuro, marrón y pardo a las rojizas por la acumulación de óxidos de hierro (**Figura II.50**).



Figura II.50. Bosque de *Quercus*, Cerro Negro, 3 km al NW de San Juan Diuxi, Oaxaca. Archivos del autor.

II.9.1.2.3 Bosque de *Pinus*

Este tipo de vegetación corresponde a lo que se conoce como bosque templado de aciculifolios, se les encuentra en un intervalo ecológico amplio. En lo que se refiere a las características de los suelos y a las condiciones climáticas; su rango altitudinal va de 300 a 4 000 msnm, estando su área de distribución, por lo general, en correspondencia a las principales cadenas montañosas del país. Son comunidades representadas por árboles del género *Pinus*, que en su madurez fisiológica alcanzan alturas de 20 a 30 m de alto, hojas aciculares o en forma de aguja y perennes, (Guizar, 2011., e INEGI, 2009).

Caracterización

Es del conocimiento general, que la mayor parte de las coníferas tolera mejor los suelos ácidos. En México, las rocas ígneas producen, en condiciones de clima semihúmedo, suelos cuyo pH varía generalmente entre 5 y 7, que son los que corresponden a la mayoría de los bosques de pino en el país, sin embargo, cabe señalar que también se les encuentra, aunque en menor dominancia, en zonas donde predomina la caliza, pues estos suelos carecen a menudo de carbonato de calcio en forma libre, (Rzedowski, 2005). **(Figura II.51).**



Figura II.51. Bosque de *Pinus*. Mixteca Oaxaqueña.

A) © Todos los derechos reservados, Jorge B, 2007. [<http://www.panoramio.com/photo/1035389>: consultado el 19-09-2013].
B) © Todos los derechos reservados, Rolando R, 2010. [<http://www.panoramio.com/photo/45079843>: consultado el 19-09-2013].

Es característico de estos bosques un horizonte de humus de 10 a 30 cm y el suelo se halla siempre cubierto de hojas de pino, lo cual se traduce en una superficie resbalosa que, a menudo, dificulta la travesía, sobre todo en pendientes pronunciadas. Los pinares se desarrollan con frecuencia en suelos deficientes en varios componentes minerales y es probable que las micorrizas jueguen un papel significativo en la supervivencia y en el potencial competitivo de estos bosques. Aunque las micorrizas en México se han estudiado muy poco, su importancia puede deducirse indirectamente, a través de la abundancia en los pinares, de hongos que se conocen como formadores de esta asociación simbiótica, (Guizar, 2011).

II.9.1.2.4 Bosque mixto

También conocido como bosque templado mediano de aciculidurifolios, es un tipo de vegetación común en las regiones montañosas de México, constituye una mezcla de elementos del género *Pinus* y *Quercus*, donde la predominancia la puede tener cualquier género, dependiendo básicamente del nivel altitudinal, ya que asociaciones pino-encino suelen distribuirse a altitudes superiores, que las de encino-pino. Los individuos de esta última asociación suelen desarrollar menor altura, además de encontrarse en áreas de mayor importancia forestal, las especies más importantes suelen ser el encino blanco, el roble, el pino-ocote blanco, por mencionar algunos. En su estructura sobresalen los árboles perennifolios de pino con sus copas de forma hemisférica y hojas aciculares, que contrastan con las hojas anchas y coriáceas de los encinos, (Guizar e INEGI, op. cit.). **(Figura II.52).**

II.9.1.2.5 Matorral xerófilo y desértico micrófilo

Rzedowski (2005), utiliza el binomio nomenclatural matorral xerófilo, para referirse a un ecosistema compuesto por una gran diversidad de comunidades propias de zonas desértico-estepario del país. Con esta denominación agrupa a un conjunto de comunidades vegetales en donde predominan plantas de

porte arbustivo, que no rebasan los 4 m de alto y sus ramificaciones surgen, la mayoría de las veces, desde la base o bien muy cerca del suelo, con adaptaciones propias como la presencia de espinas, en tallos y ramas, hojas pequeñas, compuestas por folíolos segmentados o bien especies con hojas gruesas y duras de bordes espinosos o aserrados agrupados en rosetas, (Rzedowski, Guizar e INEGI, op. cit.), **(Figura II.53)**. La presencia de este tipo de matorrales se observa prácticamente en todo tipo de condiciones topográficas, al igual que no tienen preferencia por algún tipo de sustrato geológico. En relación al clima, los matorrales se desarrollan en los tipos generales BW (árido) y BS (semiárido), con sus numerosas variantes.

El matorral desértico micrófilo también presenta una distribución en concordancia con las zonas áridas y semiáridas del país, está formado de hoja o folíolo pequeño, presenta afinidad con los terrenos aluviales más o menos bien drenados y puede estar formado por asociaciones de especies sin espinas, con espinas o mezclados, además de presentarse en su estructura otras formas como cactáceas y gramíneas. Durante la época seca el estrato herbáceo prácticamente desaparece, pero cuando llegan las lluvias germina con rapidez, (Rzedowski op. cit.).

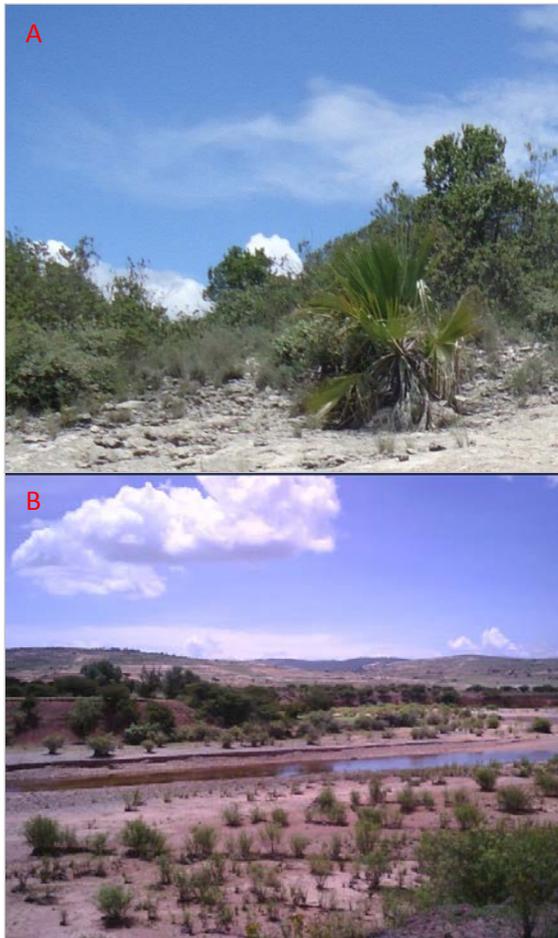


Figura II.53. (A) Matorral xerófilo en las inmediaciones de Santiago Amatlán. Archivo del autor.

(B) Matorral desértico micrófilo (inermes) en las inmediaciones de San Francisco Jaltepetongo, en las márgenes del río Grande. Mixteca Oaxaqueña.

© Todos los derechos reservados, wmiddle, 2009.

[<http://www.panoramio.com/photo/24688358>: consultado el 19-09-2013].

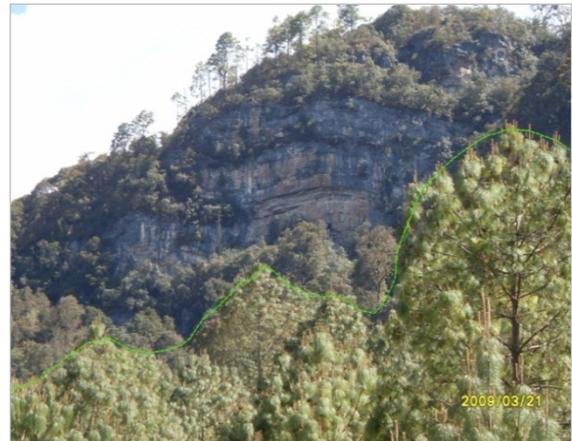


Figura II.52. Comunidad de bosque de pino-encino. Mixteca Oaxaqueña.

© Todos los derechos reservados, Abdón Luis V.M., 2009.

[<http://www.panoramio.com/photo/22542015>: consultado el 19-09-2013].

Caracterización

Si bien, este gran ecosistema se desarrolla en condiciones ecológicas similares, varios autores como Miranda y Hernández los han clasificado de acuerdo con sus características estructurales y fisionómicas, de esto deriva el matorral inerme (> 70% de plantas sin espinas) y matorral espinoso (>70% de plantas con espinas), (Guizar, 2011).

II.9.1.2.6 Pastizal natural e inducido

Dentro de estas comunidades se encuentra una gran diversidad de especies gramíneas, en ocasiones se les conoce como zacatal, (Rzedowski J., op cit.), éstos se desarrollan de preferencia en suelos medianamente profundos de mesetas, fondos de valles y laderas poco inclinadas, en altitudes entre 1100 y 2500 msnm; las temperaturas medias anuales varían en la mayor parte de su extensión de 12 a 20°C, la precipitación media anual es del orden de 300 a 600 mm. Este tipo de clima corresponde mayormente a la categoría BS (semiárido), de la clasificación de Köeppen, (INEGI, 2009).

Los suelos propios de los pastizales son en general de reacción cercana a la neutralidad (pH entre 6 y 8) con texturas que varían del migajón arcilloso a migajón arenoso y coloración rojiza a café. Por lo común son suelos fértiles y medianamente ricos en materia orgánica. Se erosionan con facilidad cuando se encuentran en declive y carecen de suficiente protección por parte de la vegetación. El pastizal es generalmente de altura media (20 a 70 cm), aunque a causa del intenso pastoreo se mantienen, casi siempre, mucho más bajos, su coloración amarillenta pálida es característica durante la mayor parte del año y la comunidad sólo reverdece durante los meses más húmedos, (*Ibid.*).

La amplia distribución espacial que presentan los pastizales sobre el territorio, aunado al rápido desarrollo de las actividades agropecuarias, ha generado en las últimas décadas, un sobreuso, incluso al grado de mermar su capacidad de crecimiento óptimo, propiciando la creación de procesos erosivos en el suelo. (**Figura II.54**).

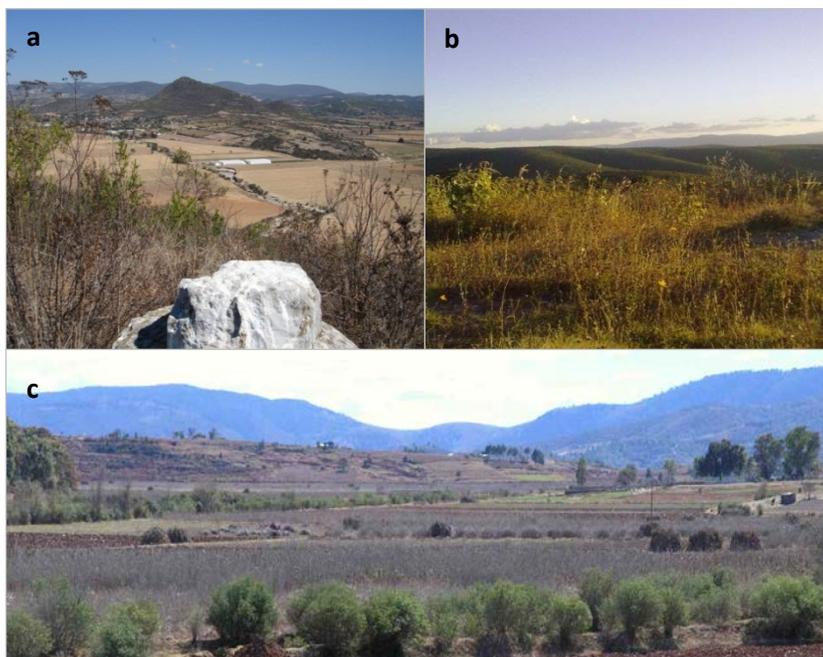


Figura II.54 (a). Comunidad de pastizal en San Andrés Sinaxtla. © Todos los derechos reservados, Misael Chavoya, 2011. [<http://www.panoramio.com/photo/60021104>: consultado el 19-09-2013]. **(b)** Comunidad de pastizal, 7 km al sur de Nochixtlán. © Todos los derechos reservados, Sergio Jiménez, 2010. [<http://www.panoramio.com/photo/43424168>: consultado el 19-09-2013]. **(c)** Comunidad de pastizal en Magdalena Yodocono. © Todos los derechos reservados, Lon&Queta, 2011. [<http://www.panoramio.com/photo/49992310>: consultado el 19-09-2013].

II.9.1.3 El proceso de clasificación

En esencia, la clasificación de una imagen digital, también conocida como el *reconocimiento de patrones espectrales*, se basa en la utilización de la información espectral de cada pixel, contenida en determinada muestra, para elaborar el *retrato espectral*, de cada categoría, con base en sus medidas de tendencia central, dispersión y correlación (media, varianza, covarianza). El objetivo del proceso de clasificación, es asignar todos los pixeles de una imagen para un número finito de categorías, o clases de datos, basándose en la probabilidad de pertenencia. De esta manera, si un pixel satisface cierto conjunto de criterios, entonces se asigna a la clase que corresponde a ese criterio, (PCI Geomatics, 2007, y ERDAS, 2001).

En una clasificación digital se busca reducir el porcentaje de discrepancias entre una clase de información propuesta por el usuario y una clasificación espectral propuesta por el sistema. Las primeras se entienden como categorías de cobertura del territorio, en éstas, el usuario estará interesado en la identificación de los datos originales del espectro en sus imágenes, por ejemplo: tipos de cultivos agrícolas, especies vegetales-forestales o bien materiales geológicos. Las segundas se entienden como grupos de pixeles con características espectrales similares, (PCI Geomatics, 2007).

En teledetección existe un gran número de algoritmos para la generación de áreas relativamente homogéneas, o dicho de otra manera, la generación de conglomerados (clústeres). Para el análisis espectral de la cuenca del río Grande y, de esta manera, elaborar el mapa final de uso del suelo y vegetación, se utilizaron dos metodologías.

II.9.1.3.1 Clasificación no supervisada

No se establece ninguna clase *a priori*, aunque será necesario determinar el número de clases que el usuario necesita, y éstas serán definidas por un procedimiento estadístico. Con este método, el sistema genera una serie de clústeres, basado en un algoritmo de umbrales de distancia entre pixeles y valor de reflectancia; posteriormente, éstos se disuelven o fusionan, basándose en el número de clases preestablecida por el usuario, y bajo criterios de tamaño mínimo de clústeres y distancia entre centros de agrupamiento. El objetivo final será descubrir la estructura de los datos, buscar zonas relativamente homogéneas, que posteriormente se harán coincidir con los usos del suelo y vegetación.

La selección del número de clases estará en función del objetivo de la fragmentación (caracterización, análisis espacio-temporal, estado fenológico etc.), objeto de estudio (bioma, serie de formaciones, formación, asociación y especies vegetales; formación, asociación y especies de cultivos; litología, cuerpos de agua, infraestructura, etc.) y de la escala de trabajo (global, regional, local etc.).

Para lograr medir la calidad de los clústeres generados de entre todas las combinaciones posibles, el sistema genera un análisis de errores residuales, expresados en la distribución de las varianzas, (Reinoso, 2008), así los niveles de reflectancia más relacionados dentro de un conglomerado tendrán mayor probabilidad de coincidir con una cobertura del territorio. (Figura II.55).

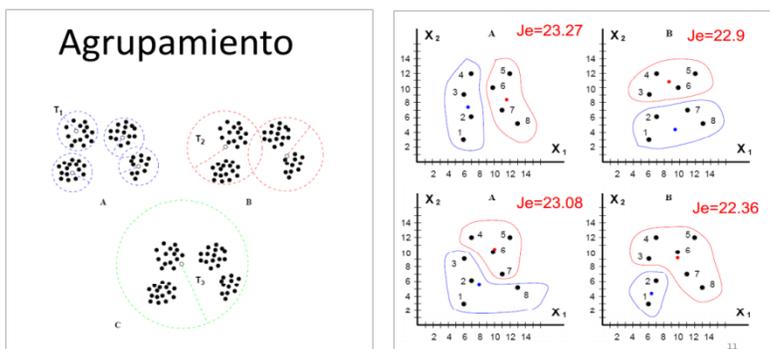


Figura II.55. Agrupamiento por medio de la mínima distancia y análisis de agrupamientos por medio de errores residuales en la distribución de las varianzas. Fuente: Reinoso, 2008.

Caracterización

Para la clasificación no supervisada se empleó el algoritmo ISODATA, como se mencionó anteriormente, éste emplea la fórmula de la distancia espectral y espacial mínima para formar cúmulos (clústeres).

Tomando como referencia un primer mapa de uso del suelo, con una leyenda de diez clases, basado en el Inventario Nacional Forestal (INE-IG, 2000.), se corrieron cinco pruebas de seis, siete, ocho, nueve y diez clases, para su posterior interpretación.

La prueba de 8 clústeres, derivó en una deficiente fragmentación de las especies forestales, el algoritmo realizó un clúster para agrupar comunidades de pino-encino (bosque mixto) y encino, además de incluir áreas de cultivo en estado fenológico sano. Éste último, aparentemente, permitiendo sugerir la distribución de cultivos de riego, por tratarse de una imagen SPOT de la época seca del año. El modelo también confundió el bosque de coníferas y encinos, con comunidades de chaparral sobre La Mesa El Llano, además de realizar un clúster para comunidades de matorral, chaparral e incluir la selva baja caducifolia.

El modelo de 6 clústeres creó la misma confusión entre comunidades de pino-encino-chaparral y sbc-matorral, además de fragmentar, en menor medida, las zonas agrícolas; sin embargo, logró discriminar gran parte de los suelos desnudos, aunque en algunas zonas, creando confusión entre éstos, las parcelas agrícolas y zonas de viviendas aisladas.

Con este análisis se detectaron las cubiertas que presentan mayor heterogeneidad espectral, se observó cómo los modelos realizan combinaciones agricultura-pastizal, agricultura-suelos semidesnudos, agricultura-suelos en estado erosivo y, por último zonas agrícolas en aparente abandono, erosionadas, con deficiente humedad. Esta elevada fragmentación se puede explicar por el estado fenológico de los cultivos, derivado de las disposiciones tecnológicas, ambientales, tipo de cultivo y de su mismo ciclo vegetativo. **(Figura II.56).**

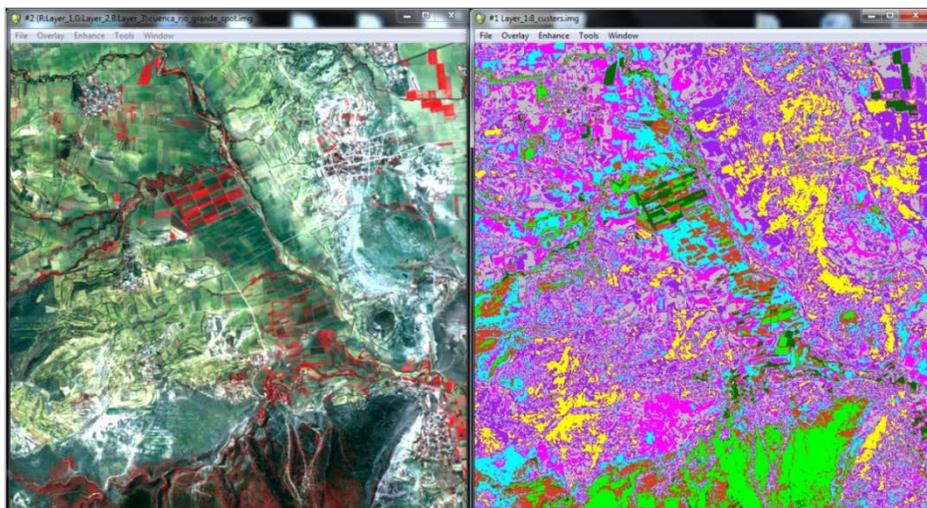


Figura II.56. Composición en falso color de la zona de cultivos (izquierda). Modelo de 8 clústeres de la clasificación no supervisada ISODATA (derecha).

II.9.1.3.1.1 Análisis de firmas espectrales

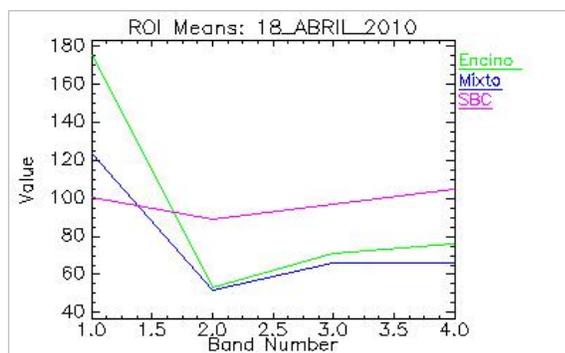
El objetivo de este proceso, es la generación de las primeras áreas de entrenamiento (firmas espectrales) con base en el análisis visual de los resultados de la clasificación no supervisada, el conocimiento previo de la zona o algún método visual indirecto, que permita conocer primeramente la variabilidad espacial de las distintas coberturas y comunidades. Del análisis gráfico de cada firma, se puede interpretar el grado de sobreposición dentro del rango del espectro electromagnético estudiado; esto

ayudará a evaluar la calidad de distribución de las firmas. Por ejemplo, aparentemente se pudiesen sobreponer firmas de matorral con selva baja caducifolia, hecho que podría reducir el porcentaje de confiabilidad del mapa final de uso de suelo y vegetación, sub-estimando o bien sobre-estimando la distribución de cada una.

II.9.1.3.1.2 Separabilidad (encino, bosque mixto y sbc)

El análisis de las firmas espectrales de la zona de bosques y selvas, discrepando entre comunidades de encino, asociaciones de pino-encino (bosque mixto) y una muestra de la selva baja caducifolia (sbc), muestra un relativo patrón espectral entre las 2 primeras clases, de la porción que va del infrarrojo de onda corta (SWIR), a la porción del espectro visible (rojo y verde); es decir, la reflectancia en el IRC que presenta el encino es mayor que en el bosque mixto, posteriormente descienden los niveles en el rojo para las 2 comunidades e inmediatamente ascienden al pico relativo en el verde, siendo mayor éste en el encino; finalmente la línea en la región del SWIR se estabiliza a niveles del verde para el bosque mixto, pero presentando un ligero incremento para el encino. Por su parte, la línea espectral de la selva baja caducifolia, presenta ligeros incrementos en el IRC, verde y SWIR, lo que indicaría que el estado fenológico y contenido de humedad de la comunidad no es óptimo (**Figura II.57**).

La Figura II.54 corresponde a la imagen SPOT 5, del 18 de abril del 2010; este mes posee la segunda temperatura media anual más elevada de la cuenca con 18.1°C, sólo superada por mayo con 18.35°C, y el sexto mes con la menor precipitación, con 30 mm anuales. En éste se puede observar la mayor reflectividad de la sbc en el SWIR, menor en el IRC y eliminación del pico relativo en la región del verde, debido principalmente a la estructura, disposición, y grado de senescencia de las hojas en pie y en el suelo (perdida de follaje). Las condiciones ambientales en que se distribuye la selva baja (ver mapas de altitud y temperatura), también parecen influir en los niveles de reflectancia del sensor. La aparente mejor condición de las comunidades de encino y bosque mixto en el infrarrojo de onda corta, parece estar relacionado principalmente con su propia biología (estructura celular en los mesófilos de empalizada y esponjoso), la epidermis que logra minimizar pérdidas de agua durante el día y la poca o nula pérdida de follaje durante el año (bosques perennifolios).



1.0 (IRC), 2.0 (R), 3.0 (G), 4.0 (SWIR 1).

Figura II.57. Firmas espectrales del encino, bosque mixto y selva baja caducifolia (sbc) durante la primavera. El encino presenta mayor actividad fotosintética, mientras que la sbc presenta una etapa de senescencia.

Como se mencionó anteriormente, existen pruebas de laboratorio que indican el umbral de distribución de cada población o bien, comunidad vegetal dentro del espectro, afectado principalmente por su misma biología y condiciones ambientales. De igual forma, y de manera general, también se pueden establecer patrones para la vegetación sana, como es la baja reflectividad en el visible (moderada en la banda verde y baja en la roja-azul), alta en el IRC y baja, con presencia de algunos máximos relativos, en el infrarrojo de onda corta (SWIR), (Chuvieco, 2002) (**Figuras II.58 y II.59**).

Caracterización

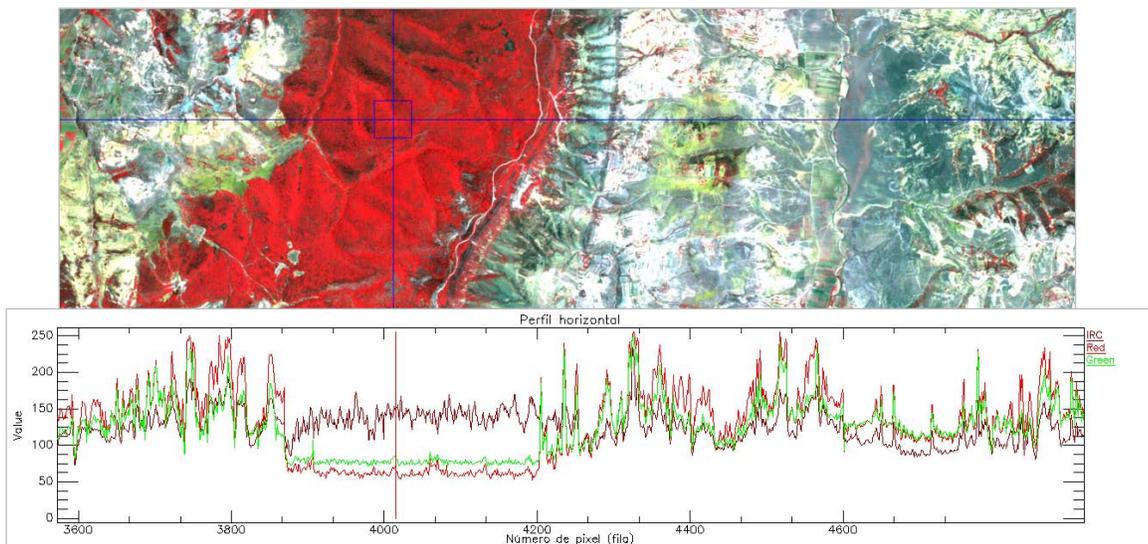
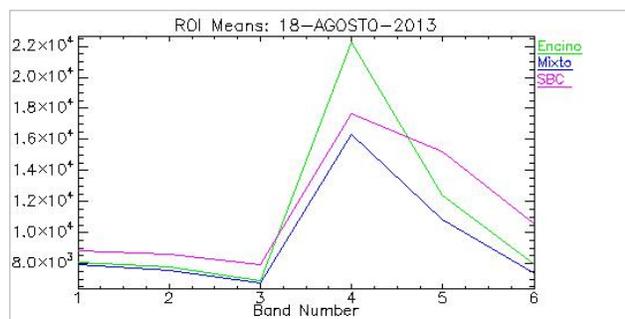


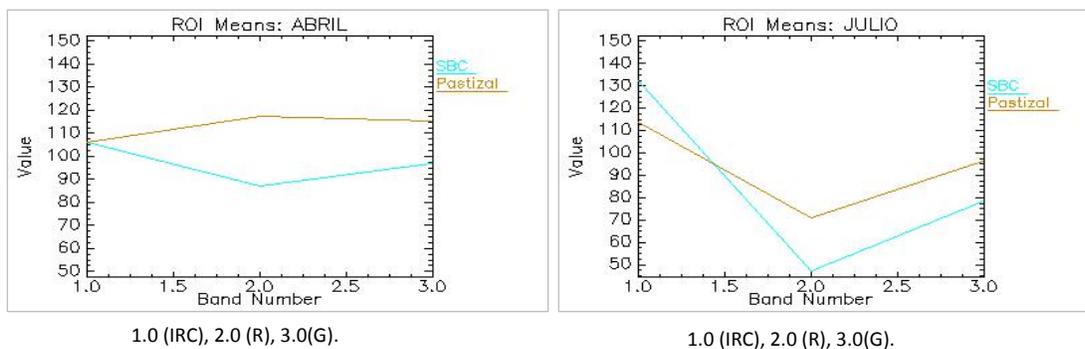
Figura II.58. Composición en falso color 1-2-3 (vegetación), en una imagen SPOT 5 del 18 de abril del 2010 y distribución de su reflectividad en un perfil horizontal. Rojo oscuro (IRC), rojo claro (R) y verde (G).



1 (B), 2 (G), 3 (R), 4 (IRC), 5 (SWIR 1) y 6 (SWIR 2).

Figura II.59. Reflectividad de la vegetación sana en Landsat 8. Ésta presenta niveles bajos en el visible (pico relativo en la región del verde), alta en el IRC y baja, con presencia de algunos máximos relativos, en el infrarrojo de onda corta (SWIR 1).

Ahora bien, cuando la vegetación se encuentra en la época seca del año, la clorofila ejerce una menor influencia, razón por la cual, aumenta la reflectividad en la banda roja, para igualar o bien, superar los niveles de la banda verde y aparece su color amarillento (verde+rojo), (*Ibid.*). En este momento descienden los niveles de reflectancia en el IRC, (**Figura II.60**).



1.0 (IRC), 2.0 (R), 3.0(G).

1.0 (IRC), 2.0 (R), 3.0(G).

Figura II.60. Variabilidad de la actividad fotosintética en la sbc e inversión de la curva espectral del pastizal entre la primavera (abril) y el verano (julio).

A partir de 1.4 μm , el efecto absorbente del agua es muy claro, por lo que la reflectancia de la vegetación sana se reduce drásticamente en el SWIR, situación contraria, ocurre con la vegetación en la época de sequía o en estado senescente, donde los valores se elevan, por el escaso contenido de agua en la estructura de las hojas. Las medidas de laboratorio muestran una notable diferencia en esta región del espectro, entre las hojas secas y las infiltradas con agua. El sensor no mide hojas aisladas, sino agrupaciones de hojas formando masas de vegetación, razón por la cual, es necesario tener en cuenta otros factores al analizar los niveles del SWIR, tales como la geometría de la planta, los ángulos de observación e iluminación y las características del sustrato, (*Ibid.*). (Figura II.61).

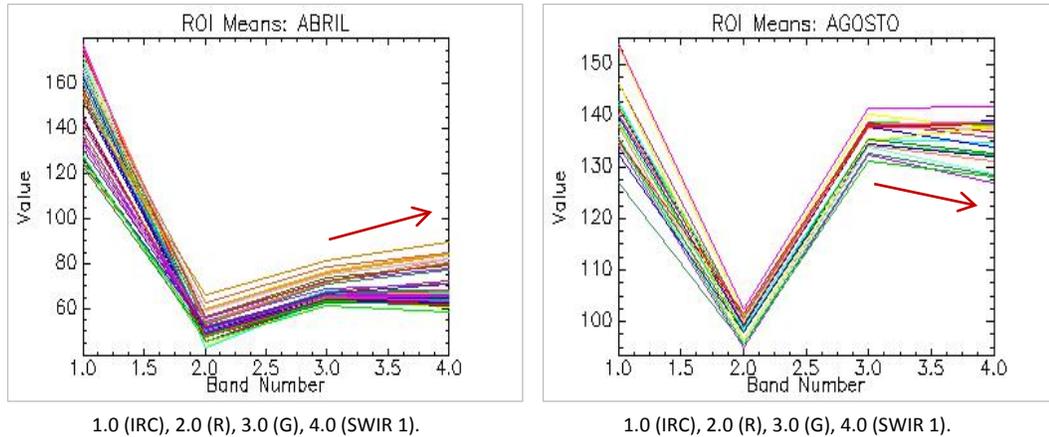


Figura II.61. Tendencia del infrarrojo de onda corta (SWIR 1), sobre el bosque de encino, en el corredor biológico Cerro Negro –Yucaño, entre la primavera (abril) y el verano (agosto).

II.9.1.3.1.3 Índice de vegetación (NDVI)

El índice de vegetación NDVI (Normal Difference Vegetation Index), es un parámetro que permite conocer las características de la vegetación relacionadas con la biomasa foliar, actividad fotosintética y el contenido de agua en el dosel forestal. Una de las aplicaciones del índice es el análisis multitemporal de la biomasa, ya que guarda una estrecha relación con las fases fenológicas de la vegetación. El intervalo de variación del NDVI queda comprendido entre -1 y 1; donde la vegetación siempre registra valores positivos según la estructura, fisonomía y densidad del tipo de vegetación, es decir en la época lluviosa el NDVI registra los valores más altos, entre 0.5 y 0.8, debido al desarrollo y producción de biomasa foliar; mientras que en el periodo de sequía, éste presenta valores bajos, alrededor de 0.2 y 0.3, que representan la senescencia y caída de follaje (Gómez, 2009). El cálculo del índice se obtiene a partir de los valores de reflectancia de las bandas espectrales del rojo (R) y el infrarrojo cercano (IRC), de cualquier sensor satelital, cuyo intervalo de variación al estar normalizado, queda comprendido entre -1 y +1:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IRC} - \text{R})}{(\text{IRC} + \text{R})}$$

El objetivo de generar el índice es la corroboración del comportamiento espectral de la vegetación en las épocas de sequía y lluvia, mostrado en las figuras anteriores; en algunos casos esta variabilidad es muy significativa, como en la zona de pastizales, matorrales, sbc y comunidades de chaparral sobre la Mesa El Llano y zonas montañosas al noreste de la cuenca; en otros casos, ésta, si bien tiende a incrementarse de la época seca a la lluviosa, no presenta mayor problema en los meses de estiaje por factores como la propia biología de las plantas, estructura y condiciones ambientales mencionadas anteriormente; ejemplos de esto son los bosques de encino y mixto distribuidos sobre las partes coronarias de los macizos de rocas calcáreas (>2400 msnm), al noroccidente de San Juan Diuxi (Figura II.62).

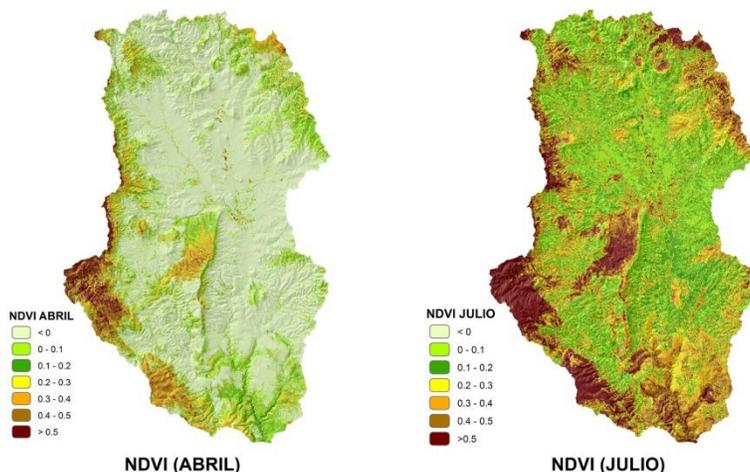


Figura II.62. Variabilidad del NDVI, de primavera (abril) al verano (julio), en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

Como se mencionó, la hoja senescente o enferma, tiende a perder actividad clorofílica, por consiguiente, se pierde actividad en las regiones del azul y rojo del visible, elevando su reflectividad, por el contrario se elimina el pico relativo en la región del verde, por lo que ésta toma un color amarillento; ahora bien, en el IRC, se produce una reducción de reflectividad como consecuencia del deterioro de la estructura celular de la hoja, la curva espectral se hace más plana. Este análisis se hace importante para detectar plagas, incendios o algún tipo de estrés en las hojas, pues están asociados a un desplazamiento en el límite del rojo, es decir, un cambio en la pendiente de la línea espectral del rojo y el infrarrojo cercano, (*Ibíd.*), (**Figura II.63**).



Figura II.63. Selva baja caducifolia en enero; San Juan Tlalixtlahuaca, valles centrales, Oaxaca (izquierda), © Todos los derechos reservados, Fernando Cruz, 2009. [<http://www.panoramio.com/photo/27648898>: consultado el 26-09-2013]. Selva baja caducifolia en mayo; El Progreso Sosola, valles centrales, Oaxaca (derecha), © Todos los derechos reservados, Victor Ahedo, 2012. [<http://www.panoramio.com/photo/74043196>: consultado el 26-09-2013].

En varios estudios se ha comprobado una clara relación entre el cociente IRC/SWIR y el contenido de humedad en las hojas (*Ibíd.*), por ejemplo, en una gráfica de separabilidad, entre mayor sea la variabilidad entre el IRC - SWIR y el primero sea mayor al segundo, mayor será la probabilidad de concentración de humedad en éstas, lo que permitirá determinar aquellas zonas que presentan niveles óptimos de crecimiento y por otro lado, aquellas afectadas por estrés hídrico. En un dispersograma esta relación se puede observar por la tendencia (desplazamiento de información hacia una banda del espectro), dirección y densidad de elipses (firmas espectrales). Por ejemplo, en una relación IRC-SWIR de la época

de sequía, gran parte de la información radiométrica se correrá hacia la banda del SWIR, por la poca o nula absorción de agua en las cubiertas, por el contrario los niveles en el IRC descenderán significativamente (**Figura II.64**).

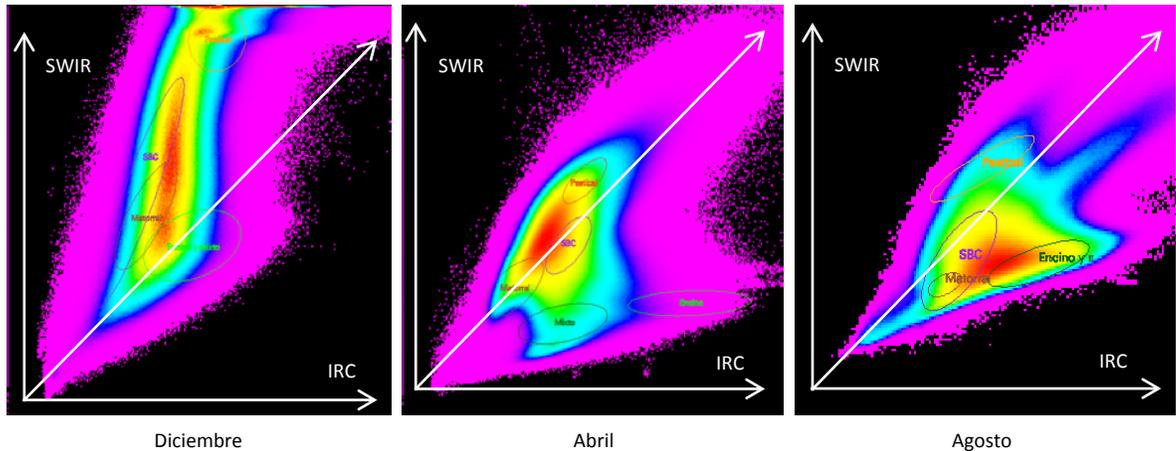


Figura II.64. Variabilidad de las cubiertas en la cuenca del río Grande con relación a la actividad fotosintética (IRC) y contenido de humedad (SWIR).

Ahora bien, se realizó un análisis de separabilidad para comprobar la distribución, tendencia, densidad, relación de cada clase con el IRC-R y el grado de sobreposición gráfica (confusión), de las clases que aparentemente fueron homogéneas para el clasificador ISODATA. En el análisis de dispersión se relacionaron las bandas 1 y 2 que corresponden con el infrarrojo cercano y el rojo; se escogieron estas bandas, por el grado de variabilidad que presentan al asociarse, principalmente con relación al estado de la vegetación. En la **Figura II.65** se pueden discriminar las 3 clases sin presentar significativas sobreposiciones, lo cual evidencia la calidad de distribución de las firmas, que anteriormente la clasificación no supervisada omitió.

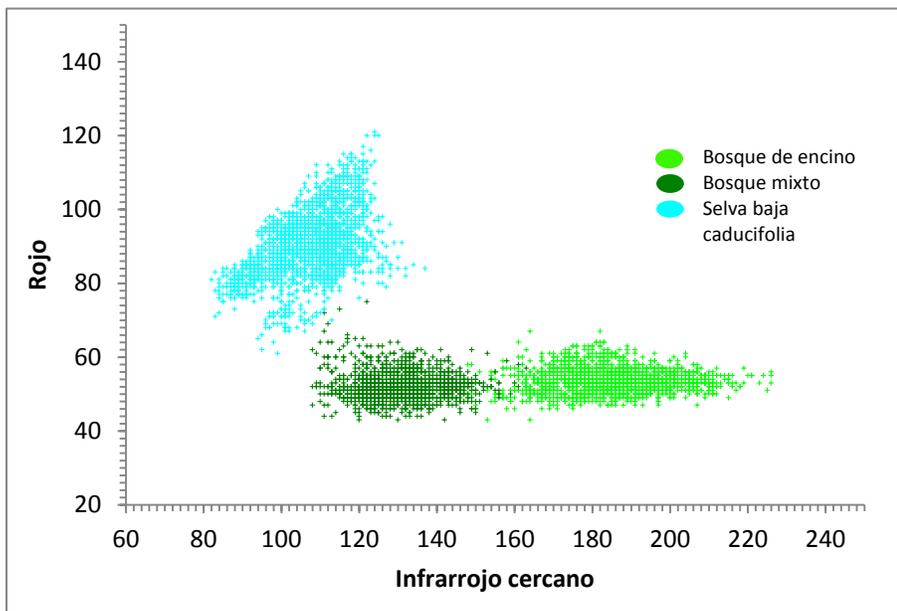


Figura II.65. Separabilidad de firmas espectrales del bosque de encino, mixto y selva baja caducifolia.

Caracterización

II.9.1.3.1.4 Separabilidad (cultivos)

Los resultados de la clasificación no supervisada con 8 clases, fragmentó, en gran medida, la zona de cultivos ¹⁰, inclusive confundiendo a éstos con el bosque de encino, el pastizal, los suelos desnudos y semidesnudos. Para esto, se realizó otro análisis de separabilidad de las firmas espectrales, tomando una muestra del área de cultivos, para de esta manera, corroborar los umbrales de discrepancia, y señalar los posibles factores que intervienen en la aparente confusión. (Figuras II.66, II.67 y II.68).

Este tipo de análisis permite evaluar el grado en el cual las categorías pueden ser distinguidas espectralmente. Para este efecto, se optó por utilizar el método de *Divergencia Transformada* (DT), ya que ha mostrado tener mejores resultados que otros métodos (Jean, 2008). Los valores que se obtienen a través del cálculo de separabilidad fluctúan entre 0 y 2000, donde el valor más elevado representa la separabilidad máxima entre los pares de clases. Para la interpretación de los valores de separabilidad, se adoptan los rangos mostrados en el Cuadro II.8.

Cuadro II.8. Rangos de separabilidad. Tomado de PCI Geomatics, 2007.

VALOR (DIVERGENCIA TRANSFORMADA)	GRADO DE SEPARABILIDAD
0-1000	Separabilidad muy pobre
1000-1900	Separabilidad pobre
1900-2000	Buena separabilidad

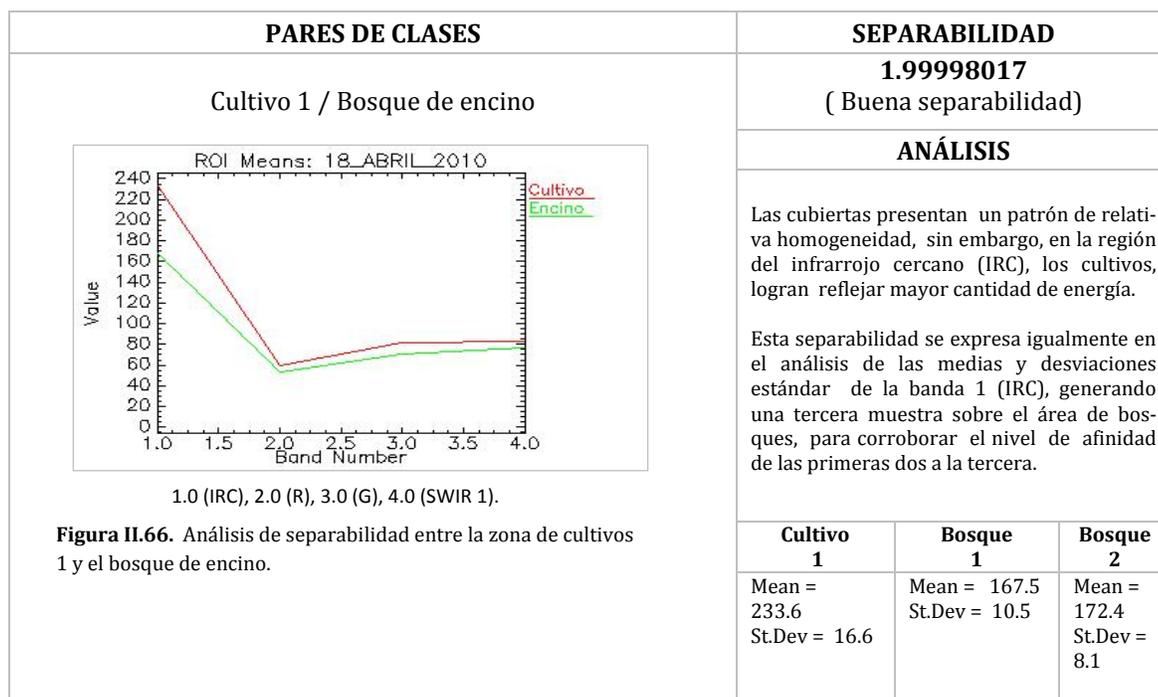


Figura II.66. Análisis de separabilidad entre la zona de cultivos 1 y el bosque de encino.

