



# **CRÉDITOS INSTITUCIONALES**

**PROYECTO REALIZADO EN:**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS  
AMBIENTALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES**

**CON FINANCIAMIENTO DE:**

**CONVENIO SEP-81601-CIENCIA-BÁSICA**

**PROPUESTA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DE LA ACTIVIDAD TURÍSTICA EN LA COSTA  
SUR-OCCIDENTAL DEL PACÍFICO MEXICANO, CON BASE EN LA ASIMILACIÓN ECONÓMICA  
DEL TERRITORIO.**

**A TRAVÉS DEL PROYECTO DENOMINADO:**

**CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL/USO DEL SUELO Y ESCENARIOS  
FUTUROS EN TRES MUNICIPIOS DE LA REGIÓN COSTERA DEL ESTADO DE  
OAXACA, MÉXICO.**

**AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS**

**Becario No. 416242**

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS  
DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

## **Agradecimientos Institucionales:**

A los Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, por la oportunidad de formarme como Maestro en Ciencias Ambientales.

A la Escuela de Ciencias Sociales y Humanidades, por todo el apoyo brindado y facilidades otorgadas para concluir los estudios de posgrado. Con gran respeto y admiración a todo el personal administrativo (Sra. Maricela, Sra. Graciela, Sra. Tina, Sra. Erika, Sra. Gloria, Sra. Rosario, Hermes, Pepe, Ing. Enrique, Ramiro, Alejandro y el Lic. Daniel) por su siempre atención a mi persona.

Al personal de Agenda Ambiental, por todas las facilidades otorgadas durante el proceso de mi formación (Mtra. Maricela, Farah, Lorena, Karla, Laura Begbeder).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada durante mi formación y poder realizar mi estudios de maestría.

Al proyecto "PROPUESTA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DE LA ACTIVIDAD TURÍSTICA EN LA COSTA SUR-OCCIDENTAL DEL PACÍFICO MEXICANO, CON BASE EN LA ASIMILACIÓN ECONÓMICA DEL TERRITORIO" por los recursos otorgados para la realización del trabajo de campo y cursos de capacitación.

A la Universidad de Granada, España del Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física por el cálido recibimiento y darme una hospitalidad llena de conocimientos adquiridos durante mi estancia.

A la Secretaría de Posgrado de la UASLP por la beca otorgada para la realización de una estancia académica en la Universidad de Guadalajara del Departamento de Políticas Públicas, División de Economía y Sociedad. Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas.

## **Agradecimientos Personales:**

### **Dr. Humberto Reyes Hernández**

Con profundo agradecimiento, por la paciencia y su siempre disponibilidad a mi persona. Por cada consejo dado y por esa forma particular de darme motivos. Por seguir confiando en mí, y motivarme a seguir trascendiendo para lograr mis objetivos. No tengo forma de agradecer todo el apoyo brindado y hacerme creer que puedo salir adelante. Gracias por formarme como Geógrafo, ahora como Maestro en Ciencias y todos los logros obtenidos durante mi formación, lo cuales sin su acertada asesoría no hubiera sido posible.

### **Dr. Oscar Reyes Pérez**

Profesor, gracias por todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, por esa forma tan peculiar de exigir para el bien de uno. Por todo lo aprendido en las seis materias en la licenciatura que tuve la fortuna de llevar con usted. Gracias por el apoyo económico para la realización del trabajo de campo de la maestría y por la disposición para formar parte de comité tutelar, así como también por sus sugerencias muy enriquecedoras.

### **Dr. José Luis Flores Flores**

Profesor fue muy grato trabajar con usted, por enseñarme la importancia de la interdisciplinariedad y esas observaciones conceptuales tan complejas pero muy acertadas y fundamentales en mi proyecto de tesis. Le agradezco también su siempre disponibilidad para formar parte de mi comité y a cada reunión de avances de seminarios de tesis. Gracias por todo lo aprendido durante la materia de ecología y las pocas charlas pero muy enriquecedoras en su oficina.

### **Dr. Francisco Javier Sahagún Sánchez**

Mi estimado Javo, gracias por la paciencia otorgada durante la estancia en la Universidad de Guadalajara, por ese tema tan puntual que me recalcaste de la

“Gobernanza” y por lo complejo que resultaría trabajar con DINAMICA. Pero siempre con gran disponibilidad para comprender y analizar cada paso para el modelado. También quiero darte las gracias por aceptar en formar parte de mi desarrollo profesional y la disponibilidad en acudir al examen de grado, el cual fue muy enriquecedor con tus observaciones y preguntas.

### **Profesores de la UASLP**

A todos los profesores que formaron parte durante mi proceso profesional les agradezco mucho todos los conocimientos adquiridos fuera y dentro de las aulas. A la Mtra. Lucy Nieto, Dra. Paty, Dr. Valente, Dr. Marco Durán, Dr. Palacio, Dr. Careta, Dra. Laura, Dr. Avalos, Dr. Medellín, Dr. Fortanellí, Dr. Flores Cano, Dr. Pedro Castillo, Don José García, Dr. Aguirre, Dr. Aguilar. Gracias por todo el apoyo brindado.

### **A los Profesores de la Universidad de Granada, España.**

Dra. Teresa Camacho, Dr. Rafael Machado, por esas prácticas de campo tan enriquecedoras, al profesor Rafa, por esas caminatas con el famoso café cortado y por compartirme sus experiencias como geógrafo y apoyarme durante mi estancia.

### **Compañeros y amigos**

A cada una de las personas que tuve la fortuna de conocer durante la maestría, por las reuniones tan placenteras con el fin objetivo de convivir, bailar y pasarla bien, gracias a cada persona: Gabo, Ulises, Juaritos, Escot, Victor, Marino, Machaka, Sarah, Adriana, Andrea, Diana, Paola, Carlos, Douglas, Viri, Yuri, Angy, Diana Navarro, Gloria, Sandra, Ángeles, Karina Maldonado, Dulce, Andrea Terán, Sussane, Julia, Kata, Paloma, Blanca. Y especialmente a Karina Calderillo, por todo lo vivido durante la maestría, gracias por todo lo bueno y lo malo, por cada enseñanza y por la dicha de haberte conocido.

## **Dedicatorias:**



Nuevamente este esfuerzo va dedicado a mi señora madre, el cual sin su apoyo de lo más alto del cielo no hubiera sido posible este logro más. Madre, donde quiera que estés, te quiero mucho, nunca me desampares, siempre cuídanos a todos tus hijos y guíanos por el buen camino. Ayúdame a seguir logrando todos mis objetivos y dame las fuerzas para seguir adelante. Te amo Mamá.

### **A mis hermanas:**

Queridas hermanas nuevamente concluyo una etapa más en mi vida, que sin su apoyo esto no hubiera sido posible. Gracias por seguirme ayudando y seguir creyendo en mí, las amo mucho y ustedes son mi orgullo por todo lo que han hecho por mí y las valoro por las grandes personas que son. Ruth, Isabel, Cinthia, Argelia: no tengo con que pagarles todo lo que me han dado, dios quiera pronto ayudarlas ahora ustedes y devolverles un poco de lo mucho que me han dado. Pronto dios nos recompensará por todos los sacrificios y austeridades que hemos vivido. Nuevamente gracias y las quiero mucho.

### **A mi carnal;**

Brother, tu sabes que fuiste y eres mi ejemplo a seguir por enseñarme a trabajar desde pequeño, aunque me caciqueabas con la paga en la tienda de dulces o por cada dulce que me comía. Gracias hermano y no dejes de luchar por tus ideales, que recuerda que también eres un guerrero. Te quiero hermano.

### **A mi familia;**

A toda mi familia le agradezco el apoyo brindado y por ayudarme cuando lo necesitaba: primos, tíos, sobrinos, a cada uno de los integrantes de mi familia les doy las gracias por seguir creyendo en mí.

## Contenido

Resumen: .....	10
Abstract:.....	11
1. - Introducción: .....	13
1.1.- Justificación:.....	15
1.2.- Objetivo general:.....	16
1.3.- Objetivos particulares:.....	16
2.- Revisión de literatura: .....	17
2.1.- Importancia en los análisis del cambio de uso del suelo:.....	17
2.2.- El cambio de cobertura/uso del suelo como indicador ambiental ...	19
2.3.- Los Procesos de cambio en la cobertura/uso de suelo en áreas de alta biodiversidad.....	20
2.4.- Deforestación .....	21
2.5.- Modelos predictivos de cambio de uso del suelo: .....	23
2.6.- Problemas en México por el cambio en la cubierta vegetal y uso de suelo. ....	26
2.7.- Restauración ecológica.....	27
2.8.- Turismo en México y sus principales implicaciones: .....	28
3.- Caracterización de la zona de estudio.....	30
3.1.- Ubicación .....	30
3.2.- Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca .....	31
3.3.- Características Físicas.....	33
3.3.1.- Fisiografía.....	33

3.3.2.- Clima .....	34
3.3.3.- Edafología: .....	36
3.3.4.- Geología:.....	37
3.3.5.- Hidrología .....	39
3.3.6.- Vegetación:.....	41
3.3.7.- Aspectos socio-económicos .....	43
4.- Materiales y métodos:.....	47
4.1.- Método de interpretación visual de la cubierta vegetal y uso del suelo: .....	47
4.1.1.- Análisis espacial: .....	47
4.2.- Sistema clasificatorio de la cubierta vegetal y uso del suelo.....	50
4.3.- Identificación y cuantificación de la superficie deforestada y cálculo de la tasa de deforestación.....	53
5.- Método de modelización y simulación espacial con DINAMICA .....	54
6.- Resultados.....	62
6.1.- Análisis en la cubierta vegetal y uso del suelo .....	62
6.1.2.- Municipio de Santiago Jamiltepec: .....	63
6.1.3.- Santa María Colotepec:.....	69
6.1.4.- Santa María Tonameca: .....	74
6.1.5.- Tipos de cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo:.....	79
7.- Escenarios futuros:.....	81
7.1.- Matrices de transiciones de coberturas para los periodos 2005- 2011.....	81
7.2.- Municipio de Santiago Jamiltepec: .....	81



---

7.3- Municipio de Santa María Colotepec:.....	84
7.4.- Municipio de Santa María Tonameca:.....	86
7.5.- Proyección de escenarios futuros: .....	89
7.5.1.- Santiago Jamiltepec: .....	89
7.5.2.- Santa María Colotepec:.....	95
7.5.3.- Santa María Tonameca:.....	100
8. - Discusión:.....	105
9.- Conclusiones:.....	114
10. - Bibliografía:.....	117

## Resumen:

La presión de las actividades humanas ha propiciado que una gran parte de los ecosistemas de México tengan impactos ambientales severos, alterando de forma irreversible a corto plazo su cobertura vegetal. Las consecuencias de estos procesos incluyen, alteración de la estructura y composición de los ecosistemas, la modificación de los ciclos hidrológicos, la fragmentación de hábitats y la pérdida de la biodiversidad, entre otros. El objetivo de este trabajo es analizar la dinámica espacial y temporal de los procesos de deforestación y cambios en el uso del terreno en los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, región costera del estado de Oaxaca, México, y modelar escenarios futuros de cambio. Estos municipios son considerados importantes para la conservación y la actividad turística que se desarrolla en la región costera de Oaxaca. El estudio se basó en la interpretación y análisis visual de imágenes de satélite Spot 2011 y Landsat 2005 y 2000 de la cual se obtuvieron tres mapas no verificados de uso del terreno y vegetación para cada municipio. Posteriormente se realizó la simulación al futuro obteniendo un escenario de susceptibilidad al cambio actual y las proyecciones de cambio potencial, con base a un modelo espacialmente explícito, basado en la técnica de autómatas celulares mediante el programa DINAMICA EGO. Los resultados de álgebra de mapas indican que en el municipio de Santiago Jamiltepec perdió 22,375 ha de bosque mesófilo y selvas en el periodo 2000-2011, que pasaron principalmente a pastizales los cuales se incrementaron en 20,713 ha durante el mismo periodo. Santa María Colotepec perdió 7,308 ha de selvas y bosque de pino-encino. Finalmente en Santa María Tonameca se cuantificó una pérdida de 11,948 ha de selva y manglares. Los escenarios futuros modelados con DINAMICA indican que de continuar esta tendencia para el 2025 en Santiago Jamiltepec se habrán perdido 10,298 ha de bosque mesófilo y selvas. En Santa María Colotepec se perderá 6,653 ha de selvas y bosque de pino-encino. Finalmente en Santa María Tonameca se perderán 8,044 ha de selvas y manglares. Al respecto es

fundamental definir las estrategias con mejores precios de garantía, menos tasa de natalidad, cambio de modelado económico y acciones que permitan disminuir la pérdida de los ecosistemas y los servicios ambientales que proveen.

Palabras clave: *Cambio de uso del suelo, modelación, región costera de Oaxaca.*

### **Abstract:**

The pressure of human activities has led to a large part of Mexico ecosystems have severe environmental impacts, irreversibly altering their short term cover. The consequences of these processes include, altering the structure and composition of ecosystems, changes in hydrological cycles, habitat fragmentation and loss of biodiversity, among others. The aim of this paper is to analyze the spatial and temporal dynamics of deforestation and changes in land use in the municipalities of Santiago Jamiltepec, Santa Maria Colotepec and Santa Maria Tonameca coastal region of the state of Oaxaca, Mexico, and modeling future scenarios of change. These municipalities are considered important for conservation and tourism that develops in the coastal region of Oaxaca. The study was based on visual interpretation and analysis of satellite images Landsat Spot 2011 and 2005 and 2000 of which three maps were obtained unverified land use and vegetation for each municipality. Later the forward simulation scenario to obtain a susceptibility to current change and potential change projections, based on spatially explicit model based on cellular automata technique by EGO DINAMICA program. The map algebra results indicate that in the municipality of Santiago Jamiltepec lost 22,375 hectares of forest and cloud forests in the period 2000-2011, which went mainly to pasture which has increased by 20,713 during the same period. Santa Maria Colotepec has lost 7,308 jungles and pine-oak forest. Finally in Santa Maria Tonameca loss was quantified 11,948 hectares of forest and mangroves. Future scenarios modeled DINAMICA indicates that this trend continues in 2025 in Santiago Jamiltepec will be lost 10,298 hectares of forest and cloud forests. In

Santa María Colotepec 6,653 must be lost jungles and pine-oak forest. Finally in Santa Maria Tonameca 8,044 must be lost forests and mangroves. In this regard it is essential to define strategies guarantee better prices, less birth rate, economic modeling change and actions to reduce the loss of ecosystems and ecosystem services they provide.

Keywords: land use cover change, modeling, and coastal region of Oaxaca.

## 1. - Introducción:

La cubierta vegetal y uso del suelo son dos de los elementos que mejor evidencian la transformación de la superficie terrestre por parte de la acción humana a través del tiempo. El impacto derivado de estos procesos, se relaciona con la deforestación y la fragmentación de los ecosistemas, la desertización, la alteración de los ciclos hidrológicos, la pérdida de la diversidad biológica y el incremento de la vulnerabilidad de los grupos humanos. Datos recientes indican que en el 2000, los boques y selvas de América Latina se habían reducido en más de un 50% de su cobertura original; en particularmente en países como Brasil, México y Costa Rica fueron el centro de las mayores alteraciones (Velázquez *et al.*, 2002a; 2002b; Bocco *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2001; Vitousek *et al.*, 1997; Reyes *et al.*, 2009).

Los procesos de cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo ocurren en una intrincada dinámica que depende del tipo de cobertura, las interacciones ecológicas, el ambiente físico, las actividades socioeconómicas y el contexto cultural (Dale y Beyeler, 1994). Aunque estas interacciones ocurren y se comportan de manera predecible, otros responden a fenómenos estocásticos. La ocurrencia de dos o más factores vinculados con los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo pueden provocar un efecto sinérgico, al suceder de manera simultánea o por lo contrario, inhibir determinados procesos (Phillips, 1997).

Los cambios en la cubierta vegetal, generalmente se asocian con dos aspectos distintos aunque relacionados: el cambio en cobertura y el cambio en uso del suelo. La cobertura vegetal del terreno se refiere al estado físico en que se encuentra el terreno, incluyendo su carácter biótico y físico. El uso del terreno como se denomina comúnmente, tiene una connotación básicamente social en que se describe la forma del sistema de manejo en que el terreno es aprovechado por actividades humanas (Turner y Meyer, 1994).

En virtud de que los cambios en el uso de terreno tienen un origen multifactorial, deben ser analizados en distintas escalas temporales y espaciales (Geist y Lambin, 2002). Por ello, es necesario generar datos DRAE información dispuesta de manera adecuada para su tratamiento por un ordenador e información, adquisición de conocimientos que permiten ampliar o precisar los que se poseen sobre una materia determinada sobre las variables ambientales de tipo biofísico y socioeconómico, que se presume tienen influencia sobre la dinámica de los cambios (Berry *et al.*, 1996). En los últimos años se han desarrollado modelos espacialmente explícitos para evaluar los cambios de uso del terreno que incluyen diversos aspectos relacionados con los procesos y patrones de cambio en el terreno, como estrategia para entender lo que pasa y prevenir y/o mitigar los impactos negativos derivados de las transformaciones humanas y alcanzar así los objetivos de la conservación de especies (Forester y Machlis, 1996). Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos en este campo, persiste una carencia de datos cuantitativos que permitan determinar a detalle los procesos, la ubicación y la magnitud de los cambios en el uso de suelo en muchas de las regiones alrededor del mundo (Meyer y Turner, 1994).

Al respecto la ordenación del territorio, tiene un enfoque está dirigido hacia un desarrollo socio-económico equilibrado. Busca la mejora de la calidad de vida, la gestión racional del aprovechamiento de los recursos naturales, la protección del medio ambiente, debido a que los recursos naturales son parte del ambiente, en sentido estricto y a través de un uso adecuado del territorio resulta fundamental para lograr un buen manejo de los recursos naturales (Santos *et al.*; 2002).

### **1.1.- Justificación:**

La creciente presión de las actividades humanas sobre las comunidades vegetales ha provocado modificaciones sustanciales en su estructura y dinámica natural, particularmente a través de los procesos de cambio en la cobertura y uso del terreno. Por lo tanto, surge la necesidad de investigar estos procesos de cambio en el uso del terreno en zonas de alta biodiversidad, como es el caso del estado de Oaxaca, cuyo territorio, alberga además un enorme patrimonio natural y cultural propio. Por tal motivo, es necesario analizar los principales procesos de cambio en el uso del terreno simultáneamente en estas regiones. Comprender, identificar y analizar estos procesos, así como definir los mecanismos y factores que influyen en su dinámica reciente y actual así como modelar su posible trayectoria en el futuro. Los modelos de cambio de cobertura/uso del suelo son herramientas que pueden ayudar a entender mejor los procesos de cambio, a predecirlos y a construir escenarios en los cuales se trata de predecir las consecuencias de ciertas acciones o políticas.

## **1.2.- Objetivo general:**

Estudiar y caracterizar la dinámica de cambio en la cubierta vegetal y uso del terreno en los municipios de Santa María Tonameca, Santa María Colotepec y Santiago Jamiltepec de la costa del Pacífico mexicano y establecer los escenarios futuros del paisaje.

## **1.3.- Objetivos particulares:**

- Analizar los cambios de la cobertura vegetal y uso del terreno en los tres municipios de la zona de estudio para el periodo 2000-2011
- Identificar las probables variables importantes relacionadas con los procesos de cambio observados
- Modelar los posibles escenarios futuros del paisaje al 2025 en los tres municipios en cuestión.



## **2.- Revisión de literatura:**

### **2.1.- Importancia en los análisis del cambio de uso del suelo:**

El paisaje es un complejo dinámico en términos de los patrones espaciales, estructurales y funcionales (Dunn *et al.*, 1991; Forman, 1995; Hobbs, 1997; Citados en Rosete, 2008). Por lo cual, el conjunto de componentes espaciales del paisaje está definido por la combinación de factores biofísicos y socio-económicos. En la escala temporal de décadas, las actividades humanas que impactan el uso del terreno son el factor clave en la forma que ocurren los cambios del paisaje. Algunos de ellos son provocados por prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos del suelo (Medley *et al.*, 1995; Pan *et al.*, 1999).

Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del terreno son temas atractivos para la investigación ambiental actual (Bocco *et al.*, 2001), debido a las implicaciones que estos conllevan con relación a la pérdida de hábitat, de diversidad biológica, servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas (Rosete, 2008), pero sin los cuales la satisfacción de necesidad de nuestra especie no sería posible. Son también reconocidos como uno de los factores más importantes del cambio global y representar la segunda fuente antrópica de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Campos *et al.*, 2004). Son consecuencia de la explosión demográfica y de asimetrías económicas de la sociedad.

El cambio en la cobertura y uso del terreno es un tema que unifica las diferentes dimensiones del cambio ambiental global (Manson, 2006; citado en Rosete, 2008). Su estudio requiere de la interdisciplinariedad porque se hace uso de conceptos, información y métodos de diferentes áreas del conocimiento. Pero en esencia es un tema que ha sido abordado o liderado por geógrafos.

Las actividades humanas son reconocidas como las principales fuerzas que transforman la biosfera y responsables de la mayoría del cambio contemporáneo en los paisajes (Skole *et al.*; Kummer y Turner II, 1994; Meyer y Turner II 1994;

Forester *et al.*, 1999). Los cambios experimentados en los ecosistemas terrestres son producidos por el mantenimiento del uso del terreno o por la intensificación de su uso, y la degradación subsecuente de la tierra (Rosete, 2008). Se considera que la deforestación y las presiones humanas que ejercen sobre la tierra para la producción de cosechas y la mecanización desmedida, son unas de las principales causas que inciden en la transformación del uso del terreno.

La degradación del suelo es comúnmente definido como un proceso inducido por el ser humano que a su vez, pierde importantes propiedades como consecuencia de una inadecuada utilización. La mayoría de las definiciones reconocen las conexiones implícitas entre las diferentes unidades del paisaje, tales como la relación entre las laderas y las llanuras de inundación (Rosete, 2008). Lambin (1997), señala que la mayoría de los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres se deben a tres factores: 1) la conversión de la cobertura natural del terreno, 2) degradación del terreno, 3) intensificación en el uso del terreno. Estos procesos, que usualmente se engloban en lo que se conoce como deforestación, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas.

Tanto la cubierta vegetal como el uso del terreno son dos elementos clave que describen, pero también importantes para tomar decisiones de uso y manejo por el decisor humano, al ambiente terrestre en la relación con sus atributos naturales y las actividades humanas que se desarrollan en él. El primer concepto se aplica a aquellos objetos de origen natural (montañas, ríos, lagos, etc.) o construidos y mantenidos por el hombre (carreteras, presas, ciudades, etc.). El segundo concepto se refiere al tipo de actividad antrópica que se desarrolla en la superficie de la tierra con la finalidad de producir bienes y servicios para satisfacer las demandas de la sociedad en su conjunto.

## **2.2.- El cambio de cobertura/uso del suelo como indicador ambiental**

En la actualidad, existe una gran necesidad por abordar los cambios de cobertura/uso del suelo, sus formas y sus causas ya que proporcionan la base para conocer e inferir sobre las directrices del proceso (Farfán, 2009). De esta manera la dinámica espacio-temporal de la cobertura vegetal y las actividades antrópicas se relacionan con el uso del suelo. La investigación bajo este enfoque requiere de una orientación interdisciplinaria y diacrónica, con la concurrencia de disciplinas sociales y naturales, y desde perspectivas cualitativas y cuantitativas. Sin embargo, los trabajos hasta ahora realizados, solo plantean índices que describen las dinámicas de cambio de las coberturas y sus usos (Mas *et al.*, 2002; 2004).

Los métodos que se utilizan para calcular cuantitativamente los cambios en la vegetación son muchos. Un primer ejemplo para aproximarse al problema puede ser mediante la comparación numérica de superficies informadas por organismos o autores para diferentes tipos de coberturas en distintas fechas. Pero sin embargo este tipo de estudios no ofrece una expresión cartográfica, debido a que no se conoce confiablemente de la información usada (Farfán, 2009). Otros métodos que se pueden usar son la estimación mediante la extrapolación de la información obtenida por muestreo en campo y generada para algunos sitios.

Velázquez y colaboradores (2002a) compararon la cartografía existente elaborada para el mismo sitio en fechas diferentes por distintos investigadores. Esto es posible siempre y cuando la escala, el número de clases y el sistema clasificatorio sean compatibles. Otros análisis la comparación de imágenes de satélite de diferentes fechas procesadas y clasificadas en categorías, clases o tipo de coberturas a través de métodos tanto visuales o automatizados (Mas, 2002). Luego estas cifras pueden ser convertidas en estimaciones de probabilidad de cambio. Este método puede ser aplicado en zonas montañosas con coberturas forestales (Farfán, 2009).

### **2.3.- Los Procesos de cambio en la cobertura/uso de suelo en áreas de alta biodiversidad.**

El empobrecimiento de los ecosistemas ha sido documentado con frecuencia por estudios que presentan las tasas de pérdida de bosques (Walhberg *et al*, 1996; Groombridge y Jenkins, 2000). Sin embargo no han sido suficientes para detectar, detener y eventualmente revertir los procesos de cambios negativos en la cobertura del uso del suelo y los procesos de cambio.

La ubicación y distribución de estos procesos, son considerados como un punto de referencia fundamental para llenar el vacío entre la detección de problemas y recomendar al menos acciones de conservación. Por ellos es importante desarrollar nuevos métodos rápidos y precisos que ayuden a reconocer los patrones de los procesos de cambio de uso/cobertura del suelo (LUCC. Por sus siglas en ingles). Esto es especialmente crucial en las regiones tropicales, en donde el resultado de los procesos negativos de cambio de uso y cobertura del terreno (LUCC) en la desaparición de uno de sus ingresos más valiosos. (Velásquez *et al*, 2002).

A los trabajos realizados en este sentido se les conoce como “análisis del cambio de uso/cobertura del terreno” (LUCC por las siglas en ingles de “land use/cover change”). Los cambios en la cobertura terrestre corresponden a los atributos biofísicos de la superficie de la tierra, en contraparte con los usos de suelo, que son los cambios desencadenados por los propósitos humanos. Por ello su clasificación depende de los objetivos que persigue cada estudio (Farfán, 2009).

Se estima que en el siglo pasado, México probablemente disminuyó su cobertura forestal a la mitad. Actualmente las tasas anuales de deforestación se calculan en el orden de 500,000 ha por año, derivado a los cambios en el uso y la cobertura del terreno. Estos datos deben ser preocupantes, porque en zonas de alta biodiversidad, como en los estados de Oaxaca, Chiapas, Michoacán y

Guerrero, ya que son regiones donde se albergan un mayor patrimonio cultural mexicano (Velásquez, 2002).

Según la FAO (1995) la conversión en la cobertura forestal tropical alcanzó un promedio de 15.5 millones de hectáreas por año en el periodo de 1981-1990, lo que se traduce en una tasa anual de deforestación de 0.8%. El informe 2005 de la FAO, (FAO, 2005<sup>a</sup>), sobre la situación forestal en América Latina y el Caribe, identifica se identifica que Mesoamérica fue la región del continente con mayor tasa anual de deforestación (1.2%) para el periodo 1990-2000.

Según la FAO (2010) la tasa de transformación de los bosques y selvas en México ha disminuido, pero sigue siendo alarmante, debido a que 13 millones de ha de bosques cambiaron su uso del terreno, mientras que en la década de los noventa, se perdieron casi 16 millones de hectáreas anuales.

## **2.4.- Deforestación**

La deforestación según la FAO (2010), es la transformación del bosque en otro uso (que significa eliminarla por completo) de la tierra o reducción a largo plazo de la cubierta de copa por debajo del umbral, mínimo del 10 por ciento. La deforestación es la causa principal de la pérdida de protección del suelo y con ellos inician los diferentes procesos erosivos. A nivel regional esto conduce a la pérdida forestal, deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y desestabilización de cuencas. A escala planetaria esto altera el balance de agua atmosférica, afectando patrones, así como al calentamiento global. Otra de las consecuencias es la reducción del hábitat y/o su fragmentación, con la consecuentemente pérdida de la biodiversidad y a la de variabilidad genética, de poblaciones y hasta de especies (Meli, 2003). Este proceso está asociado a diversos impactos ambientales, como al disturbio de los servicios ambientales, erosión, alteración de los regímenes hidrológicos, y el incremento de emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero y por la descomposición del mantillo o por la alteración del régimen de aireación y humedad del suelo. También se

relaciona con la disminución de la disponibilidad de hábitats y la pérdida de biodiversidad (Wilson, 1998; Dale *et al.*, 1993; García-Oliva *et al.*, 1994; Naeem, *et al.*, 1994; Pimm, 1995; Fernside, 1996; Landa *et al.*, 1997; Maserá *et al.*, 1997; Kaimowitz y Angelsen, 1998).

El cambio en la cobertura vegetal y la fragmentación del hábitat no necesariamente se asocian con pérdidas en todos los componentes de la biodiversidad (Landa *et al.*, 1997; Cuarón, 2000), pero el empobrecimiento/simplificación y alteración de los ecosistemas naturales suele ser la regla más que la excepción. Finalmente, los cambios en el uso del terreno afectan también las condiciones sociales y económicas de la población (Dale *et al.*, 1993). Debido a que es una causa y un efecto que incide en la capacidad de sostenimiento de los ecosistemas con fines antrópicos y generalmente se deja de lado los efectos sobre otras especies animales y vegetales.

Entre los factores físicos y ecológicos relacionados con los procesos naturales de cambio, en las comunidades vegetales destacan las fluctuaciones demográficas sucesionales de las distintas poblaciones que las constituyen, características del relieve, propiedades del suelo, disponibilidad de fuentes de agua (estos factores organizan zonación más que cambios temporales), estructura de la vegetación, su estado sucesional y mecanismos de regeneración. Además inciden fenómenos climáticos como las tormentas y huracanes, e incluso los incendios son disturbios que si ocurren de manera natural son parte de la historia natural de las especies naturales. Sin embargo, la mayor parte de los cambios en los ecosistemas forestales son provocados por actividades humanas (Lambín, 1997; Nepstad, *et al.*, 1999).

Noble y Dirzo (1997), estimaron que el 3.54 mil millones de ha, equivalente a casi un tercio de la superficie terrestre continental, aún se encuentra bajo cubierta vegetal natural. Sin embargo, la cantidad de la cobertura boscosa en relación directa con la población humana, ha venido en declive de 1,2 ha per cápita en 1960 a 0.6 ha per cápita en 1995; y la posibilidad para el año 2025 es de

0.4 ha per cápita (Velázquez *et al.*, 2002). En el continente americano los boques y las selvas podrían disminuir a 366 millones de ha, es decir que el 52.8 por ciento de los 693 millones con que originalmente contaba esta región. Esta se considera la mayor transformación que ha ocurrido en Centro y Sudamérica y se ubica principalmente en Brasil, México y Costa Rica quienes contribuyen con un 32 por ciento del total estimado (FAO, 1995a).

En este contexto la situación es de suma importancia, mejorar la calidad de los mecanismos de evaluación, seguimiento y predicción de escenarios para que sean más confiables y que describan la dinámica del capital natural que resguarda México en sus diversos ecosistemas. De esta manera, es necesario contar con bases de datos multifechas, compatibles en sus categorías y con alta calidad geográfica, que permitan cubrir con estas demandas. Este tipo de trabajos y con cobertura para todo el país, son escasos y no completamente compatibles (Velázquez *et al.*, 2002).

## **2.5.- Modelos predictivos de cambio de uso del suelo:**

En México, por los métodos empleados, la utilización de los modelos predictivos sobre cambio de uso del suelo es muy heterogénea. Algunos trabajos solamente proyectan al futuro las tasas de deforestación identificadas para una región y un periodo de tiempo dado (Rosete, 2008). Mientras que otros incorporan modelos de mayor complejidad a nivel de escala y detalle de precisión en las clases de coberturas (Mas *et al.*, 1996; López *et al.*, 2001; Geoghegan *et al.*, 2001).

Los ejemplos internacionales de utilización de modelos predictivos de cambio de uso del suelo. Algunos de ellos han sido enfocados a temas muy concretos como el crecimiento de las ciudades (Rosete, 2008). Pero también se han desarrollado otros más complejos, con una visión integral, tomando en cuenta factores ambientales o las implicaciones sobre impacto al ambiente (Tang *et al.*,

2005), destacando la importancia de las características y factores locales para definir patrones subregiones de cambio de uso del terreno.

También se han realizado importantes esfuerzos para revisar las propuestas metodológicas existentes. Esto se ha hecho tanto en el ámbito de los procedimientos estadísticos utilizados como en la inclusión de diferentes variables, tanto biofísicas como socioeconómicas. Los trabajos de Lambin (1997), Irwin y Geoghegan (2001) y Agarwal *et al.*, (2002) son un buen ejemplo de ello.

Para comprender y predecir los cambios en el uso del terreno se han desarrollado diversos modelos, que básicamente se pueden agrupar en dos: 1) los modelos de investigación y 2) los modelos de política. Sin embargo, ambos deben de estar contruidos con buenas metodologías científicas y sustentadas y con datos adecuados.