¹⁰ En adelante los conceptos: agricultura en estado senescente-agricultura de temporal y agricultura en estado fenológico óptimo-agricultura de riego, se usarán como sinónimos, debido al análisis de la imagen SPOT 5 del 10 de abril del 2010 (época de sequía), y condiciones medioambientales de la zona de cultivos (topografía, altitud, temperatura, precipitación etc.).

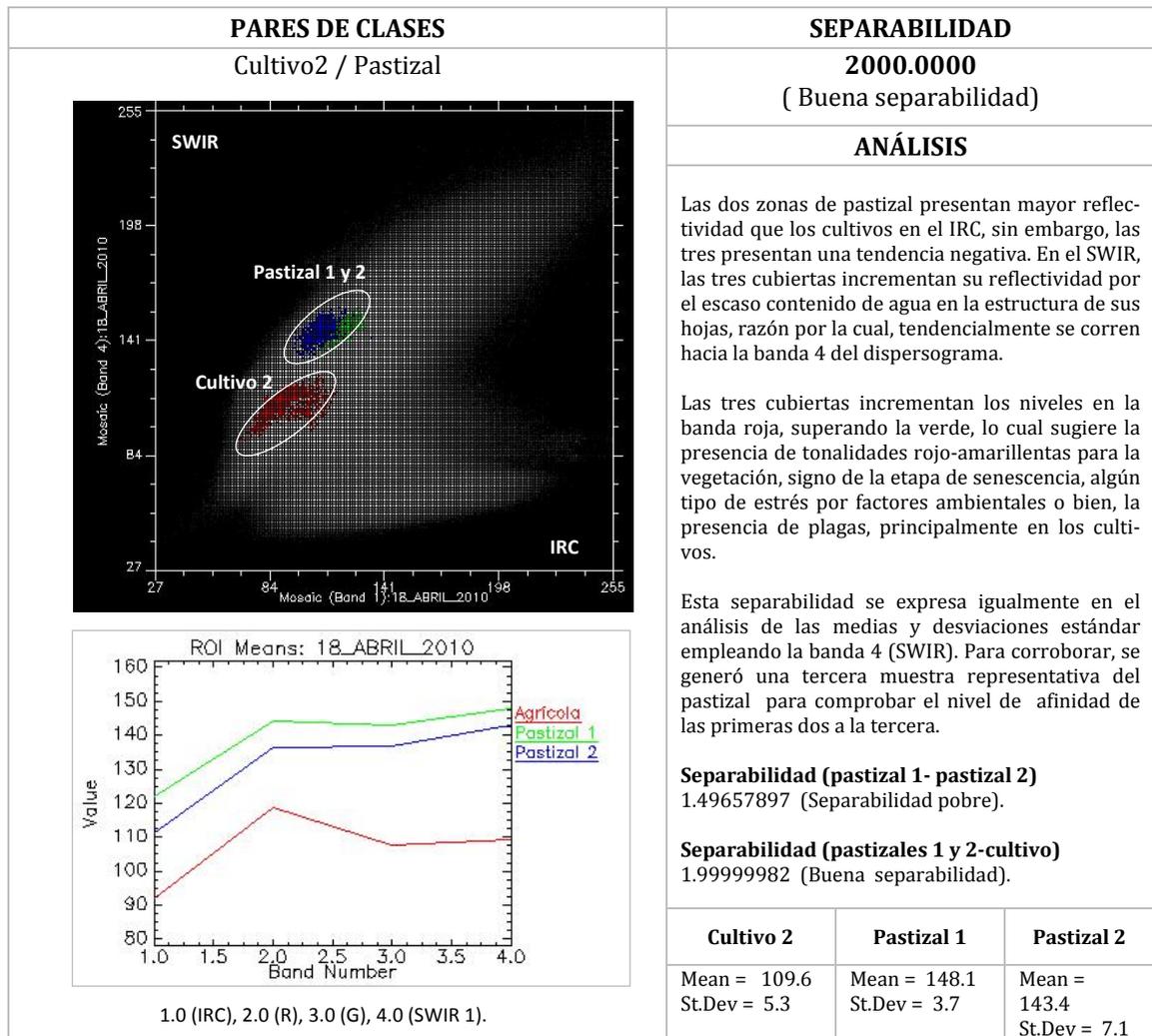


Figura II.67. Análisis de separabilidad entre la zona de cultivos 2 y el pastizal.

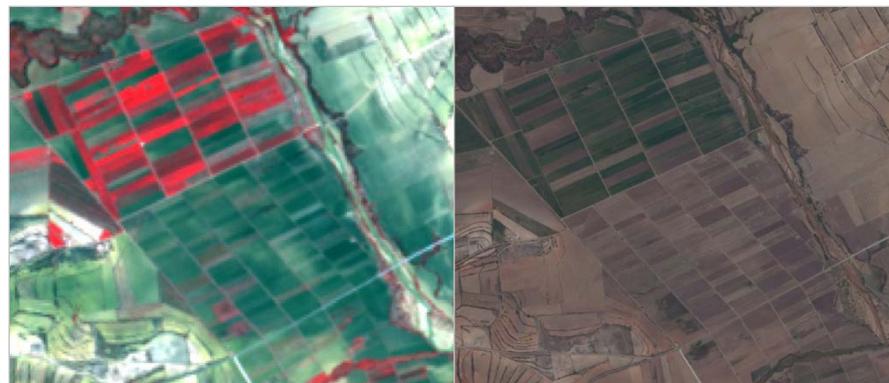


Figura II.68. Zona de cultivos en la cuenca del río Grande (SPOT 5 a la izquierda, imagen Google Earth Profesional, a la derecha.).

El análisis rechazó la aparente confusión entre las zonas agrícolas, el bosque de encino y pastizal. Una cuestión no menos importante que vale la pena mencionar, es la distribución de cultivos de gramíneas y leguminosas como el trigo, las habas, el frijol, los chícharos etc., el suelo semidesnudo presente en las zonas de cultivo, donde los campos, en ocasiones son abandonados, o presentan poca productividad por las condiciones medioambientales. Otra cuestión que se conoce, es el abandono de actividades en las tierras por temporadas (descansar la tierra), es decir, en estado latente para futuras siembras, hechos que pudiesen explicar la preliminar confusión del sistema, para discriminarlos.

Una vez detectada la variabilidad de las coberturas del terreno en la cuenca, con la ayuda de un clasificador no supervisado, ahora se cuenta con un conocimiento previo para realizar una clasificación supervisada, método empleado para realizar el mapa final de uso de suelo y vegetación.

II.9.1.3.2 Clasificación supervisada

El objetivo de este método es el reconocimiento de patrones homogéneos, que se traducen en los niveles digitales que componen una imagen. Esta identificación resulta de la aplicación de conocimientos relacionados con técnicas de análisis e interpretación fotogramétrica y fotogeográfica, además del conocimiento espacial en campo (observaciones y muestreo). Cabe mencionar que para algunos estudios detallados, principalmente los relacionados con el análisis fenológico de especies vegetales y cultivos, estimación de rendimientos, etc., se realizan monitoreos radiométricos empleando espectrometría.

Se realizó un recorrido en campo para identificar las principales comunidades, basadas en la leyenda propuesta en el Inventario Nacional Forestal (INE-IG, 2000), además de un previo análisis con el visualizador Google Earth Profesional y la base de datos digital del navegador Panoramio, para completar la identificación de la vegetación, en los sitios más representativos a nivel comunidad y serie de formaciones.

Las imágenes de satélite empleadas, contienen los datos adquiridos por el satélite SPOT 5. Se realizó el recorte de la zona de estudio en el programa ERDAS IMAGINE 9.2, obteniéndose una composición de 4 bandas, que van del verde al rojo en el espectro visible, infrarrojo cercano (IRC), e infrarrojo de onda corta (SWIR). La imagen quedó compuesta por 2,974 columnas y 4,833 filas, éstas fueron georreferenciadas, tomando como base la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), y considerando el elipsoide y datum WGS-1984. El procesamiento digital de la imagen, se realizó mediante el software ENVI 4.7. Para la definición de las primeras áreas de entrenamiento se realizaron polígonos de los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo, con el apoyo visual en la ortofoto, diversas composiciones en falso color, e imágenes de alta calidad, obtenidas del visualizador Google Earth Profesional. La determinación del tamaño de cada muestra, básicamente se realizó considerando los resultados de la clasificación no supervisada, que permitió observar regiones homogéneas de píxeles y por otro lado, la densidad y tamaño de coberturas en las imágenes de apoyo, con lo que se estableció más de un área de entrenamiento y diversos tamaños para cada tipo de vegetación y uso de suelo.

Con base en las respectivas leyendas del Inventario Nacional Forestal (INE, IG-UNAM, 2000), la cartografía del INEGI, Uso de Suelo y Vegetación Serie III (2002-2005) y el conocimiento previo de la zona de estudio, se definió la primera leyenda de vegetación a nivel comunidad y serie de formaciones.

Los píxeles preliminares utilizados como áreas de entrenamiento fueron visualizados en una gráfica de dispersión (dispersograma), colocando la banda del rojo (R), en el eje de las ordenadas y el IRC, en el eje de las abscisas; con ello se logró observar el grado de discriminación entre una clase y otra y, de esta manera, inferir el resultado de la fase de asignación (clasificación digital), al observar la sobreposición existente entre los píxeles de diferentes clases (**Figura II.69**).

Se utilizó el método Maximum likelihood para la fase de asignación, donde a partir de la construcción de las medidas de tendencia central y dispersión, de los niveles digitales de las áreas de entrenamiento (matriz de varianza-covarianza), se eligen aquellos píxeles de toda la escena, cuyos niveles digitales queden explicados bajo los parámetros antes mencionados; en función de esto, cada pixel queda asignado a una de las categorías determinadas en la leyenda de trabajo.

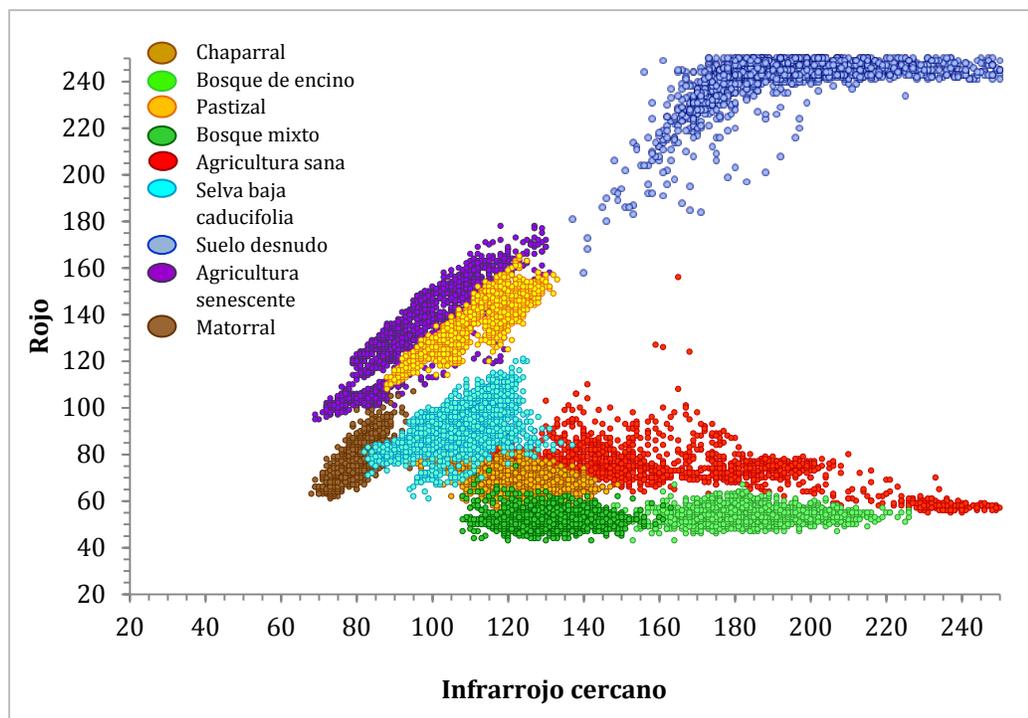


Figura II.69. Separabilidad de coberturas en la fase 1 de entrenamiento. Cuenca del río Grande. Oaxaca.

El objetivo de las áreas de entrenamiento preliminares, fue detectar la persistencia de zonas de confusión; en este sentido y derivado de la primer fase de clasificación, se encontraron dificultades para discriminar el matorral y la selva baja caducifolia, razón por la cual se establecieron dos hipótesis: la primera, una posible confusión cromática atribuida al ángulo de inclinación de las laderas, generando el efecto de sombra orográfica, en la zona del matorral, y la segunda: la posible distribución de algunas especies de la selva baja, en la zona del matorral, formando una zona de transición, dada la relativa cercanía de éste, a otra zona de selva baja caducifolia, 3 km al oriente de la cuenca (región de los valles centrales).

Como se mencionó anteriormente, la zona de cultivos discrepó correctamente en 2 subclases, cultivos sanos y en estado senescente, el chaparral se definió como una comunidad formada por individuos de mediana talla, principalmente del género *Quercus*, éste discrepó correctamente de comunidades de encino de cobertura densa, ubicados en la parte poniente de la cuenca, alternando con pináceas. Ahora bien, la composición cromática entre el encino y pino difiere significativamente en tonalidades que van del rojo intenso al obscuro, siendo las pináceas las que proyectan este último. En el análisis visual de satélite, Google Earth Profesional y de fotografías en los puntos de reconocimiento, se pudo apreciar la alternancia de los 2 géneros en una sola unidad cartográfica, determinando de esta manera la clase, bosque mixto.

Otra de las observaciones en esta fase de asignación preliminar, fue que el sistema sobre-estimó la clase de asentamientos humanos, creando confusión entre ésta, el suelo desnudo y, en menor proporción, el pastizal; una de las razones planteadas es la deficiente cohesión en el clúster de los asentamientos, donde se puede observar el amplio rango de distribución de los pixeles, creando una sobreposición, con las demás clases. Esto se corroboró con el análisis de la mínima, máxima, media y desviación estándar. En el análisis de separabilidad por el método de *Divergencia transformada*, entre las zonas con asentamientos humanos y el suelo desnudo, se obtuvo un valor de 1,545.3, que la coloca en un rango de separabilidad pobre (Figura II.70).

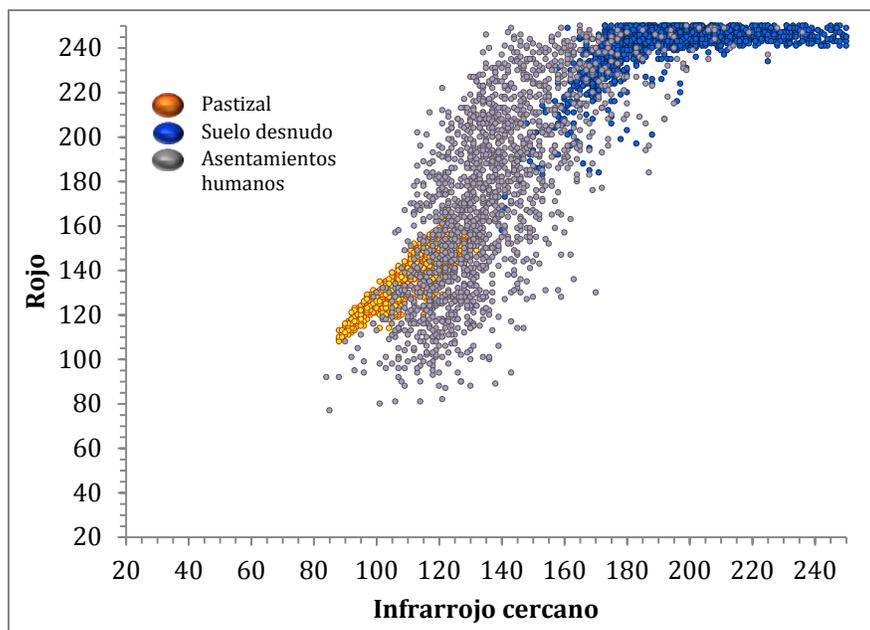


Figura II.70. Separabilidad de los asentamientos humanos, pastizal y suelo desnudo.

Con base en los resultados de confusión, el grado de dispersión de los asentamientos observados en la imagen, y tomando en cuenta el deficiente o nulo desarrollo de la gran mayoría de las estructuras urbanas y rurales de la cuenca, se determinó eliminar la clase “asentamientos humanos”, de la clasificación supervisada y sobreponer a la cartografía final, una capa de las principales localidades.

Una vez delimitadas nuevamente las áreas de entrenamiento, se procedió a una segunda fase de asignación, donde el clasificador logró discriminar con más del 95% de fiabilidad (clasificación del sistema), las coberturas de bosque de encino, matorral, pastizal, bosque mixto, el suelo desnudo y los cultivos en estado senescente y por encima del 80% las coberturas del bosque de chaparral, los cultivos en estado sano y la selva baja caducifolia, obteniéndose una fiabilidad para el mapa del 93 %. Otro elemento a evaluar fue el porcentaje de precisión de las áreas de entrenamiento; todas las coberturas presentaron niveles de precisión por arriba del 90%, excepto la selva baja caducifolia que finalizó al 88.30%. El porcentaje global de precisión quedó al 95.01% para todas las áreas de entrenamiento.

Con los datos de la Matriz de Confusión utilizados para el cálculo de fiabilidad y precisión, se elaboró un segundo análisis denominado Coeficiente de Kappa:

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Donde:

K= kappa

Po= Probabilidad observada (En caso de acuerdo perfecto, la proporción de concordancia será 1)

Pe= Probabilidad esperada (proporción de concordancia esperada al azar)

Por lo tanto: 1-Pe, representa el margen de acuerdo posible no atribuible al azar

El coeficiente calcula el porcentaje de acuerdo o asociación que existe entre las áreas de entrenamiento y los resultados de la clasificación supervisada, incluyendo el porcentaje atribuido a una potencial clasificación debida al azar. El modelo genera primeramente el coeficiente de concordancia (porcentaje de acuerdos en la matriz de confusión), obtenido bajo las condiciones observadas, denominado probabilidad observada; éste fue de 0.96.

Para obtener la probabilidad esperada (Pe), primeramente se determina el número de píxeles clasificados por fila, es decir el usuario (en cada área de entrenamiento, los aciertos y errores de comisión-omisión), y se determina el porcentaje expresado en coeficiente, de cada una; posteriormente se hace lo mismo con el número de píxeles clasificados por columna, es decir el sistema (en cada área de clasificación, los aciertos y errores de comisión-omisión).

Ahora bien, si se considera que existe independencia entre ambos (usuario-sistema), la probabilidad de que coincidan, clasificando el mismo píxel dentro de una cobertura, será el producto de las 2 probabilidades (coeficiente X * coeficiente Y). Si se aplica el mismo razonamiento, la sumatoria de las probabilidades de los 2 métodos, será la probabilidad de acuerdo operando cualquiera de éstos. Finalmente el coeficiente de la probabilidad esperada fue de 0.16. Aplicando la fórmula, se obtuvo el coeficiente de asociación Kappa de 0.95 (**Cuadro II.9**).

Cuadro II.9. Interpretación del índice de Kappa .
Fuente: Bioestadístico.com

Índice Kappa	Interpretación
0.00-0.20	Distribución al azar
0.21-0.40	Escasa concordancia
0.41-0.60	Moderada concordancia
0.61-0.80	Buena concordancia
0.81-1.00	Muy buena concordancia

Se realizó un filtro mayoritario para reemplazar las celdas vecinas del raster, utilizando una sucesión de matrices de proximidad de 3x3 (8 píxeles), con la finalidad de disolver las unidades no apreciables dentro de la escala cartográfica utilizada, posteriormente se calculó el área para cada cobertura, determinando la mayor extensión para el suelo desnudo con 235 km² equivalentes al 24.04% del área de la cuenca, seguido del pastizal natural e inducido con 215 km² cubriendo el 22.01% del territorio. El chaparral cubrió un área de 169 km² equivalentes al 17.35%; la agricultura de temporal una superficie de 137 km² igual al 14.07%; el matorral 73 km² equivalente al 7.45%; la selva baja caducifolia 62 km² igual al 6.39%; el bosque mixto un área de 46 km² igual a 4.68%; la agricultura de riego 20 km² igual al 2.07% y finalmente el bosque de encino con 19 km² equivalente al 1.93% de la superficie total del territorio (**Figuras II.71 y II.72**).

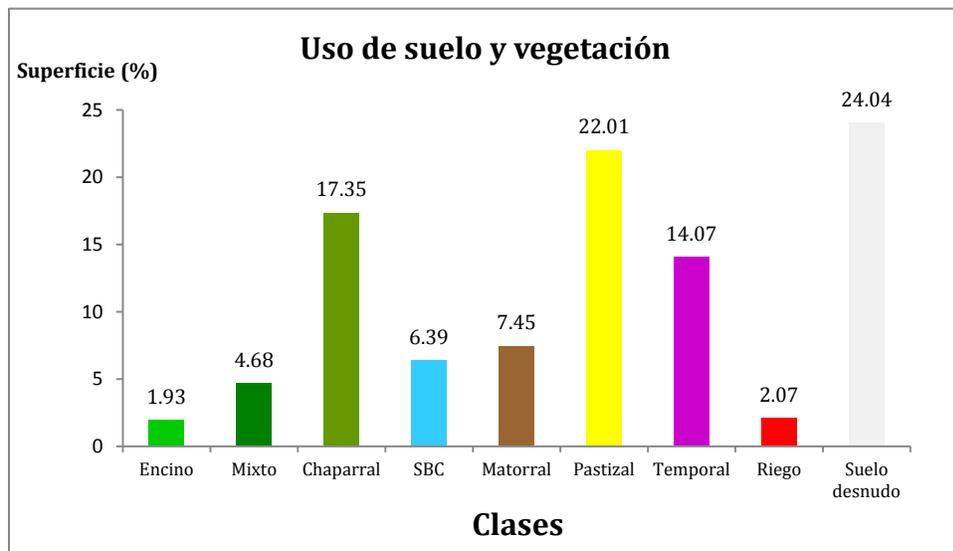
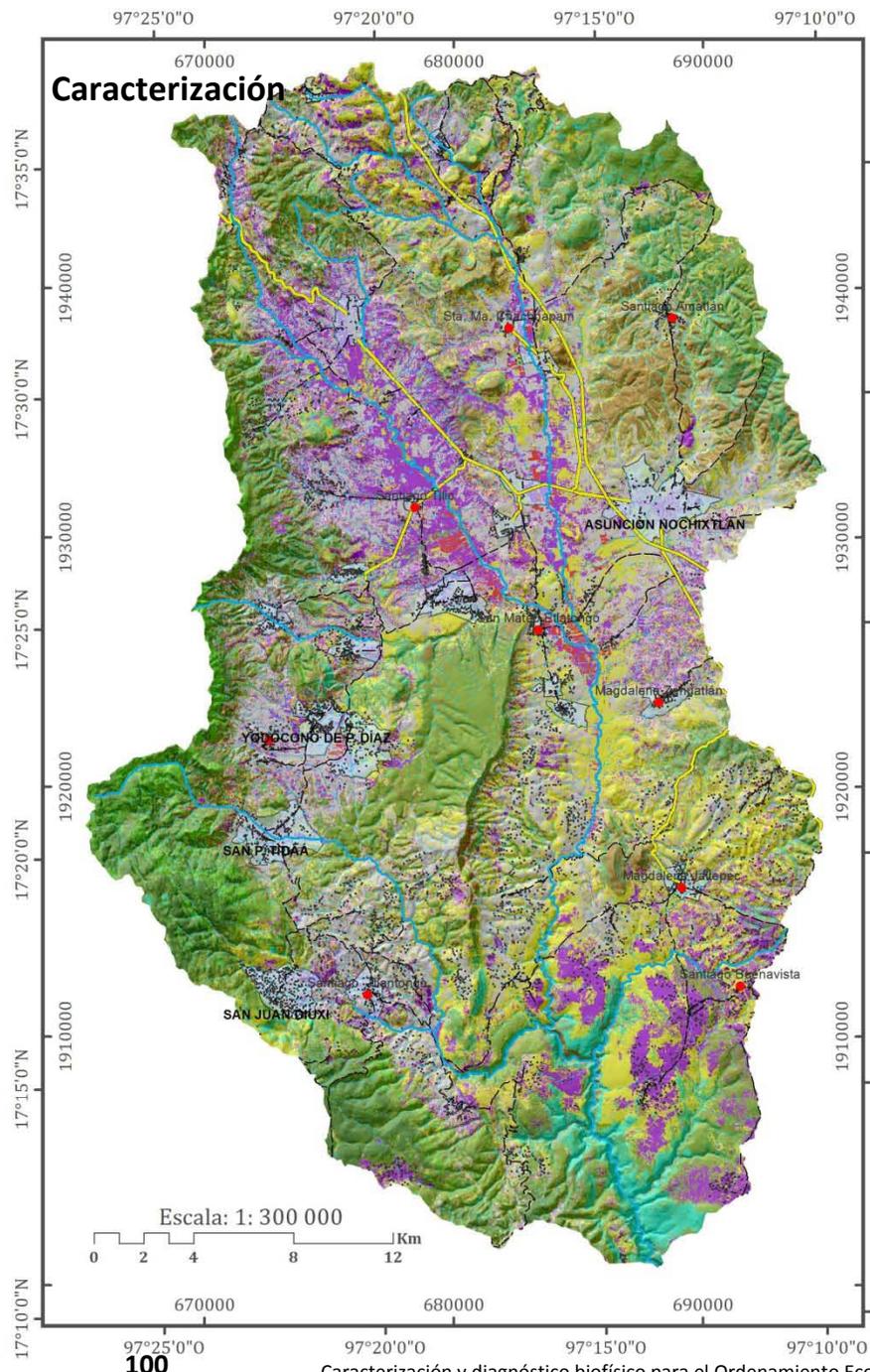


Figura II.71. Distribución de los tipos de vegetación y uso de suelo en la cuenca del río Grande.

Cuenca del Río Grande



Usos del suelo y vegetación

- Chaparral
- Pastizal natural e inducido
- Agricultura de temporal
- Bosque de encino
- Bosque mixto
- Selva baja caducifolia
- Matorral xerófilo-micrófilo
- Agricultura de riego
- Suelo desnudo

CLASE	RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA (PIXELES)									COEFICIENTE KAPPA						
	Bosque de Encino	Bosque de Chaparral	Matorral	Pastizal	Bosque Mixto	Agricultura Sana	Selva Baja Caducifolia	Suelo Desnudo	Agricultura Senescente	TOTAL	PRECISION %	ACUERDOS	DESACUERDOS (V)	COEFICIENTE X	COEFICIENTE Y	X ² Y
Bosque de Encino	27632	325	0	12	69	874	38	13	1	28964	95.40	27632	893	0.09	0.08	0.01
Bosque de Chaparral	212	12300	67	3	254	149	578	0	0	13563	90.69	12300	2287	0.04	0.04	0.00
Matorral	1	359	59211	1137	2	222	2527	70	297	63826	92.77	59211	989	0.19	0.18	0.03
Pastizal	335	47	300	77731	0	263	55	189	628	79548	97.72	77731	1720	0.24	0.23	0.06
Bosque Mixto	62	452	0	0	14124	152	126	0	0	14916	94.69	14124	387	0.04	0.04	0.00
Agricultura Sana	260	34	0	0	1	10688	16	1	1	11001	97.15	10688	1827	0.03	0.04	0.00
Selva Baja Caducifolia	18	1032	616	7	61	38	13431	4	3	15210	88.30	13431	3340	0.04	0.05	0.00
Suelo Desnudo	3	0	1	423	0	29	0	57387	132	57975	98.99	57387	322	0.17	0.17	0.03
Agricultura Senescente	2	38	5	138	0	100	0	45	52969	53297	99.38	52969	1062	0.16	0.16	0.03
TOTAL	28525	14587	60200	79451	14511	12515	16771	57709	54031	338300	PRECISION TOTAL	325473	12827			KAPPA %
FIABILIDAD DE CADA CLASE (%)	96.87	84.32	98.36	97.34	97.33	85.40	80.08	99.44	98.03		95.01					0.95

SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ●
- ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN ●
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. ●
- Santiago Tillo ●
- RED HIDROGRÁFICA
- PERENNE
- INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN
- Pavimentada
- Terracería
- Edificaciones
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide..... GRS80
- Proyección..... UTM
- Datum Horizontal..... ITRF92
- Zona..... 14
- Meridiano Central..... -99°
- Meridiano Base..... Greenwich
- Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
- Cuadrícula UTM..... a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

OBSERVACIONES:

El mapa de uso de suelo y vegetación de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando como base la imagen del satélite SPOT 5: K/J (593/315-593/316), 18 de Abril de 2010. La clasificación fue precedida por una serie de análisis que comprenden: separabilidad de firmas espectrales, análisis de correlación (mínima, máxima, media, desviación estándar, varianza, covarianza), distribución cromática, fotointerpretación analógica y digital, además de una clasificación No supervisada. La matriz de confusión e índice de Kappa sirven para conocer el porcentaje de confiabilidad al confrontar la asignación de x número de clases a las áreas de entrenamiento (confusión), y su confrontación con un modelo de distribución al azar (Kappa).



USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN
FIGURA II.72

Caracterización y diagnóstico biofísico para el Ordenamiento Ecológico Territorial en la cuenca del río Grande, Oaxaca, usando Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.

II.9.1.4 Biogeografía, un panorama general

México posee entre el 10 y 12% de la biodiversidad conocida en el planeta, razón por la cual es considerado como un país megadiverso, ocupando el segundo lugar en el mundo en diversidad de reptiles, el tercero en mamíferos y el cuarto en anfibios, (SEMARNAT, 2011). Dicha riqueza es el resultado principalmente de la historia geológica y ubicación geográfica del territorio que la sitúa entre 2 ecozonas, la Neártica y Neotropical. Los mamíferos mexicanos proporcionan un ejemplo de lo que representa una fauna muy diversa, resultado de la mezcla de 2 regiones biogeográficas, de tal manera, que si se clasificara a las especies del país por sus afinidades a cada zona, el 29.3% de las especies estarían asociadas a la región Neártica, 28.2% a la Neotropical, 12.5% formarían parte de una gran zona de transición entre éstas y rica en especies denominada Megaecotono y finalmente el 30% serían endémicas al país, (Ceballos et al., 2002).

Es la historia evolutiva de un territorio que sufrió los embates del vulcanismo primitivo, de megacolisiones que derivaron en complejos mosaicos litoestratigráficos y morfoestructurales, influenciando en la configuración espacio-temporal de elementos como la topografía, distribución de la temperatura, los vientos, la precipitación, humedad, vegetación etc. Esta variabilidad generando diversos tipos de ambientes, es también la que ofrece una amplia gama de condiciones necesarias, para la existencia de diversos nichos ecológicos¹¹ para las especies.

Los microclimas que se generan por la elevada variabilidad topográfica, y climática, favorecen la creación de estos multiespacios, conjugando una serie de factores bióticos y abióticos, propicios para la existencia de especies endémicas.

Como se ha mencionado en los temas anteriores, el territorio mexicano ha sido escenario de una antigua y compleja historia geológica; particularmente el sureste del país, que atinadamente ha sido definido por algunos autores, desde el punto de vista biogeográfico, como el núcleo centroamericano, dando lugar al contacto entre más de dos biotas ancestrales, que originaron una zona biogeográficamente compuesta; todo esto da como resultado una mezcla de faunas con diferentes historias biogeográficas y, por lo tanto, muy rica en especies, (Flores et al., 1994).

II.9.1.5 Diversidad y patrones de distribución de mamíferos en México

La fauna de mamíferos de México incluye al 2010, alrededor de 522 especies nativas, esto lo coloca ya en el segundo lugar en diversidad de mamíferos a nivel mundial, y entre los primeros lugares en biodiversidad mundial, junto con Indonesia, Brasil, Colombia, Australia, entre otros. El orden más diverso lo ocupan los roedores con 233 especies (45%), seguido de los quirópteros con 139 (27%). Otros órdenes de alta riqueza de especies son los carnívoros, cetáceos, insectívoros y lagomorfos, (Ceballos op. cit.).

Ahora bien, las posiciones que pueden ocupar los roedores dentro de las redes tróficas en México, se reducen a 2 o 3, mientras que los lagomorfos e insectívoros utilizan sólo una. Los nichos tróficos ocupados por los quirópteros son por lo menos 5, dado su alto nivel de especialización. En el caso de los carnívoros, se ha demostrado que este grupo puede ocupar por lo menos cuatro niveles tróficos distintos: frugívora, insectívora, piscívora y carnívora propiamente dicha, (*Ibíd.*).

La distribución de los mamíferos, excluyendo a las especies marinas, muestra un patrón latitudinal típico, en donde las mayores concentraciones de especies por unidad de área se localizan en las latitudes más ecuatoriales; por ejemplo, el número de especies en cuadrantes de 0.5° (aprox. 2,500 km²) aumenta de 31 especies en el Vizcaíno en Baja California, a 80 y 145 en el Eje Neovolcánico, y hasta 168 especies en las selvas tropicales de Chiapas, a excepción de algunos órdenes como los insectívoros y roedores, en donde la mayoría de las especies, se concentran en latitudes intermedias, (*Ibíd.*).

¹¹ **Nicho ecológico:** Suma de todos los factores biofísicos que actúan sobre un determinado organismo.

11.9.1.6 El endemismo en México y Oaxaca

El mayor aporte de especies de mamíferos endémicos en el país, proviene de los roedores, esto por su elevada diversidad y baja dispersión en el medio, derivando 112 especies que incluye una gran variabilidad de ratas, ratones, tuzas y ardillas principalmente; le siguen los insectívoros, con el 58% de endemismo, de las cuales la gran mayoría son musarañas. El resto de especies endémicas pertenecen a murciélagos y otros cuatro órdenes. Es importante destacar que México es el único país del mundo que tiene un cetáceo endémico, *la vaquita* del Golfo de California, (*Ibíd.*).

Los patrones de endemismo de los mamíferos, reflejan los orígenes biogeográficos y su capacidad de dispersión, así los grupos con tendencias bajas a la dispersión espacio-temporal, como las tuzas e insectívoros, presentan mayor porcentaje de endemismo, en contraste con los que llevan a cabo movimientos mayores, como los quirópteros, los carnívoros y cetáceos, que incluyen un número menor de especies endémicas, (*Ibíd.*).

El sur de México es particularmente importante en términos de riqueza de especies, ya que como se mencionó anteriormente, es ahí donde se entrelazan las dos principales regiones biogeográficas del planeta, la Neártica y la Neotropical. En esta zona de contacto, centrada en el Istmo de Tehuantepec, se encuentra una mezcla de elementos faunísticos y florísticos del norte y sur de América, así como una fauna endémica que únicamente se halla en esta zona de transición. Los estados del país que cuentan con una mayor diversidad biológica, se localizan en esta región, siendo Oaxaca el más rico, seguido de cerca por Chiapas, Veracruz, Guerrero y Michoacán. Asimismo, los estados con más alto número de endemismo, son Baja California Sur, Baja California y Oaxaca, (INE, 2007).

El estado de Oaxaca y particularmente la región Mixteca, colindante con zonas limítrofes de Puebla, Veracruz y Guerrero presenta una concentración importante de endemismos como lo corroboran por un lado García, Lezama y Reyes (1994), al catalogar 1550 especies en la región, que representa el 70% de los registros para Oaxaca, de las cuales, 163 especies (11%) presenta endemismo para la Mixteca, de este 11%, 97 especies (60%), presenta endemismo para la Mixteca Alta. Por otra parte Suárez y Villaseñor (2011), reconocen 249 especies de la familia Compositae (margarita-girasol) como endémicas o casi endémicas de Oaxaca, al distribuirse también, en parte de los estados con los que hace frontera.

En lo referente a la herpetofauna (anfibios y reptiles) de la Mixteca, Castro (2011), reporta para la región, 119 especies, de las cuales 38 (32%) son anfibios y 81 (68%) son reptiles, siendo la Mixteca la región de Oaxaca con el mayor número de especies que se han encontrado hasta la fecha.

En lo que refiere a diversidad de los mamíferos del estado, existen trabajos de colectas y muestreos a nivel taxonómico a diversas escalas, abarcando áreas comunales, o municipios dentro de regiones con elevado potencial biológico como la Sierra Norte, zonas limítrofes con la reserva de Tehuacán-Cuicatlán y la región de los Chimalapas. Riveros (2011), citó 196 especies para el estado, reportadas por Goodwin (1969), cuestión corroborada por otros autores contemporáneos como Arita y Briones (2000), quienes reportan alrededor de 191 especies.

Gómez (2011), cataloga 29 especies entre quirópteros, roedores, carnívoros y lagomorfos en el área comunitaria protegida "San José Nuevo Río Manso" al norte de la capital y límite con Veracruz. Por su parte, Olgún y colaboradores (2008), reportaron un listado mastofaunístico de la región de los Chimalapas, con base en trabajo de campo y registros de colecciones nacionales y extranjeras, derivando un total de 114 especies, que constituyen el 24% de las especies presentes en México y 60% para Oaxaca, además de catalogar el 30% de las especies de la región dentro de alguna categoría de riesgo, de acuerdo con la NOM 059-SEMARNAT.

11.9.1.7 Áreas Naturales Protegidas

Las diversas acciones para la conservación de especies y ecosistemas generalmente se basa en el establecimiento de áreas como Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales o Santuarios, su creación obedece básicamente a la necesidad de asegurar el equilibrio y las continuidades de los procesos

evolutivos y ecológicos, así como para la preservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad, en particular, de especies en peligro de extinción, amenazadas, endémicas y sujetas a protección especial, o bien para proteger recursos naturales estratégicos de interés local, regional y nacional (Sosa, 2009). **(Figura II.73).**

Para Oaxaca están decretadas 8 Áreas Naturales Protegidas, sin embargo, el problema actual es que muchas de éstas no cumplen su función, debido principalmente: a) mala selección del área, b) territorio insuficiente, c) falta de planes de manejo, d) actividades humanas perturbando el ecosistema y d) actividades clandestinas (caza, cultivos ilegales etc.) *(Ibíd.)*.



Figura II.73. Áreas Naturales Protegidas de Oaxaca. Elaboración propia, basado en la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2012).

La conservación de los mamíferos en México, se basa en tres ejes fundamentales, que son las legislaciones sobre las especies en riesgo de extinción, el decreto y protección de áreas naturales con riqueza biológica, y el uso de especies consideradas fuera de riesgo. Con relación a las especies en riesgo, un problema fundamental para su protección es la falta de información adecuada acerca de su distribución geográfica y tamaño poblacional actual (Ceballos et al., 2002). Una manera de subsanar y en algunos casos, mejorar la calidad de la información con la que se cuenta, al identificar sitios prioritarios para su conservación, consiste en generar mapas de distribución potencial de especies y procesos ecológicos, a fin de poder identificar zonas con alta riqueza biológica.

A pesar de los problemas que se han detectado en la Mixteca y particularmente en la cuenca del río Grande, sobre la erosión y cambio de uso del suelo, aún no hay medidas concretas para mitigar y contener los efectos de tales actividades; de esta manera, para poder definir zonas prioritarias y desarrollar programas de conservación de manera sustentable, será indispensable el conocimiento holístico sobre la distribución y multifuncionalidad que juegan las especies dentro de las redes tróficas y diversos

Caracterización

ecosistemas, a fin de generar una base de información para futuras investigaciones y encauzar esfuerzos de conservación.

II.9.1.8 Regiones Terrestres Prioritarias

Como se explicó anteriormente, las Áreas Naturales Protegidas (ANP), por si solas son insuficientes para la conservación de la biodiversidad del estado a largo plazo, debido a la constante presión de actividades humanas en su borde, razón por la cual en años recientes se han venido integrando dentro del sistema de ANP, las áreas adyacentes que aún mantengan cobertura forestal, ya que pueden formar corredores biológicos.

El proyecto de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) forma parte del programa de regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad de la CONABIO, que tiene como objetivo la detección de áreas cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes, desde el punto de vista de la riqueza ecosistémica, así como una integridad ecológica funcional significativa y con una oportunidad real de conservación. Para Oaxaca, se proponen 8 regiones prioritarias (Sosa, 2009) (**Figura II.74**).

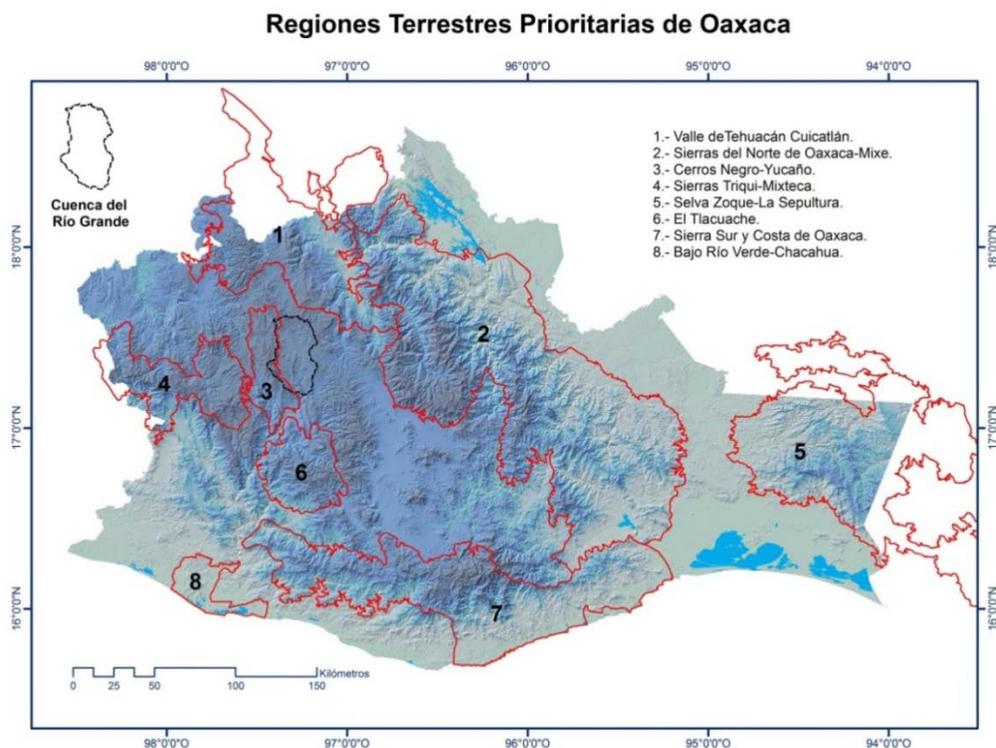


Figura II.74. Regiones Terrestres Prioritarias de Oaxaca. Elaboración propia, basado en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2004).

II.9.1.9 Factores de distribución de especies

El área de distribución de una especie es una expresión compleja de su historia evolutiva, determinada por diversos elementos y factores operando en diferentes intensidades a diferentes escalas (Soberón et al, 2005), pudiéndose determinar los siguientes:

a) Las condiciones abióticas que incluyen elementos y factores climáticos y microclimáticos, la topografía que deriva las condiciones edáficas, etc. Éstos imponen límites fisiológicos a los individuos de las poblaciones para persistir o no en determinada área.

b) Los factores bióticos, conformados por una serie de interacciones con otras especies que modifican la habilidad de la especie para mantener sus poblaciones. Estas pueden ser tanto positivas (mutualismos) o negativa (depredación).

c) Las regiones potenciales para una posible dispersión de la especie, desde su área de origen por diversos motivos como ciclo reproductivo, algún limitante abiótico o bien el resultado de interacciones expresadas en la territorialidad marcada por alguna otra especie.

c) La capacidad evolutiva de las poblaciones para adaptarse a nuevas condiciones. Este factor generalmente es prescindido en los análisis por su baja expresión, ya que sus efectos en la distribución de nichos, en periodos de tiempo cortos, parecerá menor (*Ibíd.*).

II.9.1.10 Indicador ecológico

Para diagnosticar el estado de conservación de cierto ecosistema, una de las metodologías más empleadas y con buenos resultados deriva en el estudio de ciertas especies o bien alguna en particular, que proporcionan información general sobre el estado de conservación del hábitat, por los que son llamadas *especies indicadoras*. Algunas de las características más importantes que deberá proporcionar una especie para ser indicadora son: a) Presencia en un tipo de hábitat o muy pocos hábitats (especialista a nivel espacial) y b) Mostrar alta sensibilidad a ambientes perturbados. Ahora bien, si se tiene la posibilidad de usar como indicadoras a especies en riesgo, paraguas¹¹ o endémicas, se obtendrá un mejor panorama, del estado que guarda la biodiversidad y las potenciales áreas a ser conservadas (Ortiz et al. 2006).

II.9.1.11 El nicho ecológico

Para obtener el valor biológico que posee el territorio en la cuenca del río Grande, se desarrollará el modelo del nicho ecológico de dos especies, éste se entiende como la suma de todos los factores biofísicos que actúan en un organismo; cada especie posee particulares características morfo-fisiológicas y de comportamiento, lo que hace que ocupen determinados espacios ofrecidos por la naturaleza, (Martínez, 2010).

Existen factores que influyen notablemente en la distribución de las especies, como la cantidad de calor (temperatura), disponibilidad de agua, topografía, y de forma más particular pueden ser tipos de suelo, evapotranspiración, cantidad de luz, etc., (*Ibíd.*). Las distintas mediciones de estos factores registrados por cierto tiempo en todo el mundo se han estandarizado para formar capas bioclimáticas. Estas capas permiten analizar el espacio ecológico de las especies, ya que se pueden obtener los valores bioclimáticos correspondientes a cada dato de presencia y emplearlos en el cálculo de la probabilidad de su distribución espacial.

Para la selección de las especies a emplear en el análisis, se usaron criterios en base a su estado de conservación según la NOM-059-SEMARNAT y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas (CITES), la cual cataloga a una de estas especies (jaguar, *Panthera onca*), en peligro de extinción, y la otra, fue empleando el criterio del estado de conservación a nivel estatal, derivado del análisis de los planes de desarrollo municipal, en los cuales se observa la necesidad de incorporar a esta última especie (lince, *Lynx rufus*), en los planes de conservación, a fin de salvaguardar las poblaciones de este mamífero de importancia significativa, para el equilibrio de las interacciones tróficas de los ecosistemas de la región.

¹¹ Se denominan especies paraguas aquellas que por sus requerimientos de hábitat, necesitan de grandes extensiones de hábitat, que al mantener estas áreas cubren muchas otras especies. Por ejemplo: jaguar, tigrillo., (Ortiz et al. 2006, p 227).

II.9.1.11.1 MaxEnt (modelado del nicho ecológico)

El objetivo de MaxEnt es estimar la probabilidad de distribución geográfica de una especie, empleando una distribución de probabilidad de *máxima entropía* (es decir, que sea la más extendida, o más cercana a la uniformidad). El algoritmo emplea como datos, los sitios de presencia y las variables bioclimáticas asociadas a cada uno de éstos.

Se trabaja bajo el principio de la máxima entropía, y ésta es utilizada para medir el nivel de aleatoriedad, es decir, dentro del conjunto de datos, si todos sus elementos son equiprobables cuando aparecen, entonces la entropía es máxima.

Aplicando de manera práctica el concepto, se buscaría encontrar aquella distribución de probabilidades que maximice la entropía, dando al modelo, algunas restricciones que representan la información disponible (puntos de presencia) sobre la especie analizada. (Figura II.75).

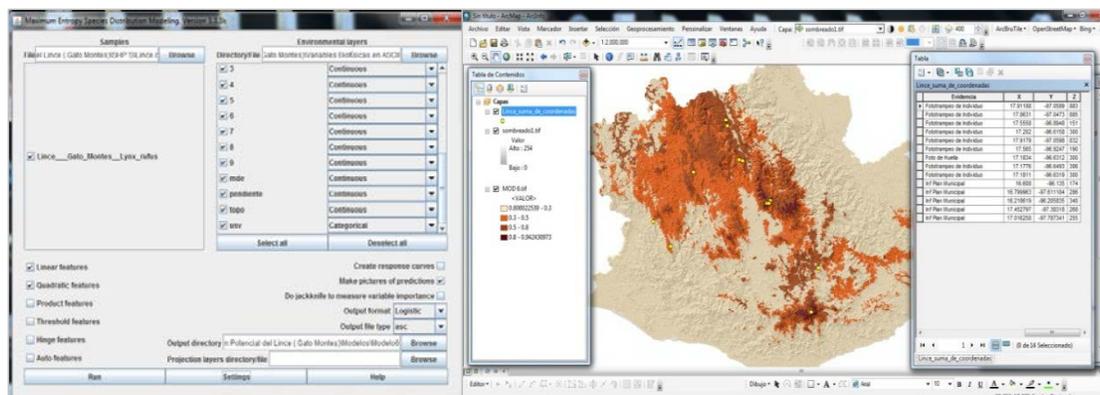


Figura II.75. Modelado en MaxEnt (izquierda). Análisis e interpretación en un SIG (derecha).

II.9.1.11.1.1 El jaguar (*Panthera onca*)

En Oaxaca, son escasos los registros que se tienen del jaguar (*Panthera onca*), salvo en algunas localidades de la Sierra Norte, la Planicie Costera del Pacífico, la Sierra Madre del Sur, y en la Depresión del Istmo de Tehuantepec (los Chimalapas), (Briones et al. 2012), se desconoce su distribución en gran parte del estado. Debido a la reducción de su área de distribución y poblaciones, así como a la modificación drástica de su hábitat, que ponen en riesgo su viabilidad ecológica, esta especie se encuentra clasificada en la categoría de “peligro de extinción” por las leyes mexicanas (SEMARNAT, 2010) y en “cercanamente amenazada”, por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2010).

Como se mencionó, se tienen registros en algunas localidades por evidencias como restos óseos, pieles, excretas, huellas, y entrevistas a los pobladores, (Briones et al., 2012). De acuerdo con Briones y colaboradores, esto sólo indica la presencia de la especie en algunas localidades, pero se carece de un análisis de su distribución estatal, que permita analizar la problemática y proponer estrategias de conservación del felino a mesoescalas.

Para el modelado del nicho ecológico del jaguar en Oaxaca y la cuenca del río Grande, se obtuvieron los datos de presencia de la especie recabados por Briones y colaboradores (2012), de diversas fuentes nacionales y extranjeras, así como de su trabajo de campo. Se procesó la base de datos en un sistema de información geográfica, eliminando la evidencia localizada exactamente dentro de asentamientos humanos; esto bajo el criterio de presentar cierto sesgo para el sistema, sobre-estimando el área de distribución (30-8=22 puntos), ya que para este análisis, además de las variables bioclimáticas, la pendiente, elevación, e índice topográfico, se utilizó la información de uso del suelo y vegetación del Inventario Nacional Forestal (INE-IG, 2000).

Las variables bioclimáticas empleadas, se obtuvieron de WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) a una resolución de 1km². El sistema requiere de la homologación espacial de todas las coberturas para su procesamiento en formato ASCII, razón por la cual, se obtuvieron las coberturas de pendiente, elevación e índice topográfico del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<http://eros.usgs.gov/>) a la misma resolución. La capa de uso del suelo y vegetación en formato vectorial, se convirtió a un archivo raster con la misma resolución.

Resultados

Se generó un área potencial para la especie, de 40,225.8 km², equivalente al 42.82 % de la superficie del estado, distribuida en porcentajes de 30-50%, 50-80% y >80%. De esta superficie, 20,250 km² (50.34%), está cubierta por bosques (principalmente bosque mesófilo de montaña y bosques de pino-encino), 12,086 km² (30.05%), por selvas (principalmente bosque tropical perennifolio, subperennifolio y bosque tropical caducifolio y subcaducifolio). Las áreas de cultivo equivalen a 6,182 km² (15.37%), que corresponde principalmente a una zona entre la Sierra Norte y los Chimalapas, respondiendo así, a la evidencia encontrada por Briones y colaboradores (2012) y que a su vez sugiere la interacción de la especie con las actividades que se practican en la zona (agropecuario).

El pastizal alcanza 1,085 km² (2.70%) junto con el matorral de 20 km², que presentaron un patrón sumamente disperso, razón por la cual se pueden descartar como hábitat probable para la distribución de la especie. **(Cuadros II.10, II.11 y Figuras II.76 y II.77).**

Cuadro II.10. Distribución más probable del jaguar con relación al estado y área potencial generada.

PROBABILIDAD >0.3				
Cobertura	Área (km ²)	Área del estado (km ²)	Porcentaje por cobertura con relación al total del estado	Porcentaje por cobertura con relación al área potencial generada
Bosques	20250		21.56	50.34
Cultivos	6182		6.58	15.37
Matorral	20		0.02	0.05
Pastizal	1085		1.15	2.70
Selvas	12086		12.86	30.05
Asentamientos humanos y cuerpos de agua	509	93946	0.54	1.27
Otros tipos de vegetación	93		0.10	0.23
			Total del área potencial generada	Porcentaje del área potencial generada
			40225.7	42.82

Cuadro II.11. Distribución de probabilidades del jaguar.

Uso de hábitat	Probabilidad	Área por probabilidad (km ²)	Total del área potencial generada (km ²)	Porcentaje de área probable con relación al área total generada
Hábitat ocasionalmente utilizado	30-50%	27075.0		67.3 %
Hábitat utilizado	50-80%	12314.5	40225.7	30.6 %
Hábitat muy utilizado	>80%	836.0		2.1 %

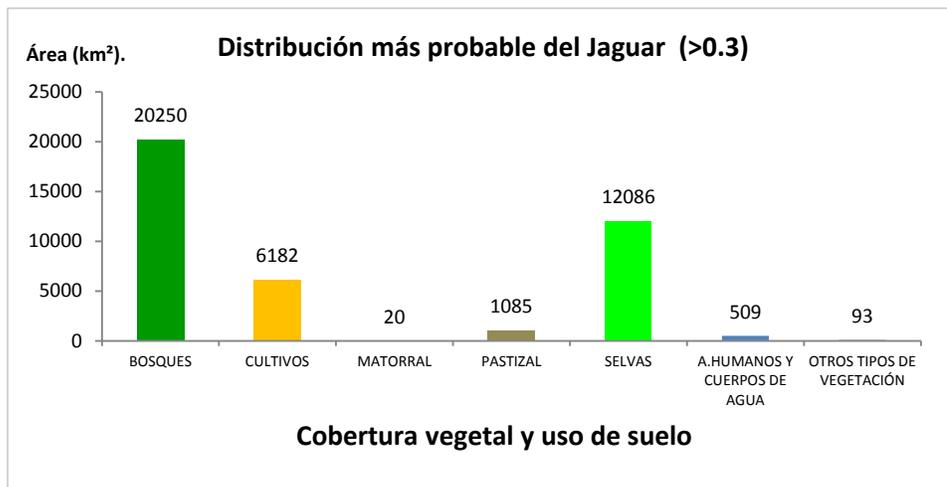


Figura II.76. Distribución más probable del jaguar por formación vegetal.

II.9.1.11.1.2 El lince (*Lynx rufus*)

El lince o gato montés (*Lynx rufus*; Schreber, 1777) tiene una distribución continua desde el sur de Canadá, Estados Unidos de América, hasta el sureste del país, culminando en Oaxaca. Se estima que el 35% de su distribución total se encuentra en México, ocupando el 80% de la superficie total del territorio, habiendo registros de él en 27 de los 32 estados. Esta especie se encuentra en una gran variedad de hábitat, como matorrales áridos, bosque de coníferas, bosque de encinos, bosques mixtos de pino-encino y encino-pino, pastizal y selva baja caducifolia. Existen registros de su presencia desde el nivel del mar y hasta los 3,657 msnm (Medellín et al. 2009).

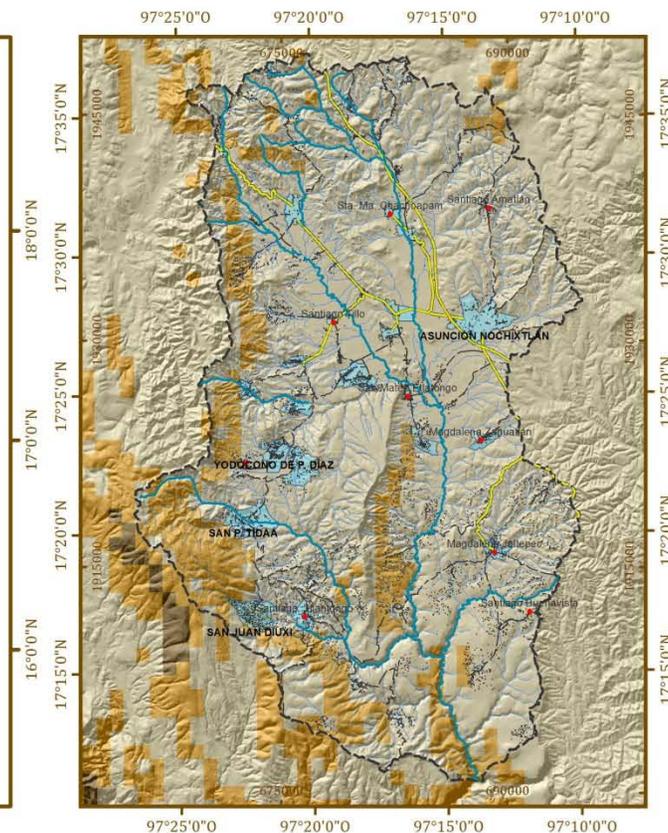
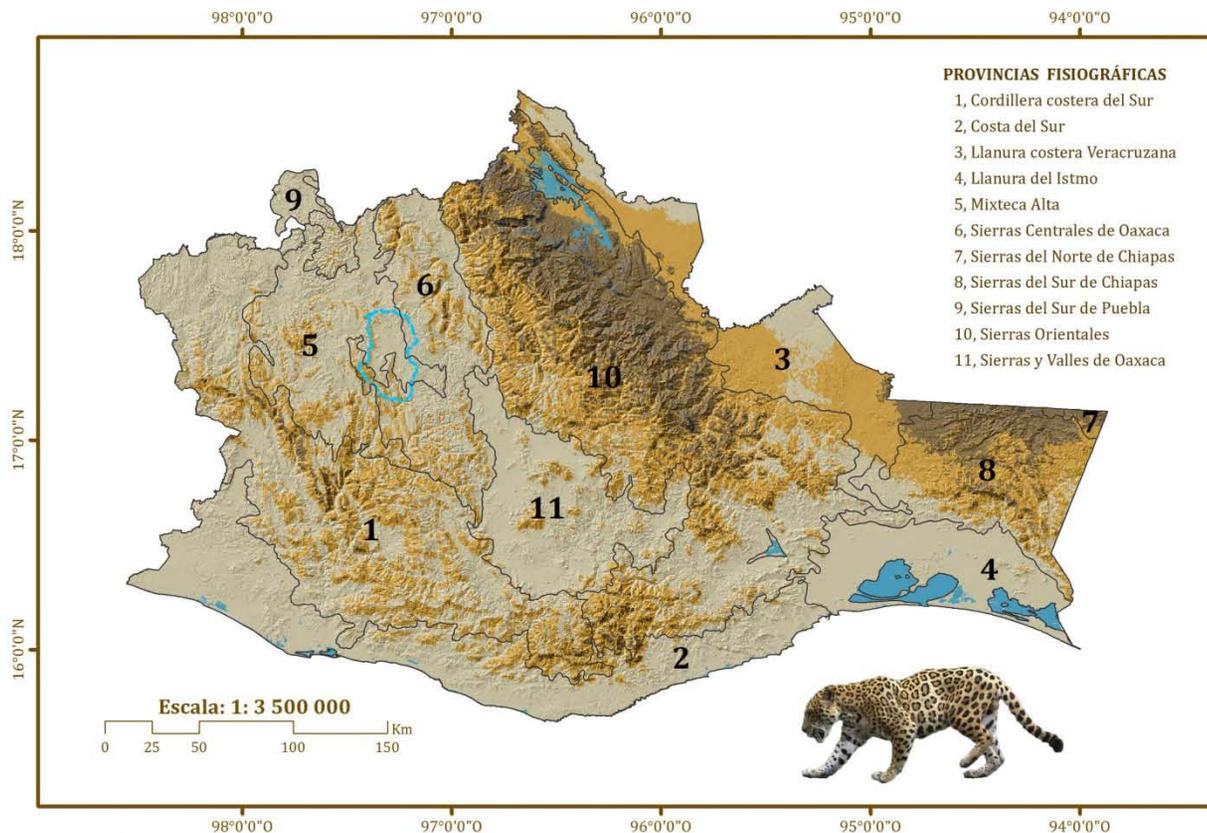
A lo largo de esta distribución se reporta la existencia de doce subespecies de las cuales seis se distribuyen en México (*L. r. californicus*, *L. r. peninsulares*, *L. r. baileyi*, *L. r. texensis*, *L. r. escuinapae* y *L. r. oaxacensis*), (*Ibíd.*), (Figura II.78).

A partir de la inclusión de especies de felinos importantes en la industria peletera como el jaguar (*Panthera onca*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el leopardo (*Leopardus pardus*), el tigrillo (*Leopardus wiedii*) y otros felinos considerados como manchados a mediados de la década de los setenta en el Apéndice I de la Convención Internacional del Tratado de Especies Amenazadas (CITES; www.cites.org), esta industria se enfocó en otras pieles de felinos como sustituto, aumentando así el comercio de aquellas que no se encontraran en dicho apéndice. Fue entonces cuando el lince o gato montés (*Lynx rufus*) adquirió mayor importancia en el mercado peletero (*Ibíd.*).

II.9.1.11.1.2.1 *Lynx rufus oaxacensis*

Al igual que otras especies de distribución Neártica, en el estado de Oaxaca, *Lynx rufus* encuentra su límite de distribución, con una subespecie (*Lynx rufus oaxacensis*). Debido a sus hábitos crípticos y crepusculares, ésta resulta difícil de estudiar; sin embargo en el 2012, Monroy y colaboradores realizaron un estudio sobre el área de actividad de un individuo macho empleando la técnica de radiotelemetría en el municipio de Ixtlán de Juárez, concluyendo una superficie promedio de 11.41 km². La comparación con otro estudio realizado en el estado de Colima para un individuo macho (área de actividad de 5.06 km²), sugiere para los autores, que la densidad del gato montés en Oaxaca, o por lo menos en la región de la Sierra Norte, pudiese ser menor y por lo tanto haya menor competencia por las presas y territorios, o bien, que la localidad estudiada está en uno de los límites, al sur de la distribución de la especie (Monroy, 2012).

Distribución potencial del jaguar (*Panthera onca*) Oaxaca, cuenca del Río Grande



SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB.**
ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB.**
Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA**
PERENNE
INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN**
Pavimentada
Terracería
- Edificaciones**
- ÁREA URBANA**

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide-----GRS80
Proyección-----UTM
Datum Horizontal-----ITRF92
Zona-----14
Meridiano Central----- -99°
Meridiano Base-----Greenwich
Cuadrícula geográfica----- a cada 5 min
Cuadrícula UTM----- a cada 15,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

OBSERVACIONES:

El mapa de distribución potencial del jaguar (*Panthera onca*) en el estado de Oaxaca y cuenca del río Grande fue elaborado utilizando el programa MaxEnt. Éste modela la distribución geográfica de la especie, utilizando datos de los sitios de presencia obtenidos de colecciones biológicas nacionales y extranjeras [Briones, 2012] y 19 variables bioclimáticas [World Clim], asociadas a cada uno de los puntos de presencia. Para modelar las distribuciones, el algoritmo se basa en el principio de la máxima entropía.

La categorización en rangos > a 0.3 como la mínima probabilidad de distribución de la especie, se basó en observaciones realizadas por Carter-Evangelista (2011).

La asignación de la potencial calidad de hábitat para la especie, se realizó ajustado las 4 categorías de probabilidad de hábitat de las definiciones de Majka,

PROBABILIDAD:

- 0.0-0.3 Zona evitada por la especie.
- 0.3-0.5 Hábitat ocasionalmente utilizado.
- 0.5-0.8 Hábitat utilizado.
- 0.8-1.0 Hábitat muy utilizado.



Caracterización y diagnóstico biofísico para el Ordenamiento Ecológico Territorial en la cuenca del río Grande, Oaxaca, Usando Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.



IG
INSTITUTO DE
GEOGRAFÍA
UNAM



Panthera Onca
FIGURA II.7

Caracterización

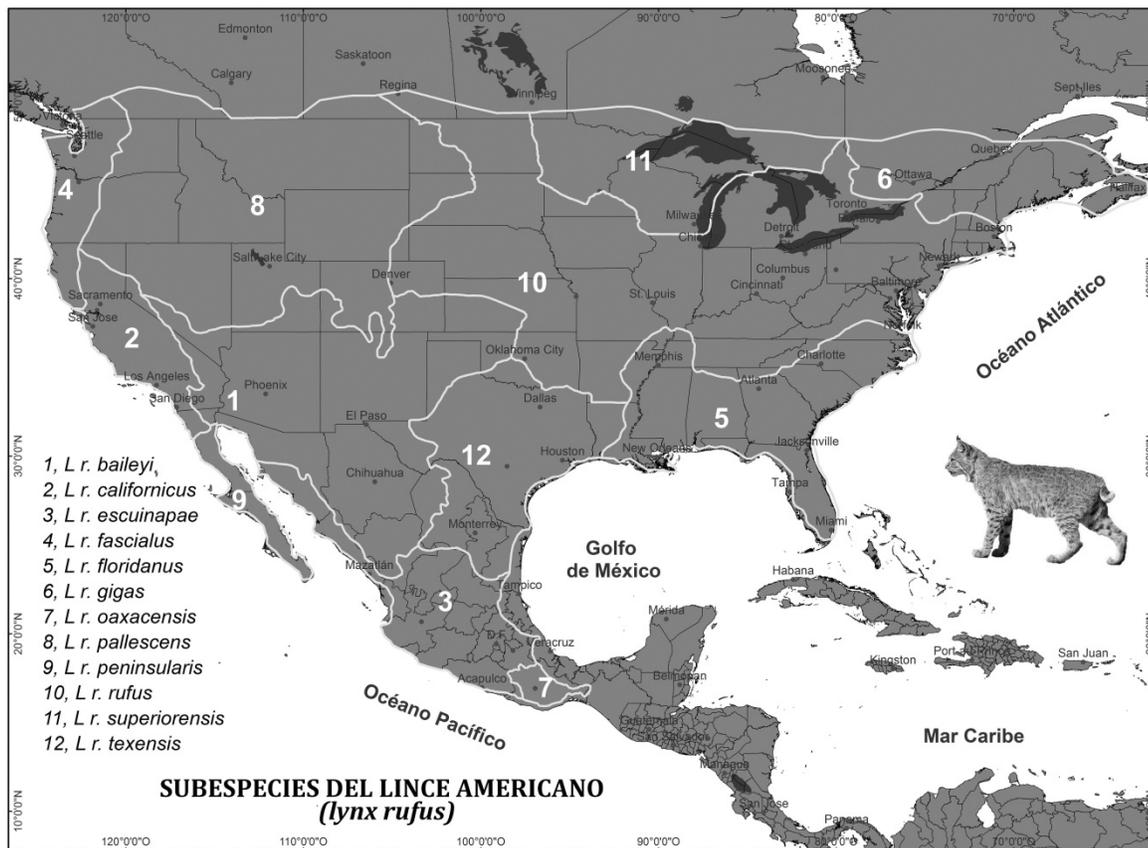


Figura II.78. Distribución total del linco. Elaboración propia (modificado de Hall, 1981).

El papel de esta especie dentro del estatus trófico en los ecosistemas donde se desarrolla, lo ha llevado al límite de su dieta, convirtiéndolo en un especialista, pues prácticamente sólo come carne cazada por el mismo, este lujo gastronómico lo ha convertido en uno de los más formidables cazadores solitarios de su entorno, sólo comparado con algunos otros felinos como el jaguar y puma. Por medio del análisis de las excretas, se ha podido corroborar que su dieta se basa principalmente en roedores, y lagomorfos, más no se restringe pues tiene la capacidad de cazar venados, algunos reptiles, aves y peces (Medellín et al., 2009)

A pesar del análisis de distribución potencial de la especie, a nivel país, generado con el algoritmo GARP por la CONABIO, no es suficiente para tener un panorama más específico, sobre la posible distribución de este mamífero a nivel estatal. Es importante seguir generando información a mejores escalas, que sirvan como base para futuras investigaciones que den un mejor panorama sobre el estado y distribución de las poblaciones del linco (*Lynx rufus oaxacensis*) en Oaxaca, a fin de proponer medidas de conservación.

Para el modelo de distribución potencial se recolectó la base de datos de presencia de la especie, basada principalmente en las colecciones biológicas del Instituto de Biología (UNAM); el 60% de la información fue obtenida a partir de métodos de fototrampeo (9 puntos georreferenciados), el 33% por medio de los Planes de Desarrollo Municipal 2011-2012, en donde se menciona el avistamiento de la especie por los pobladores (5 puntos georreferenciados) y el 7% por medio de evidencia de huellas (1 punto georreferenciado). (Figura II.79).

En la revisión de 150 de los Planes de Desarrollo Municipal del estado (30%), incluyendo el corredor cerro Negro-Yucaño de la cuenca del río Grande, se pudo constatar la presencia de la especie, ya que además de incluir el nombre científico *Lynx rufus* dentro de su lista, mencionan que ésta es conocida por los pobladores locales como “León Rabón”, por la peculiar forma de la cola de la especie. El 50% de los puntos de evidencia se localizaron dentro de coberturas de selva baja caducifolia, el 21% en bosques de encino-pino, el 14% en pino-encino, el 8% dentro de bosques de pino y finalmente el 7% en bosques de encino.



Figura II.79. Fichas de fotolecta de lince. Fuente: colección de mamíferos, Instituto de Biología, 2013.

Resultados

Se generó un área potencial para la especie, de 26,704.5 km² correspondiente al 28.4% de la superficie total del estado. Ahora bien, 12,111 km² (45.35%) de la superficie del área potencial, está cubierta por bosques (principalmente bosque mesófilo de montaña, bosques de pino-encino y táscate), 8,698 km² (32.57%) por selvas (principalmente selva baja caducifolia y subcaducifolia, selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia).

Las áreas de cultivo equivalen a 3,365 km² (12.6%), que corresponden principalmente a zonas perturbadas por asentamientos humanos dispersos, a excepción de algunos como Nochixtlán, donde se practica la agricultura de temporal; esta zona correspondía a pastizal nativo y matorral, que han sido reemplazados por actividades agropecuarias de subsistencia. En estas zonas predichas por el modelo, se dan las condiciones climáticas para la presencia de la especie, su distribución ancestral, corresponde con estos ecosistemas, ahora perturbados, ya que a diferencia de otros felinos como el jaguar, el lince posee un rango de distribución mayor sobre la escala de temperaturas y precipitaciones, que lo hace ir de ecosistemas templados, a semiáridos.

Los remanentes de matorral y pastizal de la Mixteca, alcanzan una superficie de 2,384 km² (8.93%), mismos que se distribuyen en las partes bajas de las sierras y se intercalan entre éstas y los sistemas de cultivo (Cuadros II.12, II.13 y Figuras II.80 y II.81).

Caracterización

Cuadro II.12. Distribución más probable del lince con relación al estado y área potencial generada.

PROBABILIDAD >0.3				
Cobertura	Área (km ²)	Área del estado (km ²)	Porcentaje por cobertura con relación al total del estado	Porcentaje por cobertura con relación al área potencial generada
Bosques	12111		12.89	45.35
Cultivos	3365		3.58	12.60
Matorral	330		0.35	1.24
Pastizal	2054		2.19	7.69
Selvas	8698		9.26	32.57
Asentamientos humanos y cuerpos de agua	32	93946	0.03	0.12
Otros tipos de vegetación	115		0.12	0.43
			Total del área potencial generada	Porcentaje del área potencial generada
			26704.5	28.4

Cuadro II.13. Distribución de probabilidades del lince.

Uso de hábitat	Probabilidad	Área por probabilidad (km ²)	Total del área potencial generada (km ²)	Porcentaje de área probable con relación al área total generada
Hábitat ocasionalmente utilizado	30-50%	16028.7		60.0 %
Hábitat utilizado	50-80%	9967.5	26704.5	37.3 %
Hábitat muy utilizado	>80%	708.2		2.7 %

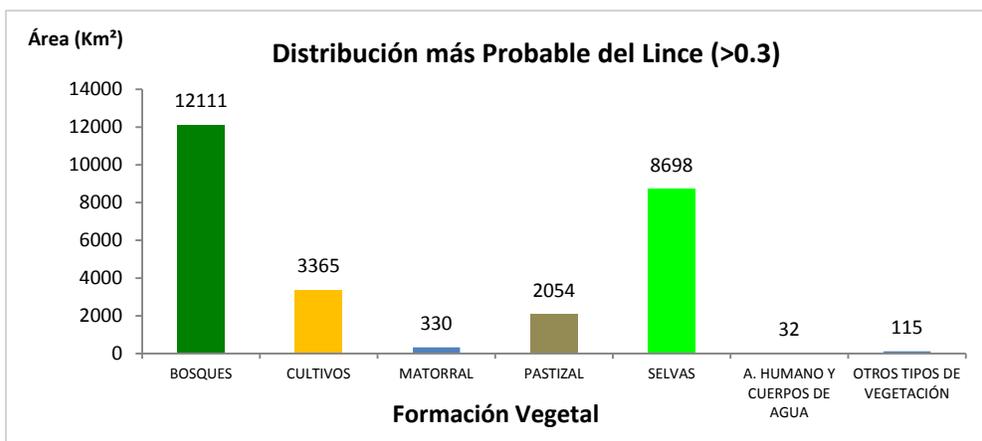
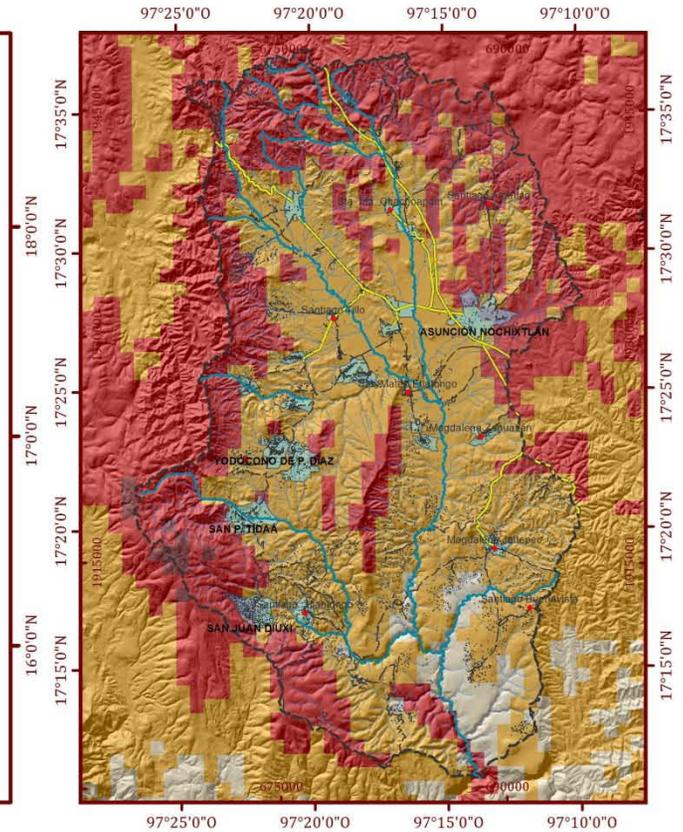
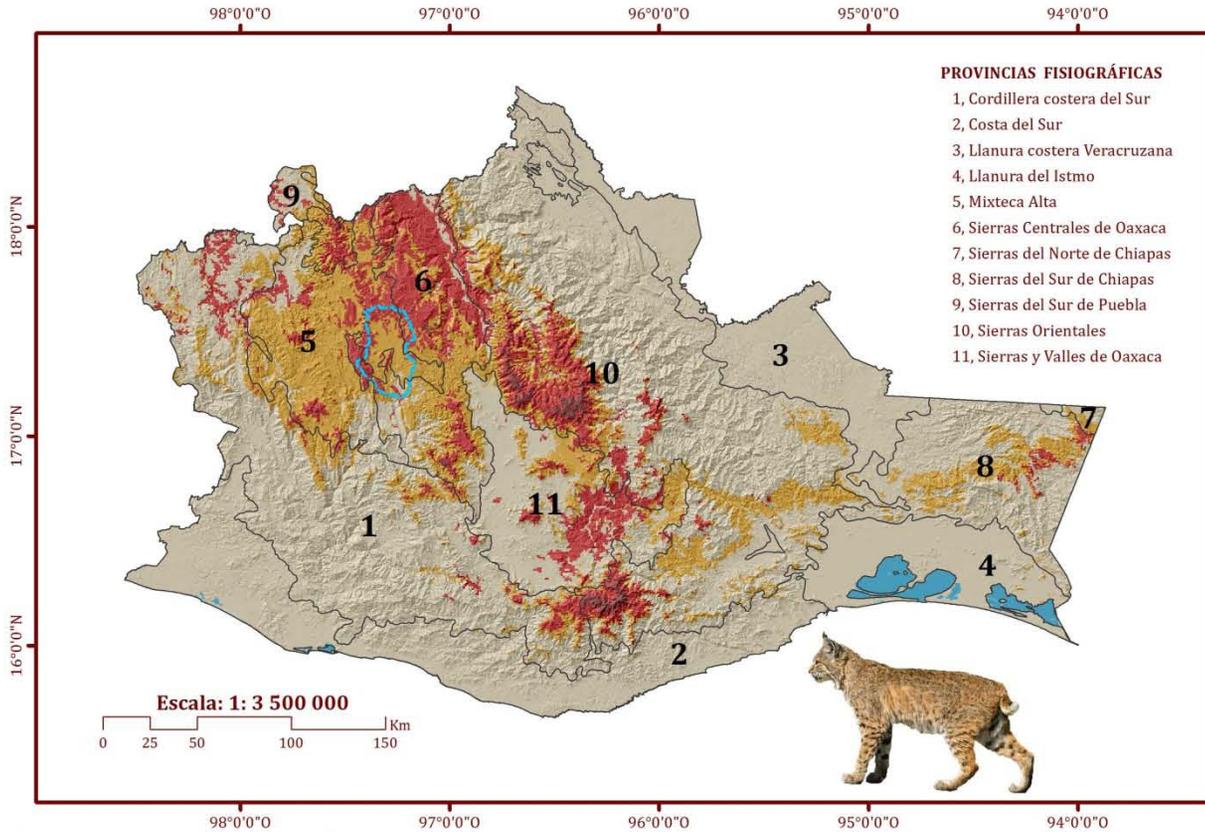


Figura II.80. Distribución más probable del lince por formación vegetal.

Distribución potencial del linco (*Lynx rufus*) Oaxaca, cuenca del Río Grande



SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB.** ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB.** Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA**
- PERENNE
- INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN**
- Pavimentada
- Terracería
- Edificaciones**
- ÁREA URBANA**

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide.....GRS80
- Proyección.....UTM
- Datum Horizontal.....ITRF92
- Zona.....14
- Meridiano Central.....-99°
- Meridiano Base.....Greenwich
- Cuadrícula geográfica.....a cada 5 min
- Cuadrícula UTM.....a cada 15,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46.

Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

OBSERVACIONES:

El mapa de distribución potencial del linco (*Lynx rufus*) en el estado de Oaxaca y cuenca del río Grande fue elaborado utilizando el programa MaxEnt. Éste modela la distribución geográfica de la especie, utilizando datos de los sitios de presencia obtenidos de colecciones biológicas nacionales [IB-UNAM, 2013] y 19 variables bioclimáticas [World Clim], asociadas a cada uno de los puntos de presencia. Para modelar las distribuciones, el algoritmo se basa en el principio de la máxima entropía.

La categorización en rangos > a 0.3 como la mínima probabilidad de distribución de la especie, se basó en observaciones realizadas por Carter-Evangelista (2011).

La asignación de la potencial calidad de hábitat para la especie, se realizó ajustado las 4 categorías de probabilidad de hábitat de Carter-Evangelista (2011).

PROBABILIDAD:

- 0.0-0.3 Zona evitada por la especie.
- 0.3-0.5 Hábitat ocasionalmente utilizado.
- 0.5-0.8 Hábitat utilizado.
- 0.8-1.0 Hábitat muy utilizado.



IG
INSTITUTO DE
GEOGRAFÍA
UNAM



Validación del modelo

En la etapa de validación, el sistema grafica en el área bajo la curva (en rojo), la distribución de la superficie; es decir, se relacionan las clasificaciones de probabilidad de hábitat, con el área clasificada; en este caso concentrándose entre el 0.1 y 0.3 ($\approx 71\%$ de la superficie) y > 0.31 ($\approx 29\%$).

Para detectar errores de omisión (falsos negativos) y comisión (falsos positivos), el sistema genera una relación perfecta determinada por una línea de tendencia; donde, a manera que avanza el proceso de asignación, también lo hace de manera proporcional al coeficiente de probabilidad (cero errores de omisión y comisión), es decir que entre más área se va analizando, existe más probabilidad de obtener coeficientes de nicho ecológico elevados (p ej., 20, 40 y 60 % se correspondería con 0.20, 0.40 y 0.60 en la probabilidad esperada). Ahora bien, cuando cae alguna de las curvas de muestras para validación (25% del test y 75% del entrenamiento), por debajo de la línea predicha, se consideran errores de omisión; por el contrario cuando la superan, se consideran errores de comisión. El objetivo es que las líneas del test (azul claro) y de entrenamiento (azul oscuro), se ajusten a la línea de idoneidad o concordancia calculada por el sistema (**Figura II.82**).

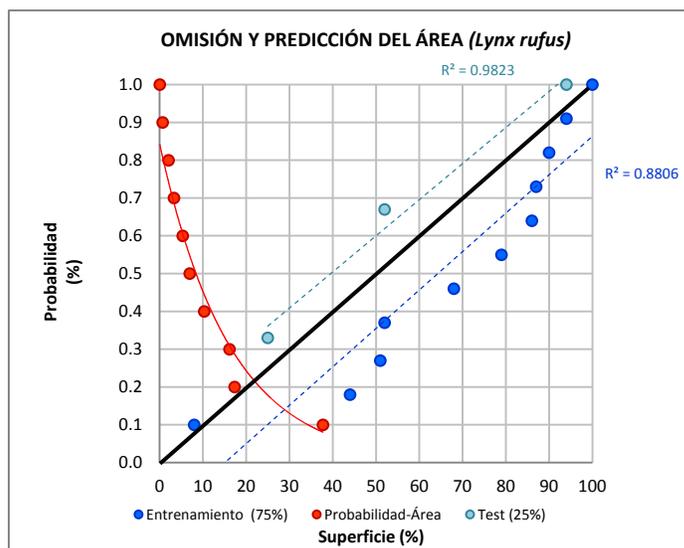


Figura II.82. Distribución de la superficie con relación al cálculo de la probabilidad del nicho ecológico y tendencia de los errores de omisión y comisión para la prueba.

No obstante, se calculó el porcentaje de separabilidad de cada muestra de entrenamiento de la línea de tendencia, derivando para éste, una mínima de 3.2 y una máxima de 60%, con una media del 25% en los errores de omisión. Algunos de los factores que influyen notablemente en los resultados son, por un lado, la deficiente distribución espacial uniforme de los datos y por el otro, el número de datos de presencia bajo.

Ahora bien, si utilizamos el mismo set de datos para entrenar y testar el modelo, las dos curvas en el gráfico de sensibilidad serán idénticas, pero si éste se divide en dos subconjuntos, uno para entrenar (datos de entrenamiento) y el otro para testar el modelo (datos para el test), lo normal es que la curva de entrenamiento aparezca por encima de la del test. La primera representa el ajuste del modelo a los datos de muestreo, la curva azul indica el grado de ajuste del modelo a los datos de test, y supone el test real del poder predictivo del modelo. La línea negra representa la línea esperada si el modelo no fuese mejor que “por azar”, por tal motivo, si la curva del test cae por debajo de la línea de predicción aleatoria, indica que el modelo es peor que si se hubiese hecho al azar; por el contrario, cuanto más se aproxime la curva azul a la esquina superior izquierda, mejor es el modelo para predecir las presencias de los datos de test. En este caso, el coeficiente de los datos de entrenamiento es de 0.944, mientras que en el test es de 0.927, lo cual indica su muy buena capacidad predictiva.

Los sectores importantes en estas curvas son el origen (0,0), donde el algoritmo nunca identifica falsamente ausencias; la esquina superior derecha (1,1), donde identifica cada presencia verdadera correctamente, pero identifica erróneamente todas las ausencias como positivas. Por último, en la esquina superior izquierda (0,1), el algoritmo identifica correctamente todos los verdaderos positivos y nunca clasifica una ausencia verdadera como una presencia. Por lo tanto, las regiones en el espacio ROC cerca de la esquina (0,1) representan las predicciones del modelo que con éxito identifica las presencias reales y rara vez se identifican erróneamente las ausencias como presencias (Elith, 2002; Peterson et al., 2008; c.p Moreno, 2013).

Para interpretar dichas curvas se han establecido los siguientes intervalos para los valores derivados: 0.50 a 0.60: malo; 0.60 a 0.75: regular; 0.75 a 0.90: bueno; 0.90 a 0.97: muy bueno y 0.97 a 1.0: excelente (Elith, 2002; c.p Moreno, 2013).

A manera de resumen, la sensibilidad 1.0, indica la capacidad del estimador para dar como positivas las zonas donde efectivamente hay presencia de la especie. La especificidad 0.0, indica la capacidad del estimador para dar como negativas las zonas donde efectivamente hay ausencia de la especie. (Figura II.83).

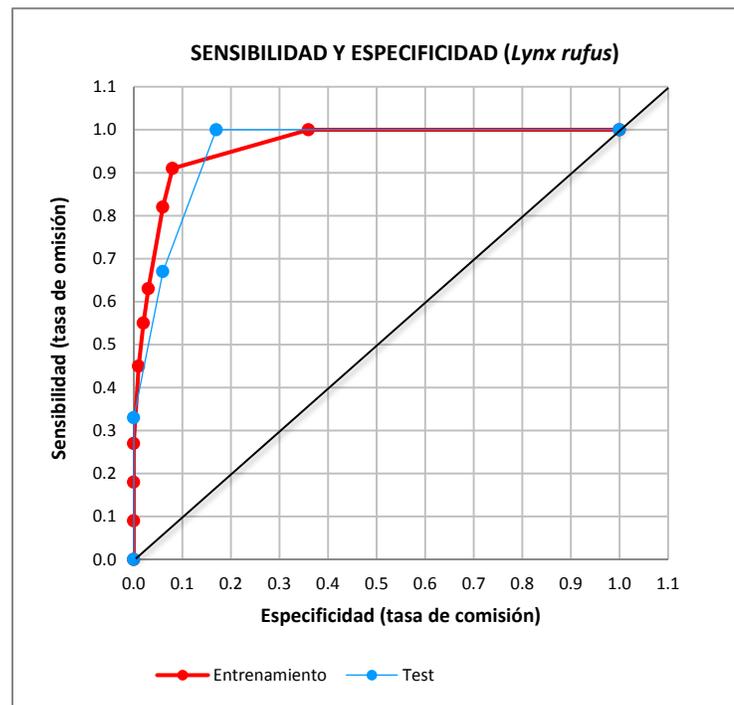


Figura II.83. Evaluación de sensibilidad y especificidad de las muestras de entrenamiento y test (*Lynx rufus*).

Bibliografía:

Briones S. M., (2000), *Lista Anotada de los Mamíferos de la región de la cañada, en el valle de Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México*, Acta Zoológica Mexicana, pp 83-103.

Briones S. M., M. C. Lavariega., I. T. Lira., (2012), *Distribución actual y potencial del jaguar (Panthera onca) en Oaxaca, México*, Revista Mexicana de Biodiversidad, México, pp 246-257.

Canavos G. V., (1998), *Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos*, McGRAW-HILL, México, 667 p.

Castro G. Z., (2011), *Distribución de Anfibios y Reptiles de la Mixteca de Oaxaca*, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura en Biología, México, 98 p.

Centeno G. E., M. A. Ortiz., J. R. Hernández., J. M. Figueroa, G. Alfaro., I. Trejo...J. Etchevers., (2004), *Biodiversidad de Oaxaca*, Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, World Wildlife Fund, Primera Edición, 605 p.

Chuvienco S. E., (2002), *Teledetección Ambiental, La observación de la Tierra desde el Espacio*, Editorial Ariel Ciencia, Primera edición, España, 586 p.

Dalton M., (2004), *Breve Historia de Oaxaca*, Fondo de Cultura Económica, Primera Edición, México, 302 p.

Dávalos A. G., (2006), *Evolución tectónica cenozoica en la porción norte de la falla de Oaxaca*, Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra (Geología Estructural y Tectónica), Centro de Geociencias, Juquiritilla, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, 123 p.

Dumas S. Á., (2012), *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo*, Universidad Complutense de Madrid, Trabajo de fin de Máster, 48 p.

ERDAS, (2001), *Clasificación avanzada*, Capitulo 17, versión en español, ERDAS-Universidad Distrital de Bogotá, Colombia, 42 p.

FAO, (2006), *World Reference Base for Soil Resources, A framework for international classification, correlation and communication*, world soil resources reports, number 103, FAO, 145 p.

Flores V. O., P. Gerez, (1994), *Biodiversidad y Conservación de México, vertebrados, vegetación y uso del suelo*, Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 439 p.

Fuenlabrada S., (2007), *Probabilidad y Estadística*, CINVESTAV IPN, McGRAW-HILL, México, 256 p.

Gallegos T. A., (1997), *La Aptitud Agrícola de los Suelos, La pedología Aplicada a las Actividades Agropecuarias*. Editorial Trillas, Primera Edición, 207 p.

García M. A., P. T. Lezama., J. Reyes., (1994), *El endemismo en la flora Fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México*, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 53-73.