Gran parte de las investigaciones en el cambio de cobertura y uso del suelo se desarrollan para analizar las relaciones entre uso del suelo y las variables socioeconómicas y biofísicas que actúan como las fuerzas causantes del cambio. Esas fuerzas directrices son generalmente subdivididas en dos grupos: causas proximales y causas subyacentes. Las causas proximales son las actividades y acciones que afectan directamente el uso del terreno, como por ejemplo, la construcción de una presa, mientras que las causas subyacentes son las fuerzas fundamentales que sostienen las causas proximales, lo que incluye factores demográficos, económicos, ambientales, tecnológicos, institucionales y culturales (Geist y Lambin, 2002).

Agarwal colaboradores (2002) proponen un marco de trabajo basado en tres dimensiones críticas para categorizar y resumir los modelos de la dinámica hombre-ambiente. El espacio y el tiempo son las primeras dos dimensiones y proporcionan un escenario común en el que operan los procesos biofísicos y humanos en un contexto temporal, en uno espacial, o en ambos. Cuando los modelos incorporan los procesos humanos, la tercera dimensión, definida como “la toma de decisiones”, se vuelve importante en sí misma.



Los cambios en el uso del terreno comúnmente son separados de los cambios en cobertura del suelo o de tipos de vegetación, a pesar de las similitudes en métodos y enfoques. De acuerdo con Brown y colaboradores (2000); citado en Rosete, (2008), las regiones con economías basadas principalmente en industrias extractivas de madera, hay un cambio de vegetación debido a que este uso asociada a la tala de árboles provoca una cobertura del terreno deforestada (Lambin, 1997). De esta manera, en países con una economía post-moderna y dirigida principalmente por la información, como Europa contemporánea y los Estados Unidos, la cubierta vegetal y el uso del suelo, son menos equivalentes.

Los procesos de cambio en el uso del terreno son prácticamente equivalentes a la deforestación. Esto sobre todo es cierto por el uso de imágenes de satélite y herramientas de SIG. No es posible distinguir cambios de porcentaje de cobertura en la vegetación o sus fases sucesorias. Se cambia el uso del suelo, en todo caso cuando la deforestación está dirigida a construir infraestructura (camino, edificaciones, presas, etc.) o practicar agricultura. Es un error conceptual debido a que usan herramientas de SIG pero la resolución espacial es baja. De esta manera, es importante el área mínima cartografiable y su relación con el concepto que se estudia (tierra, terreno, suelo comunidad vegetal o tipo de vegetación).

Aunque el análisis de cambio tiene implícita la escala temporal, la comparación de datos multitemporal, permiten identificar una dinámica del cambio para la región (Dirzo y García, 1992; Mendoza y Dirzo, 1999). Por ello, las series de tiempos permiten describir de mejor manera los procesos que operan en una región que la sola comparación de los estados inicial y final (Lambin, 1997).

La subdivisión del terreno en sistemas de distinto tamaño o escala, ayuda entonces a determinar la existencia o no de vínculos entre las variables que afectan ambas escalas. Cuando se extiende las interacciones entre los sistemas, es posible discernir respecto a los efectos acumulativos que actúan entre distintas escalas (Bailey, 1996). Una aproximación multiescalar permite identificar los

efectos ascendentes y descendentes que ocurren en un sistema. Dependiendo de la escala, distintas variables pueden considerarse endógenas o externas al sistema.

La mayor parte de la deforestación en México ocurre en áreas tropicales. Los parches creados ocurren a una escala espacial intermedia, en el orden de los cientos de miles de hectáreas, escala que no ha sido suficientemente analizada durante los últimos años (O'Brien, 1995; Maser, Ordoñez y Dirzo, 1997). Estudios de escalas grandes 1:10,000 pueden ayudar a entender el papel de algunas variables que afectan en escalas más finas.

## **2.6.- Problemas en México por el cambio en la cubierta vegetal y uso de suelo.**

La pérdida como un hecho en sí mismo, es el resultado final de una serie de procesos que han agotado la existencia y el suministro de una fuente de recursos en el tiempo y que puede llegar a ser irreversible. A la pérdida neta de la cobertura forestal se le conoce como deforestación y frecuentemente a estados insostenibles en el uso de la tierra (FAO 1995). El análisis es complejo y depende de los contextos en donde se realiza y con sus causas múltiples que interactúan en un territorio específico, definiendo diversas trayectorias de cambio a escalas variables (Farfán, 2009).

Existen pocas investigaciones sobre el cambio de cobertura/uso del suelo que han logrado integrar aspectos de la dimensión social del problema a través de las percepciones de los actores locales sobre los cambios ambientales sus posibles causas (Reid *et al*, 2000; Cárdenas-Hernández *et al*, 2005; Durand y Lazos 2008; citados en Farfán, 2009) o bien a través de los actores locales que deciden actúan a través de las plataformas fundadas desde los ámbitos institucionales, gubernamentales, privados, sociales y económicos para la gestión y apropiación de los recursos naturales (Farfán, 2009).

Sin embargo, no sólo es fundamental un análisis de la dimensión social bajo la cual opera la gestión de los recursos naturales. Por lo cual, es de suma importancia la necesidad de la información base que describa el estado, la composición y la estructura del recurso natural a utilizar ya sea con fines de conservación o de aprovechamiento. En México la gestión de los recursos naturales, requiere de información espacial del territorio, sobre todo a escalas detalladas o semidetalladas, particularmente, en los estudios de cambio de cobertura/uso del suelo respecta, donde existen problemas de indefinición en relación con los parámetros de la vegetación a considerar, la escala elegida para su representación espacial y su sistema clasificadorio (Velázquez *et al*, 2002).

## **2.7.- Restauración ecológica**

El manejo forestal es una actividad productiva que incuestionablemente reduce la integridad de los ecosistemas respecto aquellos en los que solamente actúan procesos ecológicos y evolutivos (Bawa y Sedler, 1998; Struhsaker, 1998; Hartshorn y Bynum, 1999). Sin embargo, no implica la conversión del uso del suelo a ecosistemas claramente producidos por la actividad humana, como son las áreas dedicadas a la agricultura, ganadería, o uso urbano.

Lo que es más alarmante desde el punto de vista biológico, es que en México se pierden anualmente entre 189,000 y 501,000 ha de bosque tropicales y entre 127, 000 y 167,000 ha de bosques templados (Masera *et al.*, 1997) sin que ocurra ningún esfuerzo por llevar a cabo un manejo forestal. A pesar de que nuestro país se ubica en el decimoprimer lugar mundial en términos de superficie forestal, ocupa tan solo el sitio 26 en cuanto a producción.

Bajo un enfoque ecosistémico, el manejo de un recurso debe ocurrir sin ignorar las consecuencias que su aprovechamiento puede generar en el ecosistema. Más aun, se busca reducir el aprovechamiento a una especie sino manejar el ecosistema de forma integral, valorando todos los posibles beneficios y servicio que el ecosistema puede aportar (Christensen *et al.*, 1996).

De esta manera, ha habido resultados favorables en el manejo de los recursos naturales, debido a avances notables hacia la inversión de la tendencia general de pérdidas de área de bosque, y algunas variables relativas a la extensión de los recursos forestales no muestran tendencias negativas de importancia, sino incluso una tendencia positiva a través del tiempo en algunos países y regiones (FAO, 2010).

Los datos sobre la extensión y las tendencias en el área de bosque y restauración ecológica son puntos clave para la toma de decisiones con respecto a política forestal y de uso de la tierra y a la asignación de recursos, pero debe combinarse con información sobre otros aspectos de los bosques en materia de restauración, junto con sus funciones y valores socioeconómicos y ambientales.

## **2.8.- Turismo en México y sus principales implicaciones:**

México se encuentra en el décimo lugar en la lista de países con mayor número de llegadas de turistas internacionales, con una cifra de 22.6 millones en 2008 y 21.5 millones en 2009, es el único país de Latinoamérica que figura entre los diez primeros; en primer lugar se encuentra Francia con 74.2 millones. Para los mismos años, sin embargo, México, junto con Malasia, son los únicos países en esta lista que figura en la lista de los diez países con mayores ingresos relacionados con el turismo (WTO, 2010).

El turismo por ende, se considera un factor de desarrollo económico en muchas economías nacionales, también es una de las actividades económicas con mayores impactos negativos en los recursos naturales, se basa en economías altamente estacionales, y tiende a la monopolización por pequeños grupos de grandes corporaciones transnacionales. Estas peculiaridades tienen un mayor efecto en las economías en desarrollo que se caracterizan por ecosistemas y economías vulnerables.

El enfoque de turismo de naturaleza, en particular, puede reducir costos e incrementar las ganancias mediante diversas fórmulas: mayores ventas y clientela,

mejor manejo y mitigación de riesgos, mayor productividad y actitud ética en los empleados, mayor satisfacción retención de empleados, eficiencia en el uso de recursos y reducción en los costos de operación, etc (Sánchez, 2011).

El turismo en México ha sufrido una transformación importante en su conceptualización, desde los tiempos en que se consideraba turismo de naturaleza cualquier actividad llevada a cabo en un entorno natural, por ejemplo, desde la observación de flora y fauna hasta la caza. De manera frecuente, o erróneamente, se realiza con medios de turismo tradicional, es decir de manera masiva y en ocasiones con requerimientos de infraestructura tales como lujosos hoteles, con impactos negativos en los ecosistemas y las formas de vida de las comunidades locales (Weaver, 2005).

Ningún tipo de turismo puede ser sostenible en la ausencia de planeación, monitoreo, evaluación y manejo, y el turismo de naturaleza sostenible, sólo puede alcanzarse cuando el comportamiento de los manejadores, tomadores de decisiones. Este comportamiento debe adherirse a los criterios que tienen como objetivo primario la sustentabilidad. Por lo cual, con estos criterios se realiza la evaluación del potencial de los paisajes, es decir, la determinación del potencial de aprovechamiento de los recursos naturales y servicios ambientales, a través de los tipos de utilización de la naturaleza permisibles (Mateo, 1998).

La estrecha relación que existe entre conservación del medio ambiente y el crecimiento de la actividad turística ha sido factor para la implementación de nuevas estrategias y planes de un desarrollo sostenible. Desde la perspectiva de la política del turismo, el deterioro ambiental también tiene un efecto negativo en sus ecosistemas a través de sus recursos naturales.

Gran parte de la diversidad biológica de México en las costas de México, a lo largo de los aproximadamente 11,000 km de litoral que albergan 167 municipios costeros, en las 17 entidades federativas costeras del país. Debido al crecimiento poblacional, así como al incremento de la inversión privada, en los últimos años se

ha afectado una mayor presión ambiental en los litorales, lo que ha traído nuevas formas de ocupación y aprovechamiento de los recursos naturales.

El desarrollo turístico inmobiliario en las costas (construcción de infraestructura básica, hoteles, condominios, campos de golf, marinas, obras complementarias, entre otros) ocasionan fuertes presiones ambientales a los ecosistemas costeros, los cuales son considerados frágiles (manglares, arrecifes, duna costera, marismas, etcétera), principalmente por la falta de una adecuada planeación y la inobservancia de la normatividad ambiental por parte de los inversionistas, ya que desarrollan sus proyectos turísticos sin contar con las autorizaciones federales ambientales (autorización de impacto ambiental y cambio de uso de suelo forestal) y patrimoniales (concesión, permiso o autorización) (PROFEPA, 2013).

### **3.- Caracterización de la zona de estudio**

#### **3.1.- Ubicación**

El estado de Oaxaca se localiza en la porción sureste de la República Mexicana, entre las coordenadas geográficas 18° 39' y 15° 39' de latitud norte, y entre los 93° 52' y 98° 32' de longitud oeste. Comprende una superficie de 93, 343 km<sup>2</sup>, que representa el 4.8% de la superficie total del país y lo ubica como el quinto estado más grande del territorio nacional. Está integrado por 570 municipios, agrupados en 30 distritos y estos a su vez en ocho regiones (Figura 1). Cuenta con una población de 3 801.962 habitantes (INEGI, 2010), el municipio más poblado es Oaxaca de Juárez con 256.130 habitantes; y Magdalena Jicotlán el menos poblado con 109 habitantes.

El territorio oaxaqueño comprende cinco provincias fisiográficas. La Provincia Sierra Madre del Sur ocupa la mayor extensión del territorio (79.5%), aquí se ubican seis subprovincias: Cordillera Costera del Sur, Sierra Orientales,

Sierras Centrales de Oaxaca, Mixteca Alta, Costar del Sur y Sierras y Valles de Oaxaca. La Provincia Cordillera Centroamericana abarca el 11.9% de la superficie estatal y está conformada por las subprovincias: Sierras del Sur de Chiapas y Llanuras del Istmo. La Llanura Costera del Golfo Sur ocupa 7.3% del área estatal. Finalmente las provincias Eje Neovolcánico y Sierras de Chiapas y Guatemala ocupan 1.08% del territorio oaxaqueño.

### **3.2.- Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca**

Los municipios, Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca están situados en la región costera del estado de Oaxaca, entre en las coordenadas 15° 45' latitud norte, 96° 33' longitud oeste y 16° 17' latitud norte, 97° 49' longitud oeste a una altitud que van desde los 50 a los 440 m (Figura .) (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

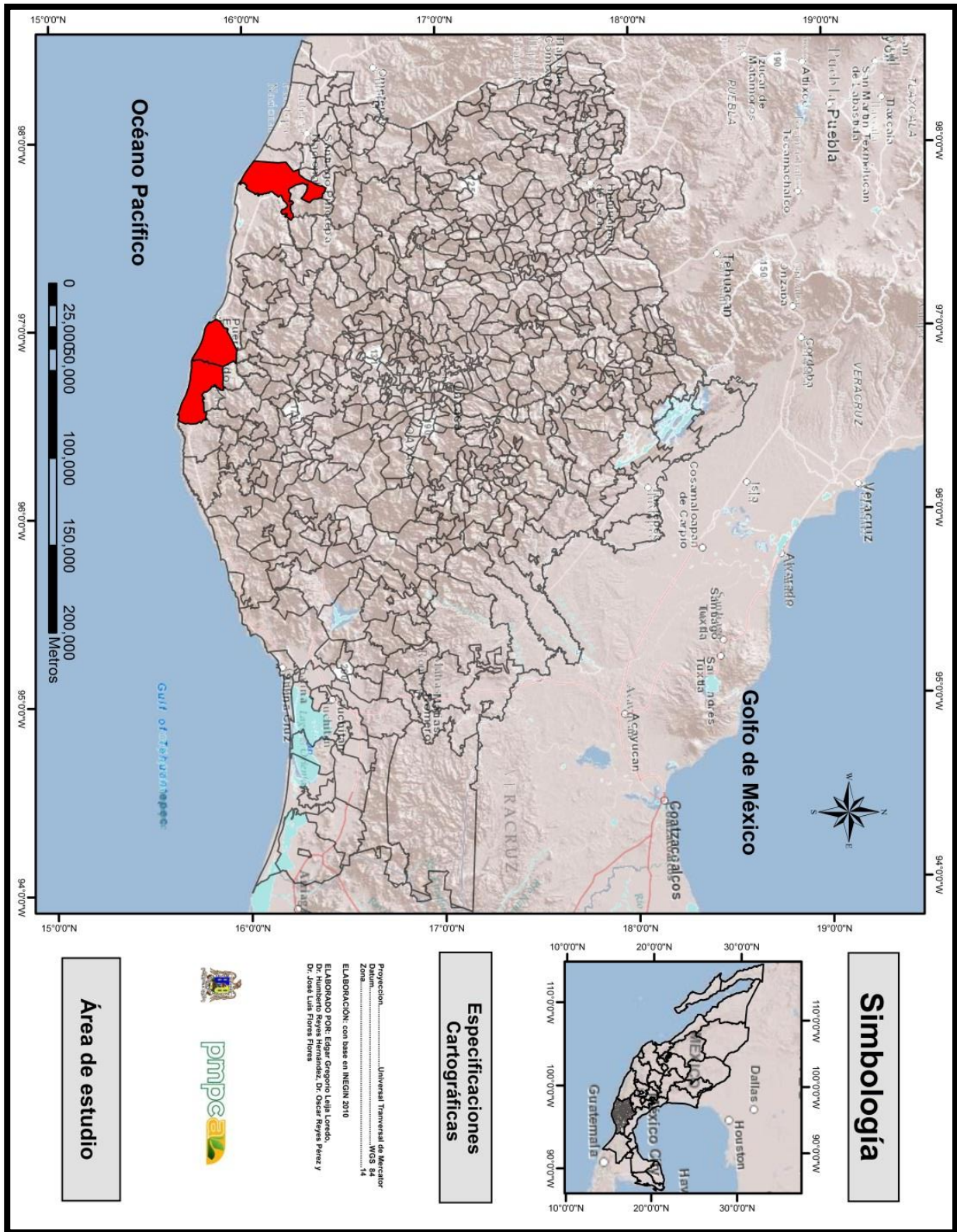


Figura 1.- Área de estudio



### 3.3.- Características Físicas

#### 3.3.1.- Fisiografía

Los tres municipios se encuentran en la Subprovincia Costas del Sur, comprende la angosta llanura costera del Pacífico, que va más o menos en sentido oeste-noreste y este-sureste, desde las cercanías de la desembocadura del río Coahuayana, límite entre Colima y Michoacán de Ocampo, hasta Salinas Cruz, Oaxaca, pasando por el estado de Guerrero. En sus tramos más angostos tiene unos 20 km de ancho que comienza a ampliarse a la altura de Zihuatanejo para alcanzar un máximo de 45 km en la región de Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca. La zona está conformada por sierras, llanuras y lomeríos: las primeras se localizan a los margo del límite norte de la subprovincia, se aproximan al litoral cerca de San Pedro Pochutla y Salinas Cruz (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

Los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca corresponden a la subprovincia Cordillera Costera del Sur, abarca más o menos paralela a las costas colimenses (en su mitad sur), michoacanas, guerrerenses y oaxaqueñas, desde el sur de la ciudad de Colima hasta el oriente de Pluma Hidalgo, Oaxaca, se extiende en dirección **oestenoreste-estesureste** la cadena de sierras que integran a la Cordillera Costera del Sur (Figura 2).

La complejidad geológica de estas sierras escarpadas se refleja en la de su litología: calizas del Cretácico en el occidente con ígneas intrusivas y extrusivas hacia el oriente y fuerte dominancia metamórfica en todo el este. La cordillera se extiende sobre el sitio de subducción de la Placa de Cocos, a los desplazamientos de ésta a través del tiempo son atribuibles el origen y evolución de aquélla. Tiene altitudes que en algunos puntos exceden los 2000 m al noreste de Acapulco y 3600 m en el cerro Quiexobee en Oaxaca (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

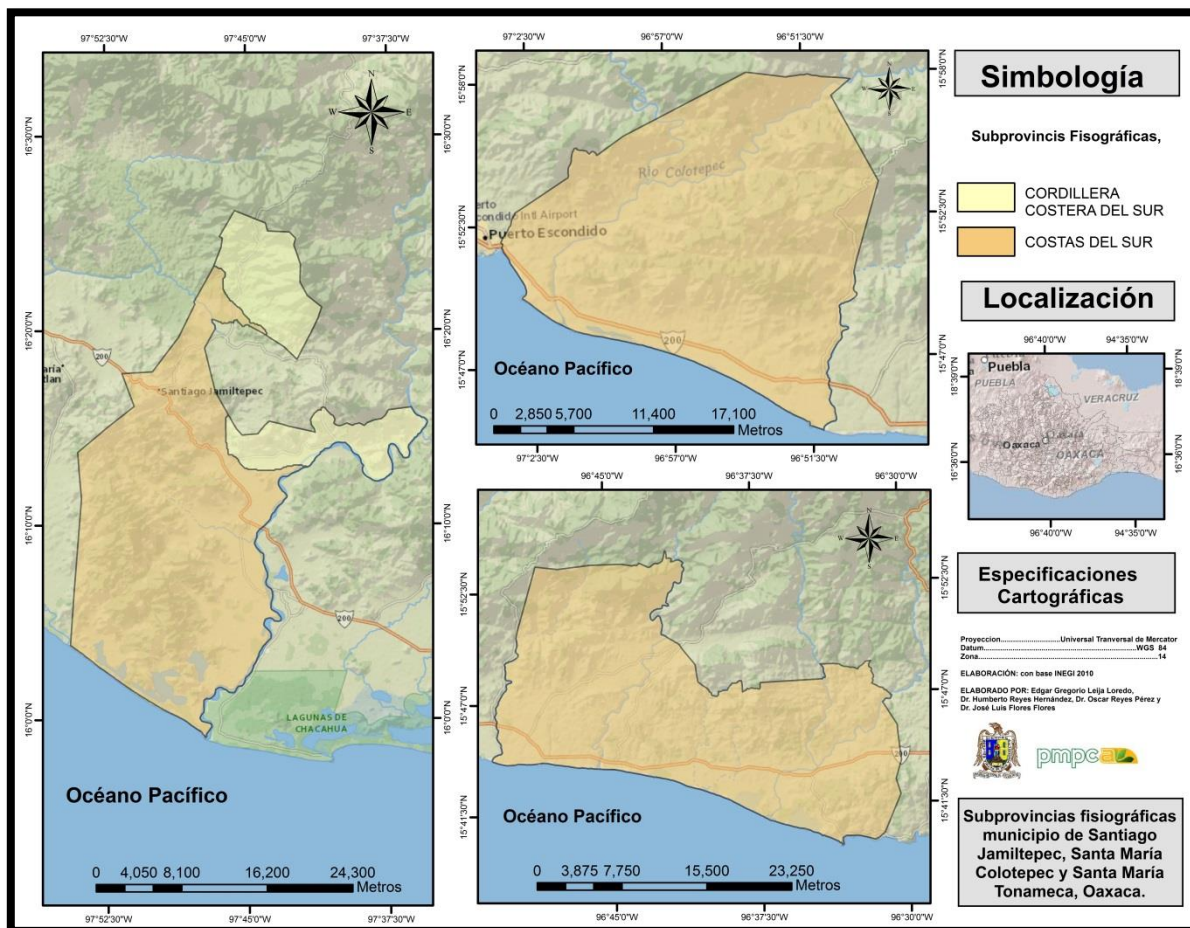


Figura 2. –Subprovincias fisiográficas.

### 3.3.2.- Clima

Los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, presentan dos tipos principales de clima cálido ( $Aw_0$ ) y cálido subhúmedo ( $Aw_1$ ) con precipitaciones que oscilan entre los 800 a 2,500 mm anuales (Figura 3 y 4) (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

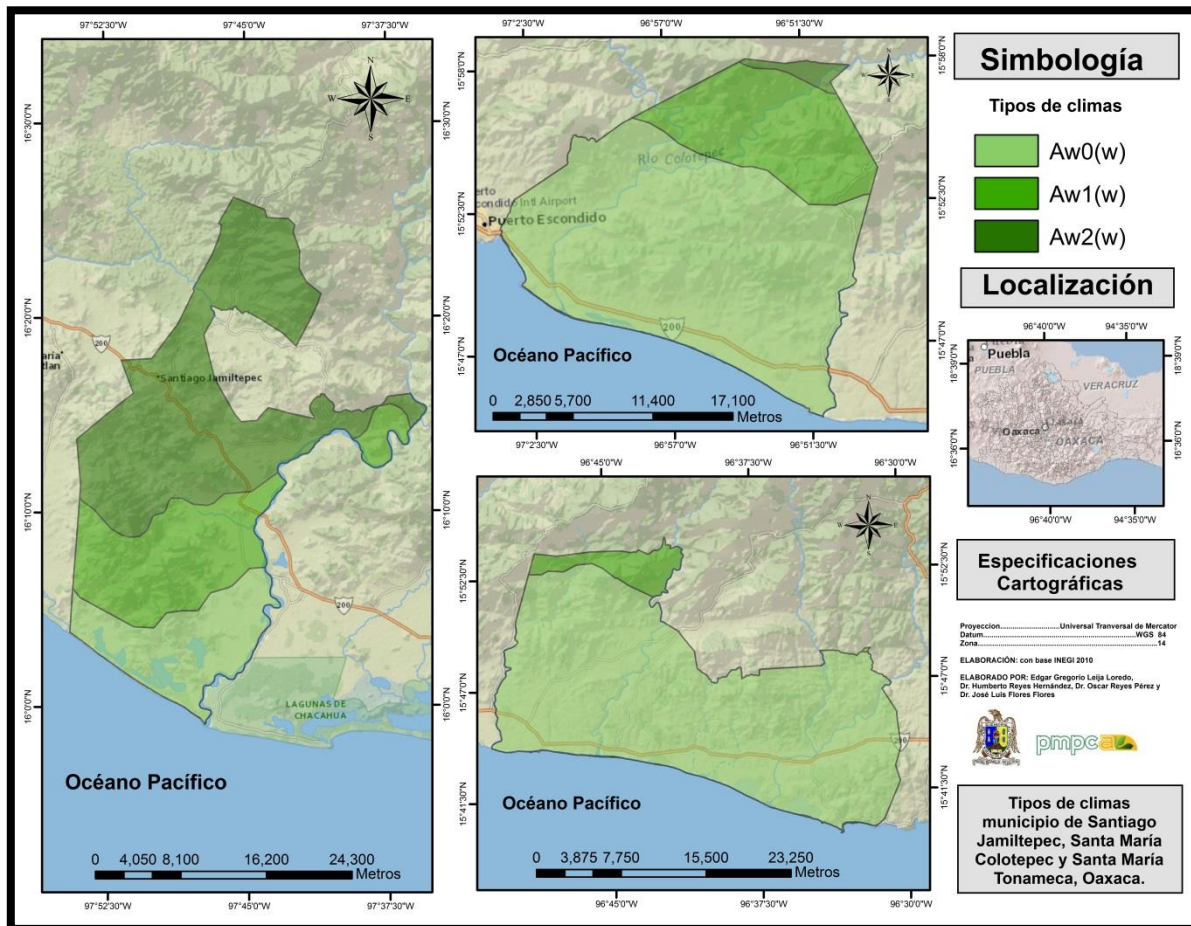


Figura 3.- tipos de climas.

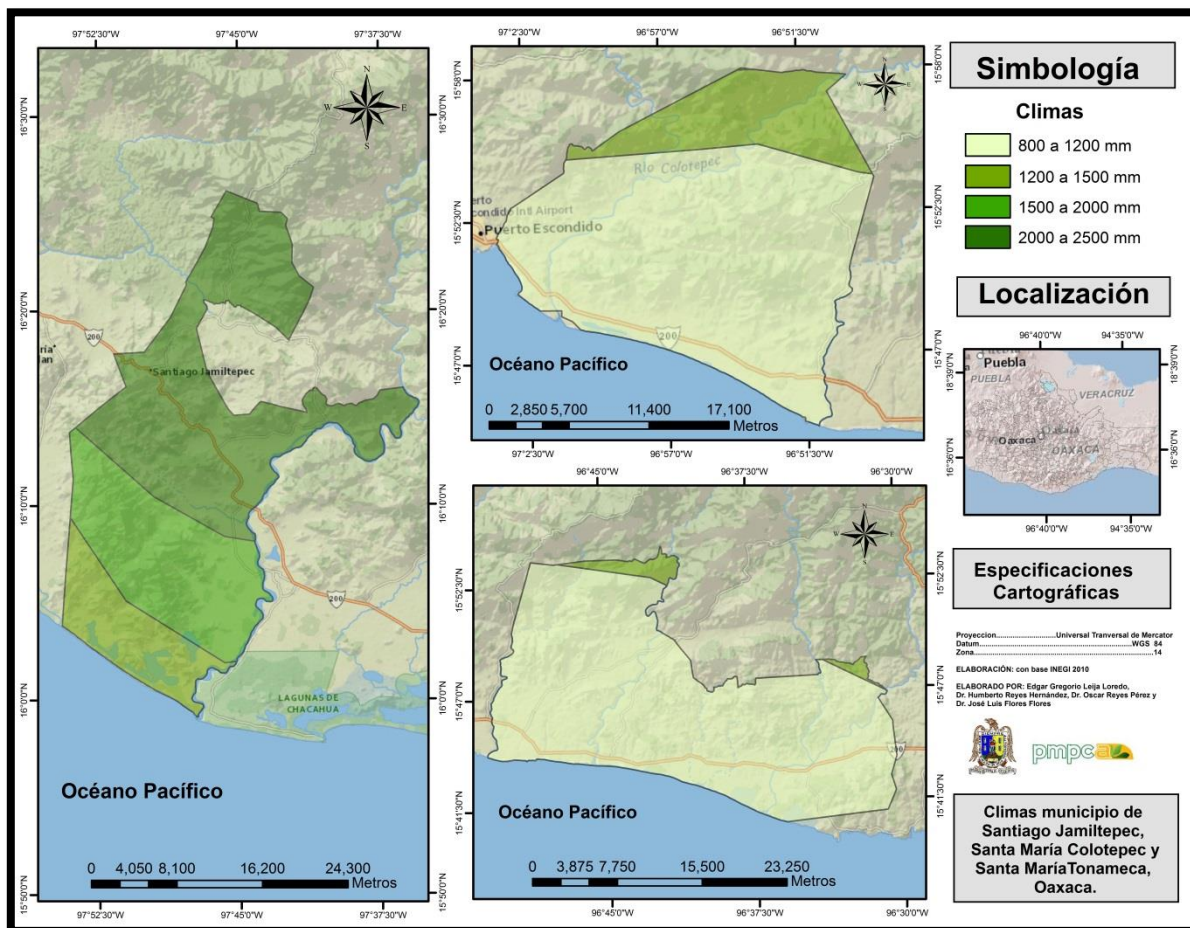


Figura 4.- Precipitación media anual.

### 3.3.3.- Edafología:

En general los suelos presentes en el área corresponden de tipo cambisol, fluvisol y regosol. El suelo cambisol, se caracteriza por presentar un horizonte B cámbico; el horizonte cámbico es un horizonte alterado que se encuentra por los menos a 25 cm de la superficie, su color es semejante al del material parental que le da origen, pero con más estructura de suelo que de roca, pues tienen consistencia friable y sin acumulación significativa de arcilla (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

Los suelos fluvisoles se han formado a partir de depósitos aluviales recientes, por lo que es común que presenten horizontes muy heterogéneos de

materiales disgregados. Los suelos regosoles se caracterizan por presentar un horizonte un horizonte A ócrico, o bien, un horizonte gléyco a más de 50 cm de profundidad, cuando la textura es arenosa, estos suelos carecen de láminas de acumulación de arcilla, así como de indicios del horizonte cámbico u óxico (Figura 5).

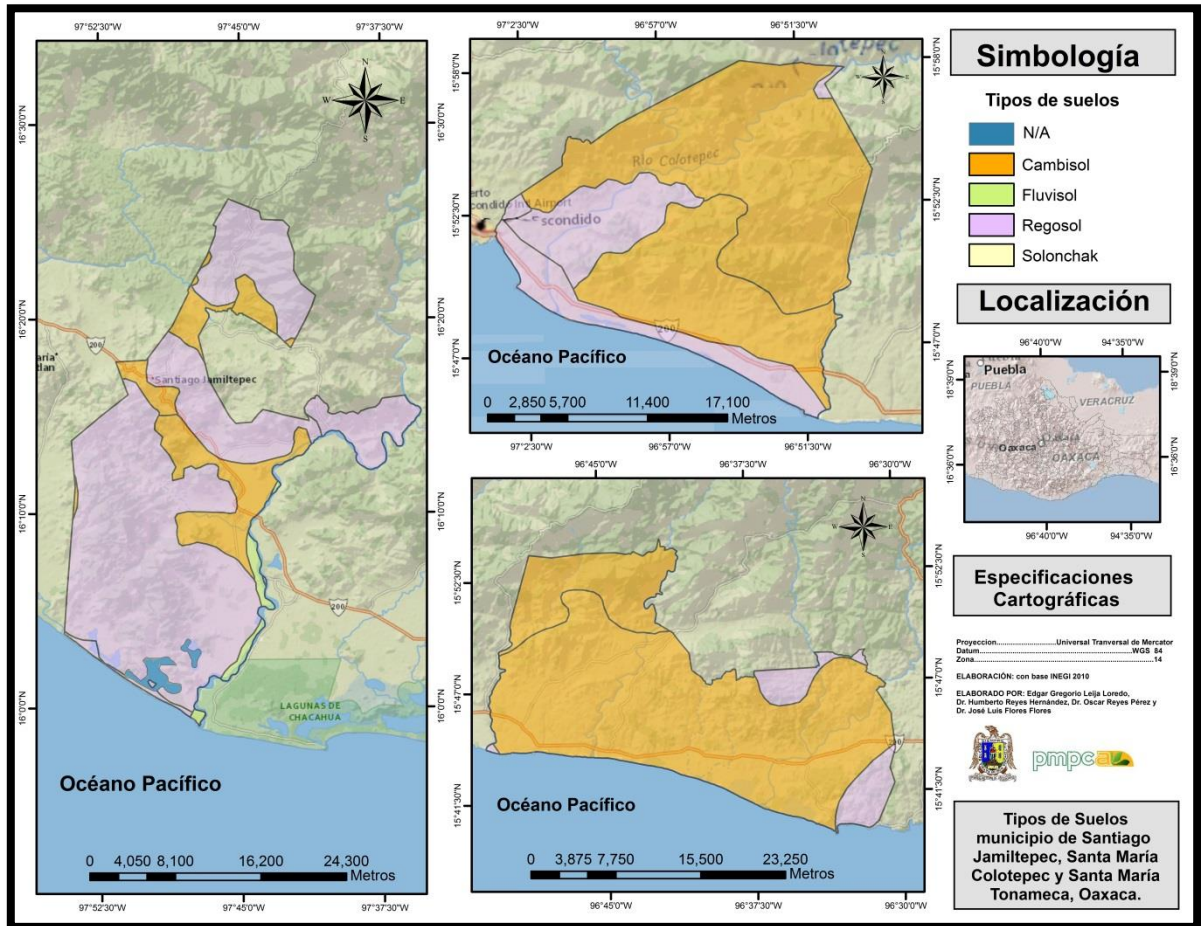


Figura 5.- Tipos de suelos.