Gómez A. R., (2009), *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*, Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México, primera edición, México, 365 p.

-
- Gómez G. M.**, (2011), *Listado Taxonómico de mamíferos en San José Nuevo Río Manso, Oaxaca, México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura en Biología, México, 53 p.
- González M. F.**, (2004), *Las comunidades vegetales de México, Propuesta para la unificación de la Clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*, Instituto Nacional de Ecología, segunda edición, México, D.F., 82 p.
- Goodwin G. G.**, (1969), *Mammals from the state of Oaxaca, México, in the American Museum of Natural History*, Bulletin of the American Museum of Natural History, Volume 141, Article 1, New York, 318 p.
- Guizar N. E.**, (2011), *La vegetación de la Mixteca*, Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, Mayo 2011, 118 p.
- Hernández H. F.**, (2008), compendio de apuntes de la clase: *Meteorología Aplicada a la Geografía 1 y 2*, SEM 2008-02, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández S. J. R.**, M. A. Ortiz, J. M. Figueroa., (2009), *Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca, México: un enfoque de clasificación tipológica del relieve*, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 68, 7-24 p.
- INEGI**, (2004), *Guía para la Interpretación de Cartografía, Edafología*, 28 p.
- INEGI**, (2009), *Guía para la Interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación”, Escala 1: 250 000 Serie III*, 74 p.
- Jean F. M.**, (2008), *Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso de suelo en el sureste de México*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Investigaciones Geográficas, número 67, pp 7-19.
- Llorente I. M.**, (2001), *Geología Histórica, Precámbrico*, Instituto Geológico y Minero de España, 19 p.
- Lugo Hubp J. I.**, V. M. Martínez., (1981), *La disección del relieve en el sur de la cuenca de México y porciones adyacentes*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín Núm 10, México, pp 55-64.
- Lugo Hubp J. I.**, J. R. Padilla., A. Eternod., V. Ortuño., (1982), *La disección del relieve en la porción centro oriental del sistema volcánico transversal*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín Núm 11, México, pp 7-19.
- Lugo Hubp J. I.**, (1986), *Los Métodos Geomorfológicos*, Revista de Geografía, Volumen 1, Número 1, México, pp 13-26.
- Macías G. E.**, (2005), *Sentido Social en la Preservación de Bienes Culturales, La restauración en una comunidad rural. El caso de Yanhuatlán, Oaxaca*, CONACULTA, INAH, Primera Edición, México, 172 p.
- Maderey R. L. E.**, (1982), *Geografía de la Atmósfera*, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, Primera Edición, México D.F., 77 p.
- Majka D.**, J. Jenness., P. Beier., (2007), *Corridor Designer*, Arizona University, E.U.A, 81 p.

Caracterización

Martínez L. V. M., (1946), Impresión proporcionada en clase, *Nuestro Amo Físico, el aire que nos rodea*, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 21-41., [extracto de Jorge A. Vivó, (1946), *Climatología de México*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México.]

Martínez N., (2010), *Apuntes sobre Modelación de Nichos Ecológicos*, Laboratorio de Evolución y Experimental, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, 66 p.

Medellín L. R. A., H. V. Bárcenas., (2009), *Estimación de la densidad poblacional y dieta del lince (*Lynx rufus*) en Aguascalientes y el Distrito Federal, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto ES003. México, D.F., 30 p.

Monroy G., M. Briones-Salas., (2012), *Primeros datos sobre área de actividad de gato montés (*Lynx rufus*) en Oaxaca, México.*, Acta Zoológica Mexicana, pp 471-474.

Montes C. P., (2009), *Inventario de erosión acelerada de suelos en la Mixteca Alta de Oaxaca*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 144 p.

Moreno Z. J. E., (2013), *Modelos predictivos para el uso del hábitat del Tursión (*Tursiops truncatus*) en la Ensenada de la Paz, B.C.S., México*. Tesis de Mestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 67 p.

Olgún M. H., L. P. León., U. P. Sempler., V. D. Cordero., (2008), *Avances en el estudio de los mamíferos de México II, Mastofauna de la región de los Chimalapas, Oaxaca, México*, Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C., Primera edición, México, pp 165-216.

Ortega G. F., (1981), *La Evolución Tectónica Premisisípica del sur de México*, Investigaciones, Instituto de Geología, UNAM, volumen 5., Número 2., 140-157 p.

Ortega G. F., (1998), *Oaxaquia, Historia de un antiguo continente*, Investigaciones, Instituto de Geología, UNAM, Núm. 52, pp. 30-37.

Ortiz P. M., J. R. Hernández., A. P. Méndez.....C. L. Miguel., (2006), *Ordenamiento ecológico de la zona petrolera de la Región V Norte de Chiapas*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 346 p.

PCI Geomatics., (2007), *Geomática 10, SAR Processing with Geomatica*, Course Guide, Versión 10.1, Canadá, 58 p.

Riveros L. B., (2011), *Mamíferos del municipio de Cosoltepec, Oaxaca*, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura en Biología, México, 102 p.

Rzedowski J., (2005), *Vegetación de México*, Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, Primera Edición Digital, México, 442 p.

Santa María D. A., (2008), *Influencia de la falla de basamento no expuesta en la deformación Cenozoica: la falla de Caltepec en la región de Tamazulapam, en el sur de México*, Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, 128 p.

Santa María D. A., (2008), *Cartografía geológica de la región de Tamazulapam, Nochixtlán, Chalcatongo, Yosundua, en el sur de México*, Instituto de Minería, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 35 p.

Santa María D. A., S. A. Ananiz., Á. S. Nieto., (2008), *Deformaciones cenozoicas en la cobertura de la falla Caltepec en la región de Tamazulapam, sur de México*, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen 25, número 3, México, p. 494-516.

SGM, (2000), *Carta Geológico Minera Oaxaca E14-9*, escala 1: 250 000.

Soberón J., A. T. Peterson., (2005), *Interpretation of models on fundamental ecological niches and species' distributional areas*. Biodiversity Informatics, 2, pp 1-10.

Sosa L. D., (2009), *Modelación de la distribución geográfica potencial de los roedores endémicos de Oaxaca*, Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional, 76 p.

Spiegel M., (1976), *Teoría y Problemas de Estadística*, McGRAW-HILL, México, 356 p.

Suárez M. M. E., J. L. Villaseñor., (2011), *Las compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución*, Sociedad Botánica de México, número 88, México, 55-66 pp.

Uribe M. C., (2012), *Estimación de la erosión hídrica y recomendaciones para la conservación de suelos en la reserva de la biósfera Barranca de Metztlán*, Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, 84 p.

Verstappen and Van Zuidam., (1991), *El sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos*, ITC publication, Number 10, second edition, 15 p.

Young N., C. Lane., P. Evangelista., (2011), *A MaxEnt Model v3.3.3e Tutorial (ArcGIS v10)*, Colorado State University, E.U.A, 30 p.

Citas electrónicas:

Ceballos G., J. A. Cabrales., R. A. Medellín., (2002), *Biodiversidad y conservación de los mamíferos neotropicales*, Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp 377-413.
[<http://www.ecologia.unam.mx/laboratorios/eycfs/faunos/art/GCe/CL17.pdf>: 11 de junio de 2013].

CONAGUA, (2008), *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 2016 Nochixtlán, Estado de Oaxaca* Gerencia de Aguas Subterráneas, Subdirección general técnica, México D.F, 22p.
[http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_2016.pdf: 5 de junio de 2013].

CONAGUA, (2008), Mapa, *Calidad del Agua en las Estaciones de Monitoreo con Base en la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales*, Gerencia de calidad del agua, Subdirección general técnica, México.
[<http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=54>: 5 de junio de 2013].

González R. A., (2011), *Oaxaca 2011: Un diagnóstico Breve*, Grupo Mesófilo A.C. 66 p.
[http://www.grupomesofilo.org/pdf/proyectos/DE/DE_2011.pdf: 9 de agosto de 2013].

INE, (2007), *Diversidad ecológica y biológica de México*,
[<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/2/int.html>: 12 de junio de 2013].

INEGI, (2000), *Diccionario de datos Climáticos Escalas 1: 250 000 y 1: 1 000 000*, México, 65 p.
[<http://www.cp-idea.org/documentos/normasEspecificaciones/climas.pdf>: 03 de junio de 2013].

Caracterización

Miranda F., E. Hernández., (1963), *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*, Instituto de Biología; Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México D.F, 148 p.

[http://www.cvirtual1.uaem.mx/observatorio/cen_documento/articulos/art_eco_1963.pdf: 18 de junio del 2013].

Ouyang D., (2002), *RUSLE, Online soil erosion assessment tool*, Institute of Water Research, Michigan State University [<http://35.8.121.139/rusle/>: 05-11-2013].

Pablo P. M. A., (2012), *Tutorial para delimitar cuencas Hidrográficas en el Sistema de Información Geográfica ArcGis 10*, 10 p.

[<http://quehaceungeografo.blogspot.mx/2012/04/tutorial-delimitar-cuencas.html>: 02 de Junio de 2013].

Ramírez A. J., (2008), *Plan de desarrollo municipal, Nochixtlán, Oaxaca*, Consejo Municipal de Desarrollo Sustentable, México, 64 p.

[http://www.finanzasooaxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/08_10/006.pdf: 5 de junio de 2013].

Reinoso G. O., (2008), *Clasificación no supervisada, agrupamiento*, Universitas Miguel Hernández Elche, España, 42 p.

[<http://isa.umh.es/asignaturas/iarp/>: 07 de junio del 2013].

SEMARNAT, (2011), *Biodiversidad, conocer para conservar*, Primera edición, 38 p.

[<http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/pdf/capitulo1.pdf>: 11 de junio de 2013].

SRH-CONAGUA, (1975), *Plano general de las regiones hidrológicas núm. 19, 20, 21 y 22 (Costas de Guerrero y Oaxaca)*, Lamina I-08.

[[ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/planos/Rh19,20,21y22\(Costa_Guerrero_Oaxaca\).jpg](ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/planos/Rh19,20,21y22(Costa_Guerrero_Oaxaca).jpg): 04 de junio de 2013].

Turnstone Geological Services, (2002), *Charnockite from Baffin Island*, Rock of the Month núm. 9, Ontario, Canadá, [<http://www.turnstone.ca/charnock.htm>: 29 de mayo de 2013].

USDA, (2010), *Keys to Soil Taxonomy*, Eleventh Edition, E.U.A, 338 p.

[ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/keys/2010_Keys_to_Soil_Taxonomy.pdf. 06 de junio de 2013].

Velázquez M. S., (2008) *“Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)”*, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 54 p.

[http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/topico_iv_2008/ejercicio_2/: 03-11-2013].

III Diagnóstico Territorial

III.1 La regionalización ecológica

Es del dominio común y se ha comprobado que durante las últimas décadas y más aún, en los últimos años, la presión de las actividades antrópicas ejercida sobre los ecosistemas naturales ha ido en aumento, provocando intensos efectos ambientales negativos que disminuyen la calidad de vida de los habitantes y comprometen seriamente el bienestar de las generaciones futuras. Diversas experiencias han demostrado que actualmente se realiza un uso inadecuado del territorio; fenómenos como la degradación de suelos, incremento de áreas expuestas a los efectos de riesgos naturales, crecimiento desordenado de zonas urbanas y decremento de la diversidad biológica son sólo algunos de los problemas que sugieren urgentemente un proceso de planificación territorial, el cual, en cualquier modalidad y a cualquier escala, requiere como fundamento, de una regionalización ecológica (Priego et al., 2008). Ésta consiste en delimitar espacios geográficos relativamente homogéneos en función del medio físico y biológico, de tal manera que se pueda establecer una adecuada vinculación con el uso y apropiación del territorio por parte de la sociedad. Esta diferenciación territorial se entiende como el proceso de delinear y clasificar áreas ecológicamente distintivas de la superficie de la Tierra. (Bocco et al., 2010).

Un aspecto básico de la regionalización es la de proporcionar información sobre la vocación específica de cada región, ya que la toma de decisiones en materia ambiental se realiza a partir del conocimiento de la naturaleza y aptitud de territorios que albergan recursos naturales concretos. (*Ibíd.*)

Cada porción del territorio puede ser vista como un sistema, resultado de la interacción de factores geológicos, climáticos, geomorfológicos, edafológicos, hídricos, de vegetación y fauna silvestre, y su manejo por comunidades humanas. Sin embargo, esta interacción no se da al azar, sino en forma ordenada, siguiendo la organización jerárquica que guardan los componentes naturales (litosfera, atmósfera, biosfera), mismos que en conjunto generan lo que se conoce como ambiente o espacio. (*Ibíd.*)

La utilización del enfoque de paisaje en la regionalización ecológica enriquece el conocimiento sobre la distribución geográfica de los recursos naturales (y de los ecosistemas que los albergan), su dinámica en el tiempo, y la tolerancia del ambiente a la intervención humana. También permite evaluar la aptitud productiva del territorio, la distribución geográfica de la biodiversidad, los riesgos ambientales y los conflictos potenciales entre aptitud y uso actual del suelo (*Ibíd.*)

III.1.1 La ecología del paisaje, un panorama general

En la actualidad, existe gran interés por los diagnósticos ambientales que evalúan la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas bajo la óptica de la condensación de información biofísica y cultural, en unidades espacio-temporales, con cierto grado de homogeneidad. En este sentido el enfoque de la ecología del paisaje hace posible la integración y síntesis de aspectos estructuro-funcionales del territorio en un momento determinado (Bertrand, 1968; Huggett, 1995; Farina, 1998; c.p García et al., 2002), y su valoración constituye una herramienta útil y rápida para el diagnóstico ambiental con fines de conservación en escalas geográficas amplias. (García et al., 2005).

Pues bien, resulta conveniente abordar primeramente los diversos matices y enfoques en el estudio del paisaje desde su ambivalente concepción histórica, hasta su actual articulación transdisciplinaria.

Como se mencionó en el capítulo 1, el territorio es un ente complejo e inherentemente comprendido a través del estudio del espacio geográfico, pues éste también es producto de una construcción social; su interior es capaz de albergar una serie de elementos biofísicos y antrópicos que le confieren una identidad locacional y cognitiva dentro del tejido espacial (pertenencia, administración, dinámica cultural); cada uno de éstos se articula de manera armónica, de tal manera que logran cohesionar la entidad confiriendo a ésta, su propia estructura, morfología, fisiología etc. De esta manera el territorio es construido y fomentado, adquiriendo un objetivo tangible al hombre al referenciarlo con un ambiente geográfico específico, que además de proveer de elementos materiales y energéticos, impone condiciones y barreras al desarrollo humano (García-Muñoz, 2002).

Dentro del dominio territorial, cabe la posibilidad de clarificar entes más específicos como el paisaje, descifrado primeramente desde el espectro sensorial y consecuentemente desde el análisis científico; es decir, por un lado concebido como la imagen del territorio que es percibido y valorado por el hombre, considerándose así, una creación más, de la mente humana que una realidad en sí misma y por el otro, como un hecho real que existe en la superficie terrestre; complejo y dinámico cuya naturaleza y caracteres son independientes del significado que le atribuyan los grupos humanos (*Ibíd.*).

Si bien, los dos sistemas expuestos anteriormente (territorio-paisaje), se encuentran íntimamente vinculados, que mientras el primero constituye el armazón o estructura fundamental que produce al paisaje, en este último se tiene la máxima expresión de carácter sintético, que logra la cohesión estructuro-funcional de cada uno de los elementos que proporcionan un entendimiento real del territorio; son pues, paisaje y territorio dos entidades distintas pero indisociables (*Ibíd.*).

El análisis del paisaje sistémico, concretamente desde la ciencia geográfica, encuentra sus bases teórico-metodológicas en la Teoría General de Sistemas (ver capítulo 1, p 7), apoyada en ella, la ecología del paisaje propuesta por el geógrafo alemán Carl Troll a mediados del siglo XX. A él se debe la aparición del término *landschaftsökologie* (ecología del paisaje), introducido en 1939 y asimilado años más tarde al término inglés *geoecology* (González, 2012).

Ahora bien, existen diversas direcciones de esfuerzo en cuanto a la construcción teórico-metodológica de la ecología del paisaje, ya que ésta se puede entender como parte de la geografía física (*geoecología*), donde posee una concepción taxonómica de la envoltura geográfica a cualquier escala; sin embargo su mayor limitante es la simplificación de indicadores ecológicos, sobre todo biológicos. Por otro lado existe la concepción como parte de las ciencias biológicas (*sinecología geográfica*), donde se estudia el funcionamiento interno, arreglo espacial y relación entre ecosistemas, empleando señaldadores ecológicos; sin embargo su principal restrictivo es la ausencia de concepciones taxonómicas sobre la estructura de la envoltura geográfica, por lo que se consideran unidades de paisaje a los tipos de vegetación y/o uso de suelo. Existe también una concepción antropocéntrica o socioecológica (*antropoecosistema*) donde se concibe a éste con mayor énfasis en la incorporación de la dimensión humana, lo cual es al mismo tiempo su punto débil por la excesiva visión antropocéntrica. Finalmente se encuentra la ecología del paisaje vista como una ciencia, pues estudia y analiza al paisaje como un ecosistema, empleando unísonamente el enfoque ecológico y paisajístico; esta geoecología se promueve como un campo de estudio transdisciplinario (ver capítulo 1, p 1 y 2), (Delgado, 2013).

Es entonces, cuando hablar de ecología del paisaje o de "geoecología", constituye un enfoque científico inter y transdisciplinario que analiza los paisajes geográficos como ecosistemas, considerando los geocomplejos como entidades holísticas totalmente integrales. Es una aproximación científica para el conocimiento, análisis funcional y control de las relaciones entre la naturaleza y la sociedad, basada en las teorías y métodos más recientes de la ecología y la geografía principalmente (Naveh y Lieberman, 1984; Hasse, 1986, c.p Delgado, 2013). De acuerdo con Golley (1993, c.p Delgado, 2013), la concepción de ecología del paisaje es más amplia que la "ecología biológica" del pasado y tiene funciones y objetivos específicos en la síntesis, a escalas espaciales relativamente grandes, proporcionando bases técnicas adecuadas para la planificación del uso de la tierra. (*Ibíd.*).

Esta concepción, fruto de la integración del enfoque ecológico (típicamente más funcional) y del enfoque físico-geográfico complejo (típicamente más estructural) en una perspectiva holística, proporciona una sólida base teórico-metodológica para la comprensión del funcionamiento ecológico de los paisajes (*Ibíd.*).

Es así como, entre los aportes más valiosos que han resultado de la aplicación conjunta de la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, 1969), el modelo de ecosistema de Tansley (1935) y los aspectos geográficos de espacialidad y localización, ha sido el acuñar el concepto de “geosistema”, que a grandes rasgos se enfoca como una entidad compleja e integrada por componentes que forman a su vez “subsistemas” independientes, complejos y dinámicos, integrados por subcomponentes del geosistema (García-Muñoz, 2002).

III.1.1.1 Niveles de integración del paisaje

La influencia de la escala en la discriminación de paisajes de distinta jerarquía espacio-temporal es un tema central en el análisis territorial. De manera que a menor escala (p. ej. desde el exterior del planeta), el grado de discriminación de componentes territoriales también será menor pero de mayor jerarquía (p. ej. las morfoestructuras y el clima), ya que éstos serán los que mejor se manifestarán en el paisaje a esa escala y controlarán la organización del territorio; eso no significa que los demás no influyan, sólo que requieren de mayor detalle para ser diferenciados. Por el contrario, cuando aumenta la escala (p. ej. desde un avión a 8 km de altura), el grado de discriminación de componentes será mayor, pero de menor jerarquía (p. ej. los tipos de vegetación, suelos y usos), es decir, la variabilidad en la escala de observación influye en la diferenciación de paisajes definidos por sus componentes más, o menos estables. De esta manera, conforme la escala aumenta (menor campo de visión, pero mayor detalle en la observación), los subcomponentes toman el control de la organización espacial del territorio, al tiempo que los componentes de mayor jerarquía y menor tasa de cambio espacio-temporal quedan fuera del marco de percepción (*Ibíd.*).

Cuando el grado de detalle en la observación es tan alto que los componentes territoriales más finos como los suelos o la vegetación no pueden ser discriminados, las relaciones horizontales de interés geográfico se pierden y entonces, el objeto observado no puede ser considerado como paisaje (Drdos, 1992; Zonneveld, 1995, c.p. García-Muñoz, 2002) **(Cuadro III.1)**

Paralelamente a la variabilidad taxonómica de los paisajes, lo hacen sus componentes, es decir, presentan diversos niveles de manifestación espacio temporal en función de la variabilidad de la escala de aproximación, llegando a influir no sólo en la expresión visual sino en la diferenciación de procesos que introducen, transmiten y emiten energía en el sistema, la diferenciación de interconexiones sinérgicas (interacción de información, materia y energía entre componentes) y el grado de control o dependencia perceptible que cada componente tiene respecto de otros componentes próximos (*Ibíd.*). En este sentido, se distinguen dos grupos de componentes territoriales:

III.1.1.1.1 Las macroestructuras

Se incluyen en este grupo los aspectos morfoestructurales y climáticos de fácil discriminación a grandes escalas. Se caracterizan por ocupar grandes unidades del terreno y en condiciones naturales requieren de por lo menos cientos de años para manifestar cambios de fondo, por lo cual se les considera como dinámicamente estables e independientes, poco susceptibles a los influjos provenientes de los demás subsistemas del medio (Zonneveld, 1995; Mateo y Ortiz, 2001, c.p. García-Muñoz, 2002). El interés por estos componentes mayores radica en que los recursos orográficos, altitudinales, de orientación y litológicos en coordinación con ciertos parámetros climáticos, sobre todo térmicos y pluviométricos, determinan y controlan la capacidad del territorio para soportar una cierta carga biótica (*Ibíd.*).

Diagnóstico

III.1.1.1.2 Las mesoestructuras

Al interior de una unidad macroestructural, otros componentes territoriales que se discriminan a escalas medias cambian con relativa rapidez y en distintos sentidos (Drdos, 1992, c.p García, 2002). Dentro de ellos, se pueden distinguir dos grupos, el de los componentes abióticos (el relieve y agua), que tienden a ser más estables, y el de los componentes bióticos (la vegetación, la fauna, y los antropismos), que ocupan los peldaños más bajos de manifestación espacio-temporal y, por lo tanto, son los componentes más inestables, dependientes y dinámicos (*Ibid.*).

Cuadro III.1. Componentes y subcomponentes del sistema territorial (García et al., 2002).

COMPONENTES		SUBCOMPONENTES	
SISTEMA TERRITORIAL	SISTEMA NATURAL ABIÓTICO	MORFOESTRUCTURAS	* Estructura geológica * Contenido litológico * Tectónica * Orografía
		CLIMA	* Organización climática * Fenómenos hidrometeorológicos
		HIDROLOGÍA	* Balance hídrico * Excedentes y déficits * Escorrentía
		RELIEVE	* Grandes unidades del relieve * Morfogénesis * Formas y elementos del relieve * Morfodinámica
	SISTEMA NATURAL BIÓTICO	VEGETACIÓN	* Contenido florístico * Estructura de las comunidades vegetales * Dinámica, funcionalidad y tendencias evolutivas de la vegetación
		FAUNA	* Comunidades faunísticas * Inventario y distribución
		SUELOS	* Edafogénesis * Tipos y distribución de suelos
	SISTEMA CULTURAL	USOS DEL SUELO	* Usos actuales * Historia del poblamiento * Sistemas de usos
		ORGANIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA	* Actividades económicas * Entramado institucional * Orden legal * Economía global

III.1.1.2 La regionalización geomorfológica

Uno de los supuestos para la ejecución de los diferentes pasos del ordenamiento es la definición de unidades espaciales apropiadas, que sirvan como base territorial para evaluar la oferta ambiental y la demanda social por un lado, y su manejo para efectos de planificación sectorial y espacial, por el otro. Las unidades espaciales deben describir tanto los componentes relativamente estables del terreno (roca, forma del relieve y suelos, en forma integrada), como los menos estables, cuya tasa de cambio en el tiempo es más alta (vegetación, uso del suelo y fauna). Como estas unidades territoriales deben ser aptas para modelar diversas escalas, se debe utilizar un enfoque jerárquico y multiescalar, que permita moverse de lo general a lo particular y viceversa (Bocco et al, 1999).

Según Mateo (2002), dos principios son básicos en la clasificación de los paisajes, independientemente de la escala y los niveles taxonómicos a los que se opere:

a) Principio histórico-evolutivo: los componentes de los paisajes (o geocomponentes) coevolucionan en el espacio y el tiempo. Esto significa que lo que observamos hoy en el paisaje es el resultado de años de evolución conjunta entre todos los componentes del mismo. Ningún componente evoluciona aislado del resto. Este principio se puede utilizar a través del análisis de aquellos componentes relativamente más estables en el proceso de evolución natural, en un lapso determinado, por ejemplo la litología, la estructura geológica y el tipo de clima (Priego et al., 2008).

b) Principio estructural-genético: todas las entidades geográficas poseen una determinada estructura y todas son consecuencia de un proceso genético. El principio estructural implica reconocer las relaciones entre los distintos componentes de la estructura vertical del paisaje, es decir, entre roca, relieve, condiciones hidroclimáticas, suelos y biota. El principio genético implica reconocer las causas y las condiciones de la formación del paisaje (*Ibíd.*).

Como se puede apreciar, la estructura del paisaje se relaciona ante todo con el relieve, porque éste es el principal factor de diferenciación en la superficie terrestre. La altitud relativa (o altura) y la disección vertical del geocomplejo condicionan varias de las particularidades de la estructura del paisaje. Por un lado, la distribución de algunos de sus componentes (p. ej. la temperatura, la precipitación, de alguna manera la vegetación, parcialmente los suelos y otros materiales superficiales); por otro, condiciona su capacidad de asociación como organización espacio-temporal. Por ello, la diferenciación primaria de la estructura dependerá, ante todo, del tipo morfométrico del relieve (*Ibíd.*).

En este sentido, la cartografía geomorfológica por sí sola ofrece una visión parcial del estado del territorio y de su aptitud (Verstappen y Van Zuidam 1991., c.p Bocco et al, 2010). Esta situación plantea a científicos y planificadores la necesidad de utilizar enfoques más integradores, sin perder la base geomorfológica (Bocco et al., 2010).

III.1.1.2.1 La región, el geosistema y la geofacie

Como se puede ver, existe un amplio consenso entre los autores al considerar como base para la regionalización del territorio y particularmente dentro de la ciencia del paisaje, a los niveles jerárquicos con una menor tasa de cambio o con mayor estabilidad espacio-temporal, señalando al relieve como eje rector de la variabilidad de otros factores como la temperatura, precipitación, vegetación, y parcialmente los suelos, razón por cual, se vuelve conveniente una primera definición taxonómica del paisaje en la cuenca del río Grande, bajo el dominio geomorfológico y particularmente, a escala regional (**Cuadro III.2**).

Desde el punto de vista del análisis dinámico y funcional del territorio, tres niveles taxonómicos tienen una especial relevancia operativa: el de la región natural, porque a él corresponden dimensionalmente la mayor parte de los territorios objeto de estudio; el del geosistema, porque el peso de los componentes abióticos, bióticos y antrópicos se encuentran en él básicamente equilibrados; y el de la geofacie porque coincide con la unidad elemental de paisaje, directamente reconocible por el observador desde tierra. El manejo de estos tres niveles asegura el dominio de las esferas macro y meso escalar del medio (García-Muñoz, 2002).

En este sentido y con el objeto de elaborar la cartografía de paisajes, que involucre los elementos con mayor carga explicativa en la cuenca del río Grande, se elaboró un levantamiento geomorfológico, basado en la metodología del Instituto Internacional de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC), (Verstappen-Van Zuidam, 1991).

Se construyó un primer mapa denominado morfogenético, derivado a partir de la delimitación de unidades y subunidades del relieve, con base en el criterio principal de homogeneidad relativa y la incorporación de atributos genéticos (origen y edad), (Tapia-Blanco, 2008). De esta manera se derivaron los dos primeros niveles jerárquicos de paisaje:

Diagnóstico

Cuadro III.2. Fragmento del sistema taxonómico propuesto por Bertrand (1968) y complementado con Bollo-Hernández (2008). Fuentes: García-Muñoz, 2002; Bollo-Hernández, 2008.

UNIDAD DE PAISAJE	DESCRIPCIÓN
REGIÓN NATURAL	Queda definida dentro del "dominio", por su diferenciada organización geomorfológico-hidrológica y por los caracteres generales de su vegetación, suelo y uso humano relacionado con ella. Se puede expresar en miles a centenares de kilómetros cuadrados.
GEOSISTEMA	División de una región natural, cuyos límites coinciden con las unidades morfoclimáticas elementales, al interior de las cuales se da una peculiar combinación de potencial abiótico, explotación biótica y acción antrópica. Se expresa normalmente en unidades a decenas de kilómetros cuadrados.
GEOFACIE (PAISAJE)	División del geosistema que se diferencia por una combinación específica entre la forma de explotación biótica natural y la acción humana. Corresponde con la "unidad elemental de paisaje" que puede ser percibida de forma directa por el hombre y se expresa en unidades de hasta centenares de metros cuadrados. Sus límites se encuentran en un mismo elemento del relieve (a veces en una microforma del relieve), la misma composición litológica de la roca superficial, un mismo tipo y régimen de humedad del suelo y biocenosis.

Sistema general del relieve (región natural): Se define a partir de rasgos geomorfológicos, es decir, elementos de amplio rango espacial y temporal, por lo que se considera un tipo de paisaje dinámicamente estable, (p. ej. montaña, valle, lomerío llanura etc.). A este nivel se define la relación general entre el medio físico abiótico con los principales tipos de suelos, vegetación y diversas dimensiones de la actividad humana (sociedad, cultura, política), que se mantienen más o menos homogéneos en toda su superficie (Forman, 1995; Martínez de Pisón, 1998., c.p García-Muñoz, 2002). Para la delimitación, se elaboró el modelo digital de elevación a una resolución de 10 m, derivado de las curvas de nivel, y posteriormente el modelo de sombra orográfica. Además de las bases topográficas, se analizaron e interpretaron bases geológicas y de satélite (SPOT 5-10-Abril-2010) para identificar:

I.- Elevaciones montañosas:

- Morfología: tipo general de relieve (expresión topográfica en planta), rupturas de pendiente (planos de inflexión), perfil de la vertiente (recto, cóncavo, convexo, escalonado etc.).
- Morfometría: altura relativa (>300 m), dimensión longitudinal, pendiente media de la vertiente (>30°).
- Morfotectónica: lineamientos estructurales (escarpes de falla, fractura, erosivos).
- Morfología: densidad y patrón de drenaje.
- Morfogénesis: litología y edad.

II.- Valles:

- Morfología: tipo general de relieve (expresión topográfica en planta), forma (V/U etc.), rupturas de pendiente (planos de inflexión), perfil transversal (patrón erosivo).
- Morfotectónica: lineamientos estructurales (escarpes de falla, fractura, erosivos).
- Morfología: densidad y patrón de drenaje.
- Morfometría: estado de madurez del relieve (pendiente media de las vertientes), simetría.
- Cobertura vegetal: densa, semiabierta, abierta, suelo desnudo.
- Morfogénesis: litología y edad.

III.- Lomeríos:

- Morfología: tipo general de relieve (expresión topográfica), rupturas de pendiente (planos de inflexión), perfil transversal (patrón cóncavo).
- Morfometría: altura relativa (<300 m), pendiente media de la vertiente (< 30°).
- Morfología: densidad y patrón de drenaje.
- Morfogénesis: litología y edad.

IV.- Cañones:

- a) Morfología: tipo general de relieve (expresión topográfica), perfil de la vertiente (profundidad)
- b) Morfometría: pendiente media (30 a >45°).
- c) Morfotectónica: lineamientos estructurales (escarpes de falla, fracturas).
- d) Morfohidrología: densidad y patrón de drenaje.
- e) Morfogénesis: litología y edad.

V.- Llanuras fluviales:

- a) Morfología: tipo general de relieve (expresión topográfica), perfil transversal (superficies niveladas).
- b) Morfometría: pendiente media (2 a 6°).
- c) Morfohidrología: densidad y patrón de drenaje.
- d) Morfogénesis: litología y edad.

Subsistema general del relieve (geosistema): El geosistema o subcategoría del relieve, permite diferenciar los paisajes que pertenecen a un mismo ambiente bioclimático, pero difieren relativamente en cuanto al contenido morfológico, principalmente en parámetros morfométricos como el grado de encajamiento erosivo, densidad de corte fluvial, pendientes etc., y tipos de roca que se traduce en la variabilidad de distribución de recursos (suelos, flora, fauna etc.), la sensibilidad de las laderas y el patrón de usos del suelo (García et al, 2005). Su análisis es fácilmente planteable a escalas entre 1: 25 000 y 1: 100 000, que son las más adecuadas para captar de forma integral todo el entramado geológico de un territorio, desde los componentes naturales de gran escala (clima-estructuras geológicas), hasta los que requieren de mayor detalle para ser percibidos (vegetación-suelos-antropismos) (García-Muñoz, 2002).

Paisaje elemental: A pesar de ser una unidad sistémica básica y fuertemente cohesionada a nivel geológico, el geosistema no corresponde con la unidad elemental del paisaje. Las geofacies representan estados específicos de evolución del geosistema al que pertenecen, formándose como resultado de cambios en los componentes de escala media más sensibles del sistema territorial (vegetación, fauna y antropismos). En este sentido se pueden diferenciar las que presentan un fuerte componente natural (p. ej. islas de vegetación, cárcavas, cicatrices de desprendimiento, suelos desnudos etc.) y las de tipo antrópico (p. ej. campos de cultivo, zonas de tala, vegetación inducida etc.) (García et al., 2002).

Las principales unidades de paisaje, se determinaron empleando los resultados de la clasificación supervisada de la imagen de satélite SPOT, misma que se sometió a un proceso de remuestreo de 30 m, para de esta manera, eliminar zonas imperceptibles en la cartografía. El proceso de fragmentación se llevó a cabo tomando en cuenta el grado de perturbación antrópica, degradación ambiental, cobertura vegetal y singularidad ecológica principalmente.

El análisis, interpretación y procesamiento de los resultados espaciales, dieron como resultado una leyenda final de cinco regiones naturales, diecisiete geosistemas y ochenta y cinco unidades de paisaje (**Cuadro III.3 y Figura III.1**).

III.2 Evaluación del uso del territorio

La evaluación del uso del territorio como uno de los ejes fundamentales de los programas estatales de ordenamiento territorial, se enmarca en los aportes conceptuales y metodológicos realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), en sus guías para la planificación del uso de la tierra, cuyos antecedentes se remontan al año 1972, con la elaboración de una guía preliminar, por parte de una comisión de la FAO, en conjunto con otra comisión de los Países Bajos, (Velázquez et. al, 2002).

Diagnóstico

En este contexto, la planificación del uso de la tierra se define, como el proceso por medio del cual se seleccionan formas óptimas de uso de la tierra, considerando la realidad biofísica, tecnológica, cultural, económica y política de un territorio determinado. Su objetivo central es el de influir, controlar o dirigir los cambios en el uso de la tierra, de manera que se dedique a su uso más beneficioso, mientras que se mantiene la calidad del medio ambiente y se promueve la conservación de los recursos, (*Ibíd.*).

La herramienta metodológica clave de la planificación del uso de la tierra es la evaluación de tierras, a partir de la cual es posible seleccionar formas óptimas de uso para cada unidad de tierra o de paisaje, considerando aspectos biofísicos, socioeconómicos y técnicos y promoviendo la conservación de los recursos, (*Ibíd.*).

El método FAO de evaluación de tierras desarrolla los siguientes pasos:

- a)** Selección y descripción de los tipos de utilización de la tierra (agrícola, pecuario, forestal, conservación, etc.) que son relevantes, según objetivos de desarrollo y las condiciones socioeconómicas del área.
- b)** Determinación de los requerimientos físicos, económicos y sociales de cada uno de los tipos de utilización de la tierra elegidos.
- c)** Delimitación de unidades de paisaje, basada en el análisis y síntesis de los atributos del territorio: condiciones geomorfológicas, climáticas, de suelos, disponibilidad de agua, cobertura vegetal, uso actual, cambio de uso, etc.
- d)** Confrontación de los requerimientos con las cualidades de cada unidad de paisaje. Clasificación de aptitud de cada unidad de paisaje, respecto a cada tipo de utilización de la tierra, de modo que cada unidad tendrá determinada aptitud para cada tipo de utilización de tierra considerado, (Land Use Planning, FAO, 1993; c.p Velázquez et al, 2002).

Para evaluar la aptitud del territorio, es necesario contar con una unidad espacial que sirva de soporte al proceso. En la metodología de la FAO, esta unidad la constituye la unidad de tierra (UT) o unidad de paisaje (UP). Esta investigación toma como unidad de síntesis y análisis, al paisaje, concebido como la unidad que permite condensar los principales componentes de los diversos sistemas biofísicos y humanos, en su estructura y funcionalidad, dicho de otra manera, es la expresión geográfica integral de un área de la superficie terrestre, que resulta de la interacción de los procesos biofísicos y socio-culturales, razonablemente estables.

III.2.1 Aptitud natural del paisaje

Bajo la óptica del desarrollo sustentable, los programas de ordenamiento ecológico territorial constituyen una herramienta para el establecimiento de patrones espaciales de organización de actividades humanas, en función de las potencialidades y debilidades del territorio y la distribución de sus recursos naturales, (Bollo et. al, 2010). De esta manera es como se logró articular una evaluación de la aptitud natural del territorio en la cuenca del río Grande, empleando como unidad de análisis al paisaje, bajo una serie de criterios objetivos para el aprovechamiento eficiente y ambientalmente viable, en lo que respecta a la oferta del medio natural. Es así como el análisis de aptitud de uso del suelo provee información necesaria para conocer las reales vocaciones naturales de las diferentes unidades de paisaje físico-geográfico.

La aptitud natural de uso puede definirse como la oferta o vocación de los recursos naturales de un territorio, en función de los atributos de los procesos geomórficos modeladores del relieve, de las cualidades morfométricas del mismo, de las características físicas y químicas de los suelos y de sus niveles de degradación, de las virtudes del régimen hidrotérmico, y muchos otros aspectos físico-geográficos, (Ortiz et. al, 2006).

Una vez determinada la oferta de los recursos naturales (ver capítulo 2, caracterización biofísica) y conociendo las variables necesarias para el desarrollo de cada una de las actividades productivas, se procede a la adecuación de un particular uso de suelo, para cada unidad de paisaje.

Cuadro III.3. Regiones naturales, geosistemas y unidades de paisaje en la cuenca del río Grande. Oaxaca.

1- Región Natural: Macropendiente del arco estructural Teposcolula-Tilantongo; mesopendiente del eje estructural de la "Mesa El Llano", montañas aisladas y macizos de Tonaltepec-Chachoápam

I.1.- Geosistema: Superficies cumbrales y laderas altas del corredor montañoso Negro-Yucuañ, constituidas por alturas relativas de 500 a 800 m, con climas templado y templado semifrío e índice de humedad ₂ (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, tectónico y vulcanógeno, con rocas de plataforma carbonatada, extrusivas (toba de composición andesítica, masivos y material piroclástico). Unidades fuertemente disecionadas; discción vertical de 100 a 700 m y densidad de discción de 0.5 a 3.0 km/km², con asociaciones de suelos rendzina, luvisol y feozem, en bosque de latifoliadas (encino-chaparral) y coníferas (pino).

I.1.1.- Cimas y pendientes de las montañas altas (Monte Negro) de Santiago Tilantongo, tectónicamente activas, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°) y cimas medianamente estables (0 a 12°), constituidas por asociaciones de margalimolita, con bosque de encino, mixto (pino-encino) y chaparral.

I.1.2.- Pendientes de las montañas altas (Monte Negro) de Santiago Tilantongo, tectónicamente activas, fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas por asociaciones de margalimolita y conglomerado polimíctico, con bosque de chaparral, suelo desnudo y prácticas agropecuarias.

I.1.3.- Cimas y pendientes de las montañas altas (Cerro Negro) de San Pedro Tidaá y San Juan Diuxi, tectónicamente activas de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°) y cimas medianamente estables (0 a 12°), constituidas de caliza, con bosque de encino y mixto (pino-encino).

I.1.4.- Pendientes de las montañas altas de San Juan Diuxi y Santiago Tilantongo, tectónicamente activas, fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de conglomerado polimíctico, caliza, arenisca y limolita, sumamente perturbadas (formación de cárcavas y abarrancamientos) con remanentes de chaparral y pastizal inducido.

I.1.5.- Cimas y pendientes de las montañas altas de Magdalena Yodocono y Santiago Nejapilla, tectónicamente activas, de laderas y cimas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de andesita con bosque de encino y mixto (pino-encino).

I.1.6.- Cimas y pendientes de las montañas altas de Santiago Nejapilla, San Pedro Topiltepec y Santo Domingo Yanhuítlán, tectónicamente activas, de laderas y cimas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de andesita con bosque de chaparral y mixto (pino-encino).

I.1.7.- Cimas y pendientes de las montañas altas de San Bartolo Soyaltepec y Santo Domingo Yanhuítlán, tectónicaente activas, de laderas y cimas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de andesita con bosque de chaparral.

I.1.8.- Pendientes de las montañas altas de San Juan Teposcolula, tectónicamente activas, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de limolita con actividades agropecuarias y suelo desnudo.

I.1.9.- Cumbres de las montañas altas de San Juan Teposcolula en forma de valles, tectónicamente activos, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de caliza y bosque de chaparral.

I.1.10.- Cimas y pendientes de las montañas altas de Magdalena Yodocono y San Pedro Tidaá, tectónicamente activas, de laderas y cimas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de andesita en laderas y partes coronarias y conglomerado polimíctico en el nivel de base, con bosque de encino y mixto (pino-encino).

I.1.11.- Cimas y pendientes premontañosas en forma de lomeríos de San Pedro Tidaá y Magdalena Yodocono, tectónicamente activas, de laderas medianamente abruptas (12 a 45°), constituidas de andesita en las cimas y conglomerado polimíctico en el nivel de base, con chaparral y prácticas agropecuarias.

I.2.- Geosistema: Superficies cumbrales y laderas medias del corredor montañoso Mesa el Llano, cerros de Tlatayapam y macizos de Tonaltepec, constituidos por alturas relativas de 400 a 500m, con clima templado e índice de humedad 1 (húmedo), de origen sedimentario, tectónico y vulcanógeno, erosivo y acumulativo, con rocas de plataforma carbonatada, extrusivas (toba de composición andesítica, masivos y material piroclástico), conglomerado polimíctico , limolita y areniscas. Unidades medianamente disecionadas; discción vertical de 100 a 500 m y densidad de discción de 1.0 a 2.5 km/km², con asociaciones de suelos luvisol, rendzina y litosol, en bosque de latifoliadas (chaparral y encino), pastizal y actividades agropecuarias.

I.2.1.- Cimas y pendientes de las montañas medias (Mesa El Llano) de San Miguel Tecomatlán, de eje estructural tectónicamente activo en su flanco oriental, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45° flanco oriental /2 a 45° flanco occidental), constituidas de caliza, con bosque de chaparral.

I.2.2.- Cimas y pendientes de las montañas medias (Mesa El Llano) de Santiago Tilantongo, de eje estructural tectónicamente activo en su flanco oriental, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45° flanco oriental /6 a 45° flanco occidental), constituidas de caliza y conglomerado polimíctico, con pastizal y suelos desnudos.

I.2.3.- Cimas y pendientes orientales de las montañas medias (Cerro Tlatayápam) de Santo Domingo Tlatayápam, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de caliza, con bosque de chaparral.

I.2.4.- Pendientes de las montañas medias (Cerro Tlatayápam) de Santo Domingo Tlatayápam, moderadamente escarpadas (12 a 45°), constituidas de limolita y arenisca, con pastizal y actividades agropecuarias.

I.2.5.- Cimas y pendientes de las montañas medias de Yanhuítlán-Soyaltepec-Tonaltepec-Teposcolula, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°), y cimas medianamente estables (6 a 12°), constituidas de andesita, con bosque de chaparral y mixto (pino-encino).

I.2.6.- Arco erosivo en pie de laderas de montañas medias de Yanhuítlán-Soyaltepec-Tonaltepec-Teposcolula, de pendientes abruptas (18 a 45°), con desarrollo de cárcavas y amplios valles erosivos, constituidos de limolita y arenisca, con suelo desnudo, manchones de pastizal inducido y actividades agropecuarias.

I.2.7.- Pendientes de las montañas medias en forma de rampas y lomeríos de Yanhuítlán-Soyaltepec-Tonaltepec, de pendientes abruptas (18 a 45°), constituidos de andesita, limolita y arenisca, con suelo desnudo y pastizales.

I.2.8.- Superficies cumbrales de las montañas medias en forma de lomas de Soyaltepec-Tonaltepec, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°), y cimas medianamente estables (6 a 12°), constituidas de andesita, con pastizal y prácticas agropecuarias en forma de terrazas.

I.2.9.- Cimas y pendientes de las montañas medias en forma de lomas de Soyaltepec-Chachoápam, moderadamente escarpadas (6 a 45°), constituidas de caliza y conglomerado polimíctico, con chaparral.