### 3.3.4.- Geología:

Las rocas presentes en el área de estudio de tipo metamórficas e ígneas intrusivas. Las rocas sedimentarias, se forman por acumulación de sedimentos que, sometidos a procesos físicos y químicos (diagénesis), dan

lugar a materiales más o menos consolidados. Pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares, y en las desembocaduras de los ríos.

Pueden presentarse sueltas o consolidadas, es decir, que han sido unidas a otras por procesos posteriores a la sedimentación, conocidos como diagénesis. Existen procesos geológicos externos actúan sobre las rocas preexistentes y las meteorizan, transportan y depositan en diferentes lugares dependiendo del agente que transporte (agua, viento, hielo). (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

Las rocas metamórficas son las que se forman a partir de otras rocas mediante un proceso llamado metamorfismo. El metamorfismo se da indistintamente en rocas ígneas, rocas sedimentarias u otras rocas metamórficas, cuando éstas quedan sometidas a altas presiones (de alrededor de 1.500 bar), altas temperaturas (entre 150 y 200 °C) o a un fluido activo que provoca cambios en la composición de la roca, aportando nuevas sustancias a ésta. Al precursor de una roca metamórfica se le llama protolito. Las rocas ígneas se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales invisibles conocidas como rocas volcánicas o extrusivas (Figura 6).

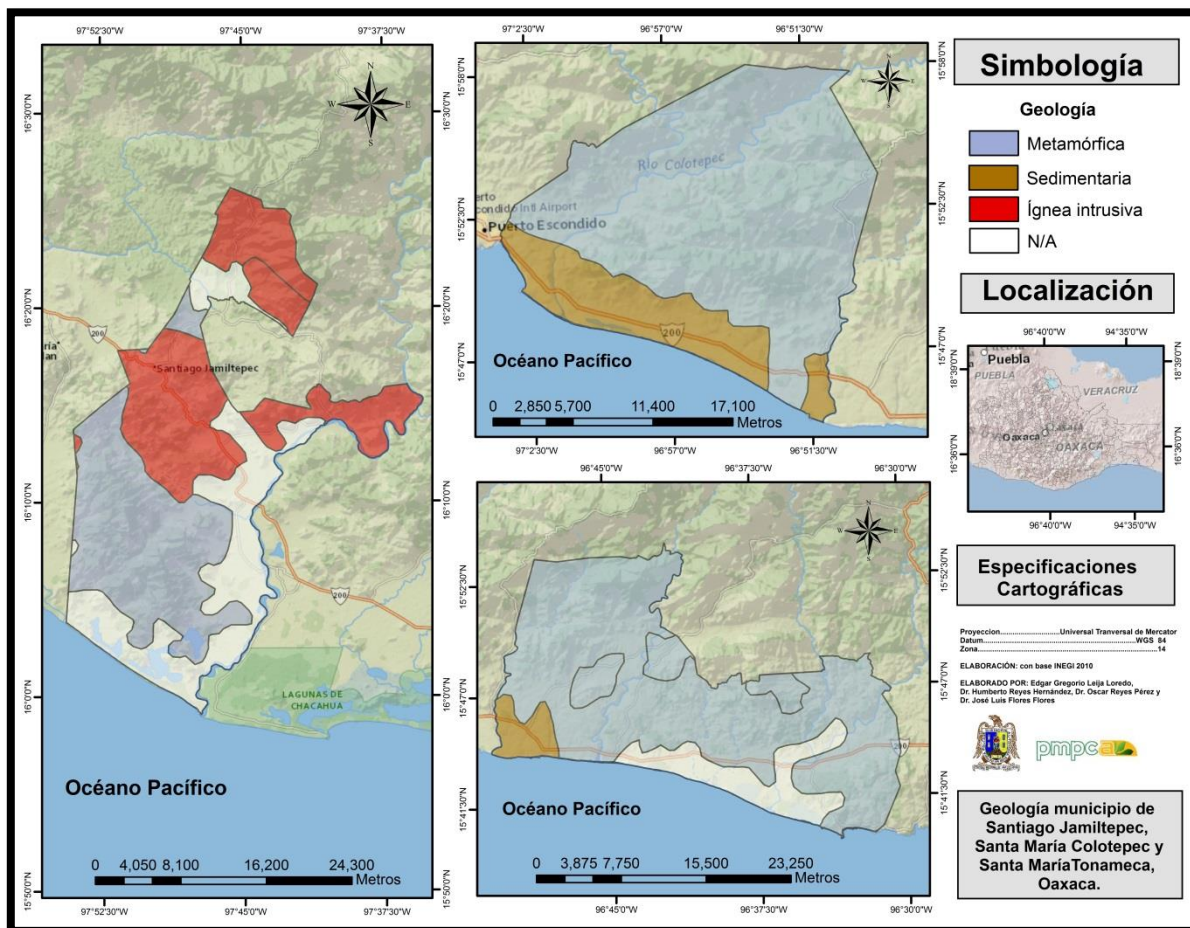


Figura 6.- Geología.

### 3.3.5.- Hidrología

El municipio de Santiago Jamiltepec pertenece a la región hidrológica del municipio Costa Chica-Río Verde (RH-20): esta extensa área de esta región hidrológica se encuentra en la posición suroeste del estado de Oaxaca, se divide en tres cuencas: Río Atoyac, totalmente dentro de la entidad, Río La Arena y otros y Río Ometepec o Grande, estas dos últimas sólo incluidas en territorio oaxaqueño en forma parcial; el área de esta región hidrológica cubre una extensión de aproximadamente 24.14% del territorio estatal, es la segunda más grande después de la región Hidrológica Papaloapan, incluye distritos de las regiones

Mixteca, Valles centrales, Sierra Sur y Costa (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

Los municipios de Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, pertenecen a región Costa de Oaxaca (Puerto Ángel) (RH-21), se encuentra completamente dentro del estado de Oaxaca, pertenece a la vertiente del Océano Pacífico; incluye áreas que pertenecen a los distritos Juquila, Pochutla, Miahuatlan, Yautepec y Tehuantepec. Abarca 10.61% de la superficie de la entidad; sus grandes límites son al norte con las regiones hidrológicas Costa Chica-Río Verde y Tehuantepec, mientras que al sur con el Océano Pacífico.

Se trata de una región bien definida desde el punto de vista hidrológico, ya que comprende una franja de la costa que abarca desde la desembocadura del Río Atoyac-Verde hasta desembocadura del río Tehuantepec (Figura 7).



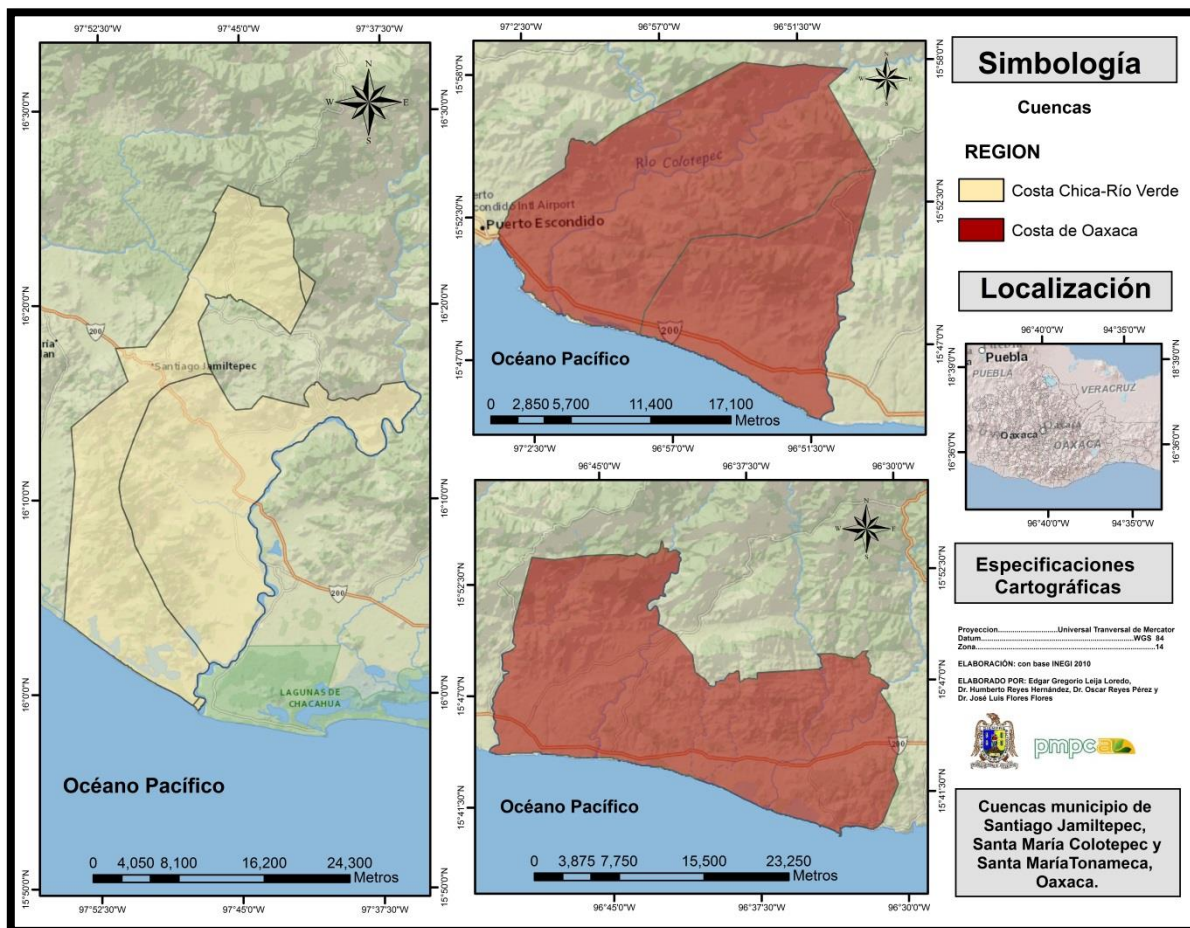


Figura 7.- Cuencas.

### 3.3.6.- Vegetación:

Los tipos de vegetación presentes en el municipio de Santiago Jamiltepec corresponden a bosque mesófilo, bosque de pino-encino, bosque de pino, manglar y selva. En Santa María Colotepec, la vegetación es de selva y manglar y finalmente en Santa María Tonameca los principales tipos de vegetación es: selva, manglar y bosque de pino (Figura 8).

Los bosques de pino son comunidades siempre verdes formados en su gran mayoría por diferentes especies de coníferas; ocupan las partes más altas de la región montañosa del estado. Los bosques de pino-encino están conformados por diferentes especies de pinos y encinos, en donde dependiendo del dominio de unos y otros, se denominan pino-encino cuando rebasan en número las coníferas

y encino-pino cuando lo hacen las latifoliadas. De manera general, la transición del bosque de encino-pino, pino-encino y pino está determinada por el gradiente altitudinal. En las laderas más bajas de las sierras impera el bosque de encino y, conforme se asciende, van apareciendo algunos elementos aislados de pino mezclados entre números encinos (Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca, 2004).

Los límites altitudinales del bosque mesófilo de montaña, dependen tanto de la temperatura como de la humedad, porque se desarrollan en zonas con alta humedad atmosférica. En terrenos donde la condición de saturación no es tan favorable, el bosque crece en las barrancas y cañadas que resguardan mayor humedad que la circundante. Es notable la mezcla de elementos templados y tropicales que conforman este tipo de vegetación.

Las selvas medianas subcaducifolia se diferencian porque parte de los elementos arbolados que la conforman (entre la mitad y tres cuartas partes), tiran las hojas durante la época seca del año. En algunos sitios, donde esta selva presenta su mejor desarrollo, alcanzando hasta 20 a 25 m de altura.

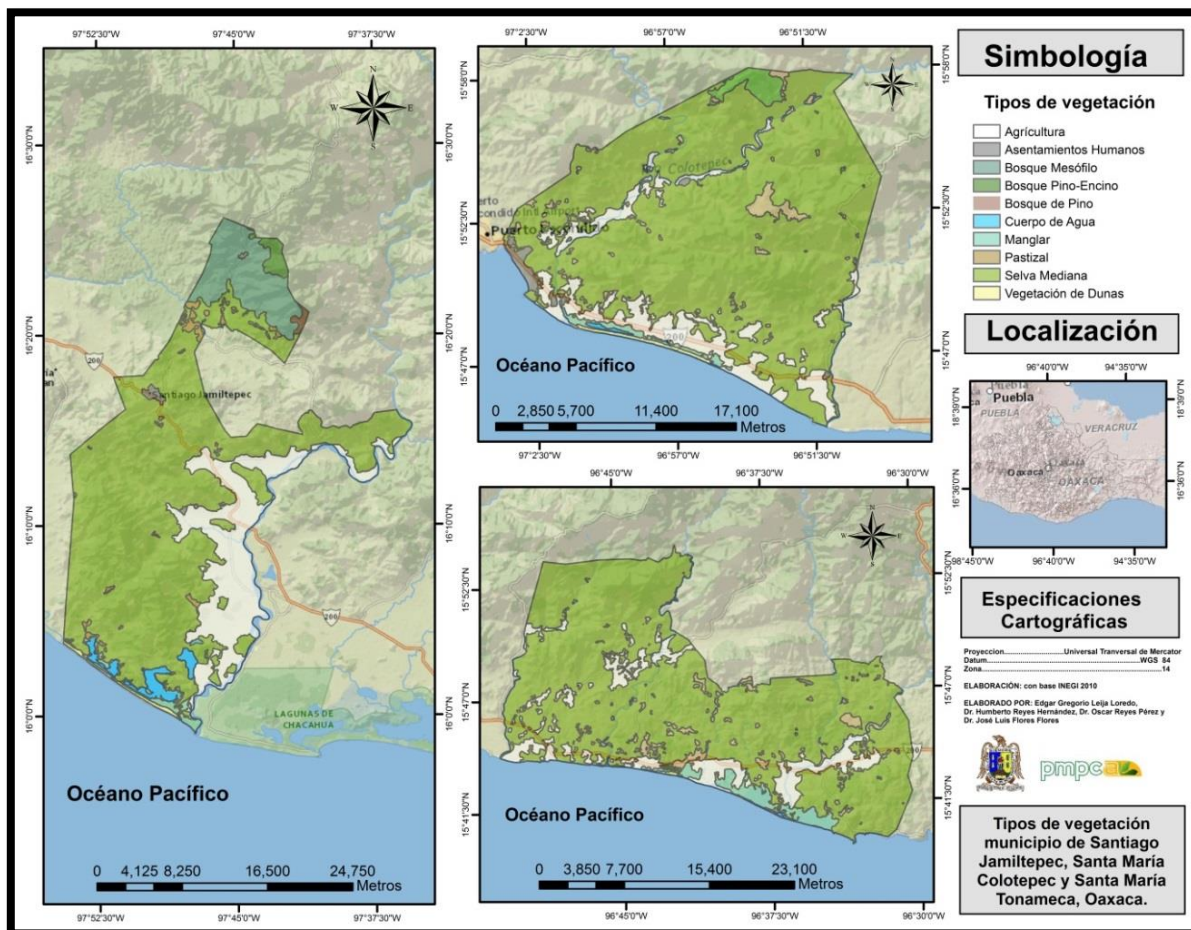


Figura 8.- Tipos de vegetación.

### 3.3.7.- Aspectos socio-económicos

De acuerdo al censo de población y vivienda 2010 de INEGI, Santiago Jamiltepec, cuenta con una población de 18,383 habitantes, 8,751 son hombres y 9,171 mujeres y su densidad poblacional es de 28.82 hab/km<sup>2</sup>. Santa María Colotepec, es habitado por 22,562 personas, 11,104 hombres y 11,458 mujeres con una densidad de poblacional de 54.45 hab/km<sup>2</sup>. Santa María Tonameca tiene una población total del municipio es de 24,318 habitantes, 12,000 son hombres y 12,318 mujeres. Su densidad poblacional es de 46.70 hab/km<sup>2</sup>.

### 3.3.7.1.- Población económicamente activa:

La población económicamente activa del municipio de Santiago Jamiltepec, asciende a 6,253 personas en tanto que en Santa María Colotepec suman 8,250 personas y en Santa María Tonameca 7,397 personas (Cuadro 1).

**Cuadro 1.- Población económicamente activa.**

Municipio	Sector	%	Sector	%	Sector	%
Santiago Jamiltepec	Primario	48.60	Secundario	13.74	Terciario	35.71
	Agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca		Minería extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción		Transporte, gobierno y otros servicios	
Santa María Colotepec	Primario	31.0%	Secundario	19.0%	Terciario	47.0%
	Agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca		turismo y comerciales		comercio al por mayor y al por menor y servicios turísticos	
Santa María Tonameca	Primario	58.0%	Minería	16.0%	Terciario	26.0%
	Agricultura, ganadería, caza y pesca		extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción		comercio, turismo y servicios	

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2002.

### 3.2.7.2.- Principales actividades económicas:

Para el municipio de Santiago Jamiltepec, los principales cultivos son: el ajonjolí, cacahuate, chile verde, frijol, jamaica, maíz grano, melón. El cultivo de mayor importancia es el maíz grano, registrándose 5,370 ha, posteriormente el de ajonjolí con 100 ha y por último el chile verde con 75 en el año 2010. Para el municipio de Santa María Colotepec, los principales cultivos son: aguacate, ajonjolí, cacahuate, café cereza, chile seco, chile verde, ciruela, coco fruta, copra, frijol, jamaica, limón, maíz grano, mamey, mango, melón, nanche, naranja, papaya, piña, plátano, sandía, sorgo forrajero en verde, sorgo grano, tabaco, tamarindo, tomate rojo. En Santa María Tonameca, los principales cultivos son: maíz, frijol, cacahuate ajonjolí, sorgo, sandía, melón, pepino, calabaza, papaya, entre otros, el cual se puede apreciar en el (Cuadro 2) (Plan municipal de Desarrollo 2011-2013).

**Cuadro 2.- Principales actividades económicas**

Municipio	Agricultura	Ganadería	Forestal	Comercio
Santiago Jamiltepec	La agricultura dentro del municipio se clasifica en dos niveles de tecnificación en función a la disponibilidad de agua, hacia la parte baja del municipio se ha aprovechado la cercanía del Río Verde	A pesar de que la ganadería no es la actividad principal en el municipio, juega un papel muy importante en su economía, ya que aproximadamente el 20 % de la PEA se dedica a esta actividad.	El uso forestal en el municipio es poco conocido y escasamente practicado, esto se debe a que la mayor parte de la vegetación pertenece a selva mediana y baja, solo en la parte norte del municipio San José de las Flores, se encuentra un manchón, cubierto de pino-encino.	El 9.69 % de la población se dedica al comercio, concentrados principalmente en la cabecera municipal, donde existen 3 mercados: Mercado Municipal Casando
Santa María Colotepec	El sector de la agricultura en la Costa ha decaído, por la falta de proyección y por la carencia de apoyo. En 1999 la región de la costa	La ganadería en la región de la costa y muy en particular en el municipio de Santa María Colotepec cuenta con un enorme potencial debido a		El comercio genera 530 empleos directos en el municipio que se dividen en dos sectores importantes comercio al por

	<p>aportaba la mayor superficie sembrada (23.4%), cosechada (23.5) y de valor de la producción el 24% del total del estado Oaxaca.</p>	<p>que el clima es muy favorable para la crianza de ganado y fortalecido por los inventarios de pasto forrajero esencial para la crianza; en el municipio se cuenta con 6,191 cabezas de bovinos para la producción de carne y leche representando el 2.9% de la producción de la región.</p>		<p>mayor y al por menor de ellos, el comercio al por mayor representa el 7.9% de la producción total. El comercio al por menor representa el 8.4% del total de la producción y registra 256 U.E,</p>
<p>Santa María Tonameca</p>	<p>Las actividades Agrícolas preponderantes en el municipio varían en concordancia con las diferentes zonas y subzonas agroecológicas en las que las condiciones ambientales y antropogenicas han favorecido el desarrollo de cultivos específicos y el uso de tecnologías que se han venido transmitiendo entre generaciones y se han modificado empíricamente.</p>	<p>La extensión territorial para la ganadería es de un 23 %, que corresponde a 10,698 ha. Dedicándose a la cría de: ganado bovino, caprino, ovino, porcino y aves de corral.</p>	<p>La superficie forestal toda se considera no maderable, comercialmente hablando, aunque existen algunas especies para autoconstrucción (macuil, parota, cedro, etc.), La extensión territorial forestal es de un 28 %, que corresponde a 12522 ha</p>	<p>Los ingresos son difíciles de cuantificar, en este diagnóstico no se llegó a ese nivel, únicamente se enumeran las actividades del sector terciario en nuestro municipio: Comercios de abarrotes, restaurant, panaderías, bares y cantina, venta de pollo, taquerías, papelerías, etc.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2002.

## **4.- Materiales y métodos:**

### **4.1.- Método de interpretación visual de la cubierta vegetal y uso del suelo:**

#### **4.1.1.- Análisis espacial:**

Para el análisis espacial del cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo, se consultó como primer paso la carta digital SERIE IV del INEGI a una escala 1:250,000, con el propósito de asociar a los tipos de usos y la flora predominante de cada cobertura y puntos de muestreo en campo. Con esta información se elaboraron mapas preliminares con cada una de las coberturas de la zona de estudio, para conocer la distribución actual y diseñar la verificación de trabajo de campo a través del software ArcGis 10.1.

El trabajo de campo consistió en recorridos a los puntos de muestreo, donde se verificó y contrastó las coberturas reportadas por el INEGI, y se tomaron puntos GPS, para tener mayor certeza y los límites de cada una de las coberturas. Asimismo se identificaron elementos conspicuos del paisaje, como suelo, rocas, actividades económicas y condiciones generales del paisaje.

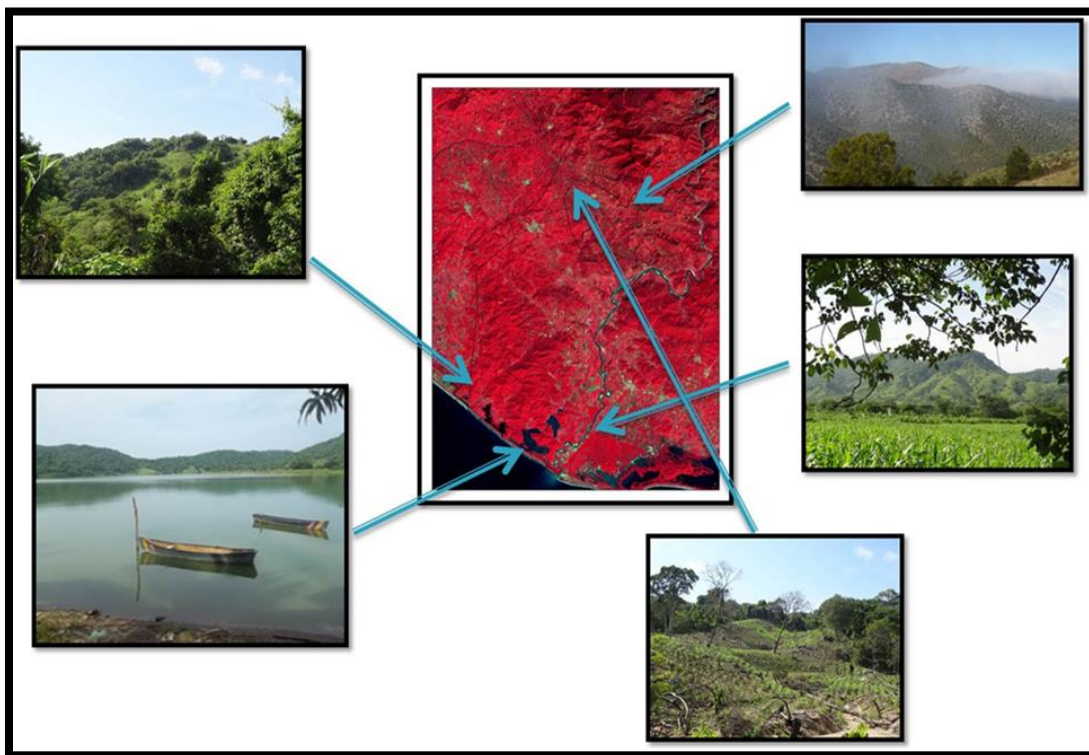
Posteriormente, los puntos GPS obtenidos en campo, fueron sobrepuestos a las imágenes de satélite Landsat 2000, 2005 y Spot 2011 a través de una interpretación visual para contrastar los límites actuales observados con respecto a lo reportado en la carta SERIE IV de INEGI. Con base en lo anterior, se redelimitaron las fronteras de cada cobertura y se establecieron sus dimensiones actuales para cada cobertura.

Para el análisis de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo se basó en el método propuesto por Mas (2005), que se basa en la delimitación de las coberturas en el año más reciente y posteriormente se modifica directamente sobre la pantalla, con ello se disminuyen los errores derivados de los falsos en la clasificación de mapas.

Se delimitaron los usos de suelo y tipos de vegetación con base en la interpretación visual de las imágenes de satélite desplegadas en una combinación de bandas RGB 432; esta combinación de bandas resalta el vigor de la vegetación debido a que se compone de las bandas infrarrojas que muestran los fragmentos de vegetación de bosque, con diferentes tonalidades de rojo según el vigor, mientras que el color azul se destaca las zonas de agricultura, ganadería y zonas desnudas que se diferenciarán además por la forma geométrica de su disposición.

Los puntos de control de campo se definen a través de una interpretación visual de las imágenes de satélite, con base en lo reportado de la SERIE IV del INEGI. De esta manera se eligen los puntos a verificar en campo, para corroborar que realmente haya una congruencia y se tenga una mayor certeza de los tipos de vegetación que reporta el INEGI, para posteriormente poder delimitar los polígonos con mayor confiabilidad y poder hacer acertada cartografía (Figura 9).

**Figura 9: Puntos de control de campo.**



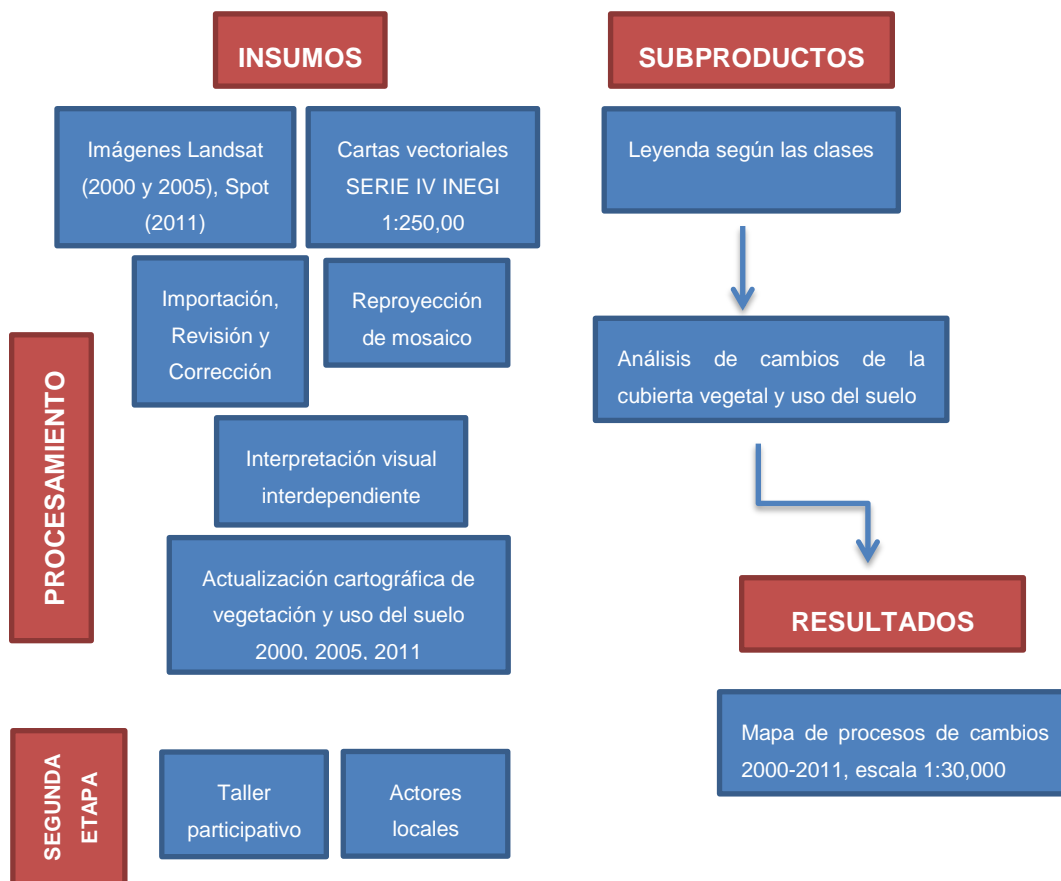
**Fuente:** Elaboración propia con base en imágenes Spot 2011 y trabajo de campo.



Una vez realizado el proceso anterior, se elaboraron los mapas finales con áreas actuales de mayor confiabilidad y certeza, con base en ellos se calculó la magnitud de cada cobertura en hectárea y las tasas de deforestación con la finalidad de conocer las tendencias presentes en cada uno de los fragmentos entre los años de 2000 al 2011.

La figura 10 muestra el diseño metodológico seguido los insumos, los subproductos y resultados obtenidos.

**Figura 10.- Diagrama general metodológico.**



Fuente: Elaboración propia.

## **4.2.- Sistema clasificatorio de la cubierta vegetal y uso del suelo.**

Se definieron diez clases de coberturas y usos de suelo. Las clases fueron las unidades básicas de trabajo para la elaboración de la cartografía y la revisión bibliográfica de acuerdo con la carta SERIE IV del INEGI.

### **Agricultura de temporal:**

Práctica de cultivo, donde el suministro de agua depende del agua que se precipita en forma de lluvia, rocío y niebla, así como de la capacidad del suelo para retener la humedad. En este tipo de agricultura son frecuentes los cultivos anuales como el maíz, el frijol, el haba y el chícharo

### **Bosque de pino:**

Los bosques de pino son aciculifolios, con los troncos generalmente rectos y una copa que visualmente es características por su forma más o menos hemisférica. Los pinares de tipo templado y tropical son comunidades más o menos abiertas con abundantes arbustos de hojas gruesas y coriáceas.

### **Bosque de pino-encino:**

Los bosques de pino-encino son una clara mezcla de árboles aciculifolios y latifoliadas, pero los primeros se distinguen por presentar troncos rectos y los segundos muestran abundantes ramificaciones desde muy abajo, principalmente por efectos del leño.

### **Selvas caducifolias y subcaducifolia:**

Esta vegetación agrupa a tres comunidades arbóreas distintas, todas con elementos de afinidad neotropical. Se caracterizan por presentar una pérdida de follaje en la época seca del año, lo que comúnmente les vale la denominación de selvas secas. Al igual que otros tipos de vegetación, estas selvas son también altamente diversas y comúnmente incluyen distintos elementos xéricos.

### **Pastizal inducido:**

Es una comunidad vegetal compuesta de especies de pastos y herbáceas nativas, que establece y prospera en terrenos donde se ha eliminado la vegetación primaria (bosque, selva, matorral u otro tipo) al establecer cultivos preferentemente anuales; en los cuales, al cesar la agricultura se introduce el ganado. La presencia del ganado, junto con otras prácticas de manejo como las quemadas recurrentes y la tala de renuevos sucesionales, limita la recuperación natural de la vegetación original.

### **Vegetación Hidrófila:**

La formación de la vegetación hidrófila incluye un tipo de vegetación del mismo nombre y tres comunidades de plantas, las cuales, se desarrollan en zonas de transición entre los ecosistemas terrestres y los acuáticos. Esta información se encuentra alrededor de ríos.

### **Asentamientos humanos:**

Este tipo de uso del suelo, incluye las áreas ocupadas por edificaciones con distintas condiciones de uso y desarrollo como las industriales, las zonas suburbanas y los asentamientos humanos de las zonas rurales.

### **Cuerpo de agua:**

Áreas ocupadas por depósitos de agua continental, natural y artificial, que se pueden apreciar en las imágenes de satélite, como son los ríos, lagos, lagunas, presas, bordos. La mayoría de estos cuerpos de agua tienen o están sujetos a una dinámica estacional en la precipitación, que influye en la vegetación que en ellos desarrolla.