I.3.- Geosistema: Superficies cumbrales y laderas bajas de los cerros Nuxaño, El Jazmín, macizos de Yanhuítlán-Soyaltepec-Chachoápam y laderas inferiores de la Mesa El Llano, constituidos por alturas relativas de 300 a 400 m, con clima templado e índices de humedad 0 - 1 (el menos húmedo de los subhúmedos y húmedo), de origen sedimentario, tectónico y vulcanógeno; erosivo y acumulativo con rocas de plataforma carbonatada, extrusivas (toba de composición andesítica, masivos y material piroclástico), limolita y arenisca. Unidades medianamente disecionadas; discción vertical de 200 a 500 m y densidad de discción de 0.5 a 3.0 km/km², con asocaciones de suelos luvisol, feozem y litosol, en bosque de latifoliadas (chaparral-encino), pastizal y actividades agropecuarias.

I.3.1.- Rampa de ladera baja y valles de La Mesa El Llano de San Francisco Chindúa-San Mateo Etlatongo, tectónicamente activa, de moderada a fuerte inclinación (2 a 45°), constituidas de caliza, con bosque de chaparral.

I.3.2.- Laderas bajas del flanco oriental de la Mesa El Llano de San Francisco Jaltepetongo-San Miguel Tecomatlán-San Mateo Etlatongo, de eje estructural tectónicamente activo, de pendientes abruptas (18 a 45°), constituidas de limolita y arenisca, con pastizal y suelo desnudo.

I.3.3.- Laderas bajas del flanco oriental de la Mesa El Llano de Magdalena Jaltepec-San Francisco Jaltepetongo, de eje estructural tectónicamente activo, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de caliza, limolita y arenisca, con chaparral.

I.3.4.- Cimas y pendientes de las montañas bajas de Santo Domingo Tlatayápam, moderadamente escarpadas (6 a 45°), constituidas de caliza y conglomerado polimíctico, con bosque de chaparral y pastizal.

I.3.5.- Cimas y pendientes de las montañas bajas de San Francisco Nuxaño, moderadamente escarpadas (6 a 30°), constituidas de conglomerado polimíctico, con pastizal y actividades agropecuarias.

I.3.6.- Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de San Bartolo Soyaltepec, tectónicamente activas, moderadamente escarpadas (12 a 45°), constituidas de arenisca y conglomerado polimíctico, con bosque de chaparral, matorral y pastizal.

I.3.7.- Superficies cumbrales de las montañas bajas en forma de lomeríos de San Bartolo Soyaltepec-Santa María Chachoápam, tectónicamente activas, moderadamente escarpadas (12 a 45°), constituidas de andesita, arenisca y conglomerado polimíctico, con pastizal, suelos desnudos y actividades agropecuarias.

I.3.8.- Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santa María Chachoápam, tectónicamente activas, moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidas de caliza, arenisca y conglomerado polimíctico, con matorral y chaparral.

I.3.9.- Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santa María Chachoápam, moderadamente escarpadas (6 a 45°), constituidas de caliza, con chaparral.

I.3.10.- Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santo Domingo Yanhuítlán, de pendientes abruptas (18 a 45°), constituidas de andesita, limolita y arenisca, con bosque de chaparral.

I.3.11.- Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santo Domingo Tonaltepec-San Bartolo Soyaltepec, fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de andesita, arenisca y conglomerado polimíctico, con pastizal.
I.3.12.- Laderas y superficies cumbrales de las montañas bajas (Cerro El Jazmín), de Santo Domingo Yanhuítlán-San Pedro Topiltepec, tectónicamente activas, fuertemente escarpadas (18 a 45°), constituidas de andesita, arenisca y conglomerado polimíctico, con bosque de chaparral y matorral.

I.3.13.- Pendientes de las montañas bajas (Cerro El Jazmín), en forma de lomeríos de Santo Domingo Yanhuítlán-San Pedro Topiltepec, tectónicamente activas, moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidas de limolita y arenisca, con actividades agrícolas y suelo desnudo.

II- Región Natural: Valles fluviales tectonizados asociados al flanco oriental de la macropendiente del eje estructural Yanhuítlán-Yodocono y mesopendiente de eje estructural de la "Mesa El Llano"

II.1.- Geosistema: Valles fluviales medios del flanco oriental de la macropendiente de Santo Domingo Yanhuítlán-Magdalena Yodocono, tectónicamente activos, constituidos por alturas relativas de 300 a 500 m, con clima templado e índice de humedad ₂ (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, tectónico, erosivo; de conglomerado polimíctico, arenisca y limolita. Presentan moderadamente alto grado de encajamiento erosivo y alto grado de densidad de corte fluvial (discción vertical de 200 a 500 m y densidad de discción de 2.0 a 3.0 km/km²). Las unidades de suelo predominantes son feozem y litosol, con bosque de chaparral, mixto (pino-encino), pastizal y suelo desnudo.

II.1.1.-Valles erosivos medios de San Bartolo Soyaltepec, en forma de piedemonte, asimétricos, marginales a la llanura fluvial del río Grande, tectónicamente activos, fuertemente escarpados (6 a 45°), constituidos de limolita y arenisca, con suelo desnudo y pastizal.

II.1.2.- Valles fluviales medios a altos de Santo Domingo Yanhuítlán-San Bartolo Soyaltepec, asimétricos, tectónicamente activos, marginales a la macropendiente del eje estructural Yanhuítlán-Yodocono, fuertemente escarpados (18 a 45°), constituidos de andesita, conglomerado polimíctico, limolita y arenisca, con chaparral.

II.1.3.- Valles fluviales medios a altos de San Pedro Topiltepec-Santiago Nejapilla-Magdalena Yodocono, tectónicamente activos, marginales a la macropendiente del eje estructural Yanhuítlán-Yodocono, fuertemente escarpados (18 a 45°), constituidos de andesita, conglomerado polimíctico, limolita y arenisca, con bosque mixto (pino-encino) y chaparral.

II.1.4.- Valles erosivos medios de Santiago Nejapilla-Magdalena Yodocono, tectónicamente activos, marginales a la llanura intramontana de Yodocono-Tidaá y lomeríos bajos de Nejapilla, moderadamente abruptos (2 a 18°), constituidos de limolita y arenisca, con actividad agrícola o suelo desnudo.

II.2.- Geosistema: Valles fluviales bajos en forma de lomeríos elongados, del flanco oriental de la mesopendiente de la Mesa El Llano, tectónicamente activos, constituidos por alturas relativas de 100 a 300 m, con clima templado e índice de humedad ₁ (húmedo), de origen sedimentario, tectónico, erosivo; con rocas de plataforma carbonatada y compuestos terrígenos, arenisca, limolita y conglomerados calcáreos. Presentan niveles moderados de encajamiento erosivo y moderadamente alto grado de densidad de corte fluvial (discción vertical de 100 a 300 m y densidad de discción de 1.5 a 2.5 km/km²). Las unidades de suelo predominantes son luvisol y rendzina, con pastizal, suelo desnudo y actividades agropecuarias.

II.2.1.- Valles erosivos bajos Tecomatlán-Jaltepetongo-Jaltepec, tectónicamente activos, marginales a la llanura baja del cauce del río Grande y lomeríos bajos de Magdalena Jaltepec, moderadamente abruptos (6 a 30°), constituidos de caliza, limolita y arenisca, con pastizal, suelo desnudo y actividades agropecuarias.

III- Región Natural: Mesopendiente en forma de lomeríos disectados, marginal a la llanura fluvial de los ríos Grande, Verde, La Labor y Blanco; lomeríos intramontanos marginales al flanco nororiental de la macropendiente del eje estructural Diuxi-Tilantongo; lomeríos amplios tectonizados de la Mesa de Jaltepec-Tamazola.

III.1.- Geosistema: Superficies cumbrales y laderas altas del sistema de lomeríos Yanhuítlán-Nochixtlán, constituidos por alturas relativas de 150 a 300 m, con climas templado e índice de humedad ₀ (el menos húmedo de los subhúmedos) y seco estepario e índice de humedad ₁ (semiseco), de origen sedimentario, tectónico y vulcanógeno, con rocas de plataforma carbonatada, extrusivas (toba de composición andesítica, masivos y material piroclástico). Presentan niveles moderados de encajamiento erosivo y moderadamente alto grado de densidad de corte fluvial (discción vertical de 100 a 300 m y densidad de discción de 2.0 a 3.0 km/km²). Las unidades de suelo predominantes son rendzina y luvisol con matorral, chaparral, suelo desnudo y actividades agropecuarias.

III.1.1 Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuítlán, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidos de andesita, limolita y arenisca, con chaparral y suelo desnudo.

III.1.2 Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuítlán, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidos de limolita, arenisca y andesita con chaparral y matorral.

III.1.3 Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuítlán, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidos de limolita, arenisca y andesita con suelo desnudo.

III.1.4 Pendientes de lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuítán, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidos de limolita y arenisca con suelo desnudo y matorral.

III.1.5 Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuítán, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 18°), constituidos de limolita y arenisca con suelo desnudo.

III.1.6 Lomeríos altos elongados, de San Bartolo Soyaltepec, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 30°), constituidos de arenisca, conglomerado polimíctico y andesita con suelo desnudo y actividades agropecuarias.

III.1.7 Lomeríos altos Soyaltepec-Chachoápam en forma de terrazas, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 18°), constituidos de arenisca y conglomerado polimíctico con agricultura.

III.1.8 Lomeríos altos Yanhuítlán-Chachoápam, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidos de andesita con matorral y pastizal.

III.1.9 Lomeríos altos Yanhuítlán-Chachoápam, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 30°), constituidos de limolita y arenisca con matorral y agricultura.

III.1.10 Lomeríos altos Yanhuítlán-Sinaxtla-Tillo, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidos de limolita y arenisca con suelo desnudo y matorral.

III.1.11 Lomeríos altos Tillo-Sinaxtla, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 30°), constituidos de andesita, limolita y arenisca con matorral, pastizal y actividades agropecuarias.

III.1.12 Lomeríos altos Yanhuítlán-Yucuita, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), constituidos de andesita, limolita y arenisca con pastizal y matorral.

III.1.13 Lomeríos altos de San Juan Yucuita, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 30°), constituidos de limolita, arenisca, andesita y caliza con matorral y pastizal.

III.1.14 Lomeríos medios a altos Yucuita-Chachoápam, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 18°), constituidos de limolita, arenisca, caliza y conglomerado polimíctico con pastizal y actividad agrícola.

III.1.15 Lomeríos altos de Asunción Nochixtlán sumamente disectados, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), tectónicamente activos, constituidos de arenisca y conglomerado polimíctico con bosque de chaparral.

III.1.16 Lomeríos altos de Asunción Nochixtlán sumamente disectados, marginales a la llanura fluvial de los ríos Verde y La Labor, de laderas moderadamente escarpadas (12 a 30°), tectónicamente activos, constituidos de arenisca , conglomerado polimíctico y limolita con matorral, pastizal y suelo desnudo.

III.2.- Geosistema: Superficies cumbrales y laderas medias del sistema de lomeríos Zahuatlán-Jaltepec, constituidos por alturas relativas de 100 a 150 m, con climas seco estepario e índice de humedad ₁ (semiseco) y templado e índice de humedad ₀ (el menos húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, con rocas detríticas. Presentan niveles bajos de encajamiento erosivo y moderados de densidad de corte fluvial (discción vertical de 100 a 200 m y densidad de discción de 1.5 a 2.0 km/km²). Las unidades de suelo predominantes son luvisol y regosol con pastizal y suelo desnudo.

III.2.1 Lomeríos medios Zahuatlán-Jaltepec de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de limolita, arenisca y afloramientos de gneis, con suelo desnudo y actividad agrícola.

III.2.2 Lomeríos medios Zahuatlán-Jaltepec de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de limolita y arenisca con chaparral y matorral.

III.2.3 Lomeríos medios Zahuatlán-Jaltepec de laderas moderadamente abruptas (12 a 30°), constituidos de limolita, arenisca y afloramientos de andesita y caliza con matorral.

III.2.4 Lomeríos medios aislados de San Mateo Etlatongo, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de limolita y arenisca con pastizal y actividades agrícolas.

III.2.5 Lomeríos medios aislados de San Juan Sayultepec, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de limolita y arenisca con pastizal y suelo desnudo.

III.3.- Geosistema: Superficies cumbrales y laderas medias del sistema de lomeríos Topiltepec-Chindúa, tectónicamente activos, constituidos por alturas relativas de 100 a 150 m, con clima templado e índice de humedad ₁ (húmedo), de origen sedimentario, con rocas detríticas. Presenta niveles bajos de encajamiento erosivo y moderadamente alto grado de densidad de corte fluvial (discción vertical de 100 a 200 m y densidad de discción de 2.0 a 3.0 km/km²). Las unidades de suelo predominantes son feozem y litosol con suelo desnudo, pastizal y actividades agropecuarias.

III.3.1 Lomeríos medios de San Pedro Topiltepec en forma de terrazas agrícolas, de laderas poco inclinadas (2 a 12°), constituidos de limolita y arenisca con actividades agrícolas y suelo desnudo.

III.3.2 Lomeríos medios de San Pedro Topiltepec, de laderas moderadamente abruptas (12 a 30°), constituidos de andesita con chaparral y pastizal.

III.3.3 Lomeríos medios Nejapilla-Topiltepec-Chindúa, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de limolita, arenisca y caliza con actividades agrícolas, suelo desnudo y pastizal.

III.3.4 Lomeríos medios Nejapilla-Yodocono, de laderas abruptas (18 a 45°), constituidos de limolita y arenisca con chaparral y bosque mixto (pino-encino).

III.4.- Geosistema: Superficies cumbrales y laderas medias del sistema de lomeríos intramontanos Nuxaño-Tidaá-Tilantongo-Diuxi, tectónicamente activos, constituidos por alturas relativas de 100 a 150 m, con clima templado e índice de humedad ₂ (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, con rocas de plataforma carbonatada y detríticas. Presenta niveles bajos de encajamiento erosivo y muy alto grado de densidad de corte fluvial (discción vertical de 100 a 200 m y densidad de discción de 2.0 a >3.0 km/km²). Las unidades de suelo predominantes son luvisol y rendzina con suelo desnudo y actividades agropecuarias.

III.4.1 Lomeríos medios disectados Diuxi-Tilantongo, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de arenisca y conglomerado polimíctico con sistema agrícola en terrazas, actividad pecuaria y suelo desnudo.

III.4.2 Lomeríos medios San Pedro Tidaá, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de arenisca, conglomerado polimíctico y caliza con bosque de chaparral fragmentado, actividad agropecuaria y suelo desnudo.

III.4.3 Lomeríos medios San Francisco Nuxaño, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de caliza, arenisca y conglomerado polimíctico con bosque de chaparral.

III.4.4 Lomeríos medios San Francisco Nuxaño, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°), constituidos de arenisca y conglomerado polimíctico con pastizal y suelo desnudo.

III.5.- Geosistema: Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de la Mesa de Jaltepec-Tamazola, constituidos por alturas relativas de 50 a 100 m, marginales al sistema de cañones tectónicamente activos del río Grande, con clima semicálido e índice de humedad ₂ (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, con rocas de plataforma carbonatada y detríticas. Presenta niveles bajos de encajamiento erosivo y densidad de corte fluvial (discción vertical de 100 a 200 m y densidad de discción de 0.5 a >1.5 km/km²). Las unidades de suelo predominantes son luvisol y rendzina con pastizal, actividades agropecuarias y chaparral.

III.5.1 Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de Magdalena Jaltepec, marginales al sistema de cañones tectónicamente activos del curso bajo del río Grande, de laderas poco inclinadas (2 a 12°), constituidos de caliza, limolita y arenisca con actividad agropecuaria y pastizal

III.5.2 Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de Magdalena Jaltepec, marginales al sistema de cañones tectónicamente activos del curso bajo del río Grande, de laderas poco inclinadas (2 a 12°), constituidos de caliza, arenisca y conglomerado polimíctico con actividad agropecuaria, pastizal y chaparral.

III.5.3 Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de Magdalena Jaltepec, marginales al sistema de cañones tectónicamente activos del curso bajo del río Grande, de laderas poco inclinadas (2 a 12°), constituidos de caliza, afloramientos de gneis y limolita con actividad agropecuaria y pastizal.

III.5.4 Lomeríos altos, amplias superficies de planación tectonizadas de San Juan Tamazola, marginales al sistema de cañones tectónicamente activos del curso bajo del río Grande, de laderas poco inclinadas (2 a 12°), constituidos de caliza con actividad agropecuaria y chaparral.

IV- Región Natural: Macropendiente estructural del cauce bajo del río Grande, afectado por fallas normales de orientación NW-SE, constituyendo el cañón Jaltepec-Tamazola.

IV.1.- Geosistema: Laderas del cañón del río Grande de Jaltepec-Tamazola, constituidos por profundidades relativas de 150 a 400 m, con clima semicálido e índice de humedad ₂ (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, tectónico, erosivo con rocas de plataforma carbonatada .Presentan niveles moderadamente altos de encajamiento erosivo y moderados de densidad de corte fluvial (discción vertical de 200 a 400 m y densidad de discción de 1.0 a 2.0 km/km²). Predomina la selva baja caducifolia.

IV.1.1 Laderas del cañón del río Grande de Jaltepec-Tamazola, muy escarpadas (18 a >45°), constituidas de caliza, margay y limolita con selva baja caducifolia, chaparral, matorral y pastizal.

V- Región Natural: Sistema de llanuras fluvio acumulativas de los ríos Grande, Verde, La Labor y Blanco e intramontanas de los ríos Yutekán y Tilantongo

V.1.- Geosistema: Llanuras fluvio acumulativas altas del río Grande y cauces de la corriente principal, a altitudes entre los 2030 y 2150 msnm, con clima templado e índice de humedad ₁ (húmedo), de origen erosivo-denudativo-acumulativo, con depósitos de sedimentos fluviales cuaternarios y potente socavamiento vertical de la corriente principal. La unidad presenta niveles bajos de encajamiento erosivo y moderados de densidad de corte fluvial (discción vertical de 20 a 200 m y densidad de discción de 1.0 a 2.5 km/km²). Predominan las actividades agropecuarias.

V.1.1.- Llanura fluvio acumulativa alta del río Grande, de superficies poco inclinadas (0 a 2°), constituidas de limolita, arenisca y secuencias de aluvión de diversa granulometría con práctica de actividad agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria.

V.1.2.- Cauce alto de la corriente principal del río Grande compuesto de potentes secuencias de aluvión de diversa granulometría, predominando las superficies poco inclinadas (0 a 2°), con vegetación de galería.

V.2.- Geosistema: Llanuras fluvio acumulativas altas de los ríos Verde y La Labor, y cauces de la corriente principal, a altitudes entre los 2030 y 2120 msnm, con climas templado e índice de humedad ₀ (el menos húmedo de los subhúmedos) y seco estepario e índice de humedad ₁ (semiseco), de origen denudativo-erosivo-acumulativo, con depósitos de sedimentos fluviales cuaternarios. La unidad presenta niveles bajos de encajamiento erosivo y moderados de densidad de corte fluvial (discción vertical de 20 a 200 m y densidad de discción de 0.0 a 2.0 km/km²). Predominan las actividades económicas de servicios en la cabecera municipal (Asunción de Nochixtlán) y agropecuarias en el resto del territorio.

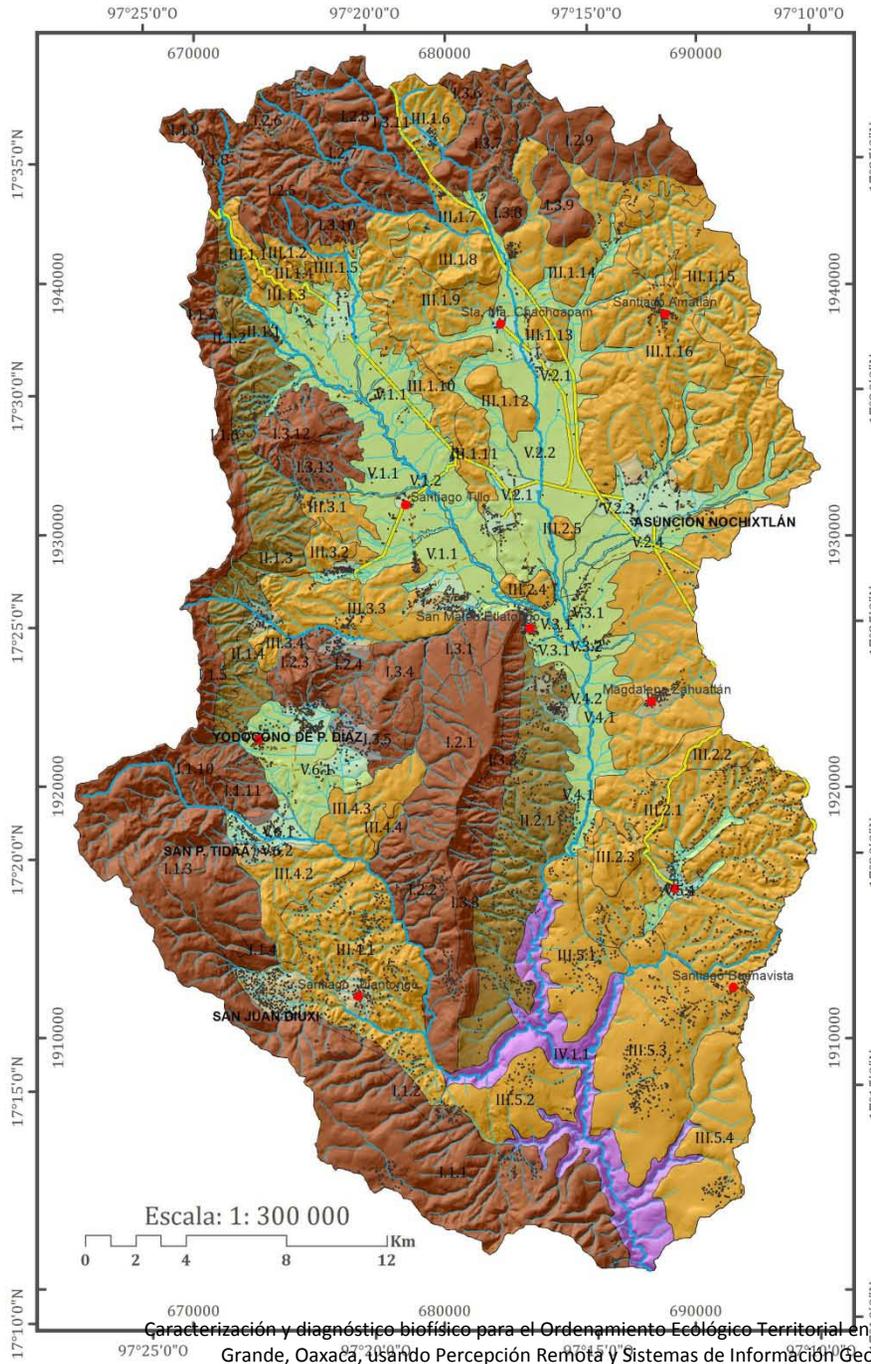
V.2.1.- Llanura fluvio acumulativa alta del río Verde, tectónicamente activa, de superficies poco inclinadas (0 a 2°), constituidas de limolita, arenisca y secuencias de aluvión de diversa granulometría con práctica de actividad agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria.

V.2.2.- Cauce alto de la corriente principal del río Verde, tectónicamente activo, compuesto de secuencias de aluvión de diversa granulometría, predominando las superficies poco inclinadas (0 a 2°), con vegetación de galería.

V.2.3.- Llanuras fluvio acumulativas altas de los ríos La Labor y La Cuesta, de superficies poco inclinadas (0 a 2°), constituidas de limolita, arenisca y secuencias de aluvión de diversa granulometría con práctica de actividad de servicios, agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria.

Diagnóstico

Cuenca del Río Grande



- Región Natural**
- I.-** Macropendiente del arco estructural Tepecolula-Tilantongo; mesopendiente del eje estructural de la "Mesa El Llano", montañas aisladas y macizos de Tonaltepec-Chachoápam.
 - Geosistema**

I.1.- Superficies cumbrales y laderas altas del corredor montañoso Negro-Yucaño, constituidas por alturas relativas de 500 a 800 m, con climas templado y templado semihúmedo e índice de humedad 2 (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, tectónico y vulcanógeno, con rocas de plataforma carbonatada, extrusivas (toba de composición andesítica, masivos y material piroclástico). Unidades fuertemente disecionadas; diseción vertical de 100 a 700 m y densidad de diseción de 0.5 a 3.0 km², con asociaciones de suelos rendzina, luvisol y feozem, en bosque de latifolladas (encino-chaparral) y coníferas (pino).

Paisaje

I.1.1.- Cimas y pendientes de las montañas altas (Monte Negro) de Santiago Tilantongo, tectónicamente activas, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°) y cimas medianamente estables (0 a 12°), constituidas por asociaciones de marga-limolita, con bosque de encino, mixto (pino-encino) y chaparral.
 - II.-** Valles fluviales tectonizados asociados al flanco oriental de la macropendiente del eje estructural Yanhuiitlán-Yodocono y mesopendiente de eje estructural de la "Mesa El Llano".
 - Geosistema**

II.1.- Valles fluviales medios del flanco oriental de la macropendiente de Santo Domingo Yanhuiitlán-Magdalena Yodocono, tectónicamente activos, constituidos por alturas relativas de 300 a 500 m, con clima templado e índice de humedad 2 (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, tectónico, erosivo; de conglomerado polimítico, arenisca y limolita. Presentan moderadamente alto grado de encajamiento erosivo y alto grado de densidad de corte fluvial (diseción vertical de 200 a 500 m y densidad de diseción de 2.0 a 3.0 km²/km²). Las unidades de suelo predominantes son feozem y litosol, con bosque de chaparral, mixto (pino-encino), pastizal y suelo desnudo.

Paisaje

II.1.1.- Valles erosivos medios de San Bartolo Soyaltepec, en forma de piedemonte, asimétricos, marginales a la llanura fluvial del río Grande, tectónicamente activos, fuertemente escarpados (6 a 45°), constituidos de limolita y arenisca, con bosque de encino y pastizal.
 - III.-** Mesopendiente en forma de lomeríos disectados, marginal a la llanura fluvial de los ríos Grande, Verde, La Labor y Blanco; lomeríos intramontanos marginales al flanco nor-oriental de la macropendiente del eje estructural Diuxi-Tilantongo; lomeríos amplios tectonizados de la Mesa de Jaltepec-Tamazola.
 - Geosistema**

III.1.- Superficies cumbrales y laderas altas del sistema de lomeríos Yanhuiitlán-Nochixtlán, constituidos por alturas relativas de 150 a 300 m, con climas templado e índice de humedad 0 (el menos húmedo de los subhúmedos) y seco estepario e índice de humedad 1 (semiseco), de origen sedimentario, tectónico y vulcanógeno, con rocas de plataforma carbonatada, extrusivas (toba de composición andesítica, masivos y material piroclástico). Presentan niveles moderados de encajamiento erosivo y moderadamente alto grado de densidad de corte fluvial (diseción vertical de 100 a 300 m y densidad de diseción de 2.0 a 3.0 km²/km²). Las unidades de suelo predominantes son rendzina y luvisol con matorral, chaparral, suelo desnudo y actividades agropecuarias.

Paisaje

III.1.9 Lomeríos altos Yanhuiitlán-Chachoápam, de laderas moderadamente escarpadas (6 a 30°), constituidos de limolita y arenisca con matorral y agricultura.
 - IV.-** Macropendiente estructural del cauce bajo del río Grande, afectado por fallas normales de orientación NW-SE, constituyendo el cañón Jaltepec-Tamazola.
 - Geosistema**

IV.1.- Laderas del cañón del río Grande de Jaltepec-Tamazola, constituidos por profundidades relativas de 150 a 400 m, con clima semicálido e índice de humedad 2 (el más húmedo de los subhúmedos), de origen sedimentario, tectónico, erosivo con rocas de plataforma carbonatada. Presentan niveles moderadamente altos de encajamiento erosivo y moderados de densidad de corte fluvial (diseción vertical de 200 a 400 m y densidad de diseción de 1.0 a 2.0 km²/km²). Predomina la selva baja caducifolia.

Paisaje

IV.1.1 Laderas del cañón del río Grande de Jaltepec-Tamazola, muy escarpadas (18 a >45°), constituidas de caliza, marga y limolita con selva baja caducifolia, chaparral, matorral y pastizal.
 - V.-** Sistema de llanuras fluvio acumulativas de los ríos Grande, Verde, La Labor y Blanco e intramontanas de los ríos Yutekán y Tilantongo.
 - Geosistema**

V.1.- Llanuras fluvio acumulativas altas del río Grande y cauces de la corriente principal, a altitudes entre los 2030 y 2150 msnm, con clima templado e índice de humedad 1 (húmedo), de origen erosivo-denudativo-acumulativo, con depósitos de sedimentos fluviales cuaternarios y potente socavamiento vertical de la corriente principal. La unidad presenta niveles bajos de encajamiento erosivo y moderados de densidad de corte fluvial (diseción vertical de 20 a 200 m y densidad de diseción de 1.0 a 2.5 km²/km²). Predominan las actividades agropecuarias.

Paisaje

V.1.2.- Cauce alto de la corriente principal del río Grande compuesto de potentes secuencias de aluvión de diversa granulometría, predominando las superficies poco inclinadas (0 a 2°), con vegetación de galería.

SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA PERENNE, INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN Pavimentada, Terracería
- EDIFICACIONES
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide.....GRS80
- Proyección.....UTM
- Datum Horizontal.....ITRF92
- Zona.....14
- Meridiano Central.....-99°
- Meridiano Base.....Greenwich
- Cuadrícula geográfica.....a cada 5 min
- Cuadrícula UTM.....a cada 10,000 mts

FUENTES:

- INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000 000 / 1: 250 000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50 000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

OBSERVACIONES:

El mapa de paisajes de la cuenca del río Grande fue elaborado tomando como base la información del conjunto topográfico vectorial del INEGI escala 1: 50 000. Se realizó la delimitación de tres categorías taxonómicas (región natural, geosistema y paisaje) con base en el enfoque de la ecología del paisaje. Se propone la primera categoría de análisis con base en una regionalización geomorfológica, la segunda con un claro componente morfoclimático y la tercera como la mejor aproximación a la realidad desde el punto de vista de la percepción humana y su aprovechamiento (usos de suelo, procesos de modificación natural y antrópica etc.). Se calculó la superficie ocupada por cada región natural:

DISTRIBUCIÓN DE LAS REGIONES NATURALES

Región Natural	Superficie (%)
I	31.6
II	7.0
III	42.3
IV	3.0
V	16.2

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



Diagnóstico

De acuerdo con las características de la cuenca del río Grande, se seleccionaron 4 tipos fundamentales de uso de suelo: agrícola, pecuario, forestal y de conservación (**Cuadro III.4**). Las aptitudes de uso, pueden ser tan numerosas como lo sean los intereses de las actividades humanas en el aprovechamiento de su espacio, pero los usos finales asignados a cada unidad de paisaje o de síntesis natural, siempre deberán ser establecidos, de acuerdo con las condiciones de los recursos naturales (potencialidades y limitaciones) del territorio, (Ortiz, et al, 2006).

Cuadro III.4. Definiciones de usos del suelo o actividades económicas más importantes para el análisis de aptitud natural de uso del territorio.

APTITUD DE USO DEL SUELO	DEFINICIÓN
Agrícola	Cultivo de especies vegetales condicionada al régimen de precipitación estacional, o en presencia de pozo y/o infraestructura hidráulica disponible, bajo los supuestos de equilibrio del acuífero, contemplando óptimas condiciones de fertilidad, terrenos planos, baja susceptibilidad a erodabilidad del suelo, baja pedregosidad, alta concentración de materia orgánica etc.
Pecuario	Producción de ganado vacuno, bovino, equino, caprino o porcino con forraje disponible en agostadero para subsistencia o comercio local; en función de la fertilidad del suelo, del ángulo de inclinación de las pendientes, de la disección vertical del relieve, de la pedregosidad, la susceptibilidad a la erosión, de la disponibilidad de materia vegetal para consumo etc.
Forestal	Actividad extractiva, comercial o de autoconsumo, de especies maderables y no maderables (cantidad y calidad), donde el paisaje físico - geográfico tenga la capacidad de carga correspondiente.
Conservación	Actividad encaminada al manejo adecuado de los recursos con el fin de mantener su equilibrio y estado natural; valorando la riqueza de su biodiversidad, niveles de endemismo, especies en peligro de extinción, amenazadas etc.

A continuación, se evalúan las condiciones y características de los factores involucrados en el diagnóstico de los principales usos de suelo. Cada uno de los criterios empleados se determinaron tomando en cuenta los requerimientos naturales indispensables para un óptimo desarrollo de la actividad correspondiente.

III.2.1.1 Potencial natural agrícola

La agricultura se deriva de la relación entre el hombre que la cultiva, y la oferta o vocación de ésta, para la producción de especies vegetales. Desde el punto de vista socioeconómico, la producción está sujeta a una serie de relaciones antrópicas que controlan: la intensidad del uso del suelo, y la comercialización, y éstas a su vez expresadas en la producción final y los resultados económicos. Sin embargo, desde el punto de vista biofísico, el escenario anterior no es tan ideal, pues siempre será de suma importancia contemplar las condiciones y procesos naturales en que se desarrollará dicha producción, ya que cuando no existe una adecuada relación entre las potencialidades naturales del territorio y determinado uso de suelo, se deberá invertir gran cantidad de recursos para lograr aumentar la cosecha y mantener el funcionamiento del paisaje, sin provocar su degradación. Por lo tanto, un potencial natural adecuado para la agricultura, no es siempre sinónimo de alta producción, ello depende de un uso en correspondencia con ese potencial y por el establecimiento de relaciones sociales óptimas de producción, (*Ibid*).

De esta manera, se define el potencial agrícola, como la capacidad del paisaje para su uso en actividades agrícolas, determinado por sus propiedades y características naturales generales (fertilidad, pendientes, tasa de erodabilidad del suelo, pedregosidad, pH etc.), con altos niveles de productividad y eficiencia, sin que ello conlleve a su degradación o pérdida de cualquiera de sus valores o atributos. Algunos autores mencionan que estos, son aquellos paisajes que por sus características generales o elementos específicos (pendientes, suelos, altura, humedecimiento, etc.), presenten valores destacados, que permitan el uso agrícola con altos niveles de productividad y eficiencia, sin que ello conlleve a su degradación y la pérdida de otros valores de importancia, como son la calidad del agua, los suelos, y otros, (*Ibid*).

En relación con este potencial y tomando en cuenta las características biofísicas del área de estudio, es necesario atender la fertilidad en las diferentes unidades de paisaje, así como el ángulo de inclinación de las laderas, la susceptibilidad a procesos erosivos o bien cuantificar la tasa de erosión anual, el grado de pedregosidad en los primeros 30 cm del suelo (capa arable), el pH y el contenido de materia orgánica; estos últimos muy relacionados (Gallegos, 1997). Aunque algunos estudios consideran la susceptibilidad del terreno a inundaciones, en el presente se descartó, por la poca o nula presencia de esta característica en el medio.

A continuación, se desarrollan los indicadores para la evaluación del potencial natural agrícola en la cuenca del río Grande:

III.2.1.1.1 La fertilidad del suelo

Depende del contenido de humus, de su estructura y textura. Se evalúa teniendo en cuenta las características de los suelos en la Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica del INEGI (2004). Se parte del principio de que, a mayor fertilidad, mayores son las potencialidades de uso en la agricultura (Cuadros III.5 y III.6).

Cuadro III.5. Características agrícolas de las unidades de suelo. Elaboración propia basado en INEGI (2004) y FAO (2006).

Unidad	Prod.	Diagnóstico	Fertilidad	Uso Agrícola más común	Susceptibilidad a la Erosión	Observaciones
Vertisol	Alta (5)	Crómico	Fertilidad moderada, con alta capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas.	Cultivo de caña, cereales, hortalizas y algodón.	Baja	Su dureza dificulta la labranza.
Fluvisol	Alta a media (4)	Eútrico	Fertilidad moderada.	Cultivo de arroz.	Muy alta	Presencia de vegetación de galería.
Luvisol	Media (3)	Vértico	Fertilidad moderada a alta.	Cultivo de Café y aguacate.	Alta	-
Rendzina	Media a baja (2)	-	Fertilidad moderada, con alta capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas. Presentan una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil, que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal.	Cultivo de agave y maíz.	Moderada	Cultivo de agave: buen rendimiento. Cultivo de maíz: bajo rendimiento.
Regosol	Baja (0)	Eútrico	Fertilidad moderada	-	Alta	Muy pedregosos, suelen asociarse con Litosoles.
Litosol	Baja (0)	Calcárico	Fertilidad moderada	Cultivo de maíz y nopal.	Variable	Suelos someros.
Feozem	Media (3)	-	Variable dependiendo de la topografía.	Cultivo de granos, legumbres y hortalizas.	Variable dependiendo de la topografía.	Altos rendimientos en terrenos planos y bajos en laderas.

Diagnóstico

De esta manera, la clasificación queda de la siguiente manera:

Cuadro III.6. Evaluación de la fertilidad de las asociaciones de suelo. Elaboración propia basado en INEGI (2004), FAO (2006) y Ortiz, et al. (2006).

Evaluación	Suelos	Valor (Puntos)
Alta	Vertisoles	5
Alta a media	Vertisoles y Fluvisoles	4
Media	Feozem o Luvisol	3
Media a baja	Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2
Baja	Feozem y Litosol, Luvisol y Regosol	1
Baja a muy baja	Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0

III.2.1.1.2 El ángulo de inclinación de las laderas

Para categorizar este indicador, se sigue el principio de que a mayor pendiente, menor posibilidad de ser usado el territorio para la agricultura, sin embargo, este concepto es relativo al tipo de cultivo, ya que hay algunos como el café y el cacao en los que se obtienen resultados productivos en fuertes pendientes, pero provocan con el tiempo cambios en el funcionamiento del paisaje (Ortiz et al, 2006).

El grado de inclinación de las pendientes interviene en la erosión, como factor pasivo, y limita la utilización de la mecanización en la agricultura (**Cuadro III.7**).

Cuadro III.7. Evaluación del ángulo de inclinación de las laderas. Basado en Ortiz, et al. (2006).

Pendiente	Descripción	Valor (Puntos)
0 a 2°	No existen dificultades	4
2 a 6°	Dificultad para la mecanización agrícola	3
6 a 12°	Dificultad para el uso de cosechadoras	2
12 a 18°	Restringido el uso de tractores y otros equipos	1
>18°	No es posible el uso de maquinarias	0

III.2.1.1.3 El grado de pedregosidad del suelo

Se parte del principio de que la presencia de alta pedregosidad en el suelo disminuye la posibilidad de su uso en la actividad agrícola, (Gallegos, 1997). Bajo este criterio, se evalúa la aptitud, tomando en cuenta las características físico-químicas y morfológicas de los suelos de México, dadas en la Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica del INEGI (2004), (**Cuadros III.8 y III.9**).

Cuadros III.8 y III.9. Evaluación de la pedregosidad de las asociaciones de suelo. Elaboración propia basado en INEGI (2004), FAO (2006) y Ortiz, et al. (2006).

Unidad	Pedregosidad	Valor (Puntos)	Evaluación	Complejo de suelos	Valor (Puntos)
Vertisol	Baja a muy baja	5	Muy baja a baja	Vertisoles	5
Fluvisol	Baja	4	Baja	Vertisoles y Fluvisoles	4
Luvisol	Media a baja	3	Baja a media	Feozem o Luvisol	3
Rendzina	Media	2	Media	Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2
Regosol	Alta	0	Media a alta	Feozem y Litosol, Luvisol y Regosol	1
Litosol	Alta	0	Alta	Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0
Feozem	Media a baja	3			

III.2.1.1.4 Pérdida de suelo

Se denomina erosión del suelo, al efecto de la pérdida de fertilidad y de los procesos físicos que actúan en su degradación. La erosión acelerada del suelo no ocurre en suelos sanos, como son los ecosistemas de suelos, capaces de infiltrar elevadas cantidades de agua de lluvia debido a sus estructuras estables y que proporcionan suficientes nutrientes a las plantas, a través de la actividad biológica. Las áreas que han sido erosionadas tienen, por lo general, un bajo contenido de materia orgánica y vida en el suelo. Desde el punto de vista biológico, estos suelos están “muertos” y se necesitan esfuerzos para lograr su revitalización.

Antes de que el suelo se convierta de nuevo en productivo el ecosistema debe ser restaurado, es necesario crear un nuevo equilibrio entre los organismos del suelo y el medio físico; sólo cuando estos están funcionando de nuevo, el suelo puede mantener agua y retener los nutrientes para la producción de cultivos, (FAO, 2005).

En este sentido, se parte del principio de que a mayor pérdida de suelo por erosión, menor posibilidad de uso en la actividad agrícola, (Ortiz, et al, 2006). Para su evaluación se tomó el análisis de pérdidas anuales de suelo empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), realizado previamente en la fase de caracterización de los recursos hídricos de esta investigación (**Cuadro III.10**). El método expresa el promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo (en toneladas por hectárea al año). La clasificación quedó de la siguiente manera:

Cuadro III.10. Evaluación de la erosión del suelo. Basado en los resultados del modelo RUSLE del capítulo 2.

Clase de erosión	Pérdida de suelo (Ton./Ha./año)	Valor (puntos)
Nula a ligera	Menor a 10	3
Moderada	10- 50	2
Alta	50 - 200	1
Muy alta	Mayor a 200	0

III.2.1.1.5 Acidez del suelo

De acuerdo con Siebe y colaboradores (2006), el contenido de materia orgánica en horizontes superficiales de un suelo, se puede estimar, considerando variables como a) la textura, b) el pH del suelo, y c) el color (en húmedo). Esto es básicamente porque la composición mecánica de un suelo, es decir la distribución del tamaño de las partículas que lo constituyen, influye en su capacidad de intercambio de cationes, es decir el proceso por el cual las partículas sólidas del suelo (orgánicas y minerales), adsorben iones de la solución de éste (nutrientes en solución), además de intervenir directamente sobre la permeabilidad, la estabilidad estructural, la reserva hídrica, el pH y la sensibilidad a la erosión (Galegos, 1997).

La acidez o basicidad de un suelo depende de la concentración en el mismo del ión hidrógeno (H^+), de tal manera que cuanto mayor sea la proporción de H^+ en relación al resto de cationes básicos del suelo, éste será más ácido; y a medida que aumente la proporción de cationes básicos, la acidez del suelo disminuirá (Casas, 2011). De esta manera se deja ver la estrecha relación que existe entre el grado de acidez y la capacidad del suelo para adsorber nutrientes y por consiguiente aumentar el contenido de materia orgánica en el mismo, es decir que la acumulación de materia orgánica es mayor bajo condiciones ácidas, que bajo condiciones neutras (Siebe et al., 2006).

Un suelo con un pH de 3 normalmente exhibe suelos con extrema acidez, y un pH 10, se presentaría en suelos sódicos. Ninguno de estos suelos sería apto para el crecimiento de plantas. El pH ideal para cultivos es de 6.5 a 7.2. Un suelo con un pH menor de 5.5, es un suelo con posible problema por la concentración de aluminio soluble, el cual es tóxico para la mayoría de las plantas de cultivo, y daña los-

Diagnóstico

extremos de las raíces impidiendo un buen desarrollo radicular. Ahora bien, suelos con un pH mayor de 7.5, por lo general, indican que son suelos salinos. Altas cantidades de sales en el suelo también son dañinas para las plantas, ya que reducen su crecimiento e inducen la salida del agua de la estructura de ésta, provocando su muerte, (Arias, 2001).

Ahora bien, la determinación del color de un suelo es muy importante, ya que influye notablemente en la ganancia y pérdida de energía radiante en éste, además de emplearse para poder hacer estimaciones en cuanto a su grado de evolución, cantidad y distribución de materia orgánica, drenaje (humedad) y productividad (Casanova, 2005), ya que el color se origina, en gran parte por la mezcla de sustancias húmicas (negras o pardo oscuro) y minerales de colores más claros (Siebe et al., 2006).

El suelo es el resultado de la transformación en el tiempo de un tipo de roca influenciado por diversos factores pedogenéticos (condiciones climáticas, relieve y microorganismos principalmente), es decir que ninguna de las variables mencionadas anteriormente ha actuado de manera aislada, y todas son el efecto conjunto de dicha evolución.

En este sentido y dada la estrecha relación entre el pH y la potencial disponibilidad de nutrientes para los cultivos, se determinó el contenido del potencial hidrogeno mediante un muestreo en los primeros 30 cm de profundidad y posteriormente su estimación mediante una correlación lineal entre éste y el contenido de humedad de las cubiertas de la cuenca. Este último obtenido de la transformación Tasseled Cap derivada de la imagen de satélite Landsat 7 del 26-11-2006.