### **Manglar:**

El manglar está formado por árboles muy tolerantes a la sal que ocupan la zona intermareal cercana a las desembocaduras de cursos de agua dulce de las costas

de latitudes tropicales de la Tierra. Tienen una gran diversidad biológica con alta productividad, con muchas especies de aves, peces, crustáceos, moluscos y otros.

### **Dunas costeras:**

Corresponden a montículos de arena sujetos a la acción del viento, se encuentran en todas las costas arenosas, a la orilla de ríos, lagos o del mar. Presentan una altura variable de un metro hasta centenares de metros.



**Figura 11: Taller participativo a actores locales, municipio Santiago Jamiltepec.**

A través del trabajo en campo, donde la verificación de cada tipo de vegetación en cada punto de muestreo y con base a una ficha de campo, se identificó cada especie vegetal para posteriormente asociarla a la leyenda final de la cartografía final de cada municipio de la zona estudio.

De esta manera, se colaboró en un taller participativo, con la finalidad de interactuar y conocer las preocupaciones de la población. Se buscó lograr un acercamiento de contrastación, validación y cooperación entre el saber científico y el saber popular, para crear y orientar en situaciones que impliquen a la comunidad de la posibilidad de desarrollar actitudes reflexivas de uso y manejo de sus recursos naturales y el ambiente. Con el objetivo de promover la creación y concientización de sus ecosistemas y pueda haber un enlace entre las

instituciones y en la comunidad para una mejor comunicación y participación en pro del ambiente.

#### **4.3.- Identificación y cuantificación de la superficie deforestada y cálculo de la tasa de deforestación**

La identificación y cuantificación de las superficies deforestadas y aquellas que cambiaron a otros usos del suelo, se logró por medio de una sobreposición cartográfica y una tabulación cruzada de los mapas correspondientes a los fragmentos identificados y que a su vez fueron verificados en campo para los periodos de 2000, 2005 y 2010.

Para determinar la tasa de deforestación en cada periodo de estudio se aplicó la fórmula empleada por la FAO:

$$C = ((T2/T1)^{1/n-1}) * 100$$

T1= Año de inicio (con el que se quiere comparar)

T2= Año actual o más reciente

n= Número de años entre T1 y T2

## **5.- Método de modelización y simulación espacial con DINAMICA**

El análisis de las proyecciones a futuro, se basó en la utilización del software DINAMICA EGO, para realizar la simulación de escenarios futuros (Soares-Filho *et al.*, 2002). Este software se basa en algoritmos de autómatas celulares y los pesos de evidencia de distintas variables biofísicas y socioeconómicas que son los factores causales de la transformación en las coberturas y el uso de suelo en la región.

DINAMICA EGO considera los fenómenos espaciales y temporales enlazados a los procesos de cambio a través del tiempo, y es implementado para diferentes estudios la deforestación (Soares -Filho *et al.*, 2002, 2004, 2006; Reyes *et al.*, 2009).

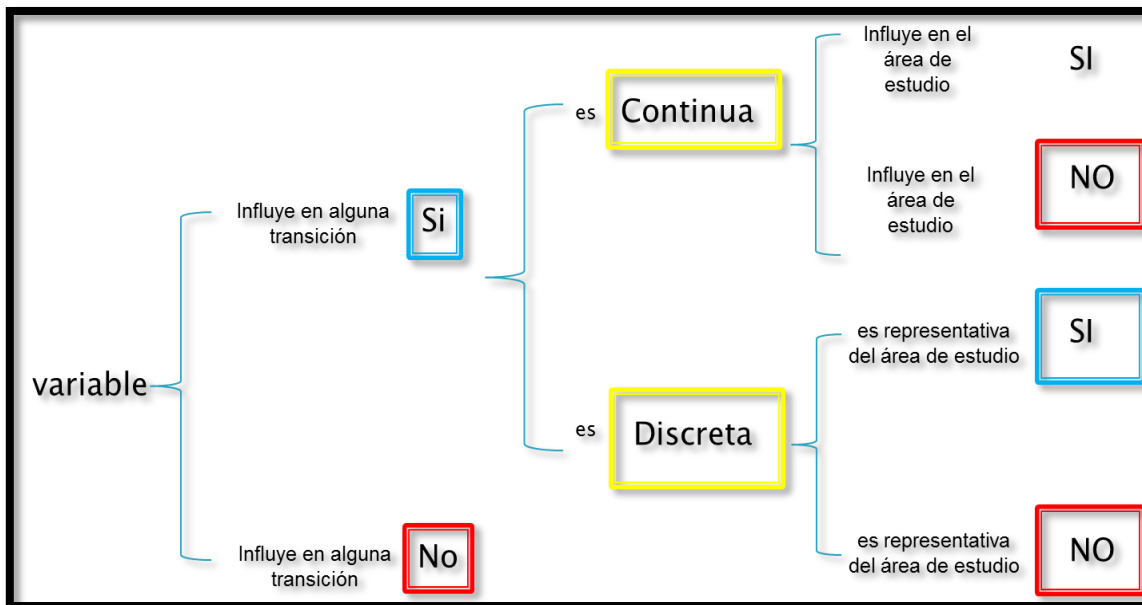
El modelo requiere de una organización y estructuración de base de datos cartográficos multi-temporal de tipo raster con la información sobre el uso de suelo, a partir de la cual se estiman las tasas de transición en las diferentes fechas.

De esta manera, se eligen cuales variables geográficas, ambientales y socioeconómicas, pueden tener una posible influencia sobre los cambios y se determinan los pesos de evidencia, descritos más adelante. Las variables utilizadas en el análisis, se seleccionaron aquellas que reunieran las condiciones de acuerdo al siguiente árbol de decisión (figura 12).

Estas fueron recopiladas de diferentes fuentes como: las bases de datos socioeconómicos de índice de marginación y densidad de población de la CONAPO y de los mapas topográficos de Oaxaca. Las cuales fueron importadas y georeferenciadas en el software ArcGis 10.1.

Una vez de procesar las variables, se seleccionaron aquellas que reunieran las condiciones de acuerdo al siguiente árbol de decisión:

Figura 12.- Árbol de decisiones para la discriminación de variables:



Fuente: Elaboración propia.

Una vez elegidas, se analizó la influencia de las variables en aumento o decremento del cambio de cubierta vegetal así como su representatividad en el área de estudio, es decir, si estas variables se ubican espacialmente e influyen de modo importante dentro del área.

Las variables que cumplieron con las condiciones, fueron consideradas para ser ingresadas al modelo y las que no, fueron descartadas. Por ejemplo, el índice de marginación, influye en la transición de cualquier cobertura a asentamiento humano, la distancia a carreteras también tuvo influencia en la transición de agricultura y pastizal y de asentamientos humanos, la variable es continua y la influencia de esta variable se expresa a la distancia y se considera en el modelo.

Las variables espaciales de tipo socio-económico utilizadas para el modelo fueron: vías de comunicación de tipo pavimentada y terracería. A partir de ella se le aplicó un buffer de influencia. El índice de marginación y densidad de población de la CONAPO (Consejo Nacional de Población 2010) se usaron para generar una capa espacial de estas dos variables, mediante el procedimiento de interpolación

(Ordinary Kriging). Las variables de tipo ambiental incluidas en el análisis fueron: las coberturas vegetales de las fechas 2000 y 2005 para generar el mapa de probabilidad y la cobertura del 2011 para la validación del modelo: altitud (modelo digital de elevación), pendientes, tipo de suelos e hidrología superficial (Cuadro 3).

**Cuadro 3.- Variables seleccionadas para el modelo proyectivo**

Nombre	Tipo	Descripción
Índice de marginación	Discreta	Bases datos socioeconómicos de la CONAPO del índice de marginación de cada municipio de la zona de estudio
Densidad de población	Discreta	Bases datos socioeconómicos de la CONAPO de la densidad de población de cada municipio de la zona de estudio
Altitud	Continua	Resultado de la interpolación de las curvas de nivel de mapa topográfico de Oaxaca
Pendientes	Continua	Con base al modelo digital de elevación
Distancia a vías de comunicación	Continua	Resultado de la interpolación de los segmentos obtenidos del mapa topográfico de Oaxaca.
Hidrología	Continua	Con base en los segmentos de drenajes del mapa topográfico de Oaxaca.
Suelos	Discreta	Obtenido del mapa de suelos del estado de Oaxaca.

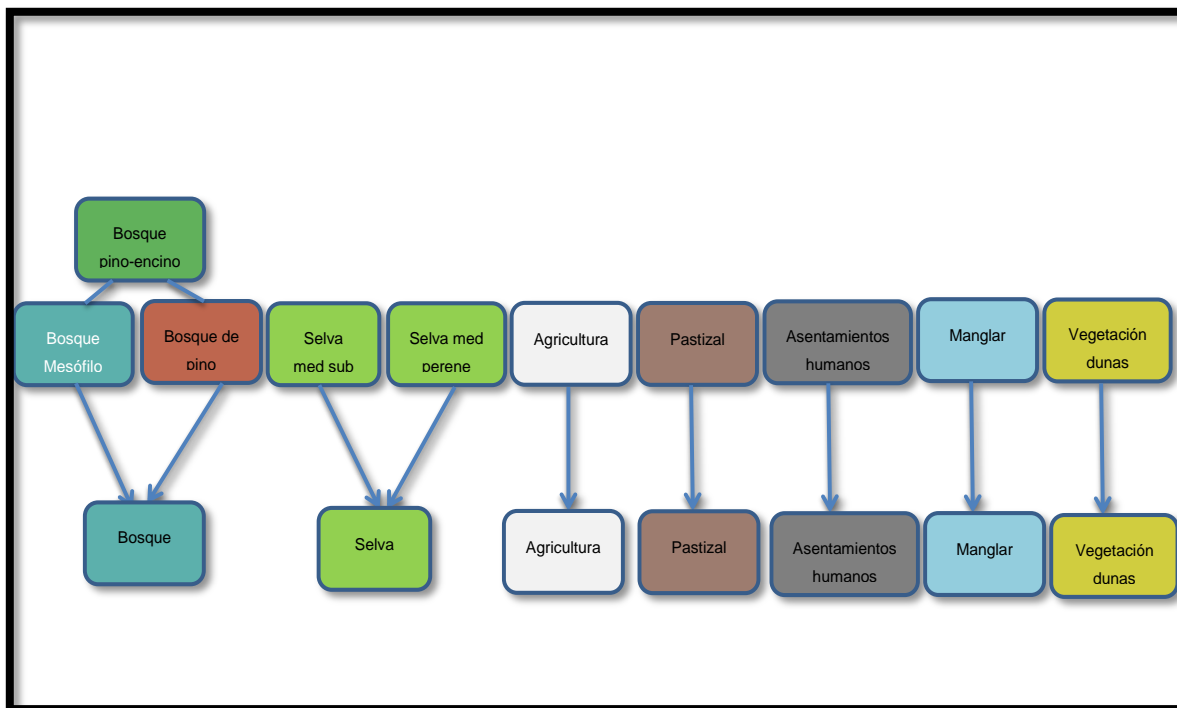
**Fuente: Elaboración propia.**

Las variables seleccionadas fueron homologadas a formato raster misma georeferencia, tamaño de pixel todo esto en el software ArcGIS 10.1: Posteriormente fueron exportadas a DINAMICA EGO, donde fueron finalmente puestas en un archivo multicapa (variables estáticas) para facilitar su manejo dentro del modelo.



Las clases resultantes fueron reclasificadas con el propósito de disminuir el número de transiciones e interacciones con las variables y facilitar así su manejo dentro del modelo; tal es el caso de la cobertura de selva mediana subcaducifolia y subperennifolia que fue reclasificada a solo selva mediana (Figura 13).

**Figura 13.- Esquema de reclasificación.**



**Fuente: Elaboración propia.**

La matriz de transición o matrices históricas de deforestación. Describe los cambios de un sistema a través de periodos discretos de tiempo, en los cuales, el valor de cualquier variable de un periodo dado, es la suma de los porcentajes fijos del valor de las variables en el periodo de tiempo previo. De esta manera, la suma de las fracciones a lo largo de las columnas de la matriz de transición es igual a uno. En esta parte del modelo, se calculan los rangos para categorizar las variables continuas y posteriormente derivar los pesos de evidencia.

Los pesos de evidencia se calculan a través del método bayesiano, en el que el efecto de una variable espacial en una transición es calculada de manera

independiente (Soares-Filho *et al.*, 2009). Las variables determinan la ubicación de los cambios en el modelo y pueden ser estáticas o dinámicas. Las variables se combinan sumando sus pesos de evidencia para obtener un mapa de probabilidad transicional que despliega las áreas más propensas de cambio. El software permite modificar los pesos de evidencia y facilita la inclusión del conocimiento experto para la calibración del modelo.

Los pesos de evidencia se derivan de las probabilidades condicionales, que son las probabilidades que ocurra un evento dada cierta condición. Por ejemplo, la probabilidad que un área forestal sea deforestada dado que está ubicada dentro de un área protegida o no. Con base en el mapa de cambio y los mapas de variables explicativas, se puede calcular la proporción (probabilidad) de cambio en diferentes categorías de las variables explicativas. Estos cálculos permiten asociar un peso de evidencia  $w+$  a cada categoría y para cada tipo de cambio. Un peso de evidencia  $w+$  superior a 0 indica que la categoría tiende a favorecer el cambio mientras que un peso con valor negativo indica que tiende a inhibir este cambio. La ventaja del enfoque de los pesos de evidencia es que se puede sumar los pesos asociados a diferentes variables (con el cuidado de utilizar variables independientes, es decir con poca correlación).

Los pesos de evidencia en los mapas al ser utilizados como insumos tienen que ser espacialmente independientes. Un conjunto de medidas pueden ser aplicadas para determinar la validez de este supuesto, tales como el test de Cramer y el test de la información de Incertidumbre-Conjunta (Bonham-Carter, 1994). Es decir, que las variables correlacionadas deberán ser eliminadas o combinadas en una nueva, para incluirlas al modelo. En este contexto, el modelo realiza pruebas pareadas para mapas categóricos con el fin de comprobar el supuesto de independencia.

En la parte del modelamiento prospectivo de cambio, se deriva de una simulación de cambio de cobertura y uso del suelo. El software hace esto siguiendo un conjunto de reglas de transición preestablecidas y a cada celda le

asigna una clase dependiendo del estado de las celdas vecinas (White y Engelen, 2000).

En la Calibración se calculan las matrices de cambio, a partir de la información de dos mapas de cobertura de la misma área pero de distinta fecha. Esto permite cuantificar las tasas de transición para evaluar posteriormente los factores que influyen en la distribución de los cambios. Para tal efecto, se calcula una matriz de paso simple que considera el tiempo total transcurrido entre coberturas analizadas y después se calcula una matriz anualizada o multi-paso mediante la siguiente ecuación:

$$P_t = H V^t H^{-1}$$

donde P es la matriz de transición original, H es la matriz de vectores propios y V es la matriz valores propios. Por último, t es el número de años que se consideraran en la matriz multi-anual.

Sahagún, (2012), menciona que el mapa de propensión obtenido en la calibración, permite en la fase de simulación, la construcción de escenarios hipotéticos de la superficie de podría ser transformada en el futuro. Esto se hace mediante la reclasificación de las tareas susceptibles al cambio en nuevas categorías de cobertura. El software usa dos funciones de transición complementarias a través de la técnica de autómatas celulares.

La primera es una función llamada Patcher diseñada para estimar la formación de nuevos parches. La otra es denominada Expander que simula los cambios por expansión o contracción de parches ya existentes de distintas clases. En esta fase es necesario definir el porcentaje de transiciones a ejecutar por cada función y especificar los parámetros representados por la medida y la varianza de los tamaños e isometría de los parches que se formen o expandan en los periodos analizados (Godoy & Soares-Filho 2008, Mas & Quiroz 2008). El resultado de la simulación son mapas definidos por intervalos de tiempo discretos que

representan escenarios de la proyección de las trayectorias de cambio de acuerdo a las tendencias históricas encontradas (Sahagún 2012).

En los pesos de evidencia resultantes del primer cálculo, ya discriminados por independencia espacial, fueron analizados y corregidos de acuerdo a su representatividad espacial “número y tamaño de polígonos de cambio” y temporal “factibilidad en el futuro”, su vinculación con el tipo de transición (relación con la variable) y la intensidad y comportamiento con la que deberían expresarse, de acuerdo al conocimiento del experto de la zona, tratando en lo posible de respetar los pesos de evidencia y las líneas de tendencia iniciales.

La corrección de los pesos de evidencia fue realizada manualmente, tanto en los gráficos de dispersión, como los archivos de texto vinculados, donde fueron o eliminados el tamaño del peso “positivo o negativo” y el número de rangos, hasta encontrar una representatividad y ajuste en las líneas de tendencia satisfactorios.

Para el desarrollo de la validación se considera solo la ubicación espacial de los cambios. Posteriormente se realizó un mapa simulado y un mapa de referencia (real, observado), a través del método de comparación difusa de Hagen (2003), denominado de “Similaridad Recíproca” que incluye la métrica (Kfuzzy); este método permite ponderar la distancia y el estado de la distribución de las celdas alrededor de una celda central.

La evaluación se enfoca en esencia a las áreas de cambio y no a la similitud total de los mapas. El resultado final es un índice de similitud promedio (Sahagún, 2012). La validación es considerada apropiada cuando el mapa simulado tiene un índice de similitud mayor con el real (observado), que el valor del índice obtenido entre mapas de las coberturas inicial y final que sean utilizados (Hagen 2003).

Para llevar a cabo el desarrollo de las simulaciones se consideró como línea de base en la construcción del modelo, la inclusión de información sobre variables espaciales de carácter ambiental y socioeconómico que, de acuerdo con

Geist & Lambin (2002), son factores directos o subyacentes en los procesos de cambio en el uso del suelo.

En la función exponencial de decaimiento, los mapas obtienen patrones espaciales del mapa inicial de cobertura y uso del suelo (2005), de esta manera, los mapas posteriores del 2005, mantendrán aquellas coberturas que no han cambiado con el tiempo y por lo tanto puede ocurrir una similitud importante entre el mapa real y el simulado. Para tener una comparación en los cambios y poder evitar que obtenga un ajuste alto, derivado al no cambio, se quitó la influencia de esta herencia de la prueba, originado al ajuste espacial entre los mapas de cambios, tomando en cuenta únicamente las áreas de cambio y usando una prueba difusa (fuzzy). Cuando hablamos de la similitud entre ambas coberturas (mapa real vs mapa simulado, será comparada de manera difusa (fuzzy) nos referimos a que sobre el área de estudio es barrida una ventana.

En la función de decaimiento con ventanas múltiples funciona de manera similar a la anterior, pero a diferencia de ésta, genera varios tamaños de ventana en la validación, lo cual da un panorama más amplio de la exactitud espacial del cambio en un área determinada. En este caso el modelo elige el resultado de la sobreposición (cobertura real vs simulada o viceversa) con el menor porcentaje de coincidencia para evitar falsos o resultados sobredimensionados.

Con la intención de estimar las simulaciones, se usaron los modelos calibrados en el periodo 2000-2005 de la cobertura de uso del suelo de los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, para producir dos mapas simulados del 2011. Estos dos mapas de cada municipio fueron comparados con el mapa observado o real del 2011. Con base en el método difuso de similitud recíproca de cada municipio, se usaron ventanas de 1x1 celdas y los ajustes van de 54%, 23% y 29%; lo que se obtuvieron resoluciones en celdas 11x11 de 80%, 71% y 78% de similitud.

De esta manera, el mapa de cobertura y uso del suelo del 2011 (fecha inicial de la simulación) del municipio de Santiago Jamiltepec, Santa María

Colotepec y Santa María Tonameca fueron proyectados al año 2015, 2020 y 2025. Donde los escenarios indican que las superficies de la cobertura de pastizal inducido y la agricultura, aunado al crecimiento de los asentamientos humanos y construcción de vías de comunicación y acceso al recurso hídrico, aumentaran significativamente en cada uno de estos municipios al futuro.

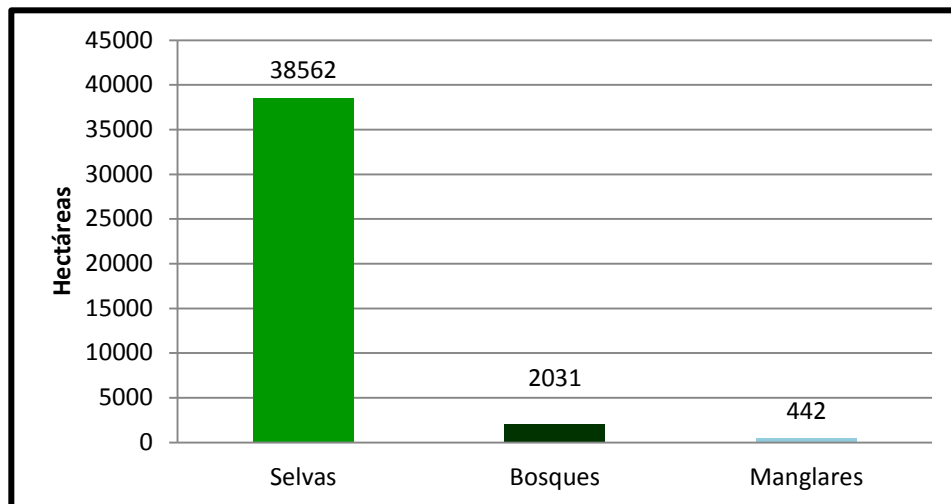
## **6.- Resultados**

### **6.1.- Análisis en la cubierta vegetal y uso del suelo**

La cubierta vegetal de los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, ha sido severamente transformada por las actividades antrópicas. La presión de los recursos naturales que se ejercen en estos municipios a través de la demanda de la población e intensificación de las actividades agrícolas y ganaderas ha propiciado un fuerte impacto en los ecosistemas; como también la construcción de vías de comunicación y a la infraestructura para generar nuevos espacios al turismo, ha provocado una acelerada dinámica del cambio en la cubierta vegetal.

Las selvas son los ecosistemas que han sufrido la mayor deforestación en los tres municipios derivado principalmente por la expansión de las actividades agrícolas y el establecimiento de pastizales inducidos para la creación de potreros. De esta manera, las superficies transformadas de selvas en los tres municipios del periodo 2000-2011, son alrededor de 38,562 ha de selvas, 442 ha de manglares y 2031 ha de bosques (Figura 14).

**Figura 14.- Superficies transformadas para el periodo 2000-2011 en los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca.**



Fuente: Elaboración propia con base en el análisis de imágenes de satélite.

### 6.1.2.- Municipio de Santiago Jamiltepec:

Para el año 2000 el municipio de Santiago Jamiltepec tenía un total de 50,655 ha de coberturas naturales. Destaca el área ocupada por las selvas con (45,132.7 ha) seguida del bosque mesófilo con 5800.5 ha, manglar (845.1 ha) y los bosques de pino-encino (680.6 ha) y de pino (196.3 ha). Los principales usos del suelo corresponden a la agricultura de temporal con 11,116.3 ha y los pastizales con (929.9 ha). (Cuadro 4).

Once años después, las selvas habían disminuido en 20,160.3 ha entre el 2000 y 2011, de manera tal que para 2011 solo quedaban 24,972.3 ha de selva y 4138.06 ha de bosque mesófilo. Los bosques de pino y pino-encino, no ninguna afectación en tanto que los manglares tuvieron un ligero descenso al pasar de 845 ha en 2000 a 823 ha en 2011. Las tasas de deforestación correspondientes fueron de 2.9 % para el bosque mesófilo, 5.2% para las selvas y de 0.24% para los manglares (Figura 15 y Cuadro 5).

Los mayores cambios en las cubiertas vegetales se localizaron en las inmediaciones de la cabecera municipal y norte del municipio, cuyas selvas fueron transformadas en pastizales. De igual forma la agricultura ganó terreno al incrementar esta actividad económica principalmente a costa de las selvas.

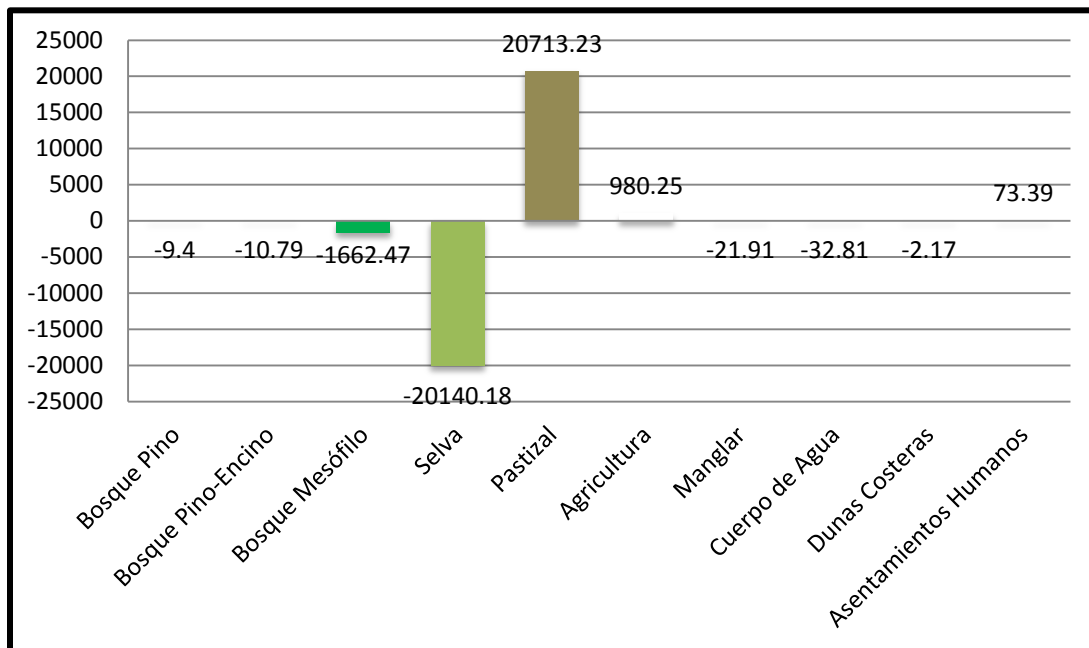
**Cuadro 4.- Evolución de cambios totales en superficie (ha) por cobertura y uso del suelo de 2000 a 2011 Santiago Jamiltepec.**

Uso del suelo/año	2000	2005	2011	Superficies transformadas
Bosque Pino	196.3	196.3	196.3	0
Bosque Pino-Encino	680.6	680.6	680.6	0
Bosque Mesófilo	5,800.5	5,782.3	4,138.0	-1,662.4
Selva	45,132.7	38,607.2	24,972.3	-20,160.3
Pastizal	929.9	6,577.6	21,643.1	20,713.2
Agricultura	11,116.3	11,960.4	12,096.5	980.2
Manglar	845.1	836.6	823.2	-22.1
Cuerpo de Agua	1,381.6	1,437.6	1,461.6	80.0
Dunas Costeras	335.22	335.22	333.05	-2.17
Asentamientos Humanos	281.83	286.09	355.22	73.39
Superficie total	66700.3	66700.3	66700.3	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 15.- Comparación de superficie total de cambio en las coberturas (ha) en el municipio de Santiago Jamiltepec.**





Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5.- Tasa de deforestación en los diferentes tipos de vegetación del municipio Santiago Jamiltepec.

Uso del suelo/año	2000-2005	2005-2011	2000-2011
Bosque Mesófilo	-0.06	-5.21	-2.99
Selva	-3.03	-6.73	-5.18
Manglar	-0.20	-0.26	-0.24

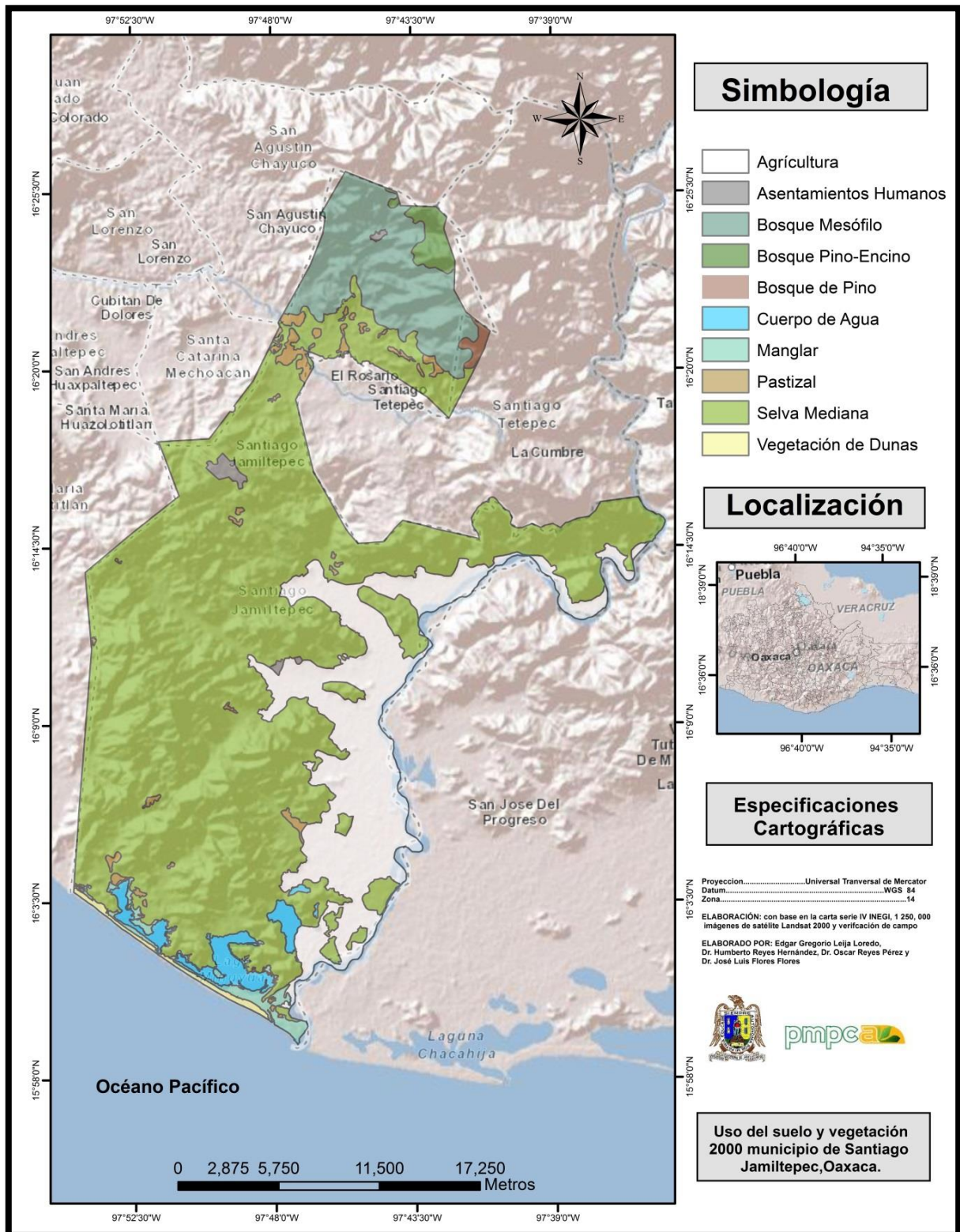


Figura 16.- Uso del suelo y vegetación 2000, Santiago Jamiltepec.