La transformación Tasseled Cap es un caso especial de análisis de componentes principales que transforma los datos de imagen a un nuevo sistema de coordenadas con un nuevo conjunto de ejes ortogonales. El eje principal, llamado brillo, se deriva estadísticamente y se calcula como la suma ponderada de las reflectancias de todas las bandas espectrales y representa la mayor variabilidad en la imagen. El brillo está asociado con el suelo descubierto o parcialmente cubierto, hecho por el hombre, y las entidades naturales como el concreto, el asfalto, la grava, los afloramientos de roca y otras áreas descubiertas. Ortogonal al primer componente, se calcula el segundo; el verdor está asociado con la vegetación verde, mientras que el tercer componente, humedad, es ortogonal a los primeros dos y se asocia con la humedad del suelo, el agua y otras entidades húmedas (**Cuadro III.11**), (Esri, 2013).

Cuadro III.11. Coeficientes propuestos para la obtención de la TTC a partir de una imagen Landsat-TM (Crist, 1984 p 212., c.p Chuvieco, 2002).

Componente	B1	B2	B3	B4	B5	B7
Brillo	0.3037	0.2793	0.4743	0.5585	0.5082	0.1863
Verdor	-0.2848	-0.2435	-0.5436	0.7243	0.0840	-0.1800
Humedad	0.1509	0.1973	0.3279	0.3406	-0.712	-0.4572

Para la evaluación se parte del principio de que las mejores condiciones para la mayoría de los cultivos permanece entorno al 7 (6.5-7.3) en la escala de pH y de ahí se derivan los demás niveles (**Cuadro III.12 y Figura III.2**). Además de esto, se tomó en cuenta el pH mínimo y máximo obtenidos del muestreo en campo (el mínimo valor de pH fue de 5 y se obtuvo en el Cerro Negro, al noroeste de San Juan Diuxi y dos máximos de 7.5, al noreste de Yanhuitlán y Amatlán). Posteriormente se ajustó la escala propuesta por USDA (1971), (**Cuadro III.13**).

Potencial Muy alto para la actividad agrícola

Una vez reconocidas las demandas para la actividad agrícola por medio de indicadores y categorías establecidas, se construyó una matriz para la evaluación del potencial natural, en la cual las filas indican los paisajes, y las columnas a los indicadores con su respectiva puntuación, una sumatoria, la reclasificación de aptitud con base en el análisis e interpretación del mínimo y máximo valor y los demás, generalmente de manera equiprobable; finalmente se genera el área para cada paisaje.

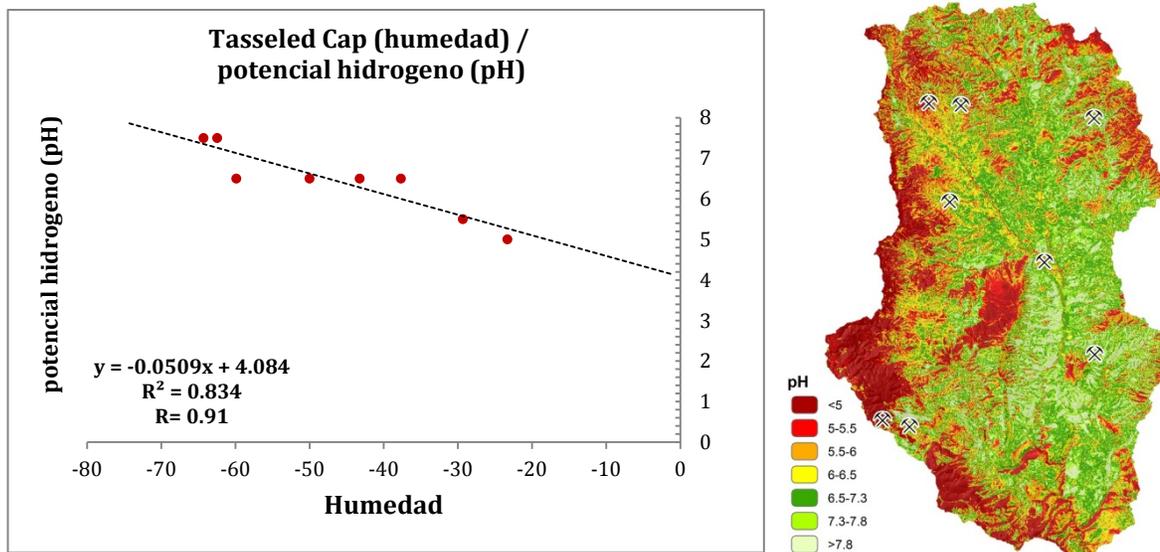


Figura III.2. Diagrama de dispersión lineal Tasseled Cap (humedad)-pH y el mapa de estimación de pH.

Cuadro III.12. Características del suelo derivadas de su pH. Fuente: (USDA, 1971., c.p Casas, 2011).

pH	Evaluación	Efectos esperables en el suelo
<4.5	Extremadamente ácido	-Condiciones muy desfavorables
4.5-5.0	Muy fuertemente ácido	-Posible toxicidad en las plantas por aluminio (Al^{3+}) y manganeso (Mn^{2+}) - Exceso de cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cinc (Zn).
5.1-5.5	Fuertemente ácido	- Deficiencia de calcio (Ca), potasio (K), nitrógeno (N), magnesio (Mg), fósforo (P) y azufre (S). - Son suelos sin carbonato cálcico y con escasa actividad bacteriana.
5.6-6.0	Medianamente ácido	-Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos.
6.1-6.5	Ligeramente ácido	-Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos: máxima disponibilidad de nutrientes.
6.6-7.3	Neutro	-Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos, con efectos tóxicos mínimos. -A pH inferiores a 7, el carbonato cálcico no es estable en el suelo.
7.4-7.8	Medianamente básico	-Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos. -Presencia en el suelo de carbonato cálcico ($CaCO_3$).
7.9-8.4	Básico	-Disminuye la disponibilidad de fósforo (P) y boro (B). -Deficiencia creciente de cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cinc (Zn). -Suelos calizos, en los que se produce clorosis férrica.
8.5-9	Ligeramente alcalino	-En suelos con carbonatos, estos pH altos pueden deberse al carbonato de magnesio ($MgCO_3$), si no hay sodio intercambiable. -Se agravan los problemas de clorosis férrica.
9.1-10	Alcalino	-Presencia de carbonato sódico.
>10	Fuertemente alcalino	-Elevado porcentaje de sodio intercambiable (PSI >15%). -Toxicidad de sodio (Na) y boro (B). -Actividad microbiana escasa. -Micronutrientes poco disponibles.

(Cuadro III.13. Evaluación del pH en la cuenca del río Grande. Basado en la escala propuesta por USDA (1971).

pH	Evaluación	valor
<5.0	Muy fuertemente ácido	0
5.1-5.5	Fuertemente ácido	1
5.6-6.0	Medianamente ácido	2
6.1-6.5	Ligeramente ácido	3
6.6-7.3	Neutro	3
7.4-7.8	Medianamente básico	2
>7.9	Básico	0

En la evaluación final del potencial o de la aptitud agrícola, se establecieron cinco categorías (1 a 3: No apto; 4 a 6: Bajo; 7 a 9: Medio; 10 a 14: Alto y 15 a 18: Muy alto). De esta manera, se obtiene la categorización para aptitud natural del territorio para uso agrícola (**Cuadro III.14 y Figura III.3**).

Hacia las partes más bajas de la cuenca, se localizan las llanuras fluviales de los ríos Grande, Verde, La Labor, La Cuesta y Blanco, además de las llanuras fluviales intramontanas de Yodocono-Tidaá. Éstas poseen las mejores condiciones para el establecimiento de actividades agrícolas intensivas o bien extensivas, con elevada productividad, sin poner en riesgo las condiciones medioambientales, en particular, la degradación del suelo.

III.2.1.2 Potencial natural pecuario

En su situación natural, cada especie ocupa un nicho ecológico razonablemente definido, donde los individuos toleran o se adaptan a la mayoría de las variaciones en el ambiente físico. Por lo tanto, un animal adaptado es aquel que se encuentra en perfecta armonía con su ambiente, (Ortiz, et al, 2006).

La reacción de cualquier animal a un estímulo ambiental externo particular, está íntimamente correlacionada con la eficiencia de producción del animal. Como resultado de las diferencias en las características hereditarias, las distintas razas reaccionan en forma diferente a los estímulos ambientales. Estas reacciones están relacionadas con características anatómico-fisiológicas que se han desarrollado como resultado de la selección natural. Si son trasladados desde su ambiente natural a uno nuevo, ciertas razas y/o biotipos, tienen más éxito que otros para adaptarse a las nuevas condiciones, quedando reflejado en la habilidad para crecer, reproducirse regularmente y producir carne y/o leche, (Bavera-Beguet, 2003).

En relación con el potencial natural pecuario, es necesario atender ciertas cualidades generales del medio biofísico en las diferentes unidades como: la fertilidad del suelo, el ángulo de inclinación de las pendientes, la disección vertical, la pedregosidad, el grado de erosión, (Bollo, et al, 2010), y la capacidad relativa de carga animal por unidad de paisaje (derivada del cálculo de superficie de pastura disponible y el índice de agostadero para la entidad), que en conjunto propician la óptima distribución de condiciones biofísicas para el establecimiento de tal actividad, sin comprometer la capacidad de regeneración de los recursos naturales.

Cabe mencionar que la introducción de los factores contemplados en esta investigación, están estrechamente correlacionados con la disponibilidad de condiciones primarias o fundamentales para el establecimiento de algún tipo de ganado (fertilidad-productividad de pastura de los suelos y disponibilidad de recursos hídricos con bajo riesgo a su degradación), ya que Bavera y Beguet (2003), mencionan algunos factores complementarios, pero están enfocados en la correlación anatómico-fisiológico del animal, su productividad y condicionantes, con elementos climáticos como la temperatura ambiente, la humedad atmosférica, la radiación solar, precipitación, etc.

Cuadro III.14. Evaluación del potencial natural para uso agrícola en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ.	FERTILIDAD	PENDIENTE	PEDREGOSIDAD	EROSIÓN	pH	Σ	POTENCIAL	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
I.1.1	2	0	2	3	0	7	Medio	5503	5.6
I.1.2	2	1	2	0	2	7	Medio	449	0.5
I.1.3	2	0	2	3	0	7	Medio	3999	4.1
I.1.4	2	0	2	3	0	7	Medio	266	0.3
I.1.5	2	0	2	3	0	7	Medio	459	0.5
I.1.6	2	0	2	3	0	7	Medio	583	0.6
I.1.7	1	0	1	3	0	5	Bajo	653	0.7
I.1.8	0	0	0	0	2	2	No Apto	251	0.3
I.1.9	1	0	1	3	0	5	Bajo	278	0.3
I.1.10	2	0	2	3	0	7	Medio	516	0.5
I.1.11	2	0	2	3	2	9	Medio	480	0.5
I.2.1	2	2	2	3	0	9	Medio	1539	1.6
I.2.2	2	1	2	2	2	9	Medio	2028	2.1
I.2.3	2	0	2	3	0	7	Medio	253	0.3
I.2.4	2	1	2	1	3	9	Medio	674	0.7
I.2.5	0	0	0	3	0	3	No Apto	983	1.0
I.2.6	0	0	0	0	2	2	No Apto	958	1.0
I.2.7	0	0	0	0	2	2	No Apto	739	0.8
I.2.8	2	0	2	3	2	9	Medio	993	1.0
I.2.9	2	1	2	3	1	9	Medio	1453	1.5
I.3.1	2	2	2	3	0	9	Medio	721	0.7
I.3.2	2	0	2	2	0	6	Bajo	873	0.9
I.3.3	2	0	2	3	0	7	Medio	595	0.6
I.3.4	2	0	2	3	0	7	Medio	744	0.8
I.3.5	2	1	2	1	1	7	Medio	618	0.6
I.3.6	2	0	2	3	2	9	Medio	191	0.2
I.3.7	2	0	2	2	2	8	Medio	1130	1.2
I.3.8	2	0	2	3	2	9	Medio	211	0.2
I.3.9	2	0	2	3	2	9	Medio	532	0.5
I.3.10	0	0	0	3	0	3	No Apto	355	0.4
I.3.11	2	0	2	3	2	9	Medio	425	0.4
I.3.12	1	0	1	3	0	5	Bajo	407	0.4
I.3.13	1	1	1	1	2	6	Bajo	917	0.9
II.1.1	1	0	1	0	3	5	Bajo	581	0.6
II.1.2	1	0	1	3	0	5	Bajo	651	0.7
II.1.3	1	0	1	3	0	5	Bajo	1598	1.6
II.1.4	1	1	1	0	2	5	Bajo	586	0.6
II.2.1	2	2	2	0	0	6	Bajo	3431	3.5
III.1.1	0	0	0	3	1	4	Bajo	311	0.3
III.1.2	0	0	0	3	1	4	Bajo	153	0.2
III.1.3	0	0	0	0	2	2	No Apto	301	0.3
III.1.4	0	0	0	1	2	3	No Apto	125	0.1
III.1.5	0	1	0	0	2	3	No Apto	217	0.2
III.1.6	2	1	2	0	2	7	Medio	678	0.7
III.1.7	2	1	2	0	2	7	Medio	255	0.3
III.1.8	2	0	2	3	2	9	Medio	799	0.8
III.1.9	0	1	0	1	2	4	Bajo	1703	1.7
III.1.10	0	1	0	1	2	4	Bajo	572	0.6
III.1.11	0	1	0	1	2	4	Bajo	444	0.5
III.1.12	0	1	0	3	2	6	Bajo	371	0.4
III.1.13	1	1	1	2	2	7	Medio	282	0.3
III.1.14	1	2	1	1	0	5	Bajo	1702	1.7
III.1.15	1	0	1	3	1	6	Bajo	2079	2.1
III.1.16	1	0	1	2	2	6	Bajo	5268	5.4
III.2.1	1	2	1	1	2	7	Medio	8914	9.1
III.2.2	1	1	1	3	1	7	Medio	504	0.5
III.2.3	0	0	0	3	1	4	Bajo	425	0.4

Diagnóstico

Continuación (Cuadro III.14). Evaluación del potencial natural para uso agrícola en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ.	FERTILIDAD	PENDIENTE	PEDREGOSIDAD	EROSIÓN	pH	Σ	POTENCIAL	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
III.2.4	0	2	0	2	2	6	Bajo	201	0.2
III.2.5	0	0	0	2	2	4	Bajo	70	0.1
III.3.1	1	2	1	1	2	7	Medio	475	0.5
III.3.2	1	0	1	3	1	6	Bajo	300	0.3
III.3.3	1	1	1	1	2	6	Bajo	1870	1.9
III.3.4	1	0	1	2	1	5	Bajo	126	0.1
III.4.1	2	1	2	0	2	7	Medio	3581	3.7
III.4.2	2	1	2	2	2	9	Medio	1014	1.0
III.4.3	2	1	2	3	1	9	Medio	839	0.9
III.4.4	2	1	2	2	1	8	Medio	124	0.1
III.5.1	2	3	2	2	2	11	Alto	1260	1.3
III.5.2	2	2	2	2	2	10	Alto	1196	1.2
III.5.3	2	3	2	2	2	11	Alto	3351	3.4
III.5.4	2	3	2	2	3	12	Alto	1772	1.8
IV.1.1	2	0	2	2	1	7	Medio	2922	3.0
V.1.1	4	4	4	2	3	17	Muy Alto	5017	5.1
V.1.2	4	4	4	0	0	12	Alto	310	0.3
V.2.1	4	4	4	2	3	17	Muy Alto	4051	4.1
V.2.2	4	4	4	0	0	12	Alto	112	0.1
V.2.3	4	4	4	2	3	17	Muy Alto	1780	1.8
V.2.4	4	4	4	0	0	12	Alto	116	0.1
V.3.1	4	4	4	2	3	17	Muy Alto	1050	1.1
V.3.2	4	4	4	0	0	12	Alto	66	0.1
V.4.1	4	4	4	2	2	16	Muy Alto	972	1.0
V.4.2	4	4	4	0	0	12	Alto	48	0.0
V.5.1	5	3	5	2	3	18	Muy Alto	393	0.4
V.6.1	5	4	5	1	3	18	Muy Alto	1876	1.9
V.6.2	5	4	5	0	0	14	Alto	37	0.0

III.2.1.2.1 La fertilidad del suelo

Depende del contenido de humus, de su estructura y textura. Se evalúa teniendo en cuenta las características de los suelos en la Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica del INEGI (2004). A mayor fertilidad, mayores son las potencialidades de uso en la actividad pecuaria, (Ortiz, 2006.) (Cuadro III.15).

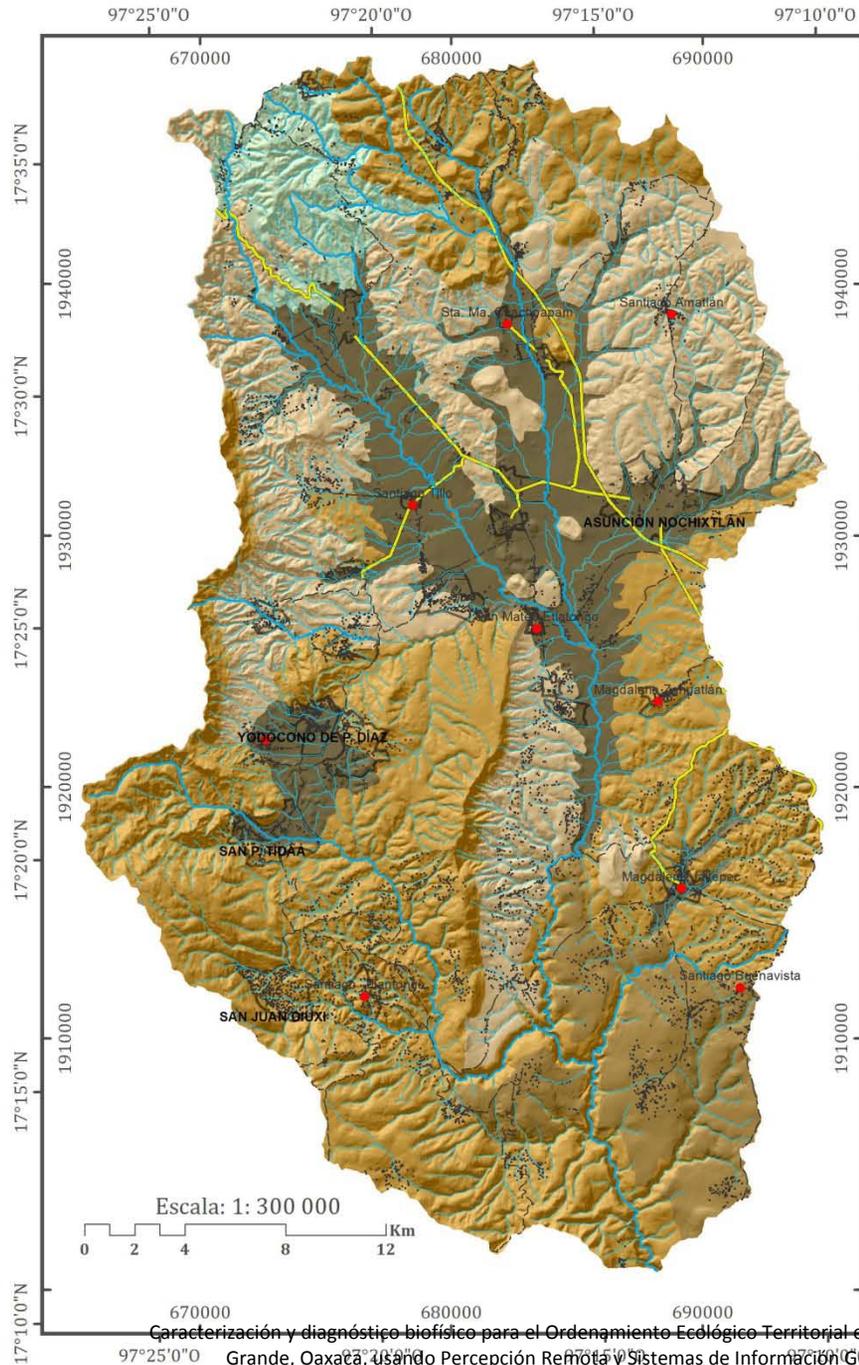
Cuadro III.15. Evaluación de la fertilidad en las asociaciones de suelo. Elaboración propia basado en INEGI (2004), FAO (2006) y Ortiz, et al. (2006).

Evaluación	Suelos	Valor (Puntos)
Alta	Suelos Vertisoles	5 puntos
Alta a media	Suelos Vertisoles y Fluvisoles	4 puntos
Media	Suelos Feozem o Luvisol	3 puntos
Media a baja	Suelos Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2 puntos
Baja	Suelos Feozem y Litosol, Luvisol y Regosol	1 punto
Baja a muy baja	Suelos Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0 puntos

III.2.1.2.2 El ángulo de inclinación de las laderas

Este indicador interviene en la erosión como factor pasivo y, determina la utilización de la mecanización en la agricultura o la posibilidad de realizar pastoreo bovino sin provocar erosión. A menor pendiente habrá mejores potencialidades para la actividad pecuaria (*Ibíd*), (Cuadro III.16).

Se evalúa a partir de los datos del análisis morfométrico del relieve, capítulo 2, caracterización del sistema territorial.

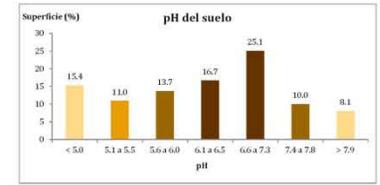
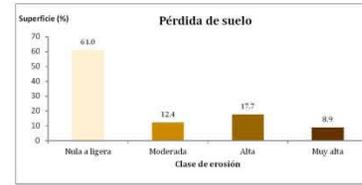
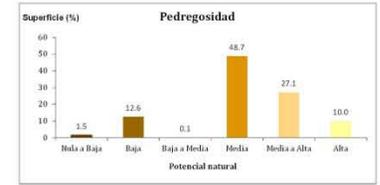
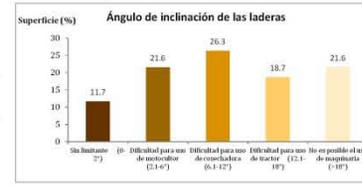
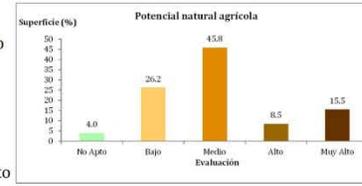


Caracterización y diagnóstico biofísico para el Ordenamiento Ecológico Territorial en la cuenca del río Grande, Oaxaca, usando Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.

Cuenca del Río Grande

Potencial Natural

- No Apto
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto



SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ●
- ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN ●
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. ●
- Santiago Tillo ●
- RED HIDROGRÁFICA
- PERENNE —
- INTERMITENTE - - -
- VIAS DE COMUNICACIÓN
- Pavimentada —
- Terracería —
- Edificaciones ■
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide-----GRS80
- Proyección-----UTM
- Datum Horizontal-----ITRF92
- Zona-----14
- Meridiano Central----- -99°
- Meridiano Base-----Greenwich
- Cuadrícula geográfica-----a cada 5 min
- Cuadrícula UTM-----a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. Navigation Technologies (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

OBSERVACIONES:

La selección de cada indicador se determinó tomando en cuenta los requerimientos naturales indispensables para un óptimo desarrollo de la actividad pecuaria:

- a) La fertilidad del suelo: Depende del contenido de humus, estructura y textura. Se parte del principio, de que a mayor fertilidad, mayores son las potencialidades de uso en la ganadería.
- b) El ángulo de inclinación de las pendientes: Interviene en la erosión como factor pasivo y determina la utilización de la mecanización en la agricultura o la posibilidad de realizar pastoreo bovino sin provocar erosión. A menor pendiente habrá mejores potencialidades para la actividad pecuaria.
- c) El grado de pedregosidad del suelo: Se parte del principio de que la presencia de alta pedregosidad en el suelo disminuye la posibilidad de su uso en la producción de pastos.
- d) La disecación vertical del relieve: Constituye la profundidad de corte de las corrientes fluviales. Se parte del principio de que a mayor disecación vertical, menor posibilidad de instrumentalizar la agricultura y ganadería de todo tipo; dificultades con el agua para beber, etc.
- e) Pérdida de suelo: Se parte del principio de que a mayor pérdida de suelo, menor posibilidad de uso en la actividad pecuaria.
- f) Carga Animal Potencial: Se define como el número de unidades animales o cabezas de ganado en edad reproductiva (450 kg) que puede soportar cada paisaje sin que esto lleve a la degradación de los recursos naturales.



Diagnóstico

Cuadro III.16. Evaluación de las pendientes, para la práctica de actividad pecuaria. Basado en Ortiz et al (2006).

Pendiente	Potencial	Observaciones	Valor (Puntos)
0° a 6°	Alto	permite pastoreo intensivo	3 puntos
6° a 18°	Medio	no existen dificultades para el pastoreo extensivo	2 puntos
18° a 30°	Bajo	el pastoreo extensivo está limitado a determinado número de animales	1 punto
>30°	No apto	el pastoreo extensivo provoca deterioro de los suelos por erosión	0 puntos

III.2.1.2.3 La disección vertical del relieve

Constituye la profundidad de corte de las corrientes fluviales y actividad tectónica, a mayor disección vertical, menor posibilidad de instrumentar la agricultura y la ganadería de todo tipo, dificultades con el agua para beber, erosión del suelo, etc. (**Cuadro III.17**). Se evalúa a partir de los datos del análisis morfométrico del relieve, capítulo 2, caracterización del sistema territorial, (*Ibid*).

Cuadro III.17. Evaluación de la disección vertical del relieve, para la práctica de actividad pecuaria. Basado en Ortiz et al. (2006)

Disección Vertical	Potencial	Observaciones	Valor (Puntos)
0 - 20 m	Muy alto	Permite pastoreo intensivo.	4 Puntos
20 - 50 m	Alto	No existen dificultades para el pastoreo extensivo.	3 Puntos
50 - 100 m	Medio	el pastoreo extensivo está limitado por el acceso al agua.	2 Puntos
100 - 200 m	Bajo	el pastoreo extensivo está limitado a muy pocos animales.	1 Punto
> 200 m	Muy bajo	No es posible el pastoreo más que en las partes altas del relieve, como superficies de cimas, superficies areales o divisorias de las aguas de los sectores cumbrales.	0 Punto

III.2.1.2.4 El grado de pedregosidad del suelo

A mayor pedregosidad superficial, menor calidad del suelo para la producción agrícola o de pastos y, por ende, para la ganadería. Bajo este criterio, se evalúa la aptitud tomando en cuenta las características físico - químicas y morfológicas de los suelos de México, dadas en la Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica del INEGI (2004), FAO (2006) y Ortiz, et al, (2006.), (**Cuadros III.18 y III.19**).

Cuadros III.18 y III.19. Evaluación del grado de pedregosidad de asociaciones de suelo, para la práctica de actividad pecuaria. Elaboración propia basado en INEGI (2004), FAO (2006) y Ortiz, et al, (2006).

Unidad	Pedregosidad	Valor (Puntos)	Evaluación	Complejo de suelos	Valor (Puntos)
Vertisol	Baja a Muy Baja	5	Muy baja a baja	Vertisoles	5 puntos
Fluvisol	Baja	4	Baja	Vertisoles y Fluvisoles	4 puntos
Luvisol	Media a Baja	3	Baja a media	Feozem o Luvisol	3 puntos
Rendzina	Media	2	Media	Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2 puntos
Regosol	Alta	0	Media a alta	Feozem y Litosol, Luvisol y Regosol	1 punto
Litosol	Alta	0	Alta	Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0 puntos
Feozem	Media a Baja	3			

III.2.1.2.5 Pérdida de suelo

Se parte del principio, de que a mayor tasa de erosión, menor posibilidad de uso en la actividad agrícola y pecuaria. Para su evaluación se tomó el análisis de pérdidas anuales de suelo empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), realizado previamente en la fase de caracterización de los recursos hídricos de esta investigación (**Cuadro III.20**). El método expresa el promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo (en toneladas por hectárea al año).

Cuadro III.20. Evaluación de la erosión del suelo. Basado en los resultados del modelo RUSLE del capítulo 2.

Clase de erosión	Pérdida de suelo (Ton./Ha./año)	Evaluación
Nula a ligera	Menor a 10	3
Moderada	10- 50	2
Alta	50 - 200	1
Muy alta	Mayor a 200	0

III.2.1.2.6 Coeficiente de agostadero y carga animal

La carga animal (C.A) se define como el número de animales, o cabezas de ganado que pastorean en un área determinada (ha) en un tiempo específico (1 año) normalmente. Ésta se calcula, dividiendo la cantidad de forraje disponible que produce una hectárea al año, entre el consumo de forraje de una cabeza de ganado al año; se toman como referencia, datos de una cabeza de bovino en edad reproductiva (400 a 450 kg por el 3% de su peso= 13.5 kg de materia seca por día). Los resultados arrojan la cantidad de cabezas de ganado que podrá sostener una hectárea al año, (Vergara-Ortiz, 2010).

Para el cálculo de la C.A en la cuenca, se utilizó el *índice de agostadero*. Éste se define como la superficie requerida para sostener una cabeza de ganado al año, en forma permanente y sin deteriorar los recursos naturales. Para la entidad, este índice equivale a 4.12 hectáreas por cabeza de ganado al año. Esta cifra se obtiene a partir de datos recolectados en campo por la Comisión Nacional para la determinación de Coeficientes de Agostadero, (COTECOCA), (Figura III.4).

Si se parte del principio de que, una cabeza de ganado consume aproximadamente 4.9 ton de materia seca /año (13.5 kg/día x 365 días = 4.9 ton/año), y que se tiene para la entidad una superficie de 4.12 hectáreas por cabeza /año. Se calcula lo siguiente:

$$\frac{4.9 \text{ ton, M.S/año}}{X} = \frac{4.12 \text{ hectáreas}}{1 \text{ hectárea}}$$

Bajo este principio, se puede decir que una cabeza de ganado se come de una hectárea aproximadamente 1.18 ton, M.S/ha/año en la entidad y, por lo tanto, en la zona de estudio. La C.A se calcula dividiendo el consumo de 1 ha/año entre el consumo total de la cabeza de ganado en 4.12 ha/año.

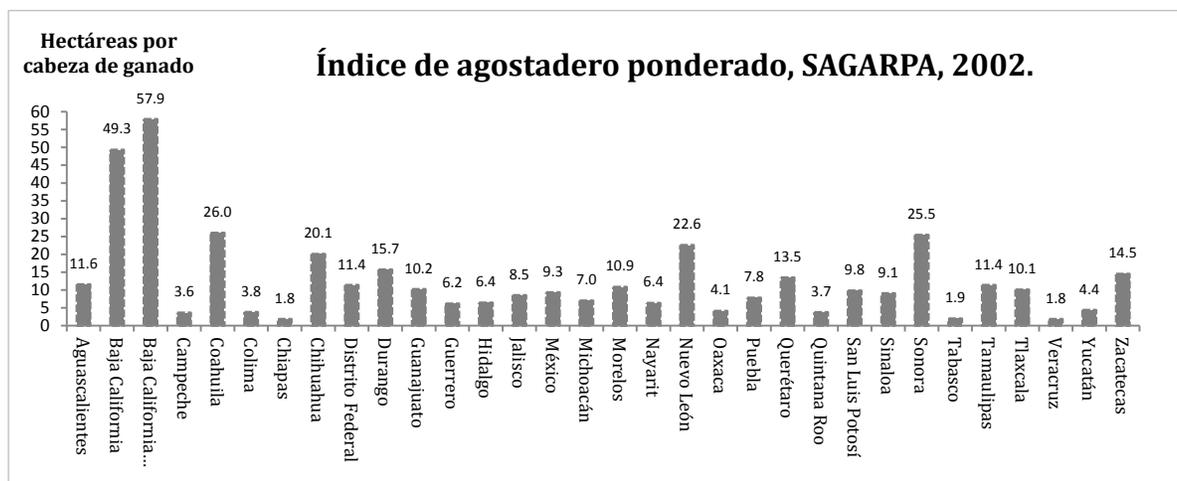


Figura III.4. índices de agostadero ponderado, SAGARPA, 2002.

Diagnóstico

$$\frac{1.189320388}{4.928} = 0.24$$

La C.A/ha/año sería de 0.24 cabezas de ganado.

Ahora bien, para determinar la *Carga Animal Potencial* para la cuenca del río Grande, se calculó la superficie total de pastizales naturales e inducidos por unidad de paisaje (no se tomaron en cuenta otras unidades de vegetación, ya que los programas actuales de recuperación de bosques y selvas de la región, restringen cada vez más el uso de estos ecosistemas para la actividad pecuaria), empleando los datos del mapa de usos de suelo y vegetación del capítulo 2 de esta investigación.

Posteriormente, se multiplicó la superficie total de forraje (verde y seco) de cada paisaje (ha) por un coeficiente de 0.7, con la finalidad de no comprometer su capacidad de carga apta para el pastoreo intensivo. Ahora bien, se multiplicó esta superficie, por la C.A/ha obtenida anteriormente, derivando así la cantidad potencial de cabezas de ganado por paisaje, a un 70% de aprovechamiento con la finalidad de extraer sólo las especies en estados fenológicos maduros y, de esta manera, no comprometer la capacidad de carga de cada paisaje (**Cuadro III.21**).

Cuadro III.21. Evaluación de la carga animal potencial.
Basado en Vergara-Ortiz (2010).

Evaluación	Carga Animal Potencial	Valor en Puntos
No Apto	1-10	0
Bajo	11-50	1
Medio	51-100	2
Alto	101-200	3
Muy Alto	>200	4

La evaluación final del potencial o de la aptitud pecuaria, se obtiene por la sumatoria de los puntos dados a cada indicador para cada unidad de paisaje. Se establecen cinco categorías de potencial natural agrícola (1 a 3: No Apto; 4 a 6: Bajo; 7 a 9: Medio; 10 a 14: Alto y 15 a 19: Muy alto). De esta manera, se obtiene la categorización para aptitud natural del territorio para uso pecuario (**Cuadro III.22 y Figura III.5**).

Potencial muy alto para la actividad pecuaria

Hacia las partes más bajas de la cuenca, se localizan las llanuras fluviales de los ríos Grande, Verde, La Labor, La Cuesta y Blanco, además de las llanuras fluviales intramontanas de Yodocono-Tidaá. Estas unidades poseen las mejores condiciones para el establecimiento de actividades agrícolas intensivas y pecuarias, por la elevada combinación de factores que logran satisfacer dichas demandas, con elevada productividad y sin poner en riesgo la calidad de las condiciones medioambientales, en particular, la degradación del suelo.

Potencial alto para la actividad pecuaria

Hacia el oriente de la cuenca, sobre los municipios de Magdalena Zahuatlán y Magdalena Jaltepec principalmente, se extienden una serie de lomeríos calcáreo-limolíticos y amplias superficies de planación tectonizadas, constituidos por alturas relativas de 50 a 100 m, marginales al sistema de cañones tectónicamente activos del río Grande, de origen sedimentario, con rocas de plataforma carbonatada y detríticas. Éstos constituyen la segunda zona con elevado potencial para la actividad pecuaria.

Cuadro III.22. Evaluación del potencial natural para actividad pecuaria en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ	FERTI- LIDAD	PEN- DIENTE	PEDRE- GOSIDAD	ERO- SIÓN	DISECCIÓN VERTICAL	CARGA ANIMAL POTENCIAL	Σ	POTEN- CIAL	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
I.1.1	2	1	2	3	0	3	11	Alto	5503	5.6
I.1.2	2	2	2	0	0	1	7	Medio	449	0.5
I.1.3	2	1	2	3	0	0	8	Medio	3999	4.1
I.1.4	2	2	2	3	0	1	10	Alto	266	0.3
I.1.5	2	0	2	3	0	0	7	Medio	459	0.5
I.1.6	2	0	2	3	0	0	7	Medio	583	0.6
I.1.7	1	1	1	3	0	1	7	Medio	653	0.7
I.1.8	0	2	0	0	0	0	2	No Apto	251	0.3
I.1.9	1	1	1	3	0	0	6	Bajo	278	0.3
I.1.10	2	1	2	3	0	0	8	Medio	516	0.5
I.1.11	2	2	2	3	0	0	9	Medio	480	0.5
I.2.1	2	2	2	3	0	0	9	Medio	1539	1.6
I.2.2	2	2	2	2	0	3	11	Alto	2028	2.1
I.2.3	2	1	2	3	0	0	8	Medio	253	0.3
I.2.4	2	2	2	1	0	1	8	Medio	674	0.7
I.2.5	0	1	0	3	0	1	5	Bajo	983	1.0
I.2.6	0	2	0	0	0	1	3	No Apto	958	1.0
I.2.7	0	2	0	0	0	1	3	No Apto	739	0.8
I.2.8	2	1	2	3	0	2	10	Alto	993	1.0
I.2.9	2	2	2	3	0	1	10	Alto	1453	1.5
I.3.1	2	2	2	3	0	1	10	Alto	721	0.7
I.3.2	2	1	2	2	0	2	9	Medio	873	0.9
I.3.3	2	1	2	3	0	1	9	Medio	595	0.6
I.3.4	2	2	2	3	0	1	10	Alto	744	0.8
I.3.5	2	2	2	1	0	1	8	Medio	618	0.6
I.3.6	2	2	2	3	0	0	9	Medio	191	0.2
I.3.7	2	2	2	2	0	2	10	Alto	1130	1.2
I.3.8	2	2	2	3	0	0	9	Medio	211	0.2
I.3.9	2	2	2	3	0	0	9	Medio	532	0.5
I.3.10	0	2	0	3	0	0	5	Bajo	355	0.4
I.3.11	2	2	2	3	0	1	10	Alto	425	0.4
I.3.12	1	1	1	3	0	0	6	Bajo	407	0.4
I.3.13	1	2	1	1	0	1	6	Bajo	917	0.9
II.1.1	1	2	1	0	0	1	5	Bajo	581	0.6
II.1.2	1	2	1	3	0	1	8	Medio	651	0.7
II.1.3	1	2	1	3	0	0	7	Medio	1598	1.6
II.1.4	1	2	1	0	0	0	4	Bajo	586	0.6
II.2.1	2	2	2	0	0	4	10	Alto	3431	3.5
III.1.1	0	2	0	3	0	0	5	Bajo	311	0.3
III.1.2	0	2	0	3	0	0	5	Bajo	153	0.2
III.1.3	0	2	0	0	1	0	3	No Apto	301	0.3
III.1.4	0	2	0	1	0	0	3	No Apto	125	0.1
III.1.5	0	2	0	0	0	0	2	No Apto	217	0.2
III.1.6	2	2	2	0	0	1	7	Medio	678	0.7
III.1.7	2	2	2	0	0	0	6	Bajo	255	0.3
III.1.8	2	1	2	3	0	1	9	Medio	799	0.8
III.1.9	0	2	0	1	1	2	6	Bajo	1703	1.7
III.1.10	0	2	0	1	1	0	4	Bajo	572	0.6
III.1.11	0	2	0	1	1	1	5	Bajo	444	0.5
III.1.12	0	2	0	3	1	1	7	Medio	371	0.4
III.1.13	1	2	1	2	1	1	8	Medio	282	0.3
III.1.14	1	2	1	1	0	2	7	Medio	1702	1.7
III.1.15	1	2	1	3	1	1	9	Medio	2079	2.1
III.1.16	1	2	1	2	1	3	10	Alto	5268	5.4
III.2.1	1	2	1	1	1	4	10	Alto	8914	9.1
III.2.2	1	2	1	3	1	1	9	Medio	504	0.5
III.2.3	0	2	0	3	0	0	5	Bajo	425	0.4

Diagnóstico

Continuación (Cuadro III.22). Evaluación del potencial natural para actividad pecuaria en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ	FERTI- LIDAD	PEN- DIENTE	PEDRE- GOSIDAD	ERO- SIÓN	DISECCIÓN VERTICAL	CARGA ANIMAL POTENCIAL	Σ	POTEN- CIAL	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
III.2.4	0	2	0	2	1	1	6	Bajo	201	0.2
III.2.5	0	2	0	2	1	0	5	Bajo	70	0.1
III.3.1	1	3	1	1	1	0	7	Medio	475	0.5
III.3.2	1	2	1	3	1	0	8	Medio	300	0.3
III.3.3	1	2	1	1	1	2	8	Medio	1870	1.9
III.3.4	1	1	1	2	0	0	5	Bajo	126	0.1
III.4.1	2	2	2	0	1	2	9	Medio	3581	3.7
III.4.2	2	2	2	2	1	1	10	Alto	1014	1.0
III.4.3	2	2	2	3	1	0	10	Alto	839	0.9
III.4.4	2	2	2	2	1	0	9	Medio	124	0.1
III.5.1	2	3	2	2	1	2	12	Alto	1260	1.3
III.5.2	2	2	2	2	0	2	10	Alto	1196	1.2
III.5.3	2	3	2	2	1	4	14	Alto	3351	3.4
III.5.4	2	3	2	2	1	1	11	Alto	1772	1.8
IV.1.1	2	0	2	2	0	2	8	Medio	2922	3.0
V.1.1	4	3	4	2	3	2	18	Muy Alto	5017	5.1
V.1.2	4	3	4	0	4	0	15	Muy Alto	310	0.3
V.2.1	4	3	4	2	2	3	18	Muy Alto	4051	4.1
V.2.2	4	3	4	0	4	0	15	Muy Alto	112	0.1
V.2.3	4	3	4	2	2	2	17	Muy Alto	1780	1.8
V.2.4	4	3	4	0	4	0	15	Muy Alto	116	0.1
V.3.1	4	3	4	2	3	1	17	Muy Alto	1050	1.1
V.3.2	4	3	4	0	4	0	15	Muy Alto	66	0.1
V.4.1	4	3	4	2	2	2	17	Muy Alto	972	1.0
V.4.2	4	3	4	0	4	0	15	Muy Alto	48	0.0
V.5.1	5	3	5	2	1	1	17	Muy Alto	393	0.4
V.6.1	5	3	5	1	4	1	19	Muy Alto	1876	1.9
V.6.2	5	3	5	0	4	0	17	Muy Alto	37	0.0

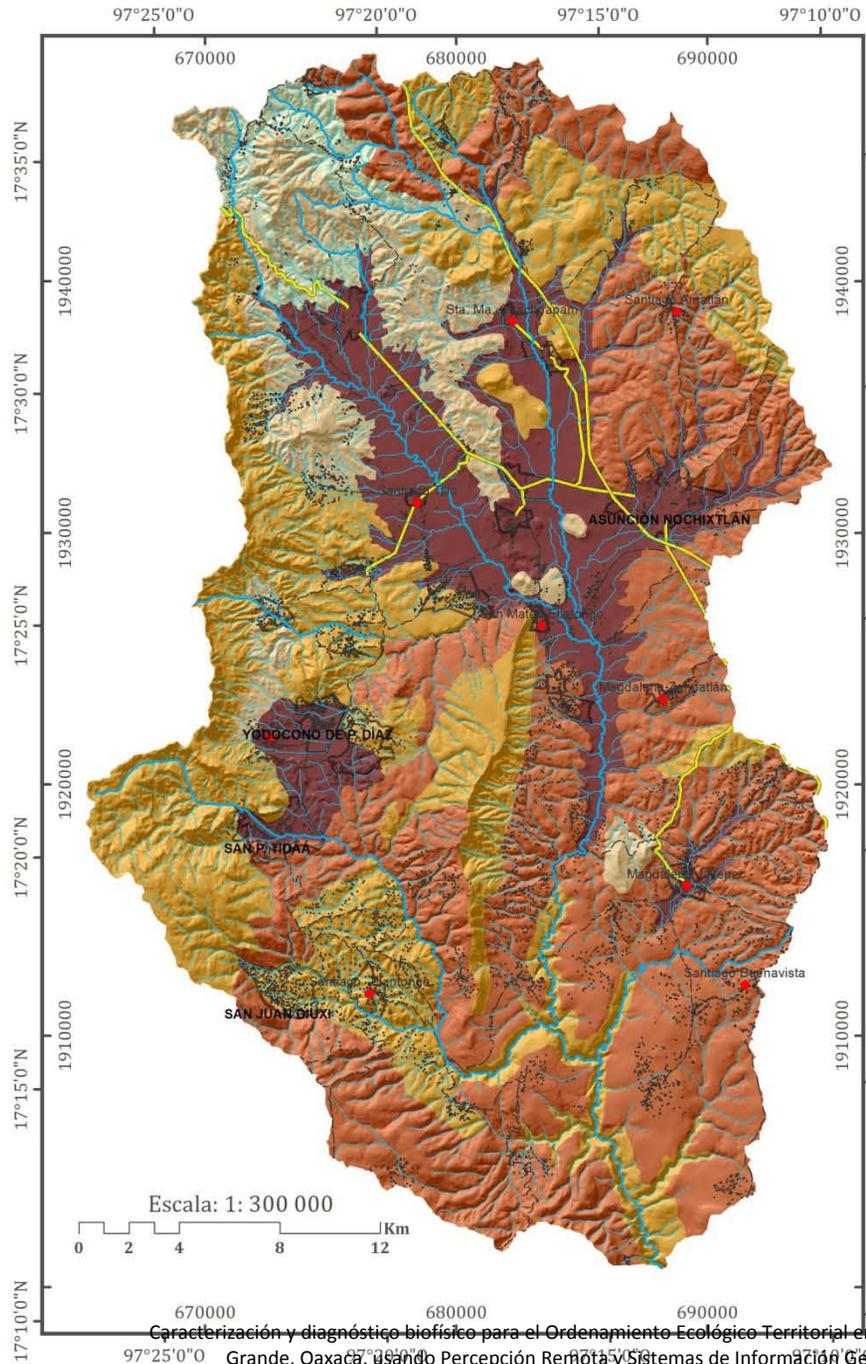
III.2.1.3 Potencial natural para la actividad forestal

El potencial forestal viene dado por la calidad de la madera que existe y su cantidad. La madera potencial extraíble de los bosques, se puede clasificar según su tasa de crecimiento, composición, estructura, dureza, resistencia, etc. Según Madero (2011), éstas también se pueden clasificar en duras y blandas, de acuerdo al grado de calidad y resistencia, así como del árbol del cual provienen:

a) Madera maciza dura: Se emplea en muebles de mayor calidad. Se extrae de los árboles de crecimiento lento, por lo que el precio se encarece. Su principal característica es la resistencia. Sus usos más frecuentes son: revestimiento de suelos y fabricación de muebles de excelentes acabados. Los principales tipos de madera dura son el roble, el nogal, el cerezo, el castaño, la caoba, el cedro y el haya, entre otros.

b) Madera maciza blanda: Es más maleable y ligera, pero no por ello menos resistente que la madera maciza dura. Procede de coníferas, árboles perennes y de crecimiento rápido, como el ciprés, el pino, el abeto, el álamo o el abedul.