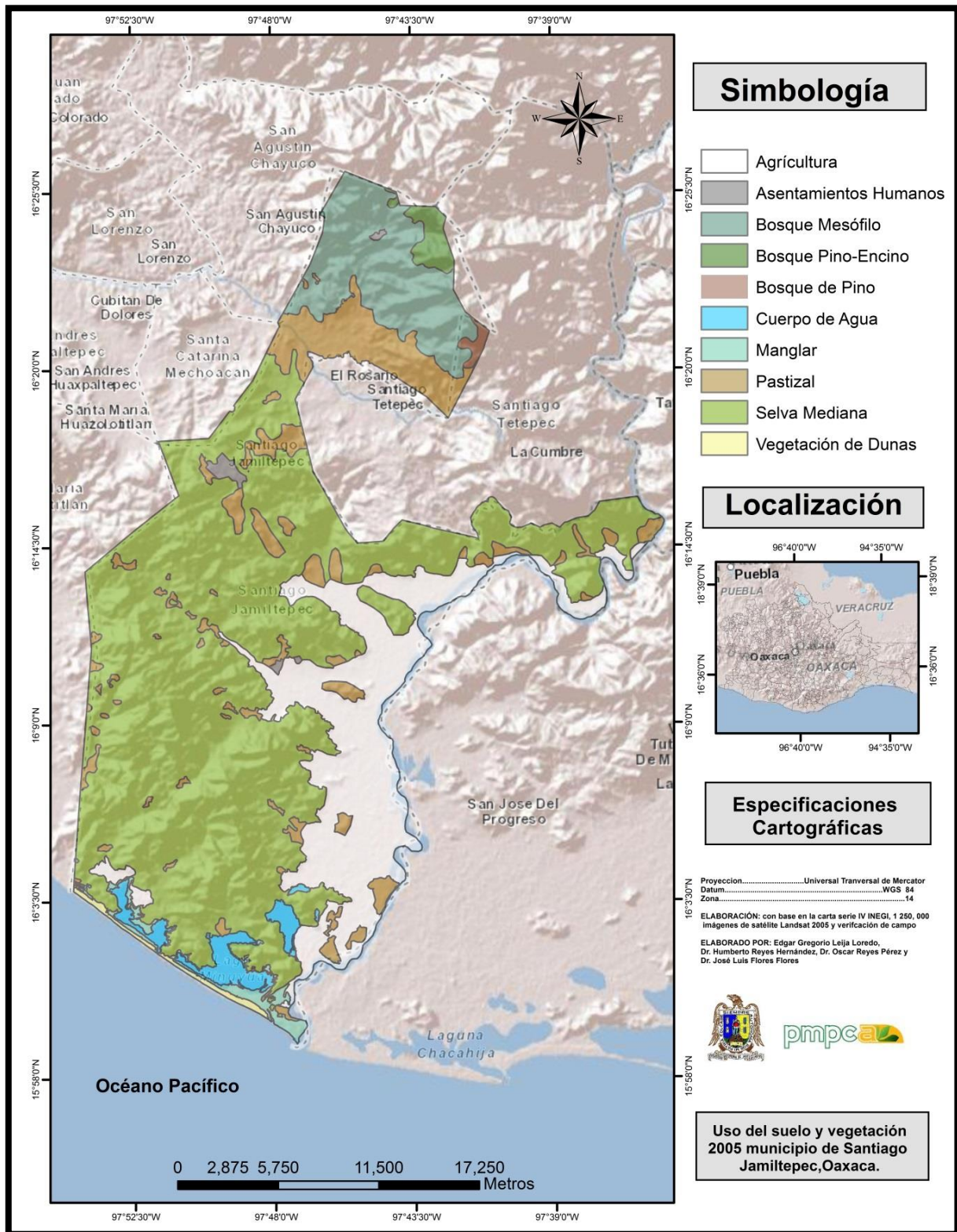


Figura 17.- Uso del suelo y vegetación 2005, Santiago Jamiltepec.

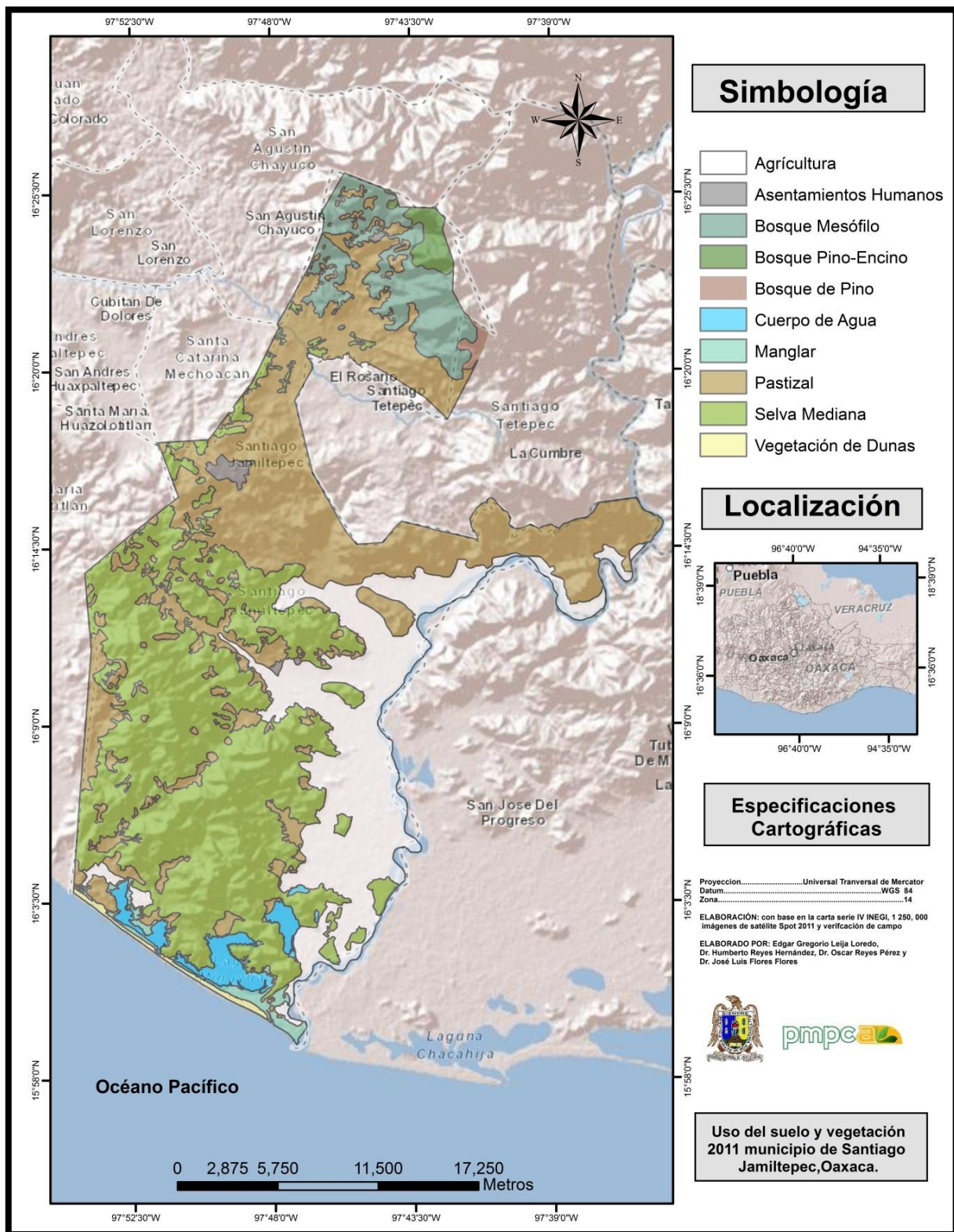


Figura 18.- Uso del suelo y vegetación 2011, Santiago Jamiltepec.

### 6.1.3.- Santa María Colotepec:

Para el año 2000 el municipio de Santa María Colotepec tenía en total de 35,450 ha de coberturas naturales. Destaca el área ocupada por las selvas con 34,303.5 ha, seguida del bosque de pino-encino con (733.23 ha) y manglar con (414.04 ha). Los principales usos del suelo corresponden a la agricultura de temporal con 4893.7 ha y lo pastizales con 974.60 ha (Cuadro 6).

Once años después las selvas había disminuido en 6,777.9 ha entre el 2000 y 2011, de manera tal que para 2011 solo quedaban 27,525.6 ha de selva, bosque de pino-encino 364 ha, en tanto que los manglares tuvieron un ligero descenso al pasar de 414 ha en 2000 a 252 ha en 2011. Las tasas de deforestación correspondientes fueron de 6.1% para el bosque de pino-encino, 2.0% para selvas y 4.4 % para los manglares (Figura 19 y Cuadro 7).

Los mayores cambios en las cubiertas vegetales se localizaron en las inmediaciones norte y sur del municipio, cuyas selvas fueron transformadas principalmente a la actividad agrícola. De igual forma las áreas de pastizales ganó terreno al incrementar su actividad.

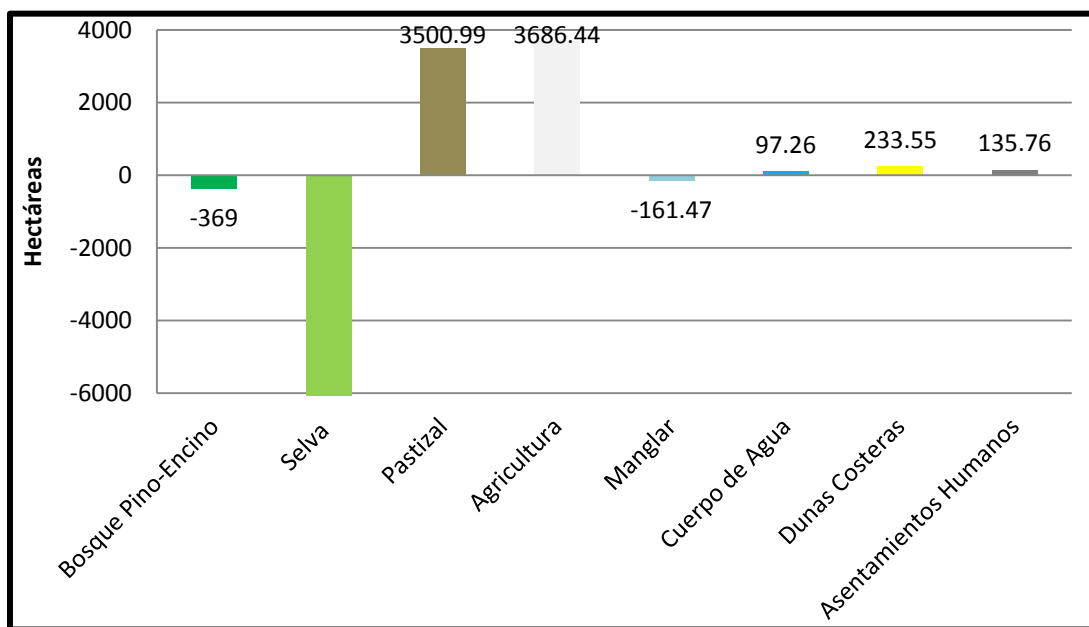
**Cuadro 6.- Evolución de cambios totales en superficie (ha) por cobertura y uso del suelo de 2000 a 2011 Santa María Colotepec.**

Uso del suelo/año	2000	2005	2011	Superficies transformadas
Bosque Pino-Encino	733.2	592.0	364	-369
Selva	34,303.5	32,073.3	27,525.6	-6,777.9
Pastizal	974.6	1,408.5	4,475.5	3,500.9
Agricultura	4,893.7	6,763.8	8,580.2	3,686.4
Manglar	414.0	371.4	252.5	-161.4
Cuerpo de Agua	97.2	97.2	97.2	97.2

Dunas Costeras	233.5	233.5	233.5	233.5
Asentamientos Humanos	460.16	570.04	581.36	121.2
Superficie total	42110.18	42110.18	42110.18	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19.- comparación de superficie total de cambio en las coberturas (ha) en el municipio de Santa María Colotepec.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7.- Tasa de deforestación de los diferentes tipos de vegetación del municipio Santa María Colotepec.

Uso del suelo/año	2000-2005	2005-2011	2000-2011
Bosque Pino-Encino	-4.2	-7.5	-6.1
Selva	-1.3	-2.4	-2.0
Manglar	-2.1	-6.0	-4.4

Fuente: Elaboración propia.

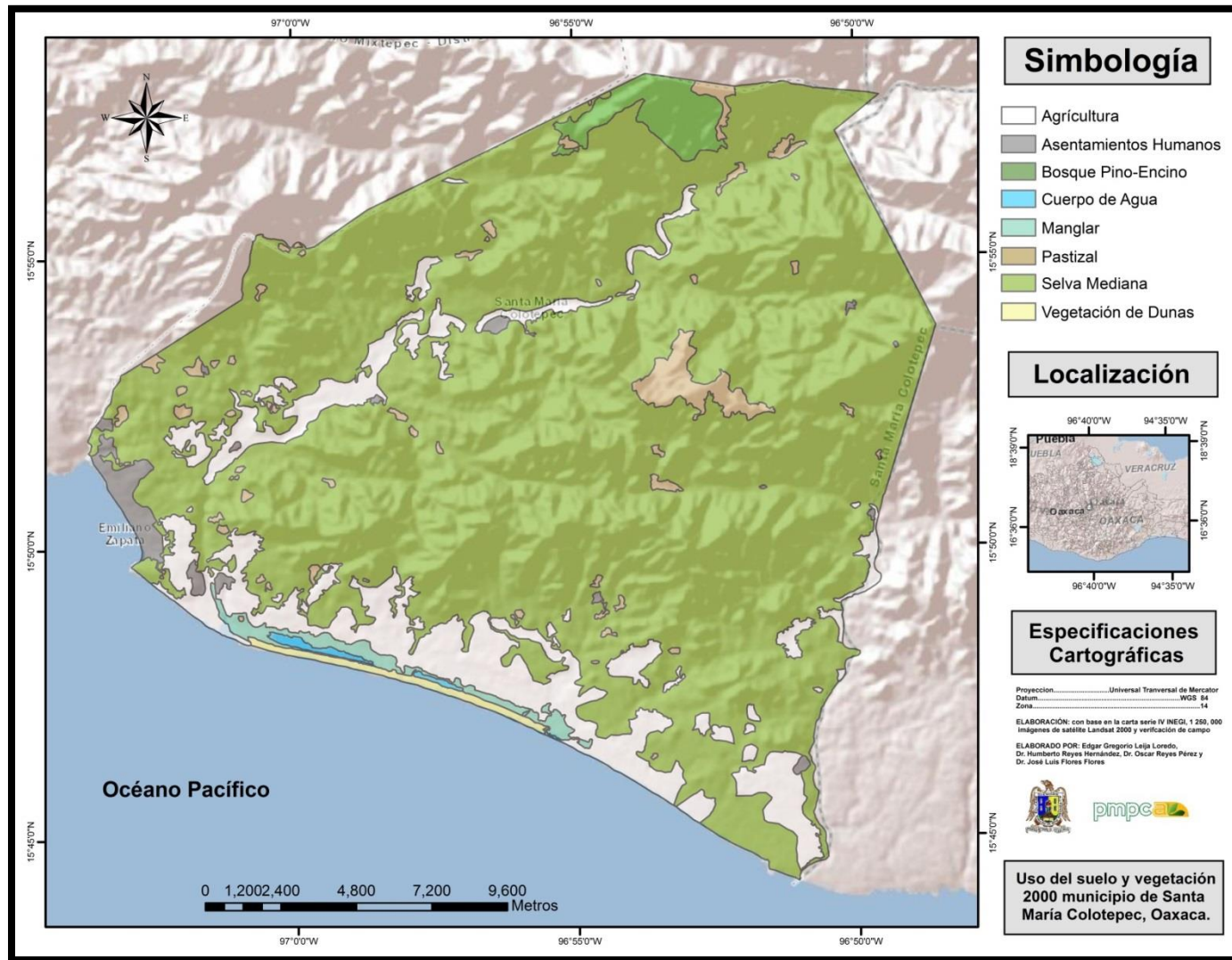


Figura 20.- Uso del suelo y vegetación 2000, Santa María Colotepec.

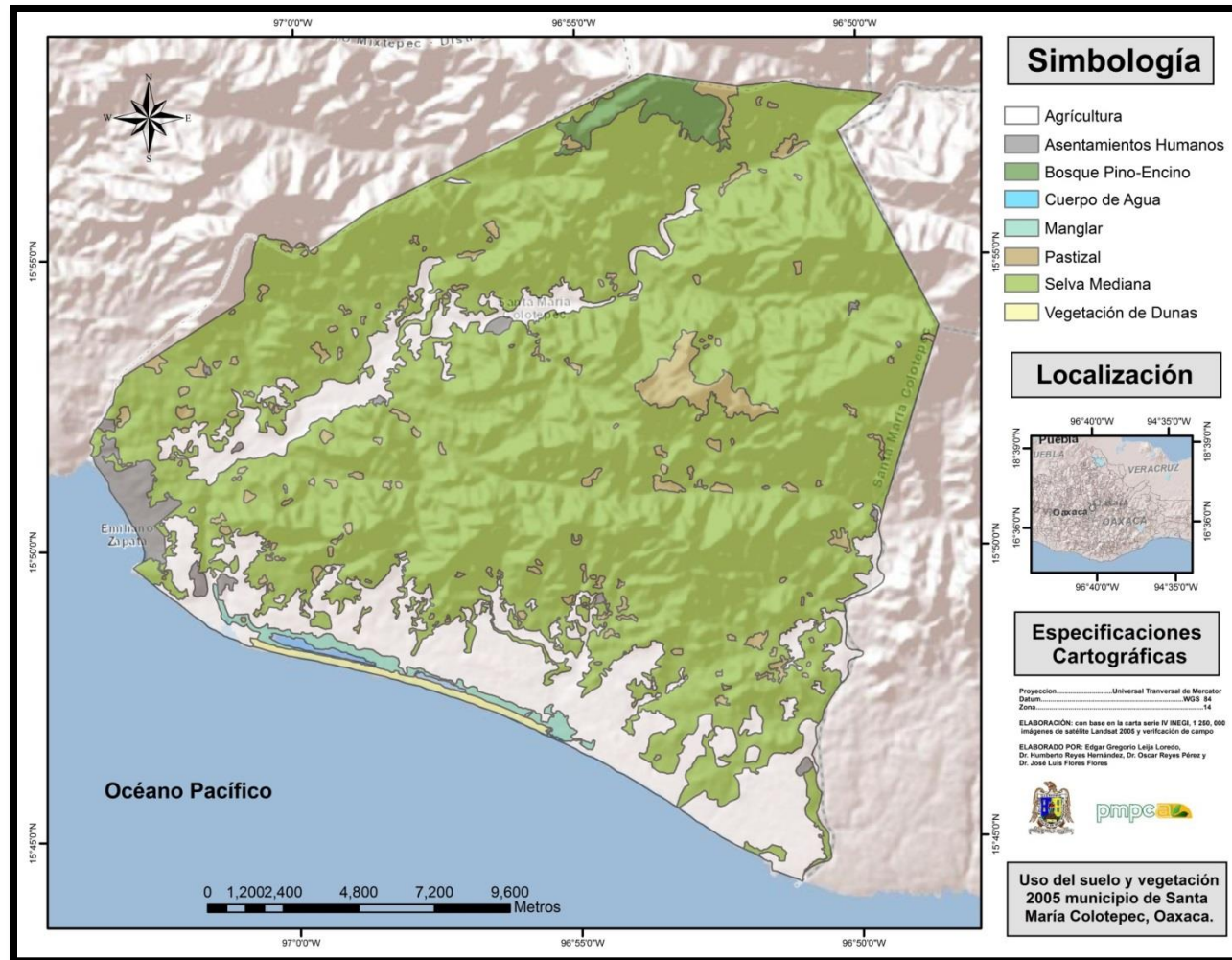


Figura 21.- Uso del suelo y vegetación 2005, Santa María Colotepec.



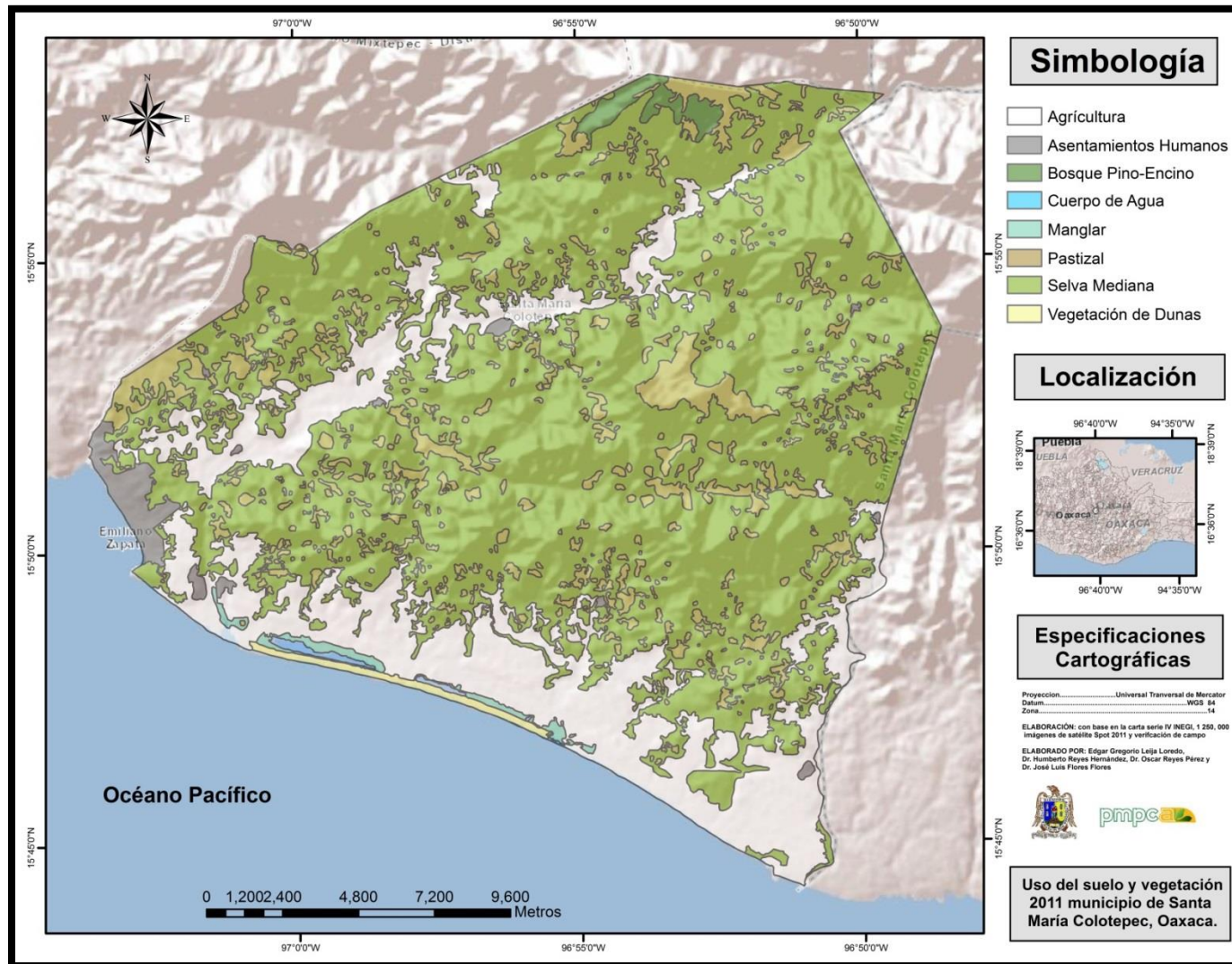


Figura 22.- Uso del suelo y vegetación 2011, Santa María Colotepec.

#### 6.1.4.- Santa María Tonameca:

Para el año 2000 el municipio de Santa María Tonameca tenía un total de 45,224 ha de coberturas naturales. Destaca el área ocupada por las selvas con 43,564 ha, seguida de manglar con 1,660 ha. Los principales usos del suelo corresponden a la agricultura de temporal con 5,808.6 ha y los pastizales con 1,757.7 ha (Cuadro 8).

Once años después, las selvas habían disminuido en 11,624.7 ha entre el 2000 y 2011, de manera tal que para 2011 solo quedaban 31,939.6 ha, en tanto que los manglares tuvieron un ligero descenso al pasar de 1,660.2 ha en 2000 a 1,401 ha en 2011. Las tasas de deforestación correspondientes fueron de 2.8% para las selvas y de 1.5% para los manglares (Figura 23 y Cuadro 9).

Los mayores cambios en las cubiertas vegetales se localizaron en las inmediaciones de la cabecera municipal, sur y oeste del municipio, cuyas selvas fueron transformadas a la actividad agrícola. De igual forma por áreas de pastizales como dos de las causas más severas que han infringido en la transformación de las selvas.

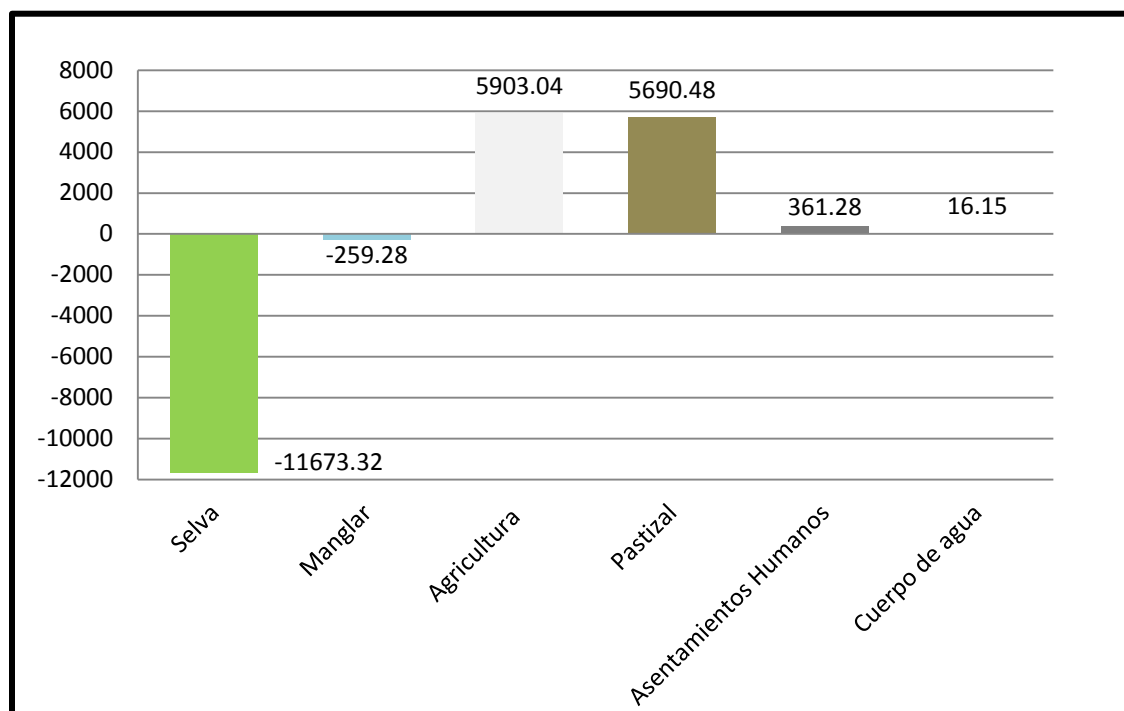
**Cuadro 8.- Evolución de cambios totales en superficie (ha) por cobertura y uso del suelo de 2000 a 2011 Santa María Tonameca.**

<b>COBERTURAS</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2011</b>	<b>Superficie transformada</b>
Selva	43,564.3	38,153.6	31,939.6	-11,624.6
Manglar	1,660.2	1,546.4	1,401.0	-259.2
Agricultura	5,808.6	7,995.2	11,711.6	5,903.0
Pastizal	1,757.7	4,794.5	7,442.0	5,684.2
Asentamientos Humanos	35.7	336.8	348.5	312.8
Cuerpo de agua	136.1	136.1	120.0	-16.1

Superficie total	52962.95	52962.95	52962.95	
------------------	----------	----------	----------	--

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23.- comparación de superficie total de cambio en las coberturas (ha) en el municipio de Santa María Tonameca.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9.- Tasa de deforestación en los diferentes tipos de vegetación del municipio Santa María Tonameca.

COBERTURAS	2000-2005	2005-2011	2000-2011
Selva	-2.6	-2.8	-2.8
Manglar	-1.4	-1.6	-1.5

Fuente: Elaboración propia.

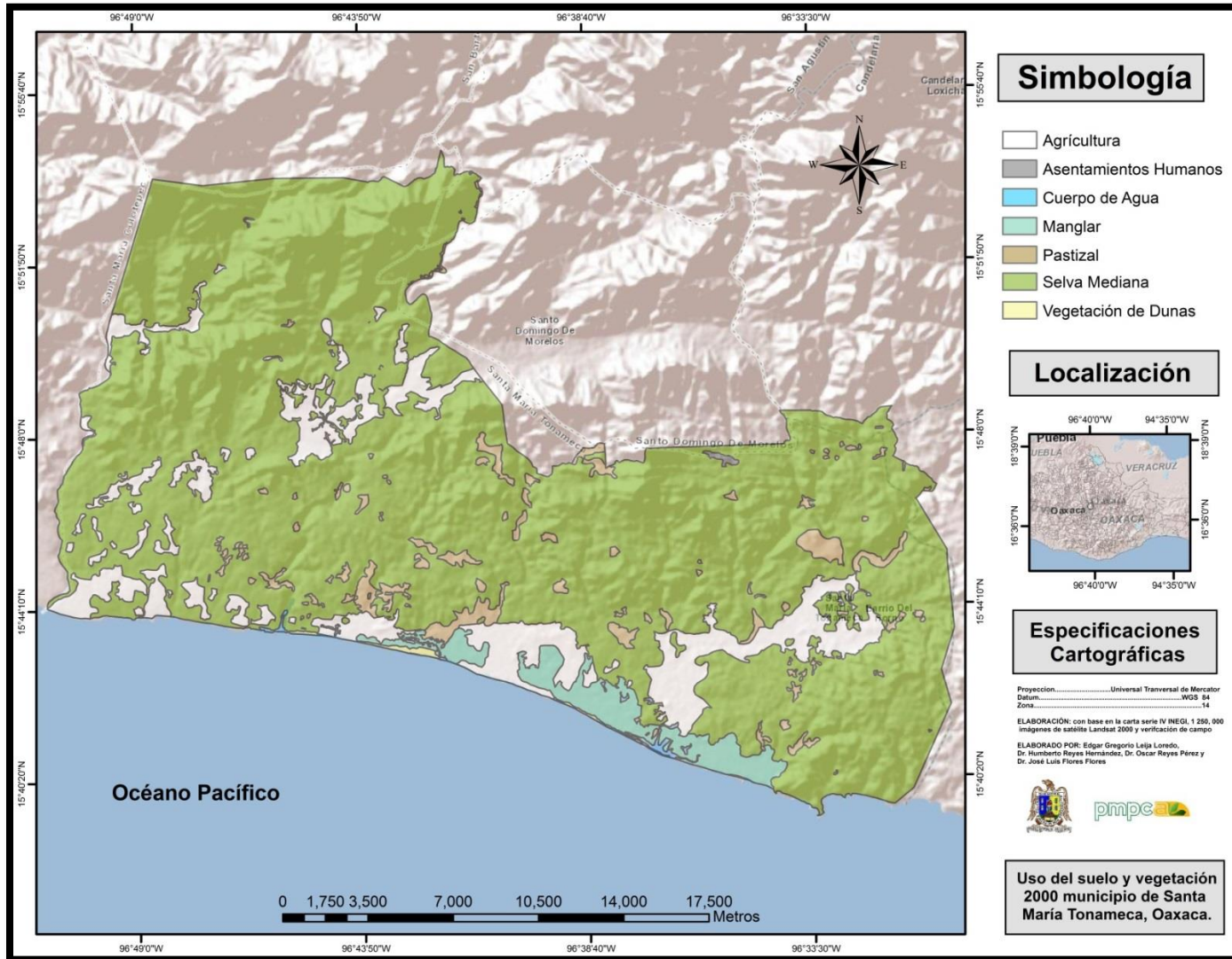


Figura 24.- Uso del suelo y vegetación 2000, Santa María Tonameca.

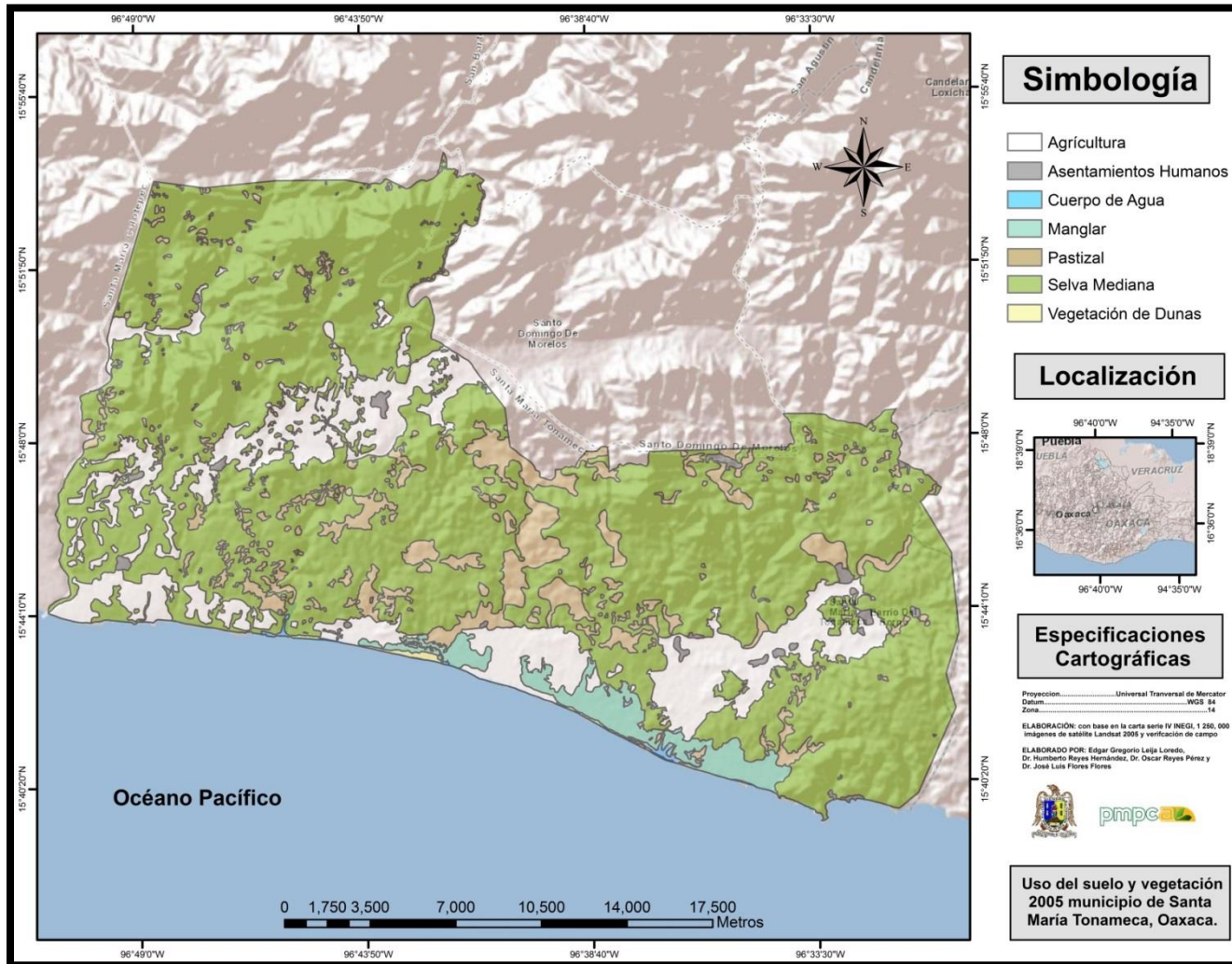


Figura 25.- Uso del suelo y vegetación 2005, Santa María Tonameca.

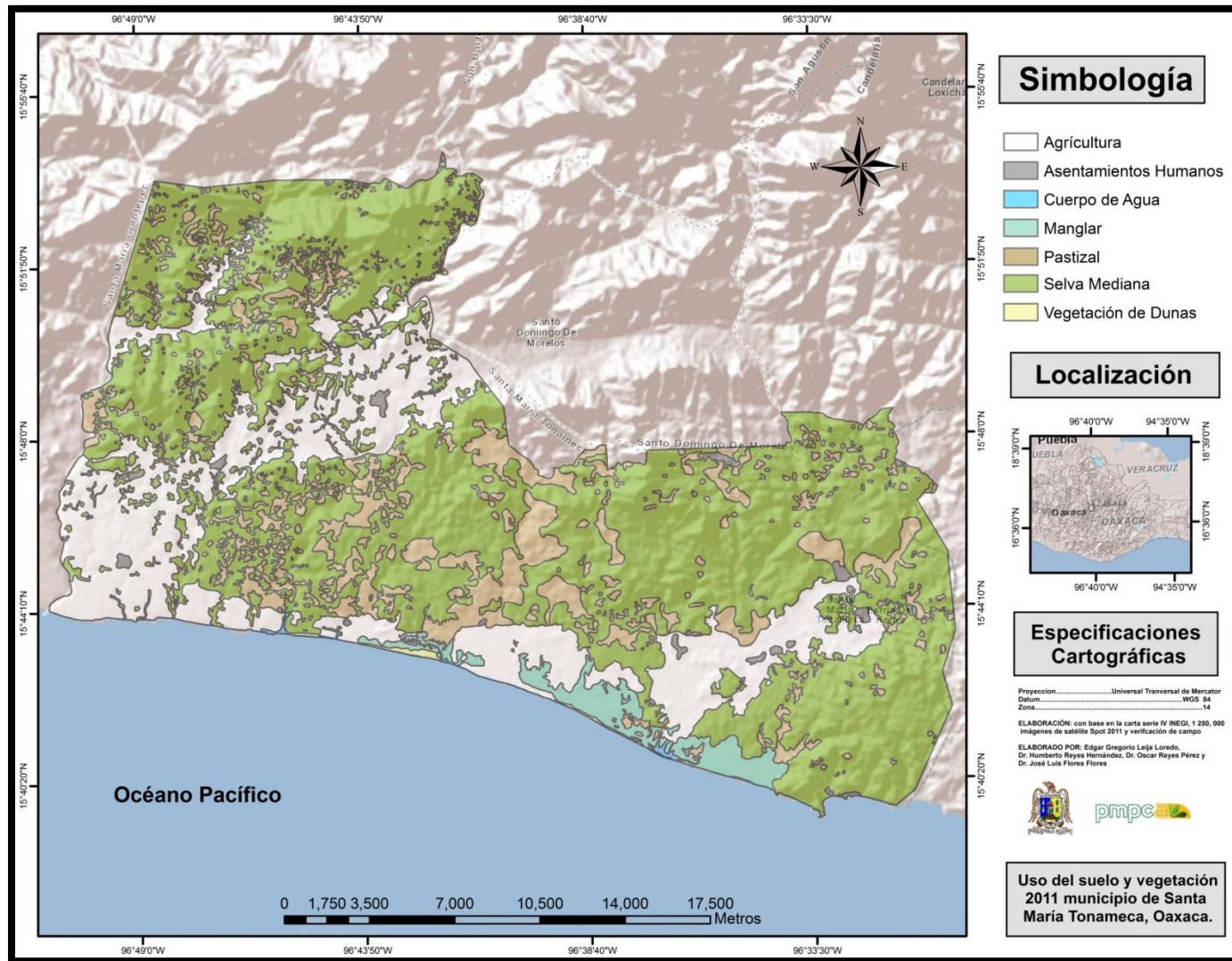


Figura 26.- Uso del suelo y vegetación 2011, Santa María Colotepec.

### 6.1.5.- Tipos de cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo:

Los tipos de coberturas que sufrieron pérdidas importantes y que hubo un mayor cambio en el uso del suelo, fue la selva mediana y los bosques. Coberturas predominantes en los tres municipios del área de estudio. La transformación que se presentaron con mayor cambio fue a agricultura de temporal y pastizal inducido. Tal es caso cómo se puede apreciar en las fotografías de la figura 27 y 28 tomadas durante el trabajo de campo, donde se observaron estos principales cambios en el paisaje.

Figura 27.-.- Cambio de cobertura de selva mediana hacia la agricultura de temporal (1) y pastizal inducido (2).



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo.

**Figura 28.- Cambio de cobertura de bosque de pino-encino hacia agricultura de temporal (1)  
y pastizal inducido (2).**



**Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo.**



## 7.- Escenarios futuros:

### 7.1.- Matrices de transiciones de coberturas para los periodos 2005-2011.

#### 7.2.- Municipio de Santiago Jamiltepec:

Las matrices de cambio para todo el periodo (Cuadro 10) y la matriz anualizada (Cuadro 11) presentan las tasas de transición entre cada cobertura. Los valores corresponden al porcentaje de superficie que fue transformada. De acuerdo a los datos obtenidos se encontró que del periodo 2000-2005, las selvas, los manglares y el bosque mesófilo cambiaron a agricultura de temporal (0.33% y 0.17% respectivamente). De selva y bosque mesófilo cambiaron a pastizales (0.37% y 0.28% respectivamente). Lo que representa una tasa de cambio anual de 0.01% y 0.02% de selvas y manglares que cambiaron a agricultura de temporal. De selvas y bosque mesófilo que cambiaron a pastizales de 0.08% y 0.05%.

Las selvas cambiaron a asentamientos humanos en 7.75%. De esta manera los pastizales son un indicador importante en la transformación de las coberturas naturales en el área de estudio.

Cuadro 10.- Matriz de probabilidades de transición de paso simple (periodo 2000-2005).

Coberturas 2000	Coberturas 2005									
	Bosque de Pino	Selva Mediana	Bosque de Pino-Encino	Asentamientos Humanos	Agricultura	Vegetación de Dunas Costeras	Manglar	Cuerpo de Agua	Bosque Mesófilo	Pastizal Inducido
Bosque de Pino	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Selva	--	--	--	0.001	0.003	--	--	--	--	0.372

<b>Mediana</b>										
<b>Bosque de Pino-Encino</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Asentamientos Humanos</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Agricultura</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Vegetación de Dunas Costeras</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Manglar</b>	--	--	--	--	0.017	--	--	--	--	--
<b>Cuerpo de Agua</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Bosque Mesófilo</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.280
<b>Pastizal Inducido</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Cuadro 11.- Matriz de probabilidades de transición de paso múltiple.

	Coberturas 2005									
Coberturas 2000	Bosque de Pino	Selva Mediana	Bosque de Pino-Encino	Asentamientos Humanos	Agricultura	Vegetación de Dunas Costeras	Manglar	Cuerpo de Agua	Bosque Mesófilo	Pastizal Inducido
Bosque de Pino	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<b>Selva Mediana</b>	--	--	--	7.759	0.000	--	--	--	--	0.823
<b>Bosque de Pino-Encino</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Asentamientos Humanos</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Agricultura</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Vegetación de Dunas Costeras</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Manglar</b>	--	--	--	--	0.002	--	--	--	--	--
<b>Cuerpo de Agua</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Bosque Mesófilo</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.058
<b>Pastizal Inducido</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

**Cuadro 12.- Transiciones detectadas y tomadas en cuenta para el modelo proyectivo**

Numero	Clave	Transición
1	1 a 3	Selva a asentamientos
2	1 a 4	Selva mediana a agricultura
3	1 a 9	Selva mediana a pastizal Inducido
4	6 a 4	Manglar a agricultura

5	8 a 9	Bosque mesófilo a pastizal inducido
---	-------	-------------------------------------

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

### 7.3- Municipio de Santa María Colotepec:

Para este municipio las matrices de cambio para todo el periodo (Cuadro 13) y la matriz anualizada (Cuadro 14) presentan las tasas de transición entre cada cobertura. Los valores corresponden al porcentaje de superficie que fue transformada. De acuerdo a los datos obtenidos se encontró que del periodo 2000-2005, las selvas y los manglares cambiaron a agricultura de temporal (0.05% y 0.32% respectivamente). De selva y bosque de pino-encino que cambiaron a pastizales (0.31% y 0.09% respectivamente). Lo que representa una tasa de cambio anual de 0.08% y 0.06% de selvas y manglares que cambiaron a agricultura de temporal. De selvas y bosque de pino-encino que cambiaron a pastizales de 0.01% y 0.06%. Las selvas cambiaron a asentamientos humanos en 0.01%. De esta manera la agricultura de temporal y los pastizales son indicadores importantes en la transformación de las coberturas naturales en el área de estudio.

Tabla 13.- Matriz de probabilidades de transición de paso simple (periodo 2000-2005).

Coberturas 2000	Coberturas 2005							
	Bosque de Pino	Selva Mediana	Vegetación de Dunas	Manglar	Cuerpo de Agua	Agricultura	Pastizal Inducido	Asentamientos Humanos
Bosque de Pino-Encino	--	--	--	--	--	--	0.315	--
Selva Mediana	--	--	--	--	--	0.516	0.091	0.000
Vegetación de	--	--	--	--	--	--	--	--

Dunas								
Manglar	--	--	--	--	--	0.320	--	--
Cuerpo de Agua	--	--	--	--	--	--	--	--
Agricultura	--	--	--	--	--	--	--	--
Pastizal Inducido	--	--	--	--	--	--	--	--
Asentamientos Humanos	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 14.- Matriz de probabilidades de transición de paso múltiple.

	Coberturas 2005							
Coberturas 2000	Bosque de Pino	Selva Mediana	Vegetación de Dunas	Manglar	Cuerpo de Agua	Agricultura	Pastizal Inducido	Asentamientos Humanos
Bosque de Pino-Encino	--	--	--	--	--	--	0.0641	--
Selva Mediana	--	--	--	--	--	0.089	0.0164	0.000
Vegetación de Dunas	--	--	--	--	--	--	--	--
Manglar	--	--	--	--	--	0.062	--	--
Cuerpo de Agua	--	--	--	--	--	--	--	--
Agricultura	--	--	--	--	--	--	--	--

<b>Pastizal Inducido</b>	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Asentamientos Humanos</b>	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

**Tabla 15.- Transiciones detectadas y tomadas en cuenta para el modelo proyectivo**

Numero	Clave	Transición
1	0 a 6	Bosque de pino-encino a pastizal
2	1 a 5	Selva mediana a agricultura
3	1 a 6	Selva mediana a pastizal inducido
4	1 a 7	Selva mediana a asentamientos
5	3 a 5	Manglar a agricultura

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

#### **7.4.- Municipio de Santa María Tonameca:**

Para este municipio las matrices de cambio para todo el periodo (Cuadro 16) y la matriz anualizada (Cuadro 17) presentan las tasas de transición entre cada cobertura. Los valores corresponden al porcentaje de superficie que fue transformada. De acuerdo a los datos obtenido se encontró que del periodo 2000-2005, las selvas y los manglares cambiaron a agricultura de temporal (0.09% y 0.08% respectivamente). De selva y manglar que cambiaron a pastizales (0.07% y 0.01% respectivamente). Lo que representa una tasa de cambio anual de 0.01% y 0.01% de selvas y manglares que cambiaron a agricultura de temporal. De selvas y manglares que cambiaron a pastizales de 0.01% y 0.00%.

De esta manera la agricultura de temporal y los pastizales son indicadores importantes en la transformación de las coberturas naturales en el área de estudio.

**Cuadro 16.- Matriz de probabilidades de transición de paso simple (periodo 2005-2011).**

	Coberturas 2005						
Coberturas 2000	Manglar	Cuerpo de Agua	Vegetación de Dunas	Selva Mediana	Pastizal Inducido	Agricultura	Asentamientos Humanos
Manglar	--	--	--	--	0.018	0.086	--
Cuerpo de Agua	--	--	--	--	--	--	--
Vegetación de Dunas	--	--	--	--	--	--	--
Selva Mediana	--	--	--	--	0.070	0.092	--
Pastizal Inducido	--	--	--	--	--	--	--
Agricultura	--	--	--	--	--	--	--
Asentamientos Humanos	--	--	--	--	--	--	--

**Cuadro 17.- Matriz de probabilidades de transición de paso múltiple.**

	Coberturas 2005						
Coberturas 2000	Manglar	Cuerpo de Agua	Vegetación de Dunas	Selva Mediana	Pastizal Inducido	Agricultura	Asentamientos Humanos

<b>Manglar</b>	--	--	--	--	0.0032	0.0151	--
<b>Cuerpo de Agua</b>	--	--	--	--	--	--	--
<b>Vegetación de Dunas</b>	--	--	--	--	--	--	--
<b>Selva Mediana</b>	--	--	--	--	0.0127	0.0166	--
<b>Pastizal Inducido</b>	--	--	--	--	--	--	--
<b>Agricultura</b>	--	--	--	--	--	--	--
<b>Asentamientos Humanos</b>	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

**Cuadro 18.- Transiciones detectadas y tomadas en cuenta para el modelo proyectivo**

Numero	Clave	Transición
1	0 a 4	Manglar a pastizal inducido
2	0 a 5	Manglar a agricultura
3	3 a 4	Selva mediana a pastizal inducido
4	3 a 5	Selva mediana a agricultura

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

Las variables de mayor peso (o que más influyen en los cambios) son la altitud, la pendiente, la densidad de población y la distancia a los asentamientos humanos. Las distancias a la agricultura y al pastizal inducido tienen un efecto positivo, la altitud, el tipo de suelos y la densidad de población tienen un efecto menor pero que sin duda alguna influyen en estas dos transiciones.



Con respecto a la transformación de selvas a las coberturas de pastizales, estas son principalmente a la fragmentación del paisaje, fragmentos que son utilizados para la introducción del ganado y que esto a su vez se van expandiendo o ganando cada vez mayor terreno sobre las selvas naturales ocupando mayores extensiones en relación a la cantidad de cabezas de ganado que ocupan un área, ocasionando el cambio uso del suelo hacia esta actividad agropecuaria.

Las que mayor peso tuvieron en la transformación del paisaje y que de acuerdo a cada una de las variables para estas transiciones, las variables como densidad de población y distancia a pastizal tienen un mayor efecto positivo, favoreciendo a la deforestación y a su vez las variables con menor efecto asociado a la degradación son altitud, distancias a cuerpos de agua, pendientes y el tipo de suelos.

## **7.5.- Proyección de escenarios futuros:**

### **7.5.1.- Santiago Jamiltepec:**

Las proyecciones de los escenarios a futuro indican que si de mantenerse estas tendencias de cambio para el 2015 se perderá alrededor de 2,587.5 ha de bosque mesófilo, 27,509.9 ha de selvas y 8,23 ha de manglar en el municipio de Santiago Jamiltepec. Las áreas con mayores probabilidades de cambios se localizan en la porción central y norte del municipio. La causa principal estaría asociada a la expansión del pastizal inducido por actividades agropecuarias (Cuadro 19).

Para el 2025 se habrán perdido 4,089.2 ha de bosque mesófilo, 37,782.4 ha de selvas y 67 ha de manglar (Figura 29). De acuerdo a estas estimaciones, la cobertura de la selva será la impactada perdiendo más de su mitad de su superficie actual. El bosque de pino y bosque de pino-encino son las coberturas que se mantendrían sin cambios aparentes.

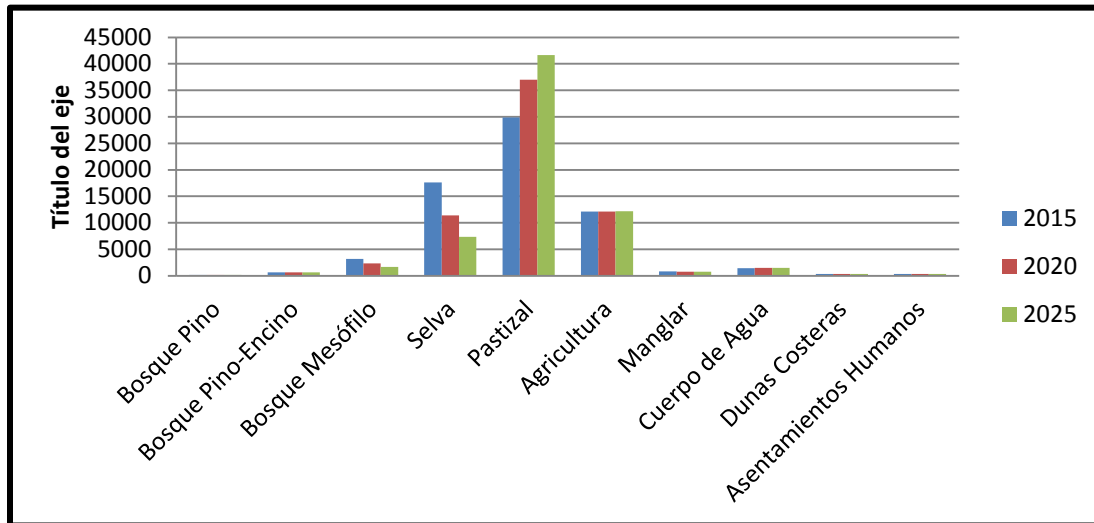
Los escenarios previstos al 2025, muestran que las áreas de cultivo y los pastizales se incrementarían en 1,049 ha y 40,703.4 ha respectivamente, con respecto al 2000. Los asentamientos humanos también tendrán un peso importante al incrementar su población de 281 ha en el 2000 a 361.9 ha para 2025. De esta manera, para el año 2025 las coberturas naturales se verán fuertemente impactadas por la agricultura, ganadería y al crecimiento de los asentamientos humanos. De esta manera, la actividad agropecuaria derivado a la apertura de áreas para potreros para introducir el ganado, genera la fragmentación de estas coberturas.

**Cuadro 19.- Proyección de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo en el municipio de Santiago Jamiltepec (superficie en ha).**

<b>Uso del suelo/año</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>
Bosque Pino	196.3	196.3	196.3
Bosque Pino-Encino	680.6	680.6	680.6
Bosque Mesófilo	3,212.4	2,339.3	1,711.2
Selva	17,622.8	11,388.3	7,350.3
Pastizal	29,882.6	36,976.1	41,633.4
Agricultura	12,126.2	12,148.4	12,165.4
Manglar	814.9	802	789.1
Cuerpo de Agua	1,468.3	1,470.8	1,473.5
Dunas Costeras	338.1	338.1	338.2
Asentamientos Humanos	357.7	359.9	361.9
<b>Total</b>	<b>66,700.3</b>	<b>66,700.3</b>	<b>66,700.3</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

Figura 29.- Superficies de las coberturas vegetales 2015-2025, Santiago Jamiltepec.



Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

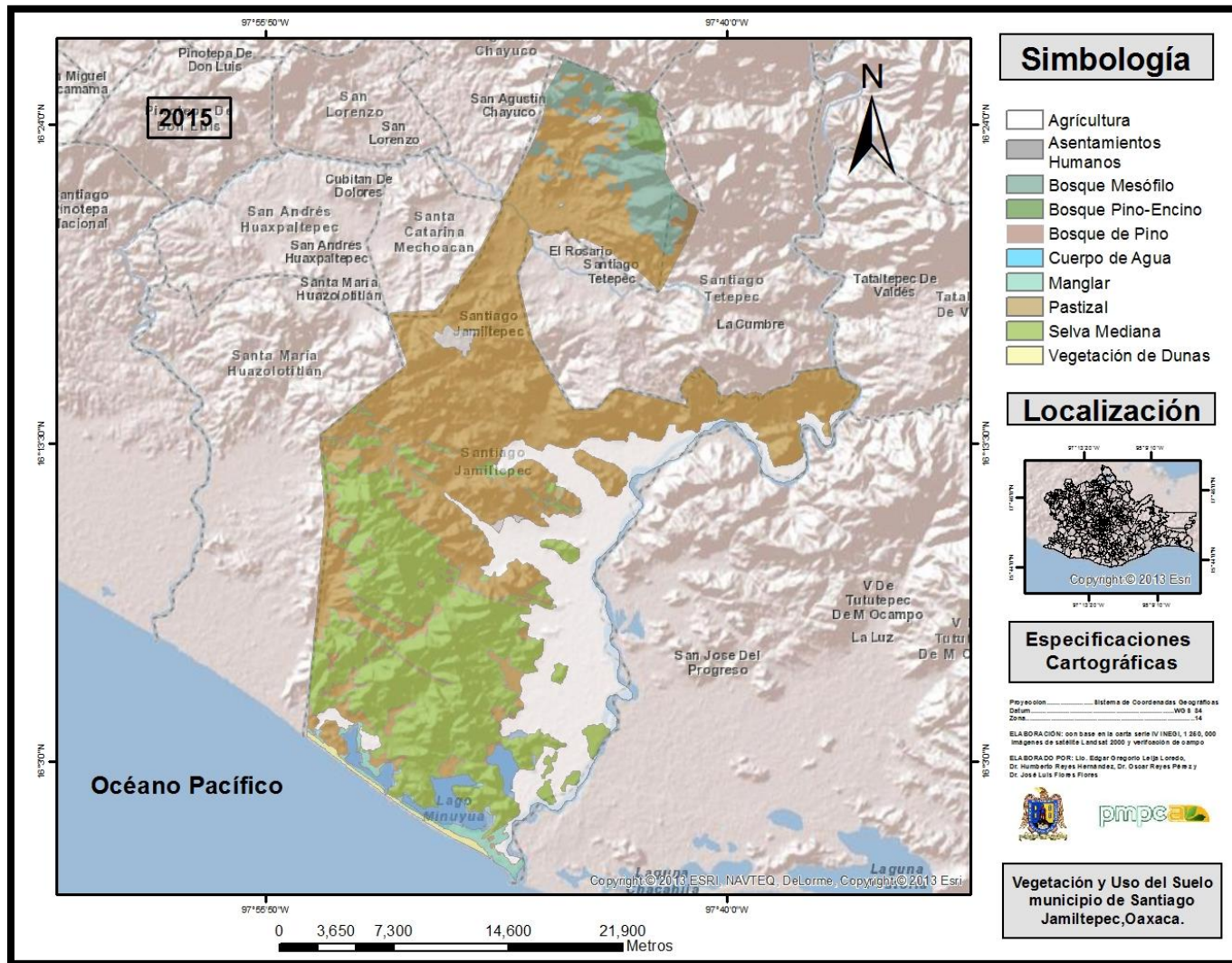


Figura 30.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2015.

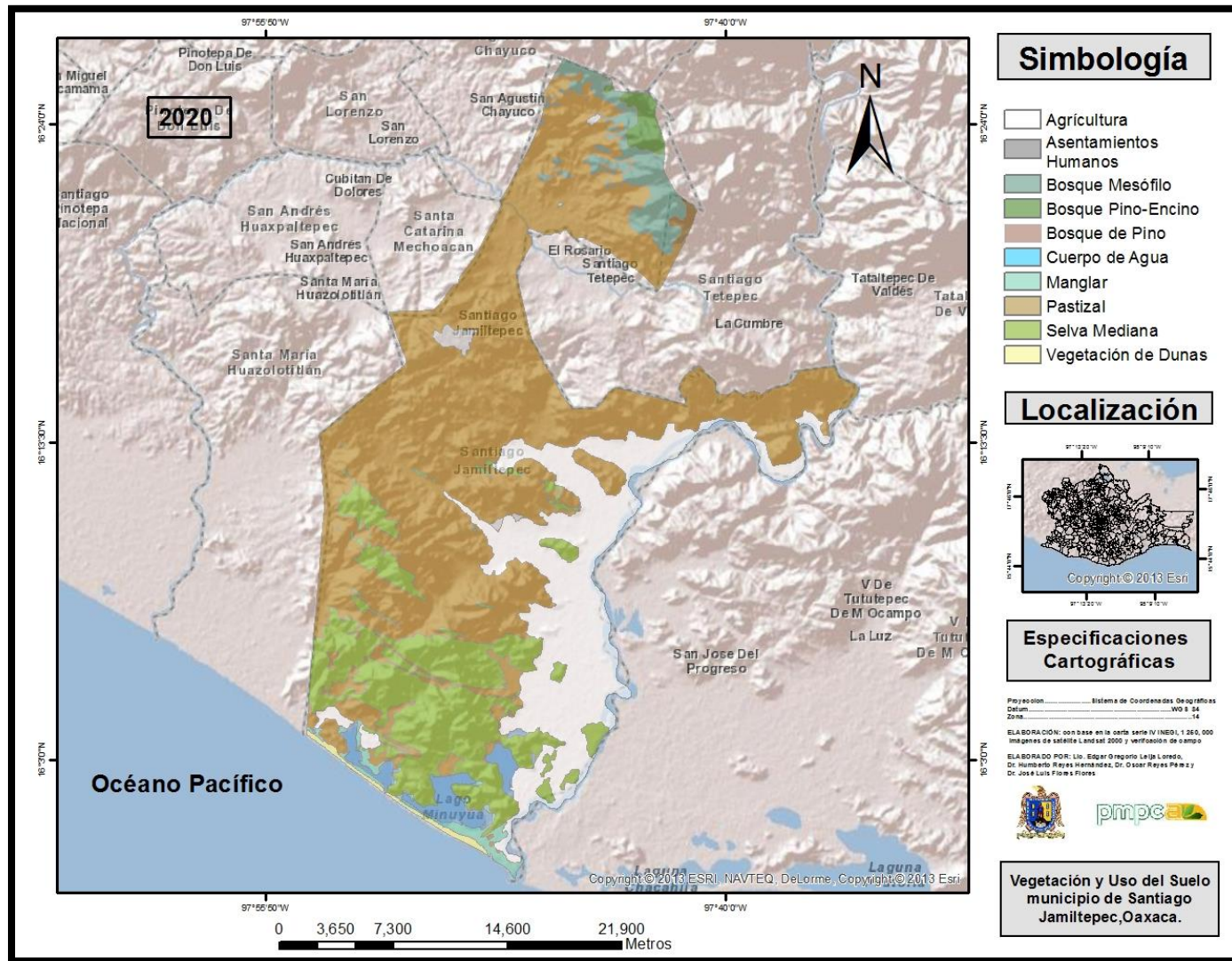


Figura 31.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2020.

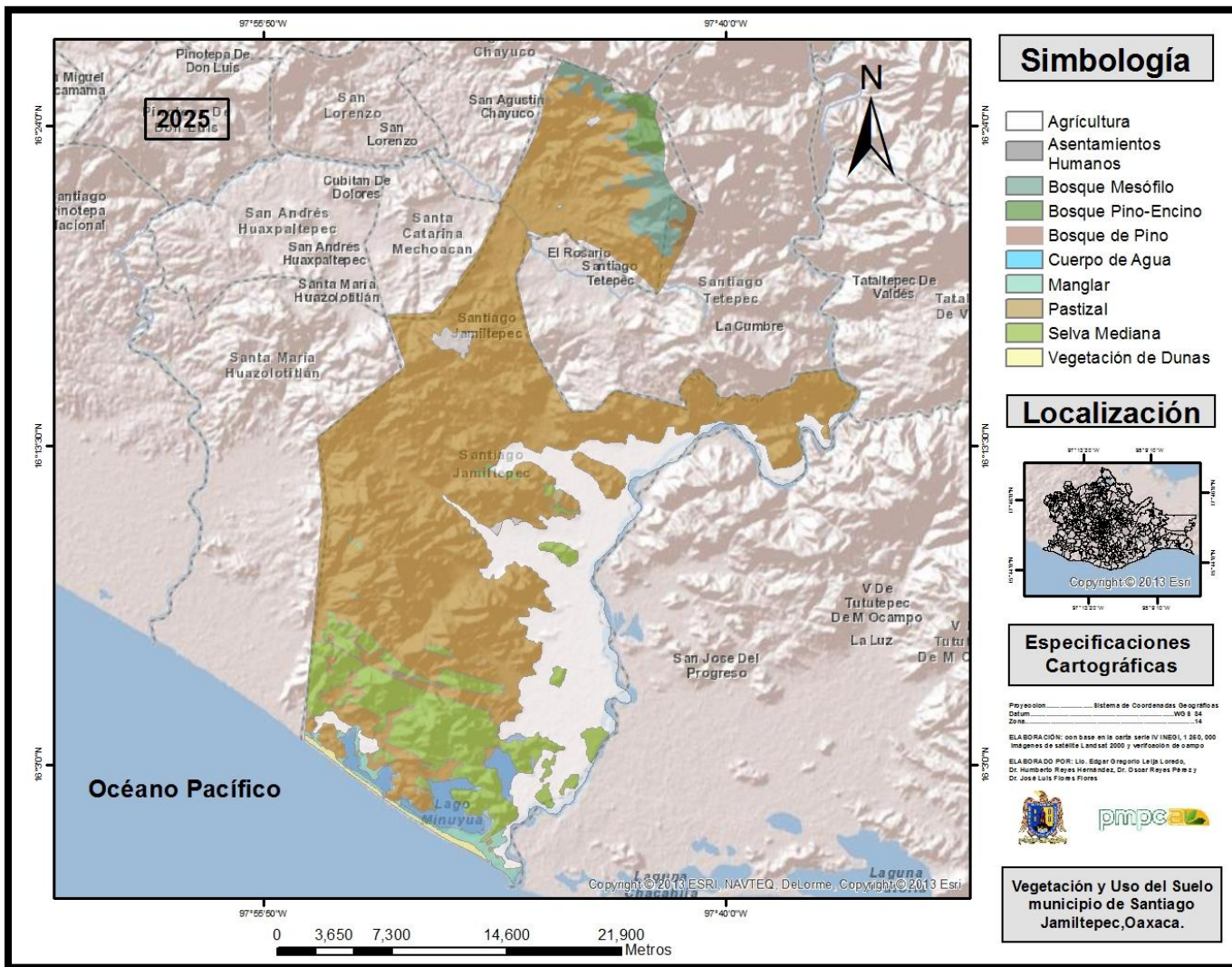


Figura 32.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2025.

### 7.5.2.- Santa María Colotepec:

De acuerdo con la dinámica de los cambios en la cobertura y uso del suelo, para el 2015 se esperaría en este municipio la transformación de alrededor de 486.5 ha de bosque de pino-encino, 230.1 ha de manglar y 8,861.2 ha de selvas (Cuadro 20 y Figura 34). Los mayores cambios en municipio, se prevén por fragmentación de la porción centro y norte, derivado de las practicas agropecuarias.

La actividad agrícola tiene una menor presión sobre la cobertura natural de la selva, debido a que el tipo de transformación es principalmente por expansión hacia la porción norte, sur y oeste del municipio. La tendencia del cambio de uso del suelo indica que para 2025, se perderían 650.4 ha de bosque de pino-encino, 336 ha de manglar y 15,332.3 ha de selvas. Con base en estas estimaciones en los próximos 14 años, la cobertura de la selva será el ecosistema el más impactado por la introducción del ganado y en segundo lugar la agricultura; actividad favorecida por el recurso hídrico en el municipio.

Los asentamientos humanos para 2025 se incrementarían en 157.3 ha con respecto al 2000, de esta manera, el crecimiento de asentamientos también tendrían un peso importante sobre el cambio de las coberturas naturales principalmente a la expansión de asentamientos.

La figura 5 muestra el decrecimiento de las coberturas naturales de selvas, bosques y manglares para 2025 y en contraparte las coberturas dedicadas a la agricultura y ganadera, están desplazando dichas coberturas naturales, principalmente para las actividades primarias.