De esta manera, atendiendo a la calidad potencial de la madera por comunidad vegetal, se reclasificaron las categorías de uso de suelo y vegetación del capítulo 2 de esta investigación (**Cuadro III.23**).

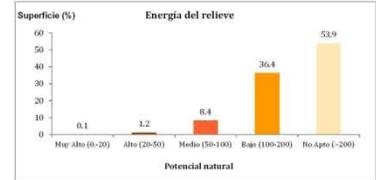
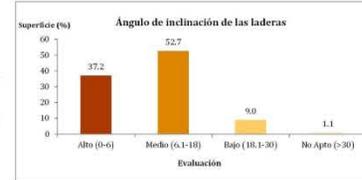
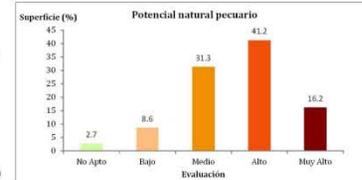


Caracterización y diagnóstico biofísico para el Ordenamiento Ecológico Territorial en la cuenca del río Grande, Oaxaca, usando Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.

Cuenca del Río Grande

Potencial Natural

- No Apto
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto



SIGNOS CONVENCIONALES:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB. ●
- LOCALIDADES CON < 500 HAB. ●
- RED HIDROGRÁFICA
- PERENNE —
- INTERMITENTE —
- VIAS DE COMUNICACIÓN
- Pavimentada —
- Terracería —
- Edificaciones ■
- ÁREA URBANA

PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- Esferoide..... GRS80
- Proyección..... UTM
- Datum Horizontal..... ITRF92
- Zona..... 14
- Meridiano Central..... -99
- Meridiano Base..... Greenwich
- Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
- Cuadrícula UTM..... a cada 10,000 mts

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:000000 / 1:250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

OBSERVACIONES:

La selección de cada indicador se determinó tomando en cuenta los requerimientos naturales indispensables para un óptimo desarrollo de la actividad pecuaria:

- a) **La fertilidad del suelo:** Depende del contenido de humus, estructura y textura. Se parte del principio, de que a mayor fertilidad, mayores son las potencialidades de uso en la ganadería.
- b) **El ángulo de inclinación de las pendientes:** Interviene en la erosión como factor pasivo y determina la utilización de la mecanización en la agricultura o la posibilidad de realizar pastoreo bovino sin provocar erosión. A menor pendiente habrá mejores potencialidades para la actividad pecuaria.
- c) **El grado de pedregosidad del suelo:** Se parte del principio de que la presencia de alta pedregosidad en el suelo disminuye la posibilidad de su uso en la producción de pastos.
- d) **La disección vertical del relieve:** Constituye la profundidad de corte de las corrientes fluviales. Se parte del principio de que a mayor disección vertical, menor posibilidad de instrumentar la agricultura y ganadería de todo tipo; dificultades con el agua para beber, etc.
- e) **Pérdida de suelo:** Se parte del principio de que a mayor pérdida de suelo, menor posibilidad de uso en la actividad pecuaria.
- f) **Carga Animal Potencial:** Se define como el número de unidades animales o cabezas de ganado en edad reproductiva (450 kg) que puede soportar cada paisaje sin que esto lleve a la degradación de los recursos naturales.



Cuadro III.23. Reclasificación de las clases de uso de suelo y vegetación para el aprovechamiento forestal. Basado en Madero (2011) y Ortiz et al. (2006).

CLASES	CALIDAD
Agricultura en estado fenológico óptimo	No aplica
Agricultura en estado fenológico senescente	No aplica
Suelo desnudo	No aplica
Pastizales	Herbáceo
Matorrales	Matorral
Bosque de encino	Bosques
Bosque de pino	Bosques
Bosque de chaparral	Bosques y selvas
Selva baja caducifolia	selvas

Posteriormente, se sobrepuso una imagen de satélite (SPOT-10-04-2010) con el fin de interpretar la cantidad relativa, expresada en el grado de fragmentación vegetal (coberturas vegetales). De esta manera, recibe el valor 4 (Alto), aquella unidad, donde existen árboles cuya madera pueda extraerse de manera intensiva y ser usada en la carpintería (comunidades de bosques de encino-pino y pino-encino, de cobertura cerrada); el valor 3 (Medio), si puede utilizarse de manera intensiva pero parcialmente en la carpintería, además de la extracción de leña (comunidades de bosque de chaparral, pino y selva, de cobertura semicerrada a semiabierta); el valor 2 (Bajo), si puede utilizarse de manera extensiva, en muy bajas cantidades para la carpintería (comunidades de chaparral de cobertura abierta; bosques fragmentados); el valor 1 cuando la biomasa pueda ser utilizada únicamente como leña (comunidades de matorral) y por último el valor de 0 (No apto), cuando en la unidad predomina el estrato herbáceo (comunidades de pastos). Si no existe el suelo por haber sido removido, o el uso es agrícola, no se prosigue con la evaluación (**Cuadro III.24**).

Cuadro III.24. Clasificación y reclasificación de las unidades de uso de suelo y vegetación para el aprovechamiento forestal. Basado en Madero (2011) y Ortiz et al. (2006).

UNIDAD	(CALIDAD)	(CANTIDAD)	APROVECHAMIENTO	PUNTOS	EVALUACIÓN
Agricultura en estado fenológico óptimo.	No aplica	No aplica	No aplica	N/A	N/A
Agricultura en estado fenológico senescente.	No aplica	No aplica	No aplica	N/A	N/A
Suelo desnudo.	No aplica	No aplica	No aplica	N/A	N/A
Pastizales.	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	Pastos	0	No Apto
Matorrales.	Matorral	Matorral de diversas coberturas	Leña	1	Muy Bajo
Bosque de chaparral.	Bosques > a 5m de altura	Bosques de cobertura Abierta	Madera y biomasa residual, de 2da calidad en baja cantidad	2	Bajo
Bosque de chaparral. Selva baja caducifolia.	Bosques y Selvas > a 5 m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	Madera y biomasa residual, de 2da calidad en moderada cantidad	3	Medio
Bosque de encino Bosque mixto (pino-encino).	Bosques > a 5m de altura	Bosques de cobertura cerrada	Madera y biomasa residual, de 1ra calidad en elevada cantidad	4	Alto

Potencial natural alto para actividad forestal

Posterior a la reclasificación realizada para todas las comunidades de la cuenca en unidades de mayor homogeneidad espacial, tomando en cuenta su potencial aprovechamiento para la actividad forestal (en base a la calidad y cantidad relativa de la madera disponible por paisaje), se procedió a su valoración (**Cuadro III.25**).

Las laderas del cordón suroccidental conformando el macizo de mayor altura, constituido de calizas cretácicas y en menor proporción, rocas volcánicas, albergando comunidades de encino y bosque mixto principalmente, (Cerro Negro-Monte Negro), la mesa central de rocas calcáreas (Mesa El Llano), los macizos calcáreo-volcánicos de Yanhuatlán, Chachoápam-Nochixtlán albergando comunidades de charral principalmente y el sistema de cañones del río Grande albergando la selva baja caducifolia, conforman las zonas con mayor potencial para la extracción de biomasa forestal (Alto a medio), (**Figura III.6**).

III.2.1.4 Potencial natural para la actividad de conservación

La potencialidad de conservación se encuentra en aquellos paisajes, que por sus valores de geobiodiversidad, exclusividad, singularidad, rareza, etc., se consideran como patrimonio natural de elevado valor para las actuales y futuras generaciones, (Ortiz, et al, 2006).

Para evaluar el potencial de conservación es necesario determinar la calidad biológica de los territorios para la conservación y su cantidad (grado de perturbación). Para esto, se utilizaron 2 mapas: los valores que la distribución potencial de especies indicadoras, confieren a los ecosistemas en que se desarrollan, con el fin de encuadrar en alguna categoría de manejo a cada zona de singularidad biológica y el grado de perturbación de cada paisaje.

III.2.1.4.1 Valor biológico

Para este trabajo, se utilizó la información generada en el capítulo 2, caracterización biofísica de la cuenca: *Distribución potencial del jaguar y lince*. Como se ha mencionado, la biología de estas 2 especies de mamíferos reúne las características morfo-fisiológicas, conductuales, territoriales, etc., para desarrollar y preservar sus poblaciones sobre grandes extensiones del terreno, esto los convierte en las denominadas *especies paraguas*, ya que al generar acciones para la protección de sus poblaciones, se asegura también a la gran mayoría de especies, que se encuentren por debajo de su nivel trófico en el ecosistema.

Para determinar el valor de biodiversidad, se realizó una reclasificación de los rangos de probabilidades de los 2 mapas: Probabilidad de 0.0 a 0.30 (0 puntos), 0.31 a 0.50 (1 punto), 0.51 a 0.80 (2 puntos) y > 0.81 (3 puntos). De esta manera, se le asignó un valor a cada una de las probabilidades para su posterior sobreposición. Una vez reclasificado cada mapa, se combinaron las capas de lince y jaguar en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para dar origen a una matriz de 2 dimensiones (**Cuadro III.26**).

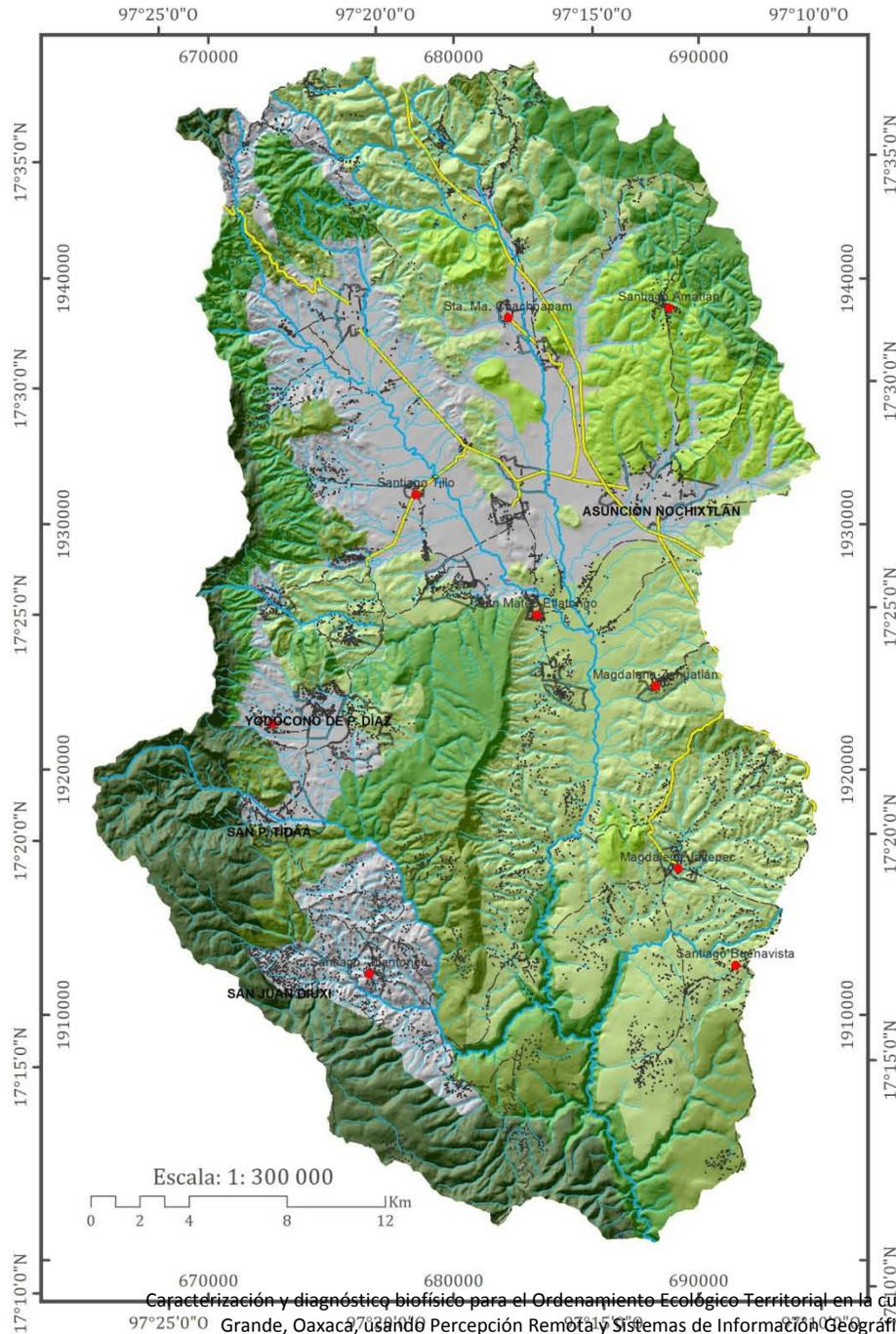
Cuadro III.26. Reclasificación de los rangos de probabilidad de lince y jaguar, con base en el principio de la sobreposición de nichos ecológicos.

<i>lince (Lynx Rufus)</i>			<i>jaguar (Panthera Onca)</i>			<i>jaguar y lince</i>	
Probabilidad	Puntos	Evaluación	Probabilidad	Puntos	Evaluación	Mayor valor	Evaluación
0-0.3	0	Muy Baja	0-0.3	0	Muy Baja	0	Muy Baja
0-0.3	0	Muy Baja	0.3-0.5	1	Baja	1	Baja
0.3-0.5	1	Baja	0-0.3	0	Muy Baja	1	Baja
0.3-0.5	1	Baja	0.3-0.5	1	Baja	1	Baja
0.5-0.8	2	Media	0-0.3	0	Muy Baja	2	Media
0.5-0.8	2	Media	0.3-0.5	1	Baja	2	Media
>0.8	3	Alta	0.3-0.5	1	Baja	3	Alta

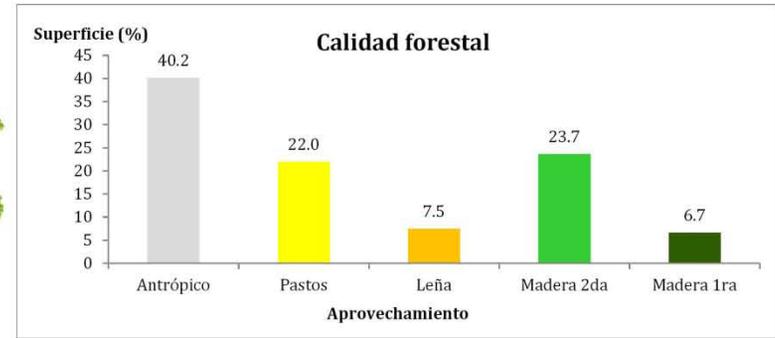
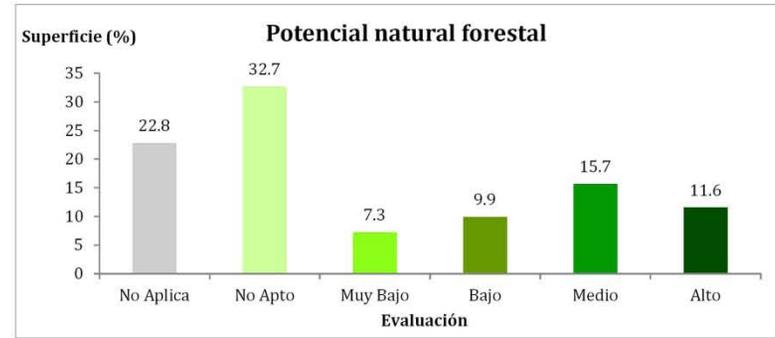
Diagnóstico

Cuadro III.25. Evaluación del potencial natural para actividad forestal en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ	CALIDAD	CANTIDAD	Σ	POTENCIAL
I.1.1	Bosques >5m de altura	Bosques de cobertura cerrada	4	Alto
I.1.2	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
I.1.3	Bosques >5m de altura	Bosques de cobertura cerrada	4	Alto
I.1.4	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
I.1.5	Bosques >5m de altura	Bosques de cobertura cerrada	4	Alto
I.1.6	Bosques >5m de altura	Bosques de cobertura cerrada	4	Alto
I.1.7	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.1.8	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
I.1.9	Bosques >5m de altura	Bosques de cobertura cerrada	4	Alto
I.1.10	Bosques >5m de altura	Bosques de cobertura cerrada	4	Alto
I.1.11	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
I.2.1	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.2.2	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
I.2.3	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.2.4	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
I.2.5	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.2.6	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
I.2.7	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
I.2.8	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
I.2.9	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.3.1	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.3.2	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
I.3.3	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
I.3.4	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.3.5	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
I.3.6	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
I.3.7	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
I.3.8	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
I.3.9	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.3.10	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
I.3.11	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
I.3.12	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
I.3.13	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
II.1.1	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
II.1.2	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
II.1.3	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
II.1.4	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
II.2.1	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.1.1	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.1.2	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.1.3	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
III.1.4	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.1.5	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
III.1.6	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.1.7	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.1.8	Matorral	Matorral de diversas coberturas	1	Muy Bajo
III.1.9	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.1.10	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
III.1.11	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.1.12	Matorral	Matorral de diversas coberturas	1	Muy Bajo
III.1.13	Matorral	Matorral de diversas coberturas	1	Muy Bajo
III.1.14	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.1.15	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
III.1.16	Matorral	Matorral de diversas coberturas	1	Muy Bajo
III.2.1	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.2.2	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.2.3	Matorral	Matorral de diversas coberturas	1	Muy Bajo



Cuenca del Río Grande



SIGNOS CONVENCIONALES: PARÁMETROS GEODÉSICOS:

- LOCALIDADES CON > 500 HAB.** ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN
- LOCALIDADES CON < 500 HAB.** Santiago Tillo
- RED HIDROGRÁFICA**
- PERENNE
- INTERMITENTE
- VÍAS DE COMUNICACIÓN**
- Pavimentada
- Terracería
- Edificaciones**
- ÁREA URBANA**
- PROYECCIÓN:** Esferoide..... GRS80
- PROYECCIÓN:** Datum Horizontal..... UTM
- ZONA:** Datum Horizontal..... ITRF92
- ZONA:** Meridiano Central..... 14
- PROYECCIÓN:** Meridiano Base..... -99°
- PROYECCIÓN:** Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
- PROYECCIÓN:** Cuadrícula UTM..... a cada 10,000 mts

OBSERVACIONES:

Se reclasificaron las unidades de uso de suelo y vegetación del capítulo 2 para el aprovechamiento forestal con base en Madero (2011) y Ortiz et al. (2006), atendiendo la calidad y cantidad relativa de biomasa forestal por unidad de paisaje:

- a) Alto:** Existen árboles cuya madera puede extraerse de manera intensiva y ser usada en la carpintería (comunidades de bosques de encino-pino y pino-encino, de cobertura cerrada).
- b) Medio:** Existen árboles cuya madera puede extraerse de manera intensiva pero usarse parcialmente en la carpintería, además de la extracción de leña (comunidades de bosque de chaparral, pino y selva, de cobertura semicerrada a semiabierta).
- c) Bajo:** Existen árboles cuya madera puede extraerse de manera extensiva, en muy bajas cantidades para la carpintería (comunidades de chaparral de cobertura abierta; bosques fragmentados).
- d) Muy bajo:** Existe biomasa que puede ser utilizada únicamente como leña (comunidades de matorral).
- e) No apto:** En la unidad predomina el estrato herbáceo (comunidades de pastos).
- f) No aplica:** No existe suelo por haber sido removido, o el uso es agrícola.

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000 000 / 1: 250 000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50 000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies (NAVTEQ),** cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



IG
INSTITUTO DE
GEOGRAFÍA
UNAM



Facultad de
Filosofía y Letras



Universidad Nacional
Autónoma de México

APTITUD NATURAL FORESTAL
FIGURA II151

Diagnóstico

Continuación (Cuadro III.25). Evaluación del potencial natural para actividad forestal en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ	CALIDAD	CANTIDAD	Σ	POTENCIAL
III.2.4	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.2.5	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.3.1	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
III.3.2	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.3.3	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.3.4	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.4.1	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
III.4.2	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.4.3	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
III.4.4	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.5.1	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.5.2	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
III.5.3	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
III.5.4	Bosques <5m de altura	Bosques de cobertura abierta y disperso	2	Bajo
IV.1.1	Bosques y selvas <5m de altura	Bosques y selvas de cobertura semicerrada a semiabierta	3	Medio
V.1.1	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.1.2	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.2.1	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.2.2	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.2.3	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.2.4	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.3.1	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
V.3.2	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.4.1	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
V.4.2	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.5.1	Herbáceo	Pastos de diversas coberturas	0	No Apto
V.6.1	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica
V.6.2	No Aplica	No Aplica	-	No Aplica

Se partió del principio de la sobreposición espacial de los 2 nichos, el jaguar y el lince, razón por la cual no se sumaron los puntos y se tomó el mayor valor al reclasificar.

Ahora bien, se trasladó la información raster a cada unidad de paisaje, tomando en cuenta, además de la distribución potencial, algunas variables que pudiesen modificar el patrón de distribución de las especies. Infraestructuras como la densidad de carreteras (pavimentada) y la carencia de cobertura vegetal por erosión, son algunos que pueden mermar las interconexiones entre posibles reservorios de biodiversidad. Por esta razón, se analizaron e interpretaron en una imagen de satélite, a fin de dar un panorama más real sobre la distribución actual de las especies (**Figura III.7**).

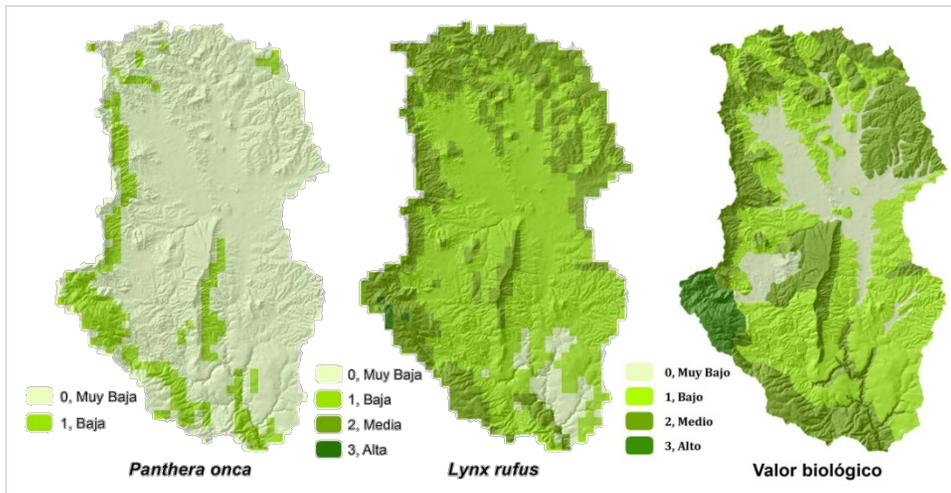


Figura III.7. Valor biológico de los paisajes.

III.2.1.4.2 Perturbación del paisaje

El segundo indicador empleado en el diagnóstico para actividad de conservación, fue el porcentaje de perturbación del paisaje (Ortiz, et al, 2006). Se parte del principio, de que a mayor superficie de comunidades vegetales naturales, menor es la degradación de los servicios ecosistémicos y, por lo tanto, mayor es la probabilidad de contener biodiversidad (riqueza y abundancia relativa de especies) en alguna categoría de manejo (endémica, amenazada, peligro de extinción, etc.). La perturbación del paisaje se entiende como el grado de modificación de las condiciones naturales (calidad y cantidad), por cualquier actividad de naturaleza humana.

Se utilizó la información generada en la fase de caracterización del sistema territorial, *Uso de suelo y vegetación*. Se fusionaron las categorías de agricultura de riego-temporal y el suelo desnudo en una sola y, posteriormente, se calculó la superficie y porcentaje de perturbación por paisaje (**Cuadro III.27 y Figura III.8**).

Cuadro III.27. Evaluación del grado de perturbación del paisaje.

Perturbación (%)	Evaluación	Puntos
0-20	Baja	3
20-40	Media	2
40-60	Alta	1
>60	Muy Alta	0

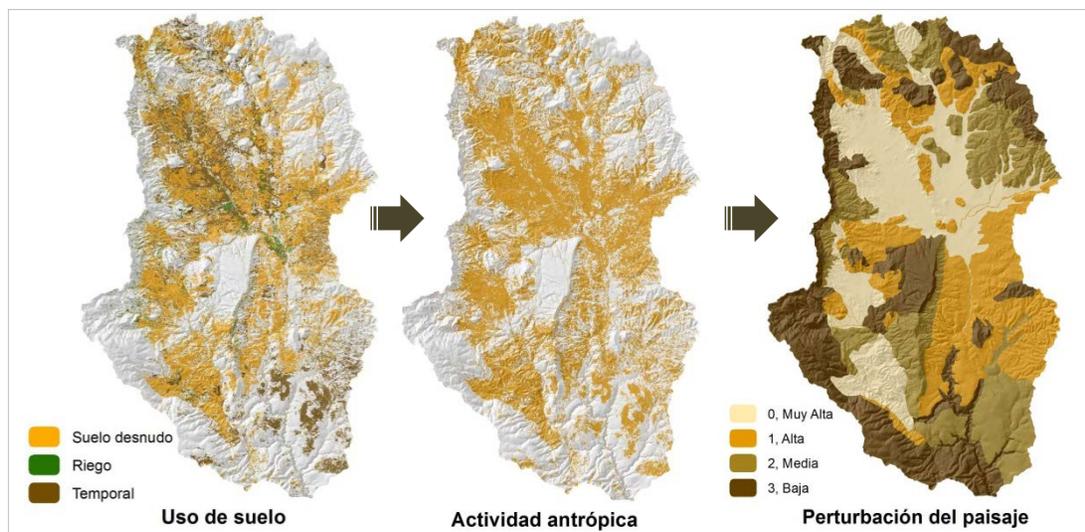


Figura III.8. Perturbación del paisaje.

Ahora bien, se extrajo la información de los 2 mapas (valor de biodiversidad y porcentaje de perturbación por paisaje), para generar la sumatoria de puntos y obtener finalmente el mapa de aptitud para actividad de conservación

Potencial natural muy alto para actividad de conservación

La sobreposición de los mapas de *valor biológico y perturbación*, permitieron observar por un lado, las zonas con mayor probabilidad de contener biodiversidad en algún estado de conservación y por el otro, las zonas con mayor perturbación por actividades antrópicas, como la introducción de algunas prácticas agrícolas de carácter intensivo/extensivo y el grado de erosión, debido al mal manejo de los recursos, o por procesos naturales denudativos.

Diagnóstico

La evaluación final del potencial natural para la actividad de conservación, se obtuvo por la sumatoria de los puntos dados a cada indicador para cada unidad de paisaje. Se establecieron cinco categorías de potencial natural (0: No Apto; 1: Bajo; 2: Medio; 3 a 4: Alto y 5 a 6: Muy alto). De esta manera, se obtiene la categorización de aptitud natural del territorio para actividad de conservación (**Cuadro III.28**).

El cordón de montañas altas del Cerro Negro-Monte Negro constituido de rocas carbonatadas, con bosque de encino y mixto (pino-encino); el cañón del río Grande albergando comunidades de selva baja caducifolia; las unidades de montañas medias y bajas de la Mesa El Llano y superficies cumbresales del cerro Tlatayapam, constituidos de rocas carbonatadas con bosque de encino y mixto; los lomeríos altos de Nochixtlán compuestos de comunidades de chaparral; las cimas y pendientes de las montañas medias de Yanhuitlán-Soyaltepec-Tonaltepec-Teposcolula, las montañas medias en forma de lomas de Soyaltepec-Chachoápam compuestas de chaparral y bosque mixto y los lomeríos altos Yanhuitlán-Chachoápam con matorral y pastizal, concentran las zonas con mayor potencial para la implementación de actividades de conservación de flora y fauna de la región (**Figura III.9**).

III.2.1.5 Aptitud natural óptima del territorio

El territorio nacional cuenta con una gran diversidad de paisajes, definidos por sus características físico-geográficas y biológicas, que dan como resultado una compleja heterogeneidad natural y riqueza de la biodiversidad. En este escenario ambiental se desarrolla un gran número de actividades productivas que lo modifican o deterioran, a través de la interacción recíproca de subsistemas, que podemos categorizar como: biofísico (natural), social, económico (productivo) y urbano-regional, (Ortiz, et al, 2006).

El conocimiento del potencial de uso del suelo, el cual puede ser urbano, agrícola, pecuario, forestal etc., da la pauta para tomar decisiones sobre qué uso es más óptimo y viable y de esta manera, definir su vocación ambiental en función de sus características y atributos (*Ibíd.*).

Para conciliar las aptitudes, prioridades y necesidades de los usos del suelo, se emplea el ordenamiento ecológico del territorio (OET), el cual se define jurídicamente como *el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente, la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, (Ibíd.)*.

Como se mencionó en el capítulo 1, las principales fases para la formulación de un proyecto de Ordenamiento Ecológico a escala municipal comprende: Fase I. Caracterización; Fase II. Diagnóstico Integrado; posteriormente lo ideal sería la realización de una consulta pública; Fase III. Prospectiva y, finalmente, la Fase de Propuesta del OET.

Durante la fase I de esta investigación, se reunió toda la información de carácter biofísico disponible, como la configuración topográfica, constitución geológica, algunos parámetros morfométricos como el ángulo de inclinación de las laderas, la variabilidad hipsométrica, la densidad de disección y profundidad de corte vertical del relieve, algunos elementos climáticos como la precipitación y temperatura, el análisis e interpretación de las condiciones de la red hidrográfica, la tasa de erosión de los suelos y distribución de sus unidades, así como la generación de modelos de la flora y fauna.

Durante la fase II que comprende este capítulo, se realizó la fragmentación del territorio en unidades de síntesis, que comparten ciertos atributos de carácter biofísico-antrópico y poseen cierto grado de asociación vertical y horizontal (estructura y funcionalidad), para la evaluación de la aptitud natural. De esta manera, se determinaron 4 usos potenciales de suelo (agrícola, pecuario, forestal y de conservación).

Como objetivo final de esta investigación, se realizó la sumatoria de los 4 mapas de aptitud natural, con la finalidad de derivar un 5to. mapa denominado *Uso potencial óptimo del territorio*, sobreponiendo espacial y matricialmente la información, a fin de seleccionar la aptitud por paisaje, con mayor número de puntos, equivalente a la mayor probabilidad de uso óptimo del territorio, sin deteriorar las condiciones medioambientales del mismo (**Cuadro III.29 y Figura III.10**).

Cuadro III.28. Evaluación del potencial natural para actividad de conservación en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ.	BIOLÓGICO	PERTURBACIÓN	Σ	POTENCIAL	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
I.1.1	2	3	5	Muy Alto	5503	5.6
I.1.2	1	1	2	Medio	449	0.5
I.1.3	3	3	6	Muy Alto	3999	4.1
I.1.4	2	3	5	Muy Alto	266	0.3
I.1.5	2	3	5	Muy Alto	459	0.5
I.1.6	2	3	5	Muy Alto	583	0.6
I.1.7	2	3	5	Muy Alto	653	0.7
I.1.8	1	0	1	Bajo	251	0.3
I.1.9	2	3	5	Muy Alto	278	0.3
I.1.10	2	3	5	Muy Alto	516	0.5
I.1.11	1	1	2	Medio	480	0.5
I.2.1	2	3	5	Muy Alto	1539	1.6
I.2.2	1	2	3	Alto	2028	2.1
I.2.3	2	3	5	Muy Alto	253	0.3
I.2.4	1	1	2	Medio	674	0.7
I.2.5	2	3	5	Muy Alto	983	1.0
I.2.6	1	0	1	Bajo	958	1.0
I.2.7	1	1	2	Medio	739	0.8
I.2.8	2	2	4	Alto	993	1.0
I.2.9	2	3	5	Muy Alto	1453	1.5
I.3.1	2	3	5	Muy Alto	721	0.7
I.3.2	2	2	4	Alto	873	0.9
I.3.3	2	2	4	Alto	595	0.6
I.3.4	2	3	5	Muy Alto	744	0.8
I.3.5	0	1	1	Bajo	618	0.6
I.3.6	2	3	5	Muy Alto	191	0.2
I.3.7	2	2	4	Alto	1130	1.2
I.3.8	2	3	5	Muy Alto	211	0.2
I.3.9	2	3	5	Muy Alto	532	0.5
I.3.10	2	3	5	Muy Alto	355	0.4
I.3.11	2	2	4	Alto	425	0.4
I.3.12	2	3	5	Muy Alto	407	0.4
I.3.13	1	0	1	Bajo	917	0.9
II.1.1	1	0	1	Bajo	581	0.6
II.1.2	2	3	5	Muy Alto	651	0.7
II.1.3	2	2	4	Alto	1598	1.6
II.1.4	1	0	1	Bajo	586	0.6
II.2.1	1	1	2	Medio	3431	3.5
III.1.1	2	1	3	Alto	311	0.3
III.1.2	2	2	4	Alto	153	0.2
III.1.3	1	0	1	Bajo	301	0.3
III.1.4	1	1	2	Medio	125	0.1
III.1.5	1	0	1	Bajo	217	0.2
III.1.6	1	0	1	Bajo	678	0.7
III.1.7	1	0	1	Bajo	255	0.3
III.1.8	2	3	5	Muy Alto	799	0.8
III.1.9	1	1	2	Medio	1703	1.7
III.1.10	1	0	1	Bajo	572	0.6
III.1.11	1	1	2	Medio	444	0.5
III.1.12	1	2	3	Alto	371	0.4
III.1.13	1	2	3	Alto	282	0.3
III.1.14	1	1	2	Medio	1702	1.7
III.1.15	2	3	5	Muy Alto	2079	2.1
III.1.16	2	2	4	Alto	5268	5.4
III.2.1	1	1	2	Medio	8914	9.1
III.2.2	2	3	5	Muy Alto	504	0.5
III.2.3	1	3	4	Alto	425	0.4

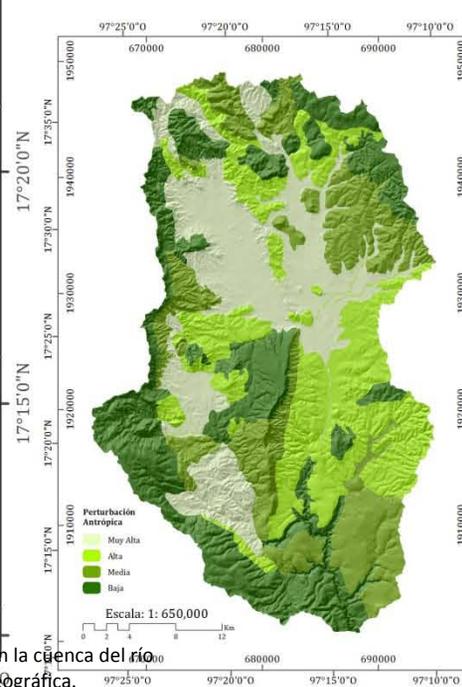
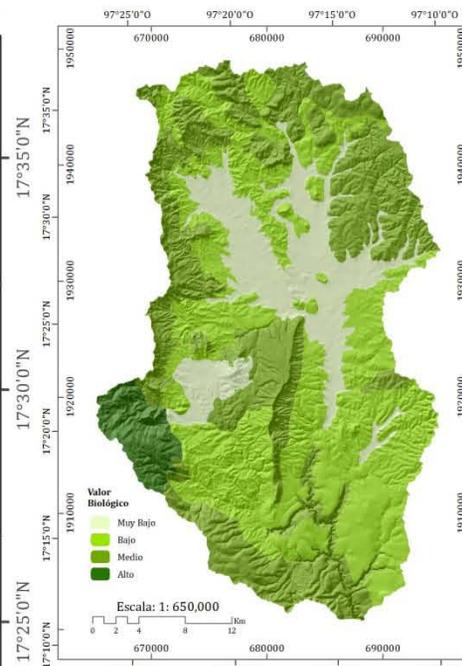
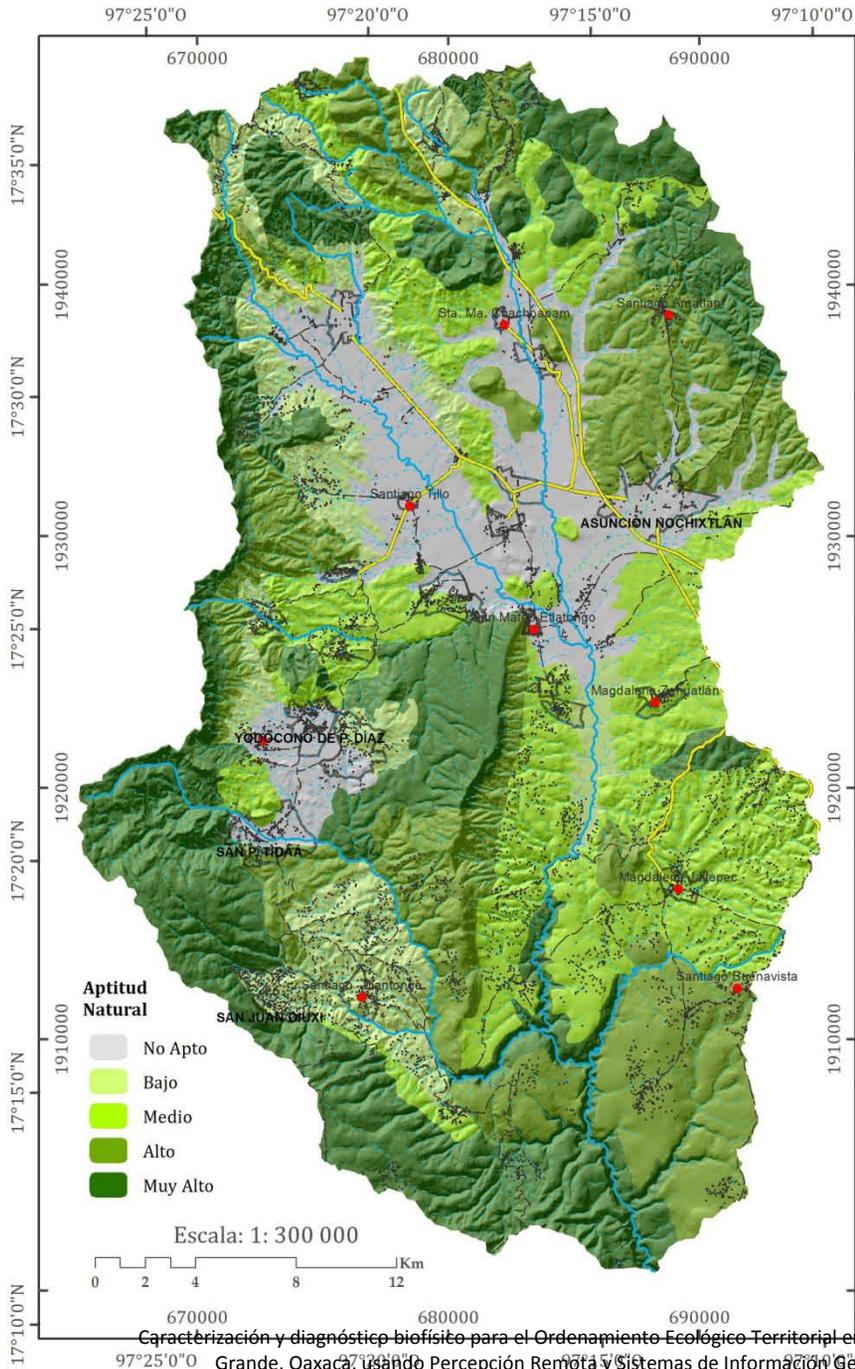
Diagnóstico

Continuación (Cuadro III.28). Evaluación del potencial natural para actividad de conservación en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

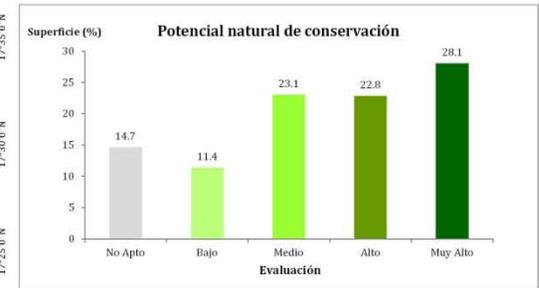
PSJ.	BIOLÓGICO	PERTURBACIÓN	Σ	POTENCIAL	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
III.2.4	1	1	2	Medio	201	0.2
III.2.5	1	1	2	Medio	70	0.1
III.3.1	1	0	1	Bajo	475	0.5
III.3.2	2	2	4	Alto	300	0.3
III.3.3	1	1	2	Medio	1870	1.9
III.3.4	1	2	3	Alto	126	0.1
III.4.1	1	0	1	Bajo	3581	3.7
III.4.2	1	2	3	Alto	1014	1.0
III.4.3	2	3	5	Muy Alto	839	0.9
III.4.4	2	1	3	Alto	124	0.1
III.5.1	1	1	2	Medio	1260	1.3
III.5.2	1	2	3	Alto	1196	1.2
III.5.3	1	2	3	Alto	3351	3.4
III.5.4	1	2	3	Alto	1772	1.8
IV.1.1	2	3	5	Muy Alto	2922	3.0
V.1.1	0	0	0	No Apto	5017	5.1
V.1.2	0	0	0	No Apto	310	0.3
V.2.1	0	0	0	No Apto	4051	4.1
V.2.2	0	0	0	No Apto	112	0.1
V.2.3	0	0	0	No Apto	1780	1.8
V.2.4	0	1	1	Bajo	116	0.1
V.3.1	0	0	0	No Apto	1050	1.1
V.3.2	0	0	0	No Apto	66	0.1
V.4.1	0	1	1	Bajo	972	1.0
V.4.2	0	0	0	No Apto	48	0.0
V.5.1	0	2	2	Medio	393	0.4
V.6.1	0	0	0	No Apto	1876	1.9
V.6.2	0	1	1	Bajo	37	0.0

Además de tomar en cuenta el mayor potencial, se dieron los siguientes casos:

- 1.- En caso de empate entre agrícola y pecuario, se dio prioridad al primero, por presentar el menor impacto (bajo un adecuado manejo) hacia los recursos, principalmente el suelo.
- 2.- En caso de empate entre agrícola y/o pecuario y actividad de conservación, se dio prioridad al último, por el grado de deterioro ambiental que presenta la zona de estudio.
- 3.- En caso de empate entre actividad forestal y actividad de conservación, se dio prioridad al último, por el grado de deterioro ambiental (principalmente erosión acelerada) que presenta la zona de estudio.
- 4.- Para el caso de los sistemas riparios principales (cauces alto, medio y bajo del río Grande, río Verde, La Labor, La Cuesta, Yutekán y Enchoné), pese a su elevado puntaje de aptitud para actividades agropecuarias, se determinó clasificarlas en actividad de conservación por las siguientes características:
 - a) El elevado riesgo que conlleva la práctica de actividades humanas en sus planicies de inundación en la época de lluvias y los potenciales procesos de ladera asociados.
 - b) La elevada riqueza flori-faunística, no contemplada para estos sistemas en la investigación (vegetación de galería, anfibios, reptiles etc.).



Cuenca del Río Grande



Valor biológico

Se realizó una reclasificación de los rangos de probabilidades del lince y jaguar: Probabilidad de 0.0 a 0.30 (0 puntos), 0.31 a 0.50 (1 punto), 0.51 a 0.80 (2 puntos) y > 0.81 (3 puntos). Una vez reclasificado cada mapa, estos se combinaron para dar origen a una matriz de 2 dimensiones partiendo del principio de la sobreposición espacial de los 2 nichos, razón por la cual no se sumaron los puntos y se tomó el mayor valor al reclasificar.

Perturbación del paisaje

Se parte del principio de que a mayor superficie de comunidades vegetales naturales, menor es la degradación de los servicios ecosistémicos, y por lo tanto, mayor es la probabilidad de contener biodiversidad (riqueza y abundancia relativa de especies) en alguna categoría de manejo (endémica, amenazada, peligro de extinción etc.). La perturbación del paisaje se entiende como el grado de modificación de las condiciones naturales (calidad y cantidad), por alguna actividad de naturaleza humana.

SIGNOS CONVENCIONALES PARÁMETROS GEODÉSICOS:

LOCALIDADES CON > 500 HAB.	Esferoide	GRS80
ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN	Proyección	UTM
LOCALIDADES CON < 500 HAB.	Datum Horizontal	ITRF92
Santiago Tillo	Zona	14
RED HIDROGRÁFICA	Meridiano Central	-99°
PERENNE	Meridiano Base	Greenwich
INTERMITENTE	Cuadrícula geográfica	cada 5 min
VÍAS DE COMUNICACIÓN	Cuadrícula UTM	cada 10,000 mts
Pavimentada		
Terracería		
Edificaciones		

FUENTES:

INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies (NAVTEQ),** cartografía vial digital.

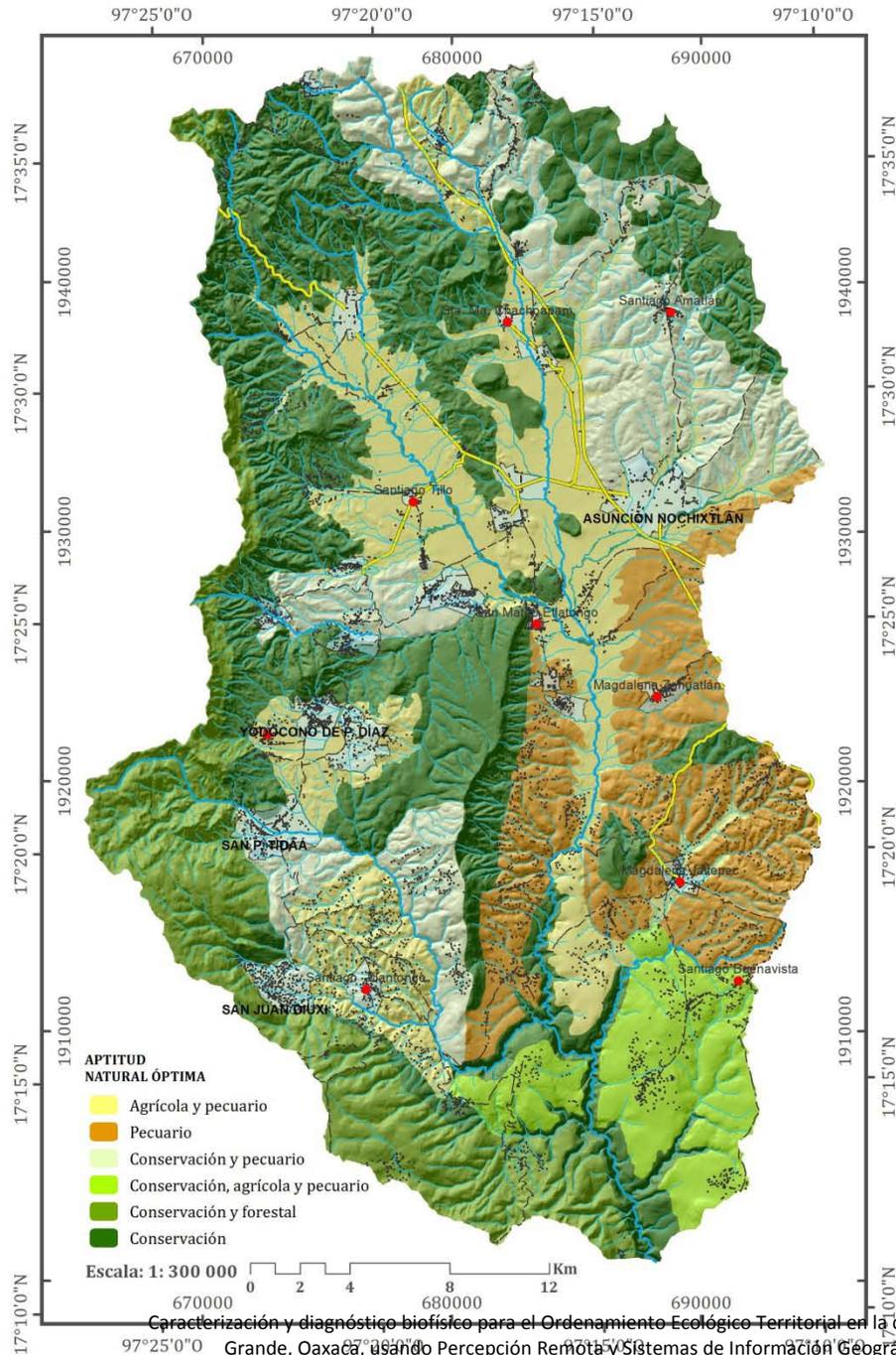
ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.



Diagnóstico

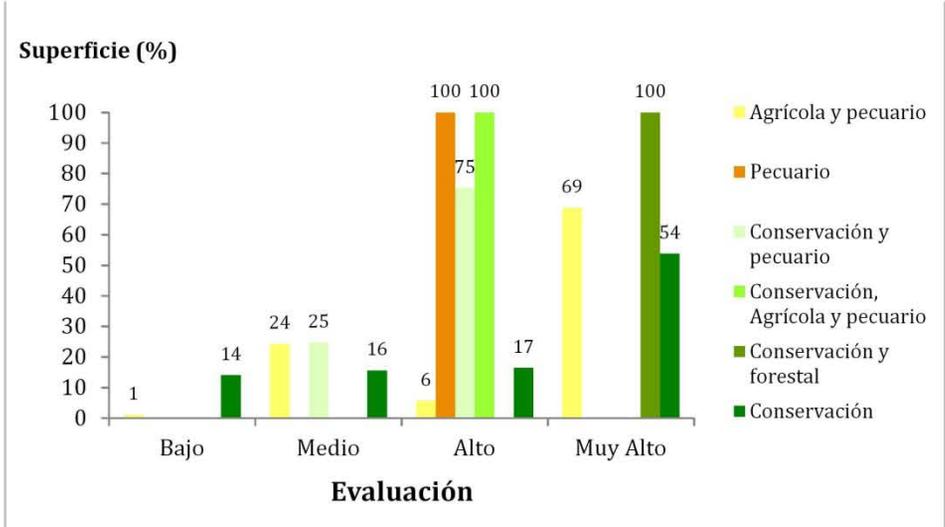
Cuadro III.29. Evaluación del potencial natural óptimo en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ	Σ AG.	P AG.	Σ PEC.	P PEC.	Σ FOR.	P FOR.	Σ CON.	P CON.	P ÓPTIMO	EVAL P. ÓPTIMO
I.1.1	7	Medio	11	Alto	4	Alto	5	Muy Alto	Conservación y forestal	Muy Alto
I.1.2	7	Medio	7	Medio	-	No Aplica	2	Medio	Conservación	Medio
I.1.3	7	Medio	8	Medio	4	Alto	6	Muy Alto	Conservación y forestal	Muy Alto
I.1.4	7	Medio	10	Alto	2	Bajo	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.1.5	7	Medio	7	Medio	4	Alto	5	Muy Alto	Conservación y forestal	Muy Alto
I.1.6	7	Medio	7	Medio	4	Alto	5	Muy Alto	Conservación y forestal	Muy Alto
I.1.7	5	Bajo	7	Medio	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.1.8	2	No Apto	2	No Apto	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
I.1.9	5	Bajo	6	Bajo	4	Alto	5	Muy Alto	Conservación y forestal	Muy Alto
I.1.10	7	Medio	8	Medio	4	Alto	5	Muy Alto	Conservación y forestal	Muy Alto
I.1.11	9	Medio	9	Medio	2	Bajo	2	Medio	Conservación	Medio
I.2.1	9	Medio	9	Medio	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.2.2	9	Medio	11	Alto	2	Bajo	3	Alto	Conservación y pecuario	Alto
I.2.3	7	Medio	8	Medio	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.2.4	9	Medio	8	Medio	0	No Apto	2	Medio	Conservación	Medio
I.2.5	3	No Apto	5	Bajo	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.2.6	2	No Apto	3	No Apto	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
I.2.7	2	No Apto	3	No Apto	0	No Apto	2	Medio	Conservación	Medio
I.2.8	9	Medio	10	Alto	0	No Apto	4	Alto	Conservación y pecuario	Alto
I.2.9	9	Medio	10	Alto	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.1	9	Medio	10	Alto	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.2	6	Bajo	9	Medio	0	No Apto	4	Alto	Conservación	Alto
I.3.3	7	Medio	9	Medio	2	Bajo	4	Alto	Conservación	Alto
I.3.4	7	Medio	10	Alto	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.5	7	Medio	8	Medio	0	No Apto	1	Bajo	Agrícola y pecuario	Medio
I.3.6	9	Medio	9	Medio	2	Bajo	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.7	8	Medio	10	Alto	0	No Apto	4	Alto	Conservación y pecuario	Alto
I.3.8	9	Medio	9	Medio	2	Bajo	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.9	9	Medio	9	Medio	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.10	3	No Apto	5	Bajo	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.11	9	Medio	10	Alto	0	No Apto	4	Alto	Conservación y pecuario	Alto
I.3.12	5	Bajo	6	Bajo	2	Bajo	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
I.3.13	6	Bajo	6	Bajo	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
II.1.1	5	Bajo	5	Bajo	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
II.1.2	5	Bajo	8	Medio	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
II.1.3	5	Bajo	7	Medio	3	Medio	4	Alto	Conservación	Alto
II.1.4	5	Bajo	4	Bajo	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
II.2.1	6	Bajo	10	Alto	0	No Apto	2	Medio	Pecuario	Alto
III.1.1	4	Bajo	5	Bajo	2	Bajo	3	Alto	Conservación	Alto
III.1.2	4	Bajo	5	Bajo	2	Bajo	4	Alto	Conservación	Alto
III.1.3	2	No Apto	3	No Apto	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
III.1.4	3	No Apto	3	No Apto	0	No Apto	2	Medio	Conservación	Medio
III.1.5	3	No Apto	2	No Apto	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
III.1.6	7	Medio	7	Medio	0	No Apto	1	Bajo	Agrícola y pecuario	Medio



Caracterización y diagnóstico biofísico para el Ordenamiento Ecológico Territorial en la cuenca del río Grande, Oaxaca, usando Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.

Cuenca del Río Grande



SIGNOS CONVENCIONALES: PARÁMETROS GEODÉSICOS: OBSERVACIONES:

LOCALIDADES CON > 500 HAB. Esferoide..... GRS80
ASUNCIÓN DE NOCHIXTLÁN Proyección..... UTM
LOCALIDADES CON < 500 HAB. Datum Horizontal..... ITRF92
 Santiago Tillo ● Zona 14
RED HIDROGRÁFICA Meridiano Central..... -99°
 PERENNE — Meridiano Base..... Greenwich
 INTERMITENTE — Cuadrícula geográfica..... a cada 5 min
VÍAS DE COMUNICACIÓN Cuadrícula UTM a cada 10,000 mts
 Pavimentada —
 Terracería —
Edificaciones ■
AREA URBANA □

FUENTES:
 INEGI. Cartografía vectorial escalas 1:1 000000 / 1: 250000; Sistema de Integración Territorial (ITER 2010); conjunto topográfico vectorial escala 1:50000, cartas: E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46. **Navigation Technologies** (NAVTEQ), cartografía vial digital.

ELABORÓ: Pablo Pablo Marco Antonio.

1.- En caso de empate entre agrícola y pecuario, se dio prioridad al primero, por presentar el menor impacto (bajo un adecuado manejo) hacia los recursos, principalmente el suelo.
2.- En caso de empate entre agrícola y/o pecuario y actividad de conservación, se dio prioridad al último, por el grado de deterioro ambiental que presenta la zona de estudio.
3.- En caso de empate entre actividad forestal y actividad de conservación, se dio prioridad al último, por el grado de deterioro ambiental (principalmente erosión acelerada) que presenta la zona de estudio.
4.- Para el caso de los sistemas riparios principales (cauces alto, medio y bajo del río Grande, río Verde, La Labor, La Cuesta, Yutekán y Enchone), pese a su elevado puntaje de aptitud para actividades agropecuarias, se determinó clasificarlas en actividad de conservación por las siguientes características:
a) El elevado riesgo que conlleva la práctica de actividades humanas en sus planicies de inundación en la época de lluvias y los potenciales procesos de ladera asociados.
b) La elevada riqueza flori-faunística, no contemplada para estos sistemas en la investigación (vegetación de galería, anfibios, reptiles etc.).



APTITUD NATURAL ÓPTIMA
 FIGURA 1159

Diagnóstico

Continuación (Cuadro III.29). Evaluación del potencial natural óptimo en la cuenca del río Grande, Oaxaca.

PSJ	Σ AG.	P AGR.	Σ PEC.	P PEC.	Σ FOR.	P FOR.	Σ CON.	P CON.	P ÓPTIMO	EVAL P. ÓPTIMO
III.1.7	7	Medio	6	Bajo	0	No Apto	1	Bajo	Agrícola y pecuario	Bajo
III.1.8	9	Medio	9	Medio	1	Muy Bajo	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
III.1.9	4	Bajo	6	Bajo	0	No Apto	2	Medio	Conservación	Medio
III.1.10	4	Bajo	4	Bajo	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Bajo
III.1.11	4	Bajo	5	Bajo	0	No Apto	2	Medio	Conservación	Medio
III.1.12	6	Bajo	7	Medio	1	Muy Bajo	3	Alto	Conservación	Alto
III.1.13	7	Medio	8	Medio	1	Muy Bajo	3	Alto	Conservación	Alto
III.1.14	5	Bajo	7	Medio	0	No Apto	2	Medio	Conservación y pecuario	Medio
III.1.15	6	Bajo	9	Medio	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
III.1.16	6	Bajo	10	Alto	1	Muy Bajo	4	Alto	Conservación y pecuario	Alto
III.2.1	7	Medio	10	Alto	0	No Apto	2	Medio	Pecuario	Alto
III.2.2	7	Medio	9	Medio	2	Bajo	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
III.2.3	4	Bajo	5	Bajo	1	Muy Bajo	4	Alto	Conservación	Alto
III.2.4	6	Bajo	6	Bajo	0	No Apto	2	Medio	Conservación	Medio
III.2.5	4	Bajo	5	Bajo	0	No Apto	2	Medio	Conservación	Medio
III.3.1	7	Medio	7	Medio	-	No Aplica	1	Bajo	Agrícola y pecuario	Medio
III.3.2	6	Bajo	8	Medio	2	Bajo	4	Alto	Conservación	Alto
III.3.3	6	Bajo	8	Medio	0	No Apto	2	Medio	Conservación y pecuario	Medio
III.3.4	5	Bajo	5	Bajo	2	Bajo	3	Alto	Conservación	Alto
III.4.1	7	Medio	9	Medio	-	No Aplica	1	Bajo	Agrícola y pecuario	Medio
III.4.2	9	Medio	10	Alto	2	Bajo	3	Alto	Conservación y pecuario	Alto
III.4.3	9	Medio	10	Alto	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
III.4.4	8	Medio	9	Medio	2	Bajo	3	Alto	Conservación	Alto
III.5.1	11	Alto	12	Alto	0	No Apto	2	Medio	Agrícola y pecuario	Alto
III.5.2	10	Alto	10	Alto	2	Bajo	3	Alto	Conservación, agr. y pec.	Alto
III.5.3	11	Alto	14	Alto	0	No Apto	3	Alto	Conservación, agr. y pec.	Alto
III.5.4	12	Alto	11	Alto	2	Bajo	3	Alto	Conservación, agr. y pec.	Alto
IV.1.1	7	Medio	8	Medio	3	Medio	5	Muy Alto	Conservación	Muy Alto
V.1.1	17	Muy Alto	18	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Agrícola y pecuario	Muy Alto
V.1.2	12	Alto	15	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Conservación	Ver pág. 164
V.2.1	17	Muy Alto	18	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Agrícola y pecuario	Muy Alto
V.2.2	12	Alto	15	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Conservación	Ver pág. 164
V.2.3	17	Muy Alto	17	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Agrícola y pecuario	Muy Alto
V.2.4	12	Alto	15	Muy Alto	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Ver pág. 164
V.3.1	17	Muy Alto	17	Muy Alto	0	No Apto	0	No Apto	Agrícola y pecuario	Muy Alto
V.3.2	12	Alto	15	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Conservación	Ver pág. 164
V.4.1	16	Muy Alto	17	Muy Alto	0	No Apto	1	Bajo	Agrícola y pecuario	Muy Alto
V.4.2	12	Alto	15	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Conservación	Ver pág. 164
V.5.1	18	Muy Alto	17	Muy Alto	0	No Apto	2	Medio	Agrícola y pecuario	Muy Alto
V.6.1	18	Muy Alto	19	Muy Alto	-	No Aplica	0	No Apto	Agrícola y pecuario	Muy Alto
V.6.2	14	Muy Alto	17	Muy Alto	-	No Aplica	1	Bajo	Conservación	Ver pág. 164

Bibliografía:

Arias J. A. C., (2001), *Suelos Tropicales*, Editorial Universidad Estatal a Distancia, Primera Edición, Costa Rica, 188 p.

Bocco G., M. E. Mendoza., A. Velásquez., A. Torres., (1999), "*La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo*", Investigaciones Geográficas, Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín 40, 16 p.

Bocco G., M. Mendoza., Á. Priego., A. Burgos., (2010), "*La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial. Una revisión de la bibliografía*" Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, 71 p.

Bollo M. M., J. R. Hernández., A. P. Méndez., (2010), *Evaluación de potencialidades naturales en el Ordenamiento Ecológico Territorial: noroeste del estado de Chiapas*, México, Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles, número 53, España pp 191-218.

Casanova O. E. F., (2005), "*Introducción a la ciencia del suelo*", Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, 487 p.

Casas F. R., (2011), "*El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*", Paraninfo, España, 237 p.

Gallegos T. A., (1997), *La aptitud Agrícola de los suelos, la pedología aplicada a las actividades agropecuarias*, Editorial Trillas, Primera edición, México, 207 p.

García R. A., J. Muñoz., (2002), "El paisaje en el ámbito de la Geografía", Temas selectos de Geografía de México, Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México, 130 p.

García R. A., K. I. Mendoza., L. Galicia., (2005), *Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero)*, México, Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Número 56, pp 77-100.

González T. J. J., (2012), "*Carl Troll y la Geografía del Paisaje: vida, obra y traducción de un texto fundamental*" Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, número 59, pp 173-200.

INEGI, (2004), *Guía para la Interpretación de Cartografía*, Edafología, 28 p.

Ortiz P. M., J. R. Hernández., A. P. Méndez...C. L. Miguel., (2006), *Ordenamiento ecológico de la zona petrolera de la Región V Norte de Chiapas*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 346 p.

Priego Á., G. Bocco., M. Mendoza., A. Garrido., (2008), "*Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes*", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, 98 p.

Siebe G. C., R. Jahn., K. Stahr., (2006), *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo*, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 50 p.

Diagnóstico

Tapia V. G., J. L. Blanco., (2008), *Mapeo Geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: Unidades Morfogenéticas a escala 1: 100 000*, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Volumen 19, Número 1, pp 50-65.

Verstappen and Van Zuidam., (1991), *El sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos*, ITC publication, Number 10, second edition, 15 p.

Velázquez M. A., M. A. Ortiz., O. Oropeza., Á. C. Massiris., (2002), *Guía metodológica para el Diagnóstico integrado del sistema territorial*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 21 p.

Citas electrónicas:

Bavera G. A., H. A. Beguet., (2003), *Clima y ambiente; elementos y factores, Producción Bovina de Carne*, [www.producción-animal.com.ar : 18 de marzo del 2013].

Delgado A. J. F., (2013), *“Cruzada ambiental, conceptos y acepciones: Ecología del Paisaje”*, 15 p. [http://www.cruzadaambiental.com/: 12 de octubre de 2013].

Esri, (2013), *Tasseled Cap*, (http://resources.arcgis.com/en/home/: 27-10-2013).

FAO, (2005), *Evaluación del suelo*, 15 p. [http://www.fao.org/home/en/ : 14 de junio de 2013].

García R. A., (2002), *El paisaje: una herramienta en el estudio detallado del territorio*, Kuxulkab Revista de Divulgación, volumen VII, número 14 [http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/:12 de octubre de 2013].

Madero N. J. G., (2011), *Tipos de Madera en México*, 15 p. [http://www.josegerardomaderonader.com/ 15 de marzo del 2013].

Vergara J., I. O. Espinoza., (2010), *Como medir la carga animal y el índice de agostadero*, [http://www.reproduccionanimal.com.mx/ : 18 de marzo del 2013].

IV Resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones

IV.I Resultados

La cuenca del río Grande cubre un área de 977 km² (97,700 ha). El área potencial generada con las mejores condiciones para la práctica de actividades agropecuarias equivale al 16% (152 km² de la superficie total), que corresponde con los paisajes V.1.1, V.2.1, V.2.2, V.2.3, V.3.1, V.4.1, V.5.1 y V.6.1. Éstos son: el sistema de llanuras fluvio acumulativas alta, media y baja del cauce principal de la cuenca (río Grande), de los ríos Verde, La Labor, La Cuesta y las llanuras intramontanas de los ríos Blanco, Yutekán y Enchóné, con pendientes de 0 a 2° principalmente, constituidos de limolita, arenisca, secuencias de aluvión y conglomerados de diversa granulometría (**Figura IV.1**).

Para la práctica de actividades pecuarias con alto potencial se generó un área de 122 km² equivalente al 12% de la cuenca, sustentados en los valles fluviales bajos en forma de lomeríos elongados, del flanco oriental de la mesopendiente de la Mesa El Llano y las superficies cumbreles y laderas medias del sistema de lomeríos Zahuatlán-Jaltepec (paisajes II.2.1 y III.2.1), constituidos de calizas, limolitas y areniscas, de laderas moderadamente abruptas (6 a 30°) y albergando pastizales naturales e inducidos, suelos desnudos, así como afloramientos rocosos (**Figura IV.2**).

Para la mejor aptitud trivalente de la cuenca, es decir “conservación-agropecuario” se generó un área potencial de 64 km² equivalentes al 7% de la superficie total. Los paisajes III.5.2, III.5.3 y III.5.4 de los lomeríos bajos: amplias superficies de planación tectonizadas de la Mesa de Jaltepec-Tamazola constituidas de rocas de plataforma carbonatada (principalmente margas y calizas) y detríticas (conglomerados, areniscas y limolitas) con gran fracturamiento y de laderas poco inclinadas (2 a 12°), demostraron las mejores cualidades (**Figura IV.3**).

Para la actividad mixta de “conservación-pecuario” se generó un área de 108 km² equivalente al 11% de la superficie de la cuenca, misma que corresponde con las unidades de paisaje I.2.2, I.2.8, I.3.7, I.3.11, III.1.16 y III.4.2. Éstas hacen referencia a las cimas y pendientes de las montañas medias meridionales de la Mesa El Llano, las superficies cumbreles de las montañas medias en forma de lomas de Soyaltepec-Tonaltepec, los lomeríos medios de San Pedro Tidaá y los lomeríos altos de Asunción Nochixtlán sumamente disectados, marginales a la llanura fluvial de los ríos Verde y La Labor; de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°) para las montañas y moderadamente abruptas (6 a 30°) para los lomeríos (**Figura IV.4**).

En el caso de la actividad mixta “conservación-forestal”, el área potencial generada con las mejores condiciones fue de 114 km² (12%), siendo los paisajes físico geográficos sustentados en condiciones geomorfológicas de las cimas y pendientes de las montañas altas (I.1.1, I.1.3, I.1.5, I.1.6, I.1.9, y I.1.10) los que demostraron la mejor aptitud. Prácticamente toda la macropendiente del arco estructural Teposcolula-Tilantongo conformada por macizos de origen sedimentario-tectónico-vulcanógeno, de laderas fuertemente escarpadas (18 a 45°) y cimas medianamente estables (0 a 12°), albergando comunidades de encino y bosque mixto (pino-encino). Sin embargo, cabe mencionar que tal aptitud se debe restringir sólo a la actividad de conservación, por la elevada tasa de erosión que presentan las laderas de la vertiente oriental del corredor Cerro Negro-Yucaño (**Figura IV.5**).

Para la actividad de conservación se generó un área potencial de 167 km² equivalente al 17% de la superficie total de la cuenca y que corresponde con los paisajes I.1.4, I.1.7, I.2.1, I.2.3, I.2.5, I.2.9, I.3.1, I.3.4, I.3.6, I.3.8, I.3.9, I.3.10, I.3.12, II.1.2, III.1.8, III.1.15, III.2.2, III.4.3, IV.1.1, V.1.2, V.2.2, V.2.4, V.3.2, V.4.2 y V.6.2 siendo las superficies cumbreles y laderas medias del corredor montañoso Mesa el Llano,

los cerros de Tlatayapam y macizos de Tonaltepec; las superficies cumbrales y laderas de los cerros Nuxaño, El Jazmín, macizos de Yanhuitlán-Soyaltepec-Chachoápam; las laderas del cañón del río Grande Jaltepec-Tamazola y el sistema de cauces de los ríos Grande, Verde, La Labor, La Cuesta, Yutekánú y Enchóné, los que logran concentrar un elevado potencial biológico exclusivamente para tal actividad (**Figura IV.6**).

Finalmente el 26% del territorio equivalente a 250 km² encuadró en alguna categoría de manejo (agropecuario, conservación-pecuario y conservación), pero que no clasificó como aptitud óptima (alto a muy alto). Estos fueron los paisajes I.1.2, I.1.8, I.1.11, I.2.4, I.2.6, I.2.7, I.3.2, I.3.3, I.3.5, I.3.13, II.1.1, II.1.3, II.1.4, III.1.1, III.1.2, III.1.3, III.1.4, III.1.5, III.1.6, III.1.7, III.1.9, III.1.10, III.1.11, III.1.12, III.1.13, III.1.14, III.2.3, III.2.4, III.2.5, III.3.1, III.3.2, III.3.3, III.3.4, III.4.1, III.4.4 y III.5.1, Los cuales corresponden con las laderas bajas del flanco oriental de la Mesa El Llano, las cimas y pendientes de las montañas bajas de San Francisco Nuxaño; el arco erosivo en pie de laderas de montañas medias y las pendientes de las montañas medias en forma de rampas y lomeríos de Yanhuitlán-Soyaltepec-Tonaltepec-Teposcolula; los valles fluviales medios del flanco oriental de la macropendiente de Santo Domingo Yanhuitlán-Magdalena Yodocono; las superficies cumbrales y laderas altas del sistema de lomeríos Yanhuitlán-Noxhixtlán; las superficies cumbrales y laderas medias del sistema de lomeríos Topiltepec-Chindúa y las superficies cumbrales y laderas medias del sistema de lomeríos intramontanos sumamente disectados Diuxi-Tilantongo (**Figura IV.7 y IV.8**).

IV.2 Discusión

Sin duda, el empleo de diversos enfoques, métodos y técnicas surgidos de diversas áreas del conocimiento científico y tecnológico para la caracterización biofísica de la cuenca del río Grande, y su posterior cohesión en la valoración integral del paisaje, suman un aporte relevante dentro del estudio de las ciencias geográficas, concretamente desde la planeación territorial. El capítulo 2 “*caracterización del sistema territorial*” logra concentrar los más recientes y relevantes métodos y técnicas geoespaciales para el análisis de los sistemas biofísicos de la cuenca. El capítulo 3 “*diagnóstico integrado del paisaje*” goza de un amplio bagaje teórico-metodológico, incluso antes de emprender la valoración a fin de coadyuvar en el entendimiento táctico del lector. De igual forma merecen destacarse el empleo de múltiples herramientas auxiliares en el análisis de procesos complejos como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Sistemas de Percepción Remota (SPR) y los Sistemas de Posicionamiento Global (SPG). Un hecho no menos importante es el empleo de mapas e información cartográfica digital de diversas fuentes como el INEGI, SGM, USGS, CONABIO, CONAGUA, INE, IG-UNAM, SEMAR, NAVTEQ, etc., los cuales dotaron de mayor información al estudio para abordarlo a diversas escalas.

Si bien el esquema de trabajo, los tiempos y requerimientos técnicos son relativamente amplios, el enfoque planteado como eje medular de esta investigación; el concepto de transdisciplinariedad, se logra cumplir cabalmente. No obstante, los resultados son robustos, tanto en el análisis de cada subsistema de caracterización (p. ej. temperatura media anual, estimación de erosión hídrica, uso de suelo y vegetación etc.), como en el diagnóstico integrado del paisaje (definición de unidades taxonómicas y aptitud óptima del territorio).

Vale la pena resaltar la estructura jerárquica implementada (región, geosistema y paisaje), que si bien, no es un aporte nuevo en el estudio integrado del paisaje, tiene una especial importancia, como base para relacionar y derivar información de escalas regionales a las más específicas en el manejo de los recursos (suelo, agua y biodiversidad). La meticulosa atención en la delimitación de estas unidades, será un aspecto fundamental que influirá significativamente en los productos de aptitud óptima.

Se tomó en cuenta el control de calidad de los productos mediante trabajo de campo, principalmente durante la caracterización (p. ej. estimación de la erosión hídrica, clasificación de la vegetación y uso de suelo, características físico-químicas del suelo etc.), sin embargo, por cuestiones de tiempo y recursos, ésta no pudo ser completada en el apartado de biodiversidad faunística (*Phantera onca* y *Lynx rufus*), razón por la cual, la primera se confrontó con estudios anteriores (Briones et al., 2012), obteniéndose

resultados relativamente similares, y la segunda con la inspección de los planes de desarrollo municipal, a fin de corroborar avistamientos de la especie (*lynx rufus*).

La carga de trabajo en la aplicación de los diversos métodos varió significativamente, dependiendo de cuestiones como la ampliación del área de estudio por la escasez de datos, al igual que el tiempo por la familiarización con un sistema de análisis predictivo (p. ej. MaxEnt en biodiversidad faunística de Oaxaca); la imprescindible revisión bibliográfica detallada de algunos temas, por su inherente naturaleza evolutiva (p. ej. la evolución geológica de la cuenca), o la aplicación de metodologías y técnicas robustas dentro del análisis de clasificación digital (p. ej. análisis de firmas espectrales en biodiversidad florística de Oaxaca).

La utilización de la ecología del paisaje en la planificación del territorio es un enfoque relativamente novedoso dentro de la ciencia geográfica; los múltiples niveles que se alcanzan en la valoración territorial son de gran relevancia por su fácil comprensión e implementación en los planes de desarrollo municipal y regional, quizá ésta sea una de sus grandes virtudes, tal así que ésta se considera como una variante metodológica de alto rango; sin embargo y no menos importante, está la posibilidad de utilizar a detalle las ciencias computacionales y espaciales con el fin de evaluar las capacidades naturales de cada pixel de una escena o bien a nivel de objetos.

Dentro del enfoque de evaluación empleado se recomienda contar con información más detallada y actualizada sobre las propiedades físico-químicas de los suelos (p. ej. pedregosidad, textura, pH) a fin de dotar al estudio de mayor precisión a la hora de la evaluación territorial; de ser posible, un levantamiento semidetallado de tales cualidades, o bien, la inclusión de metodologías de análisis predictivo (p. ej. el pH en el capítulo 3). Así mismo, el empleo de mejores productos digitales en cuanto a su resolución espacial y espectral, permitirá una mejora en la calidad del análisis e interpretación (p. ej. fotografía aérea, imagen de satélite etc.) y por consiguiente en la delimitación de unidades de síntesis y su posterior evaluación. Finalmente, será imprescindible una mayor cohesión de las investigaciones enfocadas en la conservación de especies indicadoras, principalmente en las regiones del país con mayor tasa de deterioro ambiental (p. ej. Oaxaca).

Oaxaca es la entidad con mayor número de municipios en el país (570). Junto con Chiapas, Puebla y Veracruz, es de los estados con mayor tasa de deterioro ambiental. Según la SEMARNAT, de acuerdo al diagnóstico nacional, si no se replantean las políticas actuales, en los próximos 20 años se generaran grandes zonas de conflictividad. El plan de ordenamiento ecológico regional del territorio de Oaxaca está en proceso, razón por la cual, en el futuro esta investigación se convertirá en un instrumento de validación regional o viceversa, pero además éste tiene la capacidad de incrustarse en los planes de desarrollo municipal de la región a fin de elaborar los modelos de ordenamiento ecológico municipal.

IV.3 Conclusiones

Los resultados de la evaluación de la aptitud natural óptima del territorio en la cuenca del río Grande, Oaxaca, para las actividades agrícola, pecuaria, forestal y de conservación mostraron una significativa importancia tanto por el amplio bagaje teórico-metodológico implementado en cada tema de la caracterización (p. ej. morfometría, elementos climáticos, estimación de la erosión hídrica, biodiversidad etc.) como por el uso de paisajes físico-geográficos como unidades de síntesis natural de los atributos del territorio en el diagnóstico integrado.

La evaluación del uso óptimo del territorio, enmarcado en los aportes conceptuales y metodológicos de la FAO, concretamente en la metodología para la evaluación de tierras (1972), permitió valorar el potencial natural óptimo, con base en la confrontación de los requerimientos biofísicos básicos y los atributos ofertantes de cada paisaje.

Queda claro y relevante el concepto de transdisciplinariedad dentro de la ciencia geográfica, al revisar y abordar de manera exhaustiva los diversos enfoques, métodos y técnicas más recientes y relevantes en el proceso de caracterización biofísica y diagnóstico integrado del paisaje.

La aplicación de las diversas metodologías, técnicas y herramientas en la caracterización biofísica del

territorio en sus principales sistemas (topografía, geología, morfometría del relieve, clima, agua, suelos y biodiversidad), demostró precisión, rapidez y flexibilidad de manejo con la correspondiente base teórico-práctica.

La implementación del sistema de clasificación taxonómico propuesto por Bertrand (1968), comprendido a través de la ecología del paisaje, permitió derivar tres sistemas (región natural, geosistema y unidad de paisaje), las cuales sirvieron de unidades de síntesis natural y cartográficas durante el diagnóstico territorial con provechosos resultados en lo referente a la aptitud óptima, en vías de coadyuvar en la generación de unidades de gestión del modelo de ordenamiento ecológico regional del estado.

IV.5 Recomendaciones

1.- Los resultados de la evaluación del potencial natural óptimo de los paisajes, sugieren que en la mayoría de éstos existe la posibilidad de mantener más de un uso óptimo, sin embargo, para su implementación se deberá tomar en cuenta que la región presenta severa fragilidad a los disturbios ambientales desde la época prehispánica, razón por la cual, se hace sumamente necesario complementar con el estudio de los principales procesos de cambio del paisaje y su tasa de degradación (p. ej. degradación de suelos y biodiversidad, riesgos geológicos, hidrometeorológicos, etc.) a fin de seleccionar el uso del territorio más a fin con las necesidades humanas y cualidades del medio.

2.- Se hace sumamente necesaria la implementación y/o fortalecimiento por parte de las instituciones, de los programas de apoyo al sector ganadero de la región, pues sin duda éste se ha convertido en uno de los factores que incrementa la tasa de modificación del paisaje (p. ej. procesos erosivo-denudativos, pérdida de biodiversidad etc.), principalmente sobre el corredor biológico de la macropendiente del arco estructural Teposcolula-Tilantongo y la mesopendiente del eje estructural de la "Mesa El Llano".

3.- Se hace sumamente necesario el fortalecimiento por parte de las instituciones federales-estatales y/o administraciones municipales, de las restricciones a la práctica de actividades agrícolas en zonas con elevado potencial biológico y, de riesgo de degradación ambiental ya que sin duda ésta se ha convertido en uno de los factores que incrementa la tasa de modificación del paisaje (p. ej. deforestación, pérdida de biodiversidad, procesos denudativo-erosivos etc.), principalmente sobre el corredor biológico de la macropendiente del arco estructural Teposcolula-Tilantongo y la mesopendiente del eje estructural de la "Mesa El Llano".

Anexos

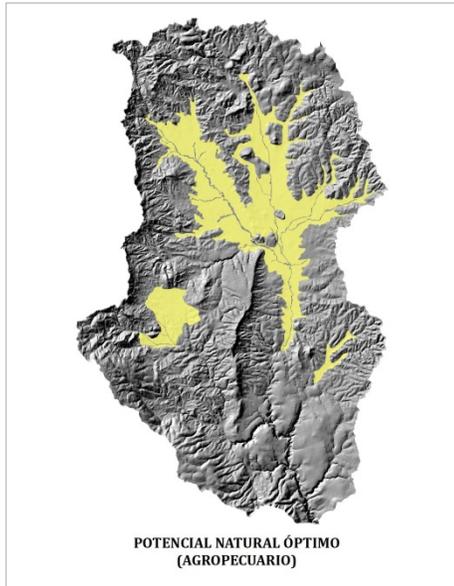


Figura IV.1. Potencial natural óptimo para la práctica de actividad agropecuaria.

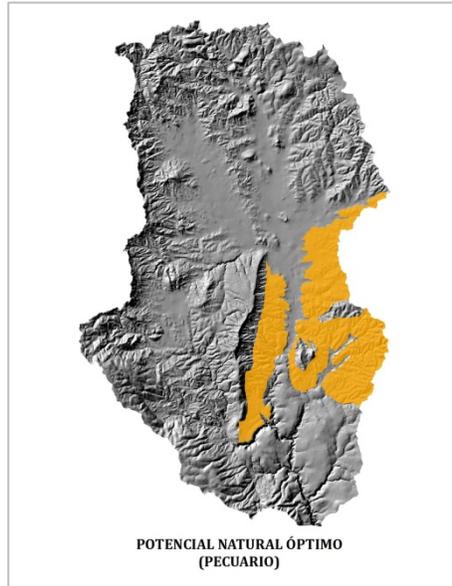


Figura IV.2. Potencial natural óptimo para la práctica de actividad pecuaria.

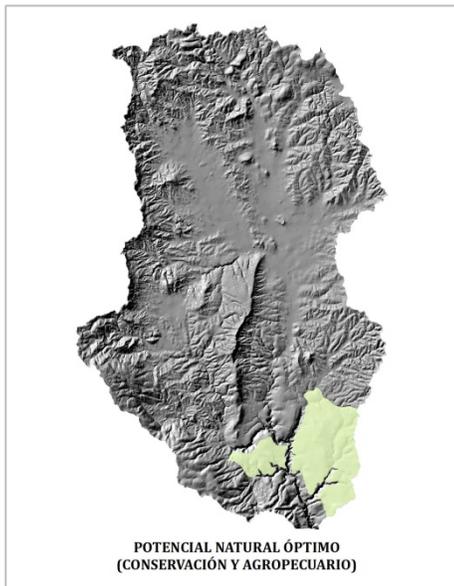


Figura IV.3. Potencial natural óptimo para la práctica de actividad de conservación y agropecuaria.

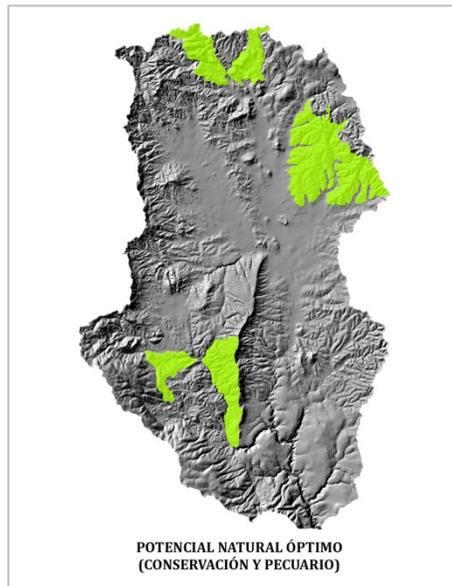


Figura IV.4. Potencial natural óptimo para la práctica de actividad de conservación y pecuario.

Anexos (continuación)

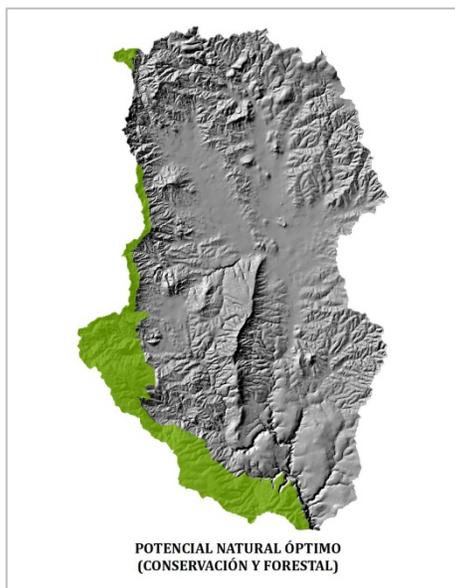


Figura IV.5. Potencial natural óptimo para la práctica de actividad de conservación y forestal.

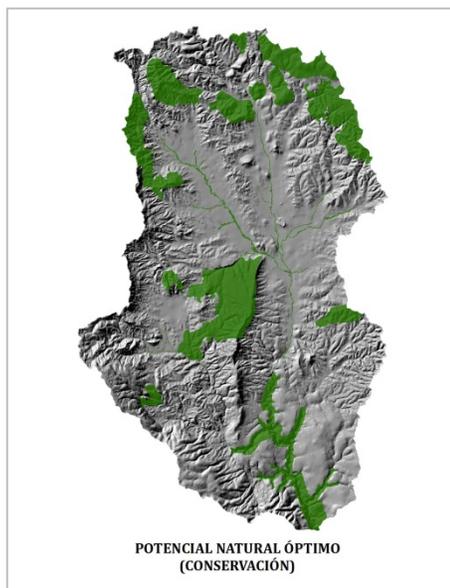


Figura IV.6. Potencial natural óptimo para la práctica de actividad de conservación.

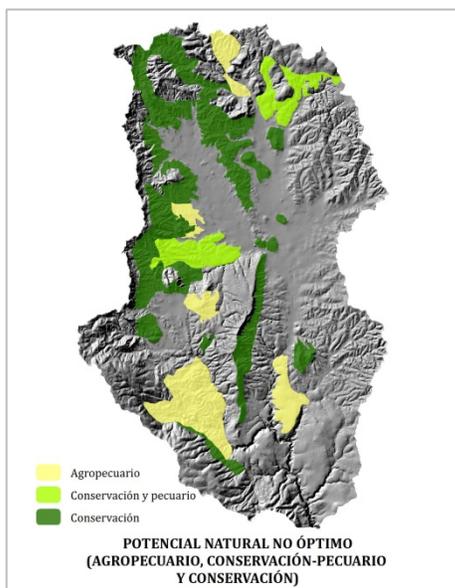


Figura IV.7. Potencial natural no óptimo (agropecuario, conservación-pecuario y conservación).

Anexos (continuación)

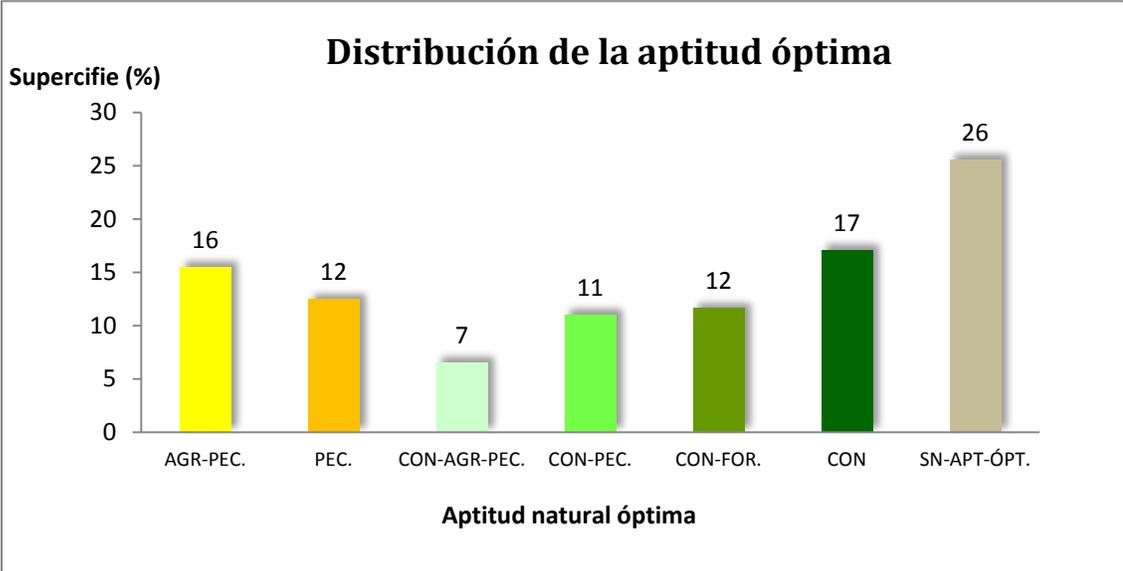


Figura IV.8. Distribución de la aptitud natural óptima en la cuenca del río Grande. Oaxaca.

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía

Caracterización y diagnóstico biofísico
para el Ordenamiento Ecológico Territorial
en la cuenca del Río Grande (Oaxaca)
usando Percepción Remota
y Sistemas de Información Geográfica

Marco Antonio Pablo Pablo

Contacto:

geomorfologiaunam@hotmail.com

vulcanismo.en.geografia.unam@gmail.com

Blog: <http://quehaceungeografo.blogspot.mx>

Ciudad Universitaria, México D.F., enero 2014.