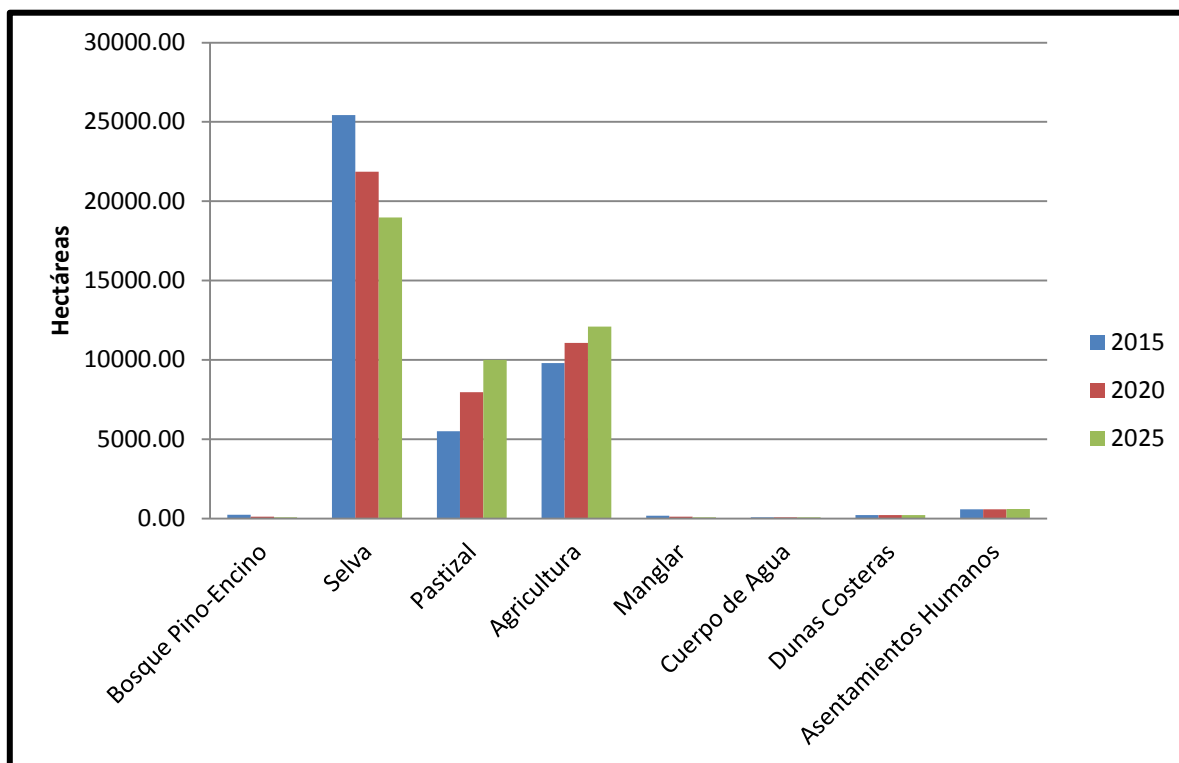
**Cuadro 20.- Proyección de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo en el municipio de Santa María Colotepec 2015-2025 (superficie en ha).**

Uso del suelo/año	2015	2020	2025
Bosque Pino-Encino	246.69	136.40	82.77
Selva	25442.37	21872.53	18971.27
Pastizal	5520.76	7966.34	10011.59

Agricultura	9798.22	11080.95	120101.90
Manglar	183.86	121.44	78.03
Cuerpo de Agua	93.92	94.11	94.12
Dunas Costeras	236.21	237.64	235.85
Asentamientos Humanos	588.16	600.77	617.43
Total	42110.18	42110.18	42110.18

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

Figura 33.- Superficies de las coberturas vegetales 2015-2025, Santa María Colotepec.



Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.



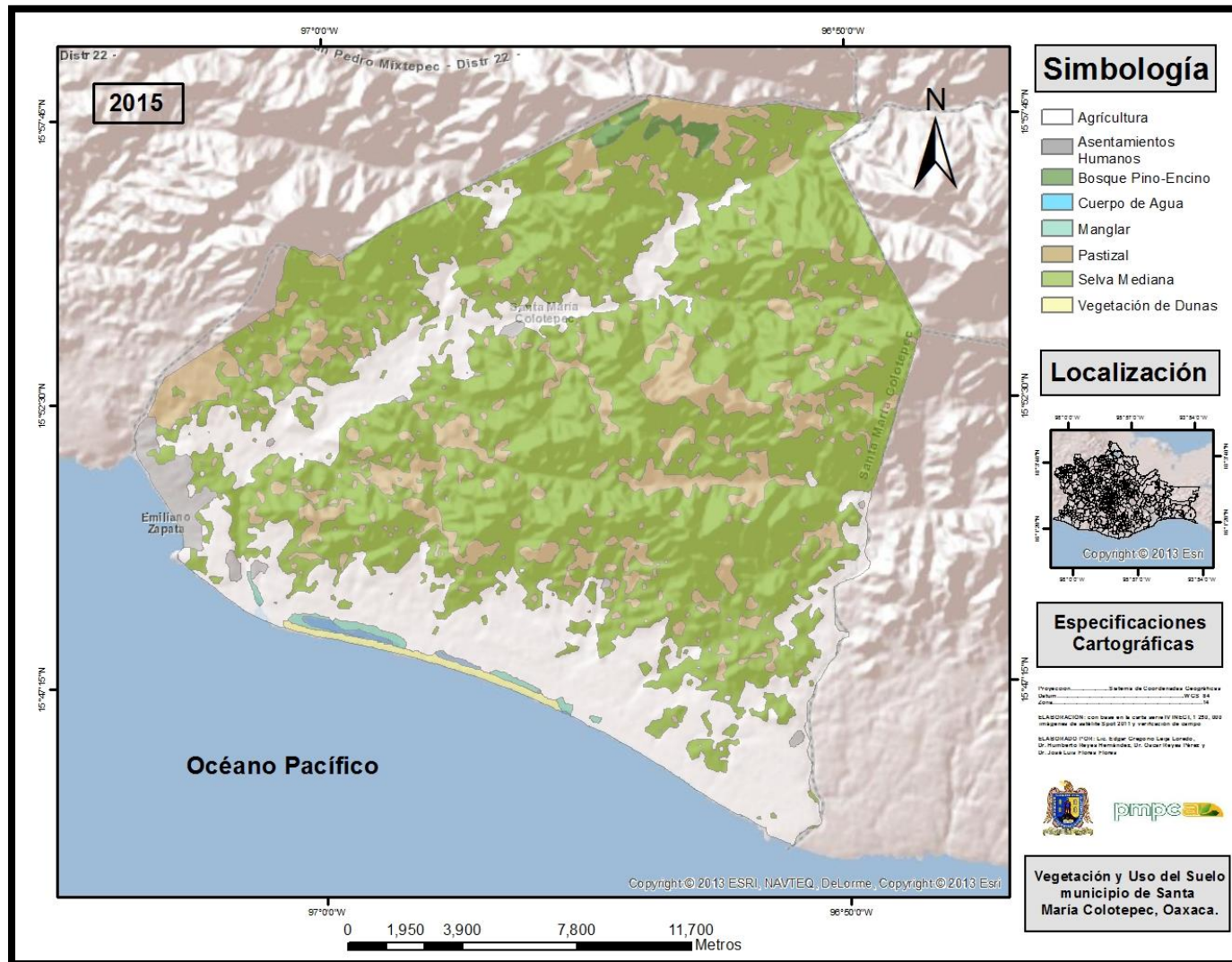


Figura 34.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2015.

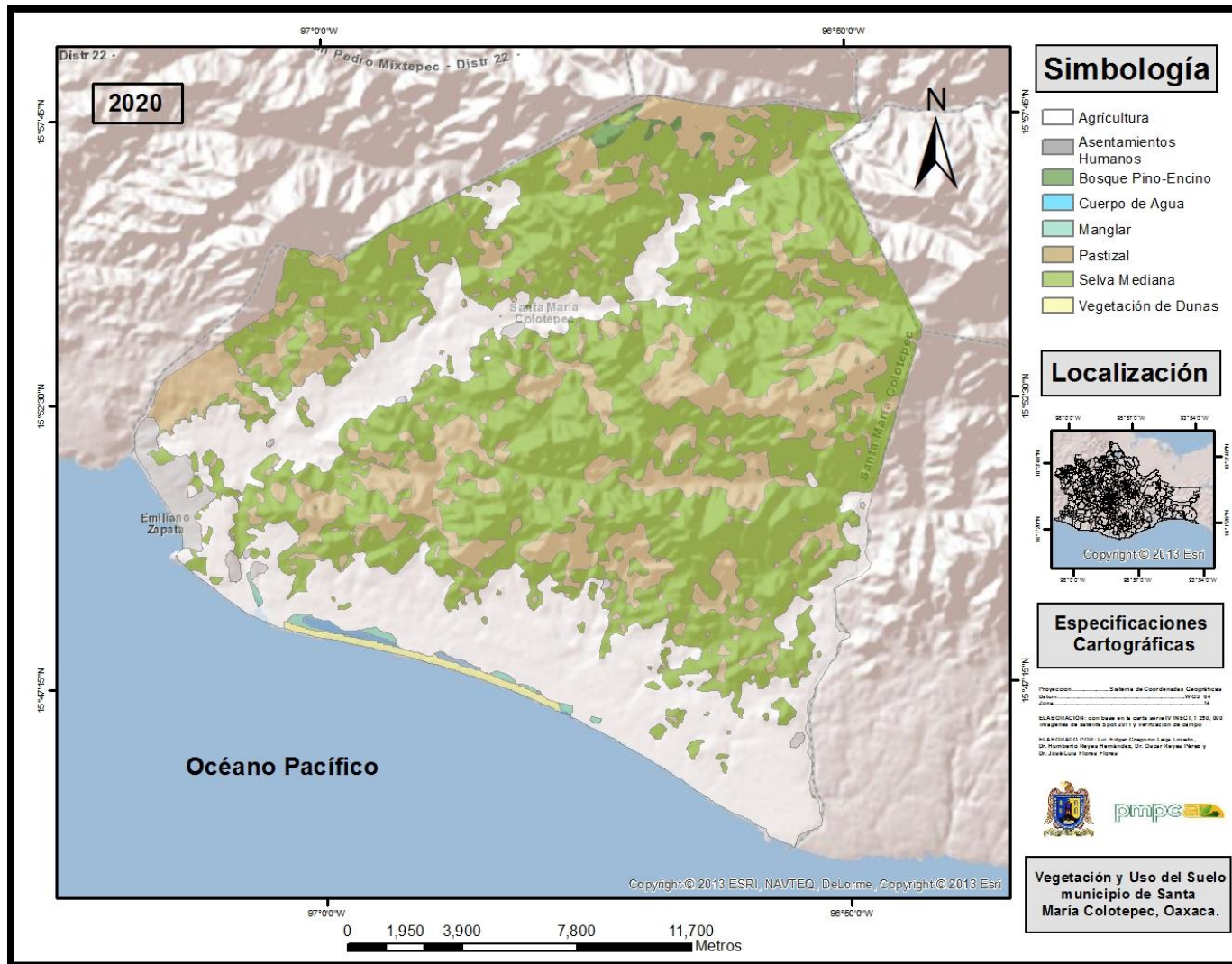


Figura 35.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2020.

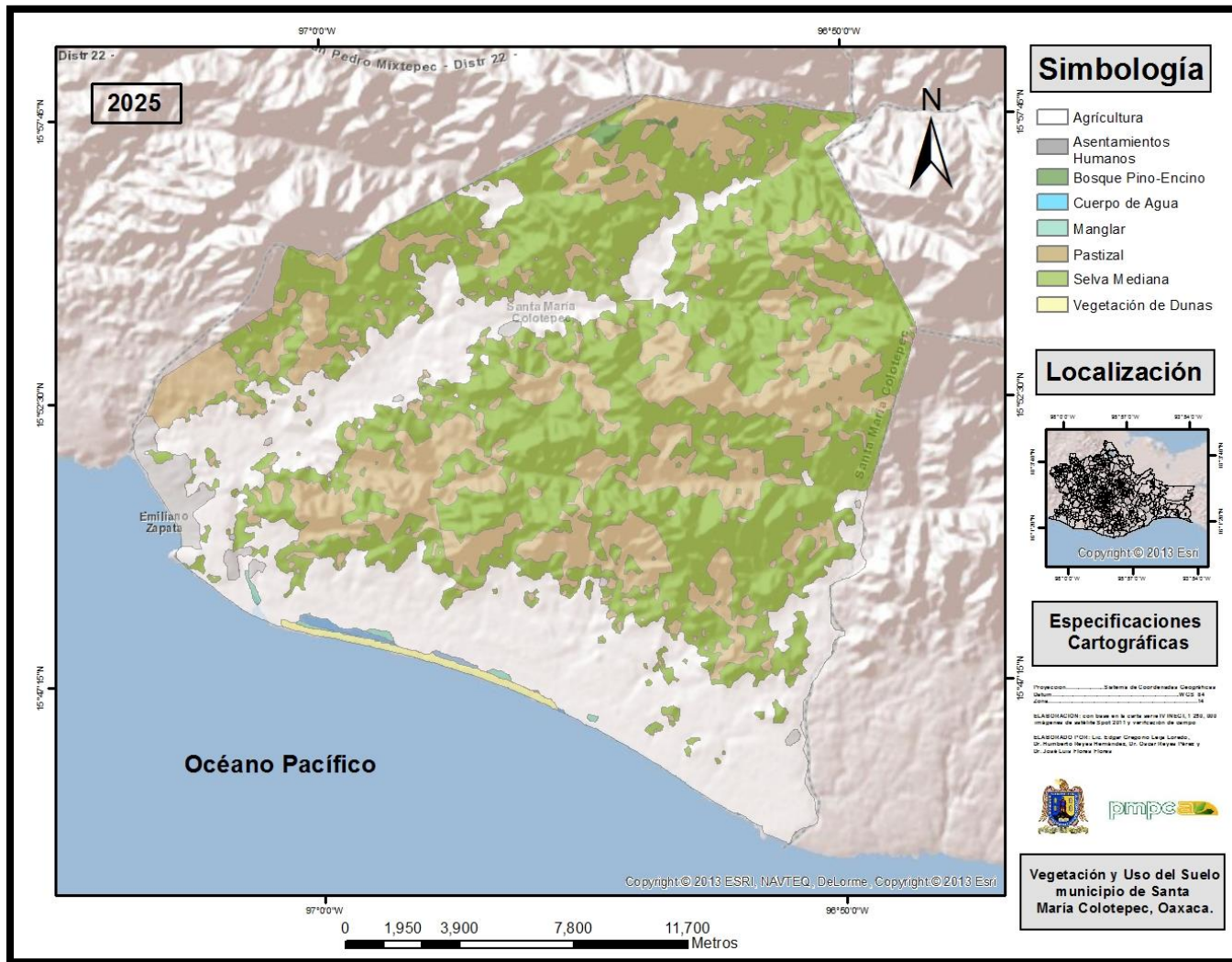


Figura 36.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2025.

### 7.5.3.- Santa María Tonameca:

En Santa María Tonameca los escenarios modelados a futuro indican, que de seguir las tendencias de transformación de las coberturas naturales para el año 2015, se habrán perdido alrededor de 322.2 ha de manglar, 46.7 ha de cuerpos de agua y 14,787.8 ha de selvas (Cuadro 21 y Figura 37). Principalmente las áreas situadas al centro norte y este del municipio.

Si las tendencias se mantienen, la transformación de la cubierta vegetal para 2025, se habrán perdido 549 ha de manglar, 63.1 ha de cuerpos de agua y 22,605.7 ha de selva. Con base en las proyecciones, la cobertura natural de selva será la mayor fragmentada.

Las actividad agrícola para 2025 se incrementaría en 12,584.2 ha con respecto al 2000 y la actividad agropecuaria se incrementaría en 10,295.9 ha con respecto al 2000. De esta manera, la agricultura temporal sería la actividad con mayor presión sobre las coberturas naturales debido a la expansión sobre la selva. Los asentamientos humanos también tendrían un fuerte impacto sobre las coberturas naturales, debido a que se incrementarían considerablemente al 2025 en 337.8 ha con respecto al 2000.

La figura 6 muestra el decrecimiento de las coberturas naturales de selvas, bosques y manglares para 2025 y en contraparte las coberturas dedicadas a la agricultura y ganadera, están desplazando las coberturas naturales, principalmente para las actividades primarias.

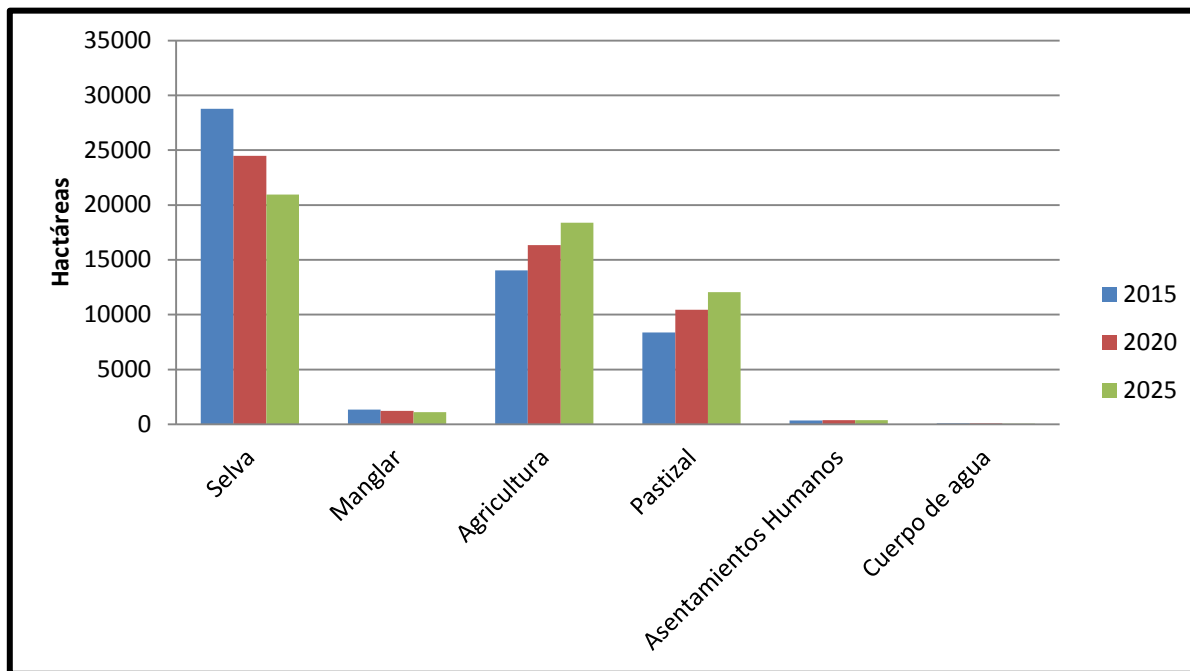
**Cuadro 21.- Proyección de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo en el municipio de Santa María Tonameca 2015-2025 (superficie en ha).**

<b>COBERTURAS</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>
Selva	28,776.5	24,494	20,958.6
Manglar	1,337.7	1,215	1,111.2

Agricultura	14,023.2	16,354.4	18,392.8
Pastizal	8,383.7	10,452.2	12,053.6
Asentamientos Humanos	352.1	368.8	373.5
Cuerpo de agua	89.4	78.3	73
Superficie total	52,962.9	52,962.9	52,962.9

Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

Figura 37.- Superficies de las coberturas vegetales 2015-2025, Santa María Tonameca.



Fuente: Elaboración propia con base en DINAMICA EGO.

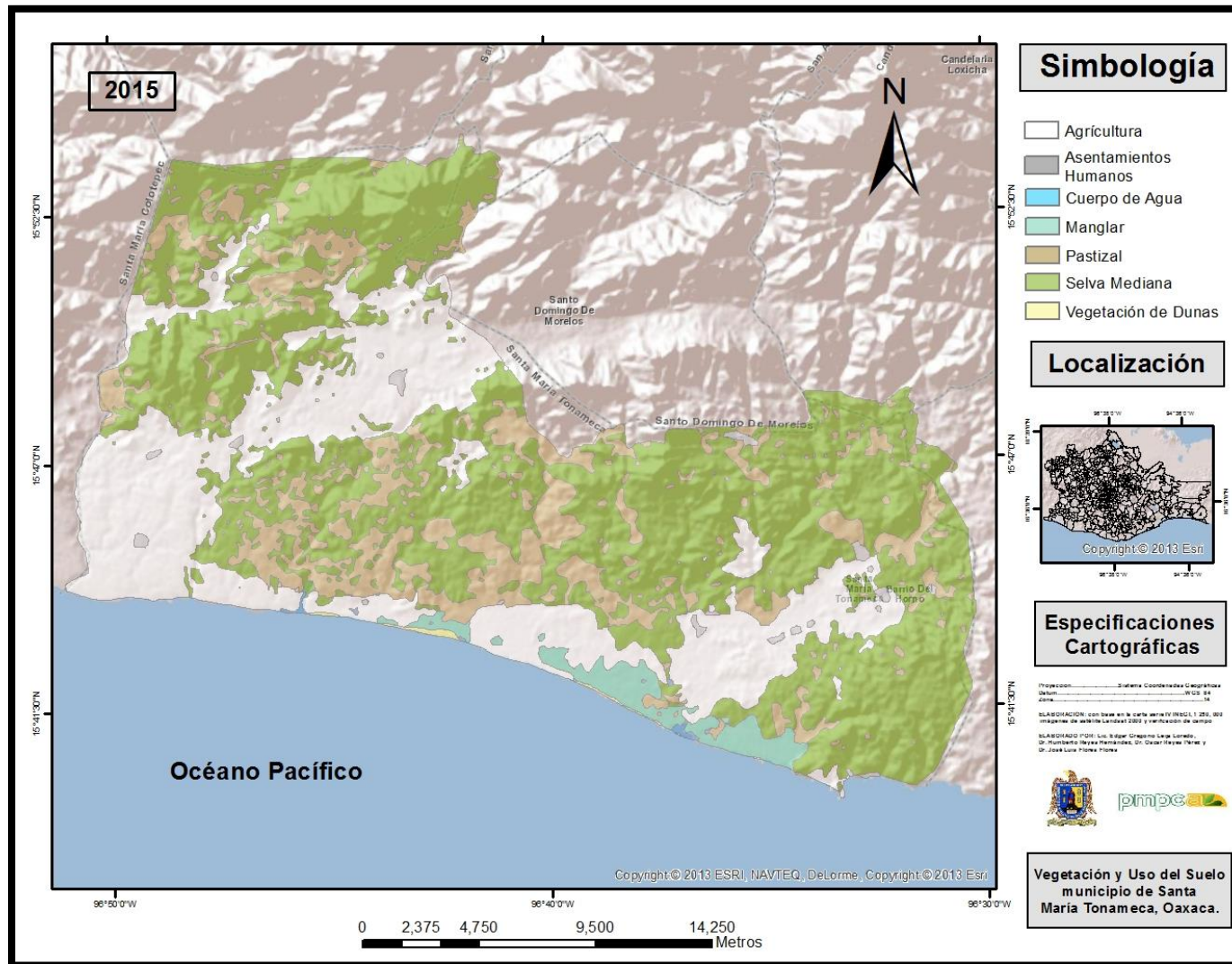


Figura 38.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2015.

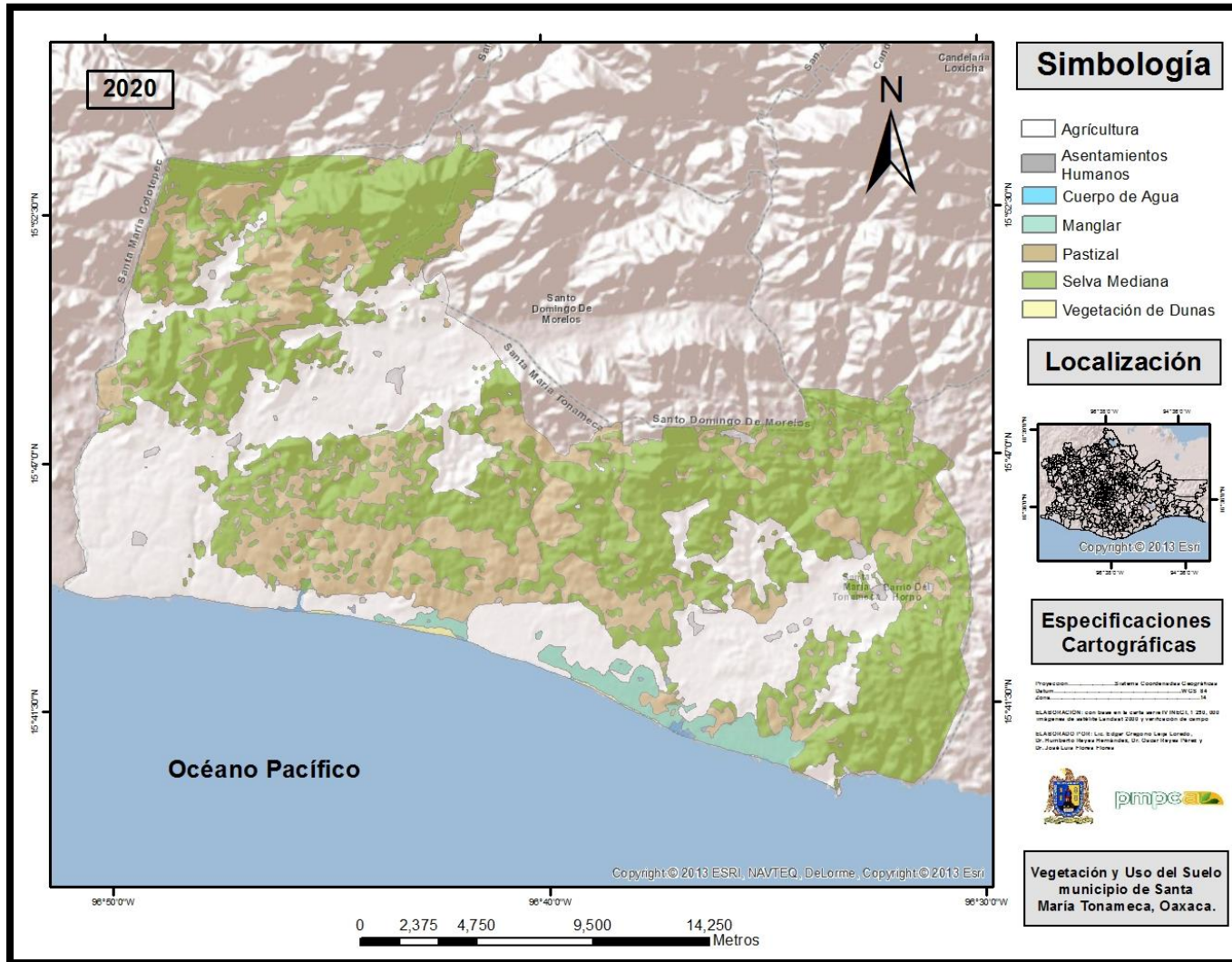


Figura 39.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2020.

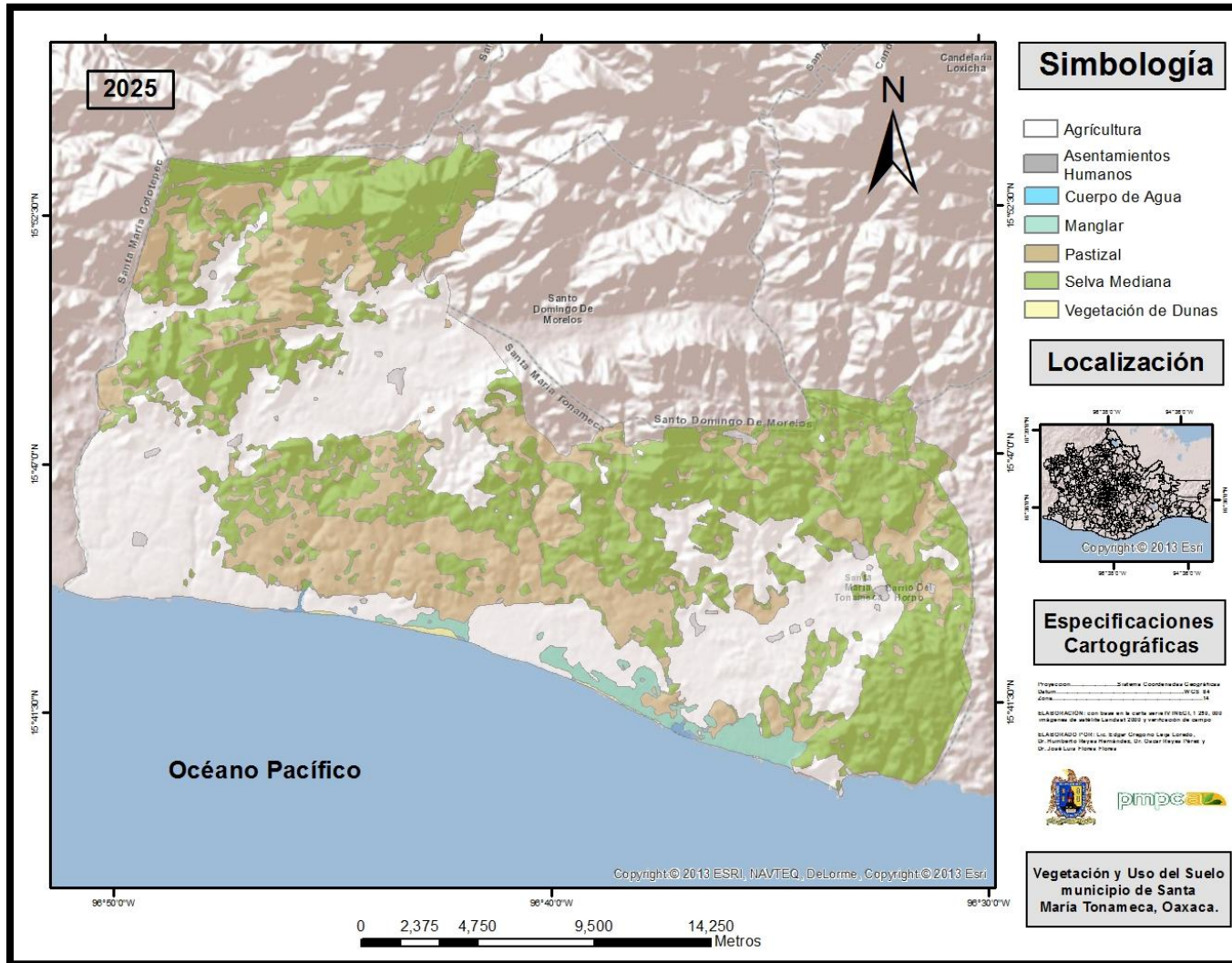


Figura 40.- Simulación de cambios en la vegetación y uso del suelo para el año 2025.



## **8. - Discusión:**

Se considera que la deforestación tropical es una de las principales causas del cambio ambiental global y la principal razón obedece, a que los factores que la provocan siguen en gran medida sin respuesta. Al respecto, existen diferentes hipótesis que expresan argumentos válidos, pero la evidencia empírica sobre las causas de la deforestación sigue basándose en gran medida en estadística entre países. La deforestación se entiende mejor por múltiples factores, debido a que los grandes grupos de causas inmediatas son la combinación de la expansión agrícola, la extracción de madera y la infraestructura (Geist y Lambin, 2002).

En la actualidad la alteración y degradación de los ecosistemas requieren de acciones de restauración ecológica para seguir brindando servicios ambientales, como la recarga de los mantos acuíferos, el mantenimiento del clima y la captura de carbono entre otros. Al respecto, los estudios sobre los procesos dinámicos en la cobertura vegetal y uso del suelo cada vez tienen un mayor auge y son más indispensables, para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad en regiones que albergan una enorme biodiversidad.

El grado de conversión ambiental antropogénica puede ser medido y con mayor confiabilidad, a través de estudios de la dinámica espacio temporal de la cubierta vegetal (Berry *et al.*, 1996). Por ello la necesidad de saber cuánto existe para conocer el grado de conversión desde diferentes enfoques disciplinarios

El estado de Oaxaca es una de entidades del país con mayor diversidad biológica, cultural y una compleja heterogeneidad ambiental por su alta biodiversidad y gran riqueza de ecosistemas. Aunque también presenta enormes carencias y rezagos y ocupa el tercer lugar nacional en marginación y pobreza. Si bien el modelo de producción agrícola conocido como revolución verde el cual buscaba incrementar la producción basado en un paquete tecnológico en el uso de semillas mejoradas, maquinaria y tecnología novedosa, así como la aplicación de fertilizantes y pesticidas, trajo beneficios a la población, fue a costa del

detrimento de los recursos naturales. Otras acciones como el calentamiento global, la alteración del ciclo hidrológico, introducción de especies exóticas y pérdida de hábitats, entre otros, son algunos de los mayores problemas ambientales actuales (Velázquez, 2002).

De esta manera, el turismo como una actividad económica es altamente susceptible a la dinámica económica y a los eventos extremos de carácter natural. Por ello, cualquier otra actividad económica, el turismo genera, entre otros beneficios: riqueza, demandas laborales, libre empresa, inversión y mejoras en la infraestructura de comunicación, lo cual redundará en un incremento de los niveles de renta, disminución de las cifras de desempleo y aumento de las expectativas socioeconómicas para la población que reside en las áreas receptoras (Torres, 2005; citado en Camacho, 2010).

En contraparte, el turismo también constituye una amenaza puesto que los recursos naturales, sociales o culturales son limitados, más aún porque el asignarlos a la actividad turística, y no a otros usos alternativos, supone una incompatibilidad con otras actividades y por lo tanto un costo de oportunidad que debe ser valorado. En otras palabras, si en el momento de planeación, la asignación de los recursos no es la óptima, se pone en peligro el bienestar de la población local (Crusby *et al.*, 1998; citado en Camacho 2010)

No obstante, Velázquez (2002), señalan que prevalece una gran cantidad de inconsistencias entre diversas estimaciones para la evaluación de las tasas de pérdida de la cubierta forestal. Esta situación se contrasta aún más si se analiza para cada tipo de vegetación o para una región en particular. Diferentes estudios de esta índole, sostiene que la tasa de deforestación oscila entre 1 y 10.4 % anual dependiendo de la región. Lo cual se explica por los métodos tan heterogéneos e indefinidos que se utilizan en su medición en cuanto a parámetros y variables empleadas, asimismo, se considera que las extrapolaciones empleadas, son poco confiables e imprecisas.

Las tasas de deforestación anual calculadas para los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, Oaxaca, oscilan entre 0.64 y 6.1% anual se consideran altas comparado con la media nacional reportada por la FAO y con las tasas de deforestación calculadas para otras regiones del país (Velázquez *et al.*, 2002). Región purépecha de Michoacán (1.5-2% anual), selva lacandona (4.5%), Calakmul (2%), Sierra Madre Oriental en el estado de San Luis Potosí (0.6-1.7%). (Sahagún *et al.*, 2012). Específicamente para algunos tipos de vegetación como el bosque mesófilo, se reportan tasas de deforestación del 0.47-3.58% (Leija *et al.*, 2011).

La transformación de los ecosistemas forestales los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca ha impactado severamente la biodiversidad local, como se ha evidenciado en los resultados de este trabajo. La fragmentación de las coberturas naturales derivada de la intensificación de las actividades agropecuarias, agrícolas, y la creación de nuevas vías de comunicación son las principales causas de deforestación y en el cambio de uso del terreno en el área de estudio. Al respecto se postula que los bosques y selvas de la región se encuentran en grave riesgo de desaparecer.

En este contexto, los recursos naturales satisfacen las necesidades humanas y su cuantificación no es sencilla, debido a que las necesidades de la población son diferentes. Por ello, es preciso comprender que los recursos naturales forman parte de un todo complejo, para lograr su conservación, se debe tomar a cada uno como un factor interrelacionado y considerar que la afectación de alguno, de forma directa o indirecta, repercute en diferente grado sobre otros.

Si bien el turismo es un elemento que tiene la capacidad de atraer visitantes en una determinada localidad o zona, para que esto exista, es necesaria la existencia del recurso. Reborati (s/f), explica que “los recursos que se obtiene a partir del ambiente sin que los seres humanos hayan hecho nada para generarlos. En este sentido, los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca cuentan con una variada gama de recursos naturales.

Razón por la cual existe la participación e interés de la población y de las autoridades correspondientes para llevar a cabo labores donde se promueva el turismo como alternativa económica.

El plan estatal de desarrollo sustentable (2004-2010) del estado de Oaxaca, señala que se promoverán proyectos o programas como el de la Región de la Costa. Corredor turístico Huatulco-Puerto Ángel-Puerto Escondido-Chacahua, el cual busca desarrollar el turismo alternativo en cada una de las comunidades que presenten este potencial. Al respecto se considera que la construcción de carreteras, infraestructura urbana y servicios serán las principales causas directas e indirectas en la transformación del paisaje, pero que a su vez, contrarrestarán el impacto asociado a las actividades pecuarias, derivado a la diversificación de las actividades primarias por la actividad turística. La densidad poblacional y la marginación son actores socioeconómicos que influyen de manera significativa en los procesos de transformación del paisaje en estos tres municipios y de manera más acentuada en el municipio de Santa María Tonameca. La apertura de nuevas áreas destinadas a la agricultura, particularmente en la cercanía de las corrientes de agua superficial, supondría que la disponibilidad del recurso hídrico en los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca favorecerá en un futuro la intensificación de las actividades agrícolas, en comparación con otras áreas menos favorables.

En los últimos años, se ha discutido sobre la utilidad y precisión de los resultados obtenidos por medio de la teledetección. Especialmente sobre la aplicación de diferentes metodologías desarrolladas en otras condiciones ambientales, muchas veces muy heterogéneas a las que existen en una región determinada. De esta manera, existe una gran importancia en considerar las particularidades ambientales locales para la aplicación de algoritmos para el procesamiento digital y metodologías para la interpretación de imágenes de satélite. Pero desafortunadamente los métodos utilizados más comunes en el procesamiento digital, generan resultados en su mayoría parciales y no completos

o solo hace referencia a una aproximación general del problemática ambiental de la zona de estudio (Gómina, 2001).

De acuerdo a diferentes trabajos de esta índole, los autores integran diferentes variables a las que se emplearon a este proyecto, la diferencia consiste en la región, el objeto de estudio y escala. Por ejemplo, Sahagún y colaboradores (2012), utilizan la tenencia de la tierra, datos que se obtuvieron de RAN (Registro Agrario Nacional 2010). Dato que no se utilizó para este trabajo, debido a la falta de información en esta variable en los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, variable que pudo ser de gran importancia para el conocimiento del tipo de propiedad de la tierra. Cuevas (2008), aplica un modelo geoespacial para la elaboración de escenarios de uso/cobertura del suelo en la Huacana, Michoacán, el cual plantea las mismas variables que Sahagún y colaboradores (2012), y de esta manera, a diferencia de este trabajo la variable no utilizada fue la tenencia de la tierra.

Modelar los escenarios tendenciales en un futuro cercano, implica pasar de una aproximación heterodoxa a convertirse en una herramienta importante y reconocida en diferentes disciplinas científicas. Por lo cual, los modelos basados en agentes así como los autómatas celulares, se materializan en programas basados en unidades que pueden adoptar la forma de células, actualmente bidimensionales en una pantalla con forma de grilla, por lo cual los agentes se trasladan de acuerdo a reglas muy sencillas de comportamiento y movilidad (Miceli, 2006).

Los datos obtenidos de los mapas de simulación de la cubierta vegetal y uso del suelo para 2025 en los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca fueron elaborados usando un modelo especialmente explícito y de acuerdo a la validación de cada municipio (índice fuzzy), muestran una distribución aceptable de los usos del suelo tomando en cuenta tres configuraciones de posibles tendencias futuras, el escenario tendencial, la cantidad y patrones de cambio son los mismo durante el periodo

2000-2005. Para el municipio de Santiago Jamiltepec, presenta cambios fuertes debido al largo tiempo de simulación (2011-2025) debido a que la mayoría del área permanece con cambios en las coberturas naturales. Para Santa María Colotepec y Santa María Tonameca muestran cambios no tan severos como Jamiltepec a pesar del mismo periodo de simulación.

De tal manera, que para el municipio de Santiago Jamiltepec (Figura 41) presento grandes cambios de sus coberturas naturales, esto debido a la expansión de las actividades agropecuarias, actividad donde se introduce en áreas de potreros el ganado, ocasionando la pérdida de más de la mitad de selvas para el 2025. A pesar de que la actividad agrícola tiene un peso fundamental sobre las coberturas naturales y que son favorecidas por el recurso hídrico, esta actividad es en menor proporción comparada con los pastizales existentes en el municipio.

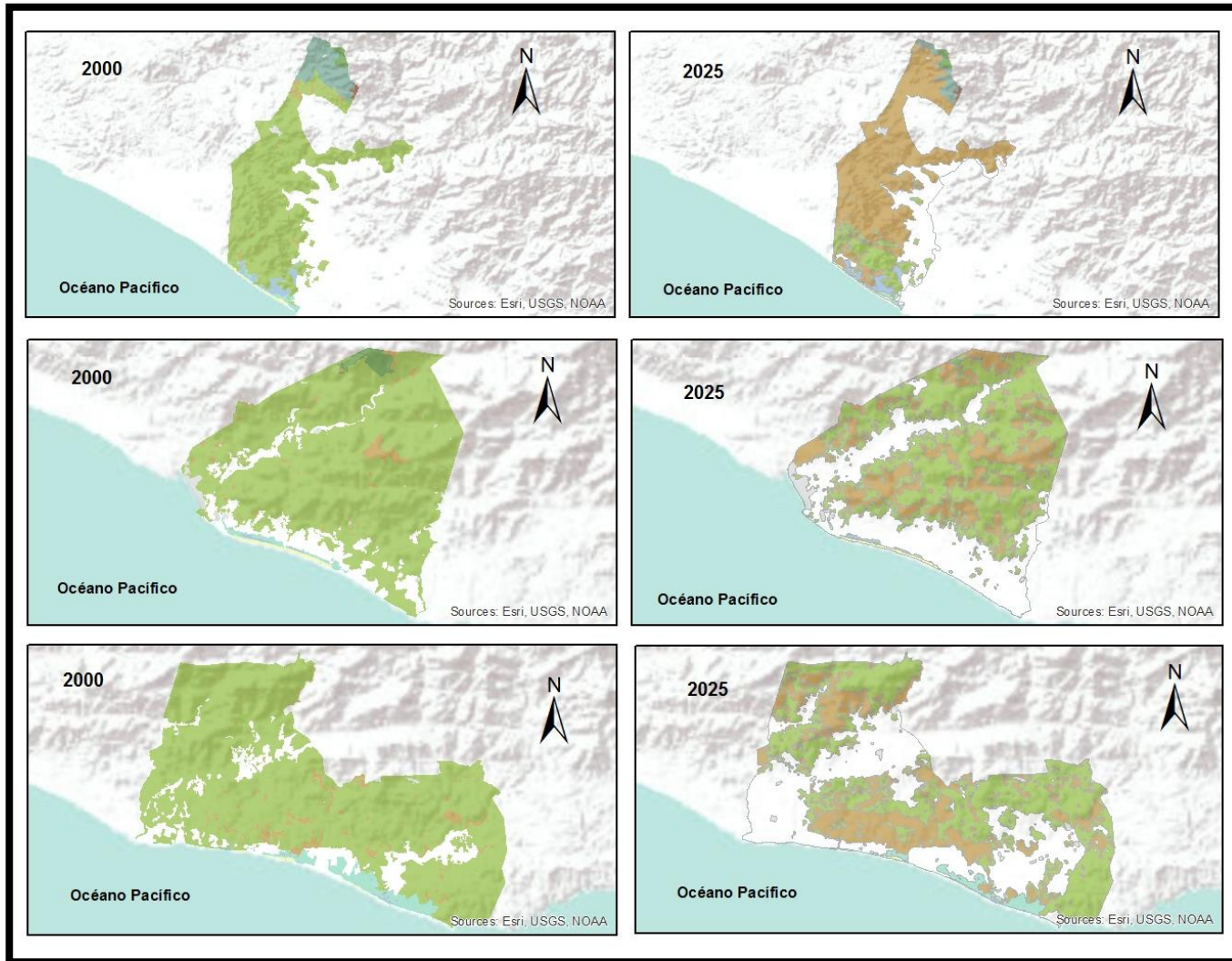


Figura 41.- Comparación de cambios en la cubierta vegetal 2000-2025 en los tres municipios del área de estudio.

El desarrollo de la aplicación de escenarios a futuro debe considerar los procesos sociales, ambientales y económicos, debido a la interacción con los procesos biofísicos en el tiempo y espacio, ya que son un peso importante para el desarrollo conceptual y metodológico (Sahagún *et al.*, 2012). De tal manera, que las variables empleadas para este trabajo fueron; distancia a carreteras; distancia a ríos; índice de marginación; densidad de población; altitud; pendientes y tipo de suelos. Las variables se comportaron de diferente manera para cada municipio. Sin duda alguna, la altitud y densidad de población fueron las que más influyeron en los procesos de cambio en las coberturas naturales aplicado a este modelo.

La implementación de planes y acciones debe incorporar a la conservación de la naturaleza una sustentabilidad económica y social. La primera para obtener un cierto equilibrio y mantenimiento de los ecosistemas, la conservación y los impactos externos. La sustentabilidad económica se restringe a la corrección de los procesos productivos para obtener un desarrollo sustentable, sustituyendo los recursos naturales y exista un consumo más racional de estos recursos.

Por otra parte, mucho se habla de la participación en los proyectos y en el desarrollo de las comunidades; esto es porque todo el mundo se da cuenta que la mayoría de los proyectos de desarrollo fracasan o quedan muy lejos de sus metas iniciales, por falta de una participación real de la gente para quien se elaboró el proyecto (Geilfus, 1997; citado en Montoya, 2009). De esta manera, la participación está orientada hacia la acción colectiva, es decir, aquella que requiere de la presencia de un cierto número de personas, cuyos comportamientos se condicionan recíprocamente.

En este contexto, las metodologías y técnicas de investigación con enfoques participativos, se basan en la participación de la población local, esto para coadyuvar de manera directa o indirecta, promueve el desarrollo centrado en la población misma, el incremento de sus capacidades y el impulso del proceso de empoderamiento (Ramos, 2007; citado en Montoya, 2009). Por tal, el diagnóstico rural participativo, permite a la comunidad conocer todo el proceso de diagnóstico, discusión y debate, toma de decisiones consensuadas y de



planeación. Esto genera un proceso de desarrollo de capacidades locales para una futura autogestión de los recursos naturales de su territorio.

Si bien las actividades primarias como la agricultura y ganadería, han sido principales causas de transformaciones sobre los recursos naturales ha sido en mayor parte por la deficiente o nula planeación de la producción, el uso de tecnologías inapropiadas, la escasa asesoría técnica y la falta de capacitación, la investigación desvinculada de lo productivo, la baja productividad, las campañas fitosanitarias aisladas y de poco impacto, la exclusión de las organizaciones de productores del abasto y la comercialización y la obsoleta infraestructura agroindustrial ha ocasionado un mal uso del suelo y los recursos. El aprovechamiento irracional derivado a cada una de estos problemas anteriormente mencionados, genera paisajes ambientales fuertemente amenazados a futuro. Aunado a esto al desarrollo de la actividad turística en la zona de estudio que se deseé implementar, tendrán que ser actividades sumamente controladas para no ocasionar un mayor impacto ambiental en estos municipios.

## 9.- Conclusiones:

La densidad poblacional, la marginación, la altitud, pendiente y las distancias a las zonas cultivadas influyen de manera significativa en los procesos de transformación del paisaje. Es de suma importancia la creación de leyes y políticas de gestión ambiental que ayuden a prevenir esta posible estimación de cambio hacia las coberturas forestales.

Los mapas generados de la cubierta vegetal y uso del suelo en los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, servirán de gran aporte para el desarrollo de estudios posteriores de planificación, implementación de estrategias para el desarrollo del turismo y el ordenamiento ecológico.

Sin duda alguna, la implementación de talleres participativos coadyuvó a tener otra perspectiva de los problemas reales que existen en las poblaciones para un mejor conocimiento empírico de la sociedad y el científico. De esta forma es mucho más fácil la construcción de planes y proyectos que beneficien a la población.

La disponibilidad, calidad, cantidad y diversidad de los recursos naturales se encuentra amenazada por un manejo inadecuado de ellos, cuyas consecuencias se dejan sentir de diferentes maneras. En los ámbitos nacional y mundial, muchas instituciones gubernamentales, no gubernamentales, académicas y políticas muestran una creciente preocupación sobre la problemática ambiental.

El manejo de los recursos, implica “dirigir” al ecosistema; esto requiere del entendimiento de los principios ecológicos, de la apreciación de los procesos ecológicos que suceden en el área y de la aceptación de que el manejo de los recursos naturales es una forma especializada de uso de la tierra. Por ello, en el sector rural, hoy se requieren cambios tecnológicos en la producción, pero también es necesaria la construcción de un nuevo tipo de relaciones sociales y

políticas que favorezcan la comunicación entre los diferentes actores rurales y permitan un manejo consensuado de los recursos naturales más sostenible y orientado a mejorar la calidad de vida de la población rural.

Con base en la aplicación del modelo, arroja elementos importantes para la comprensión del cambio en las coberturas naturales y uso del suelo en estos tres municipios. La implementación de nuevas vías de comunicación, el crecimiento poblacional aunado a la demanda de más recursos y a la accesibilidad del recurso hídrico son factores que determinan el cambio de uso del suelo. Las tasas de deforestación reportadas para este trabajo, se consideran altas comparadas con la media nacional. El rápido proceso y aceleramiento de la deforestación de las selvas, manglares, bosques ha generado que la dinámica del cambio de uso del suelo se esté realizando de una manera más insostenible.

El proceso de esta investigación y las implicaciones se fueron apreciando en la relación de los cambios de la cubierta vegetal y uso del terreno, con el acontecer social, político y económico de la zona de estudio y en las variables que controlan esos cambios. De esta manera se pueden entender, como las diferencias en las valoraciones de la cubierta vegetal y uso del terreno por parte de la sociedad pueden incidir sobre la misma en su permanencia, revegetación o desaparición.

Santiago Jamiltepec, es el municipio con mayor probabilidad de que ocurra un fuerte impacto en sus coberturas naturales al futuro. Porque de acuerdo las proyecciones, estas desaparecerán casi en su totalidad derivado principalmente por las actividades ganaderas y a la apertura de nuevas vías de comunicación. Si las estimaciones del cambio de uso del suelo se cumplen para el año 2025, se tendría un paisaje de coberturas de pastizales con más de 41,000 ha.

Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, presentaría un menor cambio en relación a superficie deforestada, pero que sin duda alguna también repercutiría en la dinámica del paisaje. Colotepec presentará un cambio en la cobertura de selva por la actividad agropecuaria; los pastizales para el año 2025

aumentarían a más de 10,000 ha y en el municipio de Tonameca aumentaría la actividad agrícola, ya que para el año 2025 aumentarían a más de 18,000 ha.

Esta dinámica repercute en problemas ambientales serios en los municipios de Santiago Jamiltepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca, relacionados espacialmente por la intensificación de las actividades primarias, como la apertura para áreas de ganado y agricultura. Las cuales en la zona de estudio se proyectan de modo preocupante para el 2025, esto sin analizar la pérdida de biodiversidad que existe en esta región.

Sin embargo las consecuencias de esta fuerte dinámica de cambio se visualizan apenas cuando el problema se constituye en el contexto alimentario o en la producción de carne para la satisfacción de la población, pero se olvida el origen del problema en el ámbito local y las consecuencias desastrosas que han tenido y tienen con estas poblaciones, con sus recursos y su forma de vida.

El uso de modelos predictivos para la generación de escenarios futuros de cambios en el uso del terreno, en el contexto de la planificación territorial, representa una importante oportunidad para prevenir y contrarrestar el dinamismo insostenible de las actuales formas de aprovechamiento en los recursos naturales. El análisis de cambio, como el modelo proyectivo permite evidenciar diferentes aproximaciones, las consecuencias de estos cambios en el paisaje. Tomando como base lo que se hizo en esta investigación, se puede ayudar a monitorear y evaluar el impacto de la planificación de la región. De esta manera, la sociedad en su conjunto, rural, municipal y estatal, pueden asumir con mejores posibilidades lo que en la actualidad es difícil de manejar.

## 10. - Bibliografía:

Anderson, J., Hardy, E., Roach, J. y Witmer, R. 1976. A land uses a land cover classification system for use with remote sensor data. USGS Professional paper 964. Washington, D.C.

Agrawal, A., 1995. Population pressure forest degradation: an oversimplistic equation.

Agarwal, C., G. M. Green, J. Morgan Grove, T. P. Evans & C. M. Schweik. 2002. A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice. General technical report NE-297. USDA, Forest service.

Budowski, G., 1976. Tourism and environmental conservation: conflict, coexistence or symbiosis. Environmental Conservation.

Bonham-Carter, Graeme. 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS*.

Bailey, R. G., 1996. Multiscale ecosystem analysis. Environmental Monitoring and Assessment.

Berry, M. W., Flam, R. O., Hazen, B. C. y R. L. MacIntyre. 1996. The Land Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions.

Bawa, k. S. y R. Seidler. 1998. Natural Forest management and conservation of biodiversity in tropical Forest. Conservation Biology

biodiversity can alter the performance of ecosystems. Nature

Brown, D. G., B. C. Pijanowski & J. D. Duh. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. Journal of Environmental Management 59.

Bocco, G., M. Mendoza y O. Maser. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas.

Cristensen L., A. Bartuska, J. Brown, S. Carpenter, C. D' Antonio, R. Ffrancis, J. MacMhon, R. Noss, D. Peterson, M. Turner, R. Woodmansee. 1996. The reporting of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. Ecological Applications.

Cuarón, A.D., 2000. Effects of land-cover changes on mammals in a neotropical region: a modeling approach. Conservation Biology 14 (4)

Campos, C. P., M. S. Muylaert and L. Pinguelli. 2004. Historical CO2 emission and concentrations due to land use change of croplands pastures by country. Science of the Total Environment.

Cuevas, G. G., 2008. Aplicación de un Modelo Espacial para la Elaboración de Escenarios de Uso/Cobertura del Suelo en la Huacana, Michoacán. Tesis de Maestría en Geografía, Facultad de Filosofía, División de estudios de posgrado, UNAM.

Castañeda, C. X. 2010. Determinación de áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico en el estado de San Luis Potosí; una propuesta de sustentabilidad. Tesis de licenciatura. Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Consejo Nacional de la Población (2013) [En línea] México, disponible <http://www.conapo.gob.mx/> (Accesado el día 12 de septiembre de 2013).

Dirzo, R., García, M.C., 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in southeast Mexico.

Dale, V.H., O'Neill, R.V., Pedlowski, M., Southworth, F., 1993. Causes and effects of land-use change in Central Rondonia, Brazil. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 59

Dale, V.H., Beyeler, S. C., 1994. Challenges in the development and use of ecological indicators.

Dumanski, J., Desjardins, R.L., Tarnocai, C., Monreal, C., Gregorich, E. G., Kirkwood, V., Campbell, C.A., 1998. Possibilities for future carbon sequestration in Canadian agriculture in relation to land use changes.

Dwyer, E., Gregoire, J. M., Malingreau, J. P., 1998. A global analysis of vegetation fires using satellite images: Spatial and temporal dynamics.

FAO. 1995. Planning for sustainable use of land resource. FAO Land and Water Bulletin 2. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Forester, D. J. y G. E. Machilis. 1996. Modeling Human Factors That Affect the Loss of Biodiversity. Conservation Biology.

FAO, 1996. Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, Rome.

Fernside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. Forest Ecology and Management,

FAO. 2005b. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. México. Informe nacional # 189. Roma.

Flamenco, S. A. F. 2007. Dinámica y escenarios sobre los procesos de cambio de cobertura y uso del terreno en el sureste de México: El caso de la selva El Ocote, Chiapas. Tesis Doctoral, Instituto de Ecología de doctorado en ciencias biomédicas, UNAM.

Farfán, G. M. 2009. De la percepción remota a la social: Deforestación y conservación (1971-2000) en la reserva de la biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco. Tesis de Maestría, Facultad de Filosofía, División de estudios de posgrado, UNAM.

FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales, 2010-Informe principal. Estudio FAO Montes 163. Roma (Italia).

García-Oliva, F., Casar, I., Morales, P., Maass, J.M., 1994. Forest to pasture conversion influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. *Oecologia* 99

Gonzales-Medellín, M.G., 2000. La vegetación y sus tasas de deforestación en una zona comunal chinanteca en Oaxaca con apoyo de un sistema de información geográfica. Tesis de Maestría. UNAM.

Groombridge, B., Jenkins, M.D., 2000. Global Biodiversity. Earth's Living Resources in the 21st Century. IUCN, Gland, Switzerland.

Gómina, L. 2001. Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite, Aplicado a Estudios Ambientales. Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Granada. Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global.

Geoghegan, J., S. Cortina, P. Klepeis, P. M. Mendoza, Y. Ogneva- Himmelberger, R.R. Chowdhury, B. L. Turner II y C. Vance. 2001. Modeling tropical deforestation in the southern Yucatan peninsular region: comparing survey and satellite data. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85.

Geist, H. J. y E. F. Lambin. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation.

Geist, H.J. & E.F. Lambin. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *Bioscience*. Vol 52. N° 2. Hartshorn, G. y N. Bynum. 1999. *Tropical Forest Synergies*.

Hagen, A. 2003. Fuzzy Set Approach to Assessing Similarity of Categorical Maps. *International Journal of Geographical Information Science*,

INEGI 2002. Síntesis de información geográfica de estado de Oaxaca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.



Kummer, D. M. & B. L. Turner II. 1994. The human causes of deforestation in Southeast Asia. *Bioscience*.

Kereiva, P., Wennergren, U., 1995. Connecting landscape patterns to ecosystem and population processes.

Karafyllidis, I. y A. Thanailakis. 1997. A Model for Predicting Forest Fire Spreading Using Cellular Automata.

Kaimowitz, D., Angelsen, A., 1998. Economic models of tropical deforestation: a

Lambin, E. F. 1997. Modelling and Monitoring Land-Cover Change Processes in Tropical Regions.

Landa, R., Meave, J., Carabias, J., 1997. Environmental deterioration in rural Mexico: An examination of the concept.

López, E., G. Bocco. M. Mendoza y E. Duhau. 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*.

Lambin, E.F., B. L. Turner. J. G. Helmut, S.B. Agbola. A. Angelsen, J.W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Mora, M. Mortimore, P. S. Ramkrishnan, J. Richards, A. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T.A. Veldkamp, C. Vogel and J. Xu (2001), The causes of land cover change: moving beyond the myths, *Global Environmental Change*.

Leija-Loredo, E. G., H. Reyes-Hernández, J. Fortanelli-Martinez & G. Palacio-Aponte. 2011. Situación actual del bosque de niebla en el estado de San Luis Potosí, México. *Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*.

Mahar, D. and R. Schneider, 1994. Incentives for tropical deforestation: some examples from Latin America.

- Meyer, W. B. y B. L. Turner. 1994. *Changes in Land Use and Land-Cover: A Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Medley, K., B. Okey, G. Barrett, M. Lucas y W. Renwick. 1995. Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed, southwestern Ohio, USA. *Landscape Ecology*.
- Mas, J. F., V. Sorani y R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigación Geográfica* número especial 5.
- Masera, O. R. 1996. Deforestación y degradación forestal en México. Documentos de trabajo, no.19, GIRA a. c. Pátzcuaro, México.
- Masera, O., Ordoñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican Forest: current situation and long-term scenarios. *Climatic change*.
- Mateo, J., 1998. La ciencia del paisaje a la luz del paradigma ambiental. *Cuadernos de Geografía, Belo Horizonte*. V. 8 No. 10.
- Mendoza, E., Dirzo, R., 1999. Deforestation in Lacandonia (southeast Mexico): evidence for the declaration of the northernmost tropical hot-spot.
- Mas, J.F., A. Velázquez, J.L. Palacio-Prieto, G Bocco, A. Peralta, y J. Prado. 2002. Assesing forest resources in México. *Photogrammetric Engineering y Remote Sensing*.
- Meli, P. (2003), "Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica", *Intercienci*.
- Mas, J.F., A. Velázquez, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcantara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez-Vega. 2004. Assesing land use/cover changes: A nationwide multirate spatial database for México. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoifformation*.

Mas, J. F. 2005. Change Estimates by Map Comparison: A Method to Reduce Erroneous Changes Due to Positional Error. Instituto de Geografía, Unidad Foránea Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México.

Miceli, J; Guerrero, S; Quinteros, R; Díaz, D; Jordan, M; Castro, M. 2006: Teorías de la Complejidad y el Caos en Ciencias Sociales. Modelos Basados en Agentes y Sociedades Artificiales, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Montoya, T. J. 2009. Diagnostico participativo de los procesos de deforestación en dos comunidades de la Sierra Madre Oriental del estado de San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Naeem, S., Thompson, L., Lawler, S., Lowton, J., Woodfin, R., 1994. Declining Nature

Nepstad, D.C., Veríssimo, A., Alencar, A., Nobre, C., Lima, E., Lefebvre, P.,

Noble, I. y R. Dirzo. 1997. Forests as Human-Dominated Ecosystems. *Science*

O' Brien, K., 1995. Deforestation and climate change in the Selva Lacandona of Chiapas, Mexico: some preliminary results.

Pimm, S.T., Russell, G.J., Gittleman, J.L., Brooks, T.M. 1995. The future of biodiversity. *Science*

Phillips, O.L., 1997. The changing ecology of tropical forest. Biodiversity and Conservation review. Center for International Forestry Research, Jakarta.

Pan, D., G. Domon, S. De Bois y A. Bouchard. 1999. Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecology*.

Plan estatal de desarrollo sustentable 2004-2010 Gobierno del Estado de Oaxaca (2011) [En línea] México, disponible

<http://www.lib.utexas.edu/benson/lagovdocs/mexico/oaxaca/plan%20estatal%20de%20desarrollo/peds.pdf> (Accesado el día 12 de septiembre de 2013).

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Impacto de Desarrollos Turísticos (2013) [En línea] México, disponible [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/430/1/mx/impacto\\_de\\_desarrollos\\_turisti\\_cos.html](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/430/1/mx/impacto_de_desarrollos_turisti_cos.html) (Accesado el día 11 de octubre de 2013).

Rosete, V. F. A. 2008. Modelos predictivos de cambio de uso del suelo en la península de Baja California, México. Tesis Doctoral. Facultad de Filosofía y Letras. Instituto de Geografía. UNAM.

Reyes-Hernández, H., L. Olvera-Vargas, F. Sahagún-Sánchez y J. F. Mass-Causel. 2009. *Transformation of the Forest Cover and Future Scenarios in the Sierra Madre Oriental, Physiographic Region, San Luis Potosí, México.*

Reborati (s/f), en Ambiente, sociedad, recursos naturales: conceptos, relaciones y conflictos, [En línea], disponible en [http://www.universidadur.edu.uy/retema/archivos/AMBIENTE\\_SOCIEDAD\\_CReboratti.pdf](http://www.universidadur.edu.uy/retema/archivos/AMBIENTE_SOCIEDAD_CReboratti.pdf) (Accesado el día 12 de septiembre de 2013).

Skole, D. L., H. Chomentowski, W. A. Salas y A. D. Nobre. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. Bioscience.

Struhsaker T. T. Ecology of an African Rainforest: Logging in Kibale and the Conflict between Conservation and Exploitation. Gainesville, FL, USA: University of Florida Press; 1998

Sirakoulis, G. C., Karafyllidis I. y A. Thanailakis. 2000. A Cellular Automata Model for the Effects of Population Movement and Vaccination on Epidemic Propagation.

Soares-Filho, B. S., R. M. Assuncao y A. Pantuzzo. 2001. Modeling the Spatial Transition Probabilities of Landscape Dynamics in an Amazonian Colonization Frontier.

Santos, P. J. M., Borderías, U. M. P. 2002. Introducción al análisis medioambiental de un territorio. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid 2002.

Soares-Filho B.S.; Pennachin, C. L.; Cerqueira, G., 2002, DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier, Ecological Modelling.

Secretaría de Turismo, 2008. Guía de apoyos federales para el desarrollo de proyectos de turismo de naturaleza. México.

Sánchez, N. E. D. 2011. Potencial de los paisajes naturales para actividades de turismo de naturaleza en el sector de la costa michoacana Río Coalcomán- el Farito. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sahagún-Sánchez, F.J., 2012. Dinámica espacio-temporal de las transformaciones en la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí y sus efectos potenciales sobre la distribución de la avifauna. Tesis Doctoral. Programas Multidisciplinarios de Posgrados en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Schlesinger, P., Potter, C., Moutinho, P., Mendoza, E., Cochrane, M., Brooks.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Impacto de Desarrollos Turísticos, 2013.

Turner, B.L. II, Meyer, W.B., 1994. Global land-use and land cover change: an overview. En Meyer, W.B y B.L. Turner II (eds). Changes in land use and land cover. A global perspective. Cambridge University Press. Cambridge.

Tang, Z., B. A. Engel, B. C. Pijanowski, K. J. Lim. 2005. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. Journal of Environmental Management 76.

V., 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire.

Velázquez, A., E. Durán., I. Ramírez., J.F. Mas., G. Bocco., G. Ramírez y J.L. Palacio (2003). Land use-cover change processes in highly biodiverse areas the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13 (2003) 175-184. Instituto de Geografía, UNAM,

Velázquez, A., J. F. Más y J. L. Palacio. 2002. Análisis del cambio de uso del suelo, mapas del análisis del cambio de uso del suelo. Instituto de Geografía, UNAM. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.

Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz G., R. Mayorga S., P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*.

Vitousek, P.M., H.A. Money, J. Lubchenco and J. M. Melillo 1997. Human domination of earth's ecosystems, *Science*.

Walhberg, N., Moilanen, A., Hanski, A., 1996. Predicting the occurrence of endangered species in fragmented landscapes. *Science* 273, 1536–1538.

Wilson, E.O. (ed.) 1998. *Biodiversity*. National Academy Press. Washington, D.C.

White, R. y G. Engelen. 2000. High Resolution Integrated Modelling of the Spatial Dynamics of Urban and Regional Systems.

Weaver, D., 2005. Comprehensive and Minimalist Dimensions of Ecotourism, *Annals of Tourism Research*, Vol. 32, No. 2.

World Tourism Organization, 2010. *Tourism Highlights, Edition 2010. WTO Facts and Figures*.