



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DEFORESTACIÓN Y CAMBIO DE USO DE SUELO EN SAN PABLO CUATRO
VENADOS, ZAACHILA OAXACA

TESIS DE GRADO

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

ROSA SANCHEZ JIMENEZ

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: DRA. ELIZABETH HERNÁNDEZ ACOSTA

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, DICIEMBRE DE 2019



**DEFORESTACIÓN Y CAMBIO DE USO DE SUELO EN SAN PABLO
CUATRO VENADOS, ZAACHILA OAXACA**

Tesis realizada por Rosa Sanchez Jimenez bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTORA: _____ 


Dra. Elizabeth Hernández Acosta

ASESORA: _____ 

M. C. María Jesús Pérez Hernández

ASESOR: _____ 

Dr. José Luis Zaragoza Ramírez

ASESORA: _____ 

Dra. Ma. Amparo Máxima Borja de la Rosa

CONTENIDO

DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos particulares	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Deforestación	4
3.2. Deforestación a nivel global	5
3.3. Deforestación en México	6
3.4. Sensores remotos	8
3.5. Cartografía de vegetación y uso de suelo mediante imágenes de satélite	8
3.6. Procesamiento de la imagen satelital	11
3.6.1. Clasificación no supervisada	11
3.6.2. Clasificación supervisada	11
3.6.3. Validación de la clasificación supervisada	12

3.6.3.1. Matriz de confusión	12
3.6.3.2. Coeficiente Kappa	12
3.7. Métodos de análisis de cambio de uso de suelo	13
3.7.1. Según las técnicas empleadas	13
3.7.2. Según la temporalidad de la información	14
3.7.3. Según el tipo de dato empleado	15
3.8. Estudios de caso en México sobre la deforestación y los cambios de uso de suelo	16
IV. LITERATURA CITADA	19
V. CAMBIOS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN POR ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS EN EL DISTRITO DE ZAACHILA, OAXACA	27
5.1. Resumen	27
5.2. Abstract	28
5.3. Introducción	29
5.4. Objetivos	30
5.5. Materiales y métodos	30
5.5.1. Ubicación y caracterización del área de estudio	30
5.5.2. Preprocesamiento de las imágenes	31
5.5.3 Recorrido en campo para reconocer los usos de suelo y	

vegetación	32
5.5.4. Método de clasificación de la imagen	32
5.5.5. Evaluación de la precisión de la clasificación supervisada	33
5.5.6. Análisis de cambio de uso de suelo y deforestación en el distrito de Zaachila, Oaxaca	34
5.6 Resultados y discusión	34
5.6.1. Verificación en campo	34
5.6.2. Mapas de uso de suelo y vegetación	35
5.6.3. Análisis de cambio de uso de suelo y deforestación en el distrito de Zaachila, Oaxaca	39
5.6.4. Porcentaje de deforestación para periodo de 1987 a 2017 en el municipio de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca	41
5.7. Conclusiones	42
5.8. Referencias	43

Lista de cuadros

Cuadro 1. Características de las imágenes de satélite Landsat 5	10
Cuadro 2. Características de las imágenes de satélite Landsat 8	10
Cuadro 3. Matriz de confusión para evaluar la exactitud de los resultados de la clasificación supervisada de 1987	35
Cuadro 4. Matriz de confusión para evaluar la exactitud de los resultados de la clasificación supervisada de 2017	36

Lista de figuras

Figura 1. Localización geográfica del municipio San Pablo Cuatro Venados Oaxaca	31
Figura 2. Mapas de uso de suelo y vegetación de los años 1987 y 2017	37
Figura 3. Porcentaje de cobertura en las cuatro categorías de uso de suelo y vegetación	37
Figura 4. Ganancias y pérdidas de uso de suelo y vegetación de 1987 a 2017, en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila Oaxaca	39
Figura 5. Cambios y persistencias de uso de suelo y vegetación de 1987 a 2017, en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila Oaxaca	40

DEDICATORIAS

A Dios, por haberme dado un ángel de la guarda tan especial que nunca nos abandona a todos como familia.

A ti madre doña Tomi por ser la luz de mi vida, mi inspiración y el amor más grande que me impulsa a seguir adelante, Y a ti Papá don Migue, porque a tu manera me enseñaste a ser la más fuerte del mundo con todo mi amor te dedico mis logros. A mi tía abuela Iraís por estar conmigo desde el día que nací y hasta la actualidad, te mereces lo mejor del mundo.

A mi hermano Leo, por ser tan valiente y nunca dejarte vencer por nada, a mi hermana Anita, por ser tan trabajadora y ser parte muy importante para que esto fuera posible, a mi hermana Gladis, por ser una de las personas que ha estado a mi lado en todo este proceso, animándome siempre. Finalmente, a las pupilas de mis ojos Cristian y Lizbeth porque ustedes representan la unión de esta familia y representan mis fuerzas para seguir luchando.

A mis sobrinos, Iker y Denisse por ser los pequeños que ahora llenan de alegría mi casa. También a mi cuñado Ezequiel, por todo el apoyo, cariño y comprensión que me brindó y mi cuñada Rosalina.

A ti Ivan, por haberme dado lo mejor de ti, por tratarme como una reina y estar siempre a mi lado apoyando cada uno de mis logros, te amo amor.

A toda la familia Sanchez, Jimenez y Ramirez por haberme cuidado desde mi niñez y siempre darme palabras de aliento en cada paso.

A mis amigos: Clarita, Carolina, Jacqueline, Cesar, Erick, Anthony, Mayis, Daniel, Eze, Braulio, Eduardo y Claudia por haberme regalado momentos geniales.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia; primos, tíos, abuelos y conocidos por el apoyo brindado, esto no sería posible sin ustedes.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de estudiar la licenciatura y maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por ser la única fuente de ingresos por medio de beca y apoyos con los que pude realizar mis estudios de posgrado.

A la Dra. Elizabeth Hernández, la M. C María Jesús, el Dr. José Luis y la Dra. Amparo por su apoyo confianza y cariño brindado.

Al profesor Gerardo Eduardo de la Luz Paz, dicen que no es mejor maestro el que más sabe, sino el que mejor enseña. Usted ha dado más de lo que puede por nosotros y nos ha enseñado muchísimo querido profe, gracias por todo.

Al comisariado de bienes comunales del Municipio de San Pablo Cuatro Vendados por el permiso otorgado para la realización del trabajo.

.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Rosa Sanchez Jimenez

Fecha de nacimiento: 30 de agosto de 1993

Lugar de nacimiento: San Pablo Cuatro venados;
Zaachila, Oaxaca

CURP: SAJR920830MOCNMS01

Profesión: Ingeniero forestal

Cédula Profesional: 11622756



Desarrollo académico

- Educación media superior del año 2007 al 2010 en el IEBO PI: 184, de San Pablo Cuatro Venados; Zaachila Oaxaca.
- Licenciatura en Ingeniería Forestal en la Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencia Forestales de 2010-2015, obteniendo el título de Ingeniero Forestal.
- En agosto de 2017: ingreso al programa Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales que concluyó en 2019.

Desarrollo laboral

- De noviembre de 2015 a junio de 2016: CONSULTORIA FORESTAL Y BIOMETRICA RCO Y CIA, S. A. DE C.V: Trabajando en la elaboración de ETJ'S (Toma de datos de campo de muestreo vegetativo, cálculo de diversidad florística, identificación taxonómica de especies, otras actividades de gabinete).

I. INTRODUCCIÓN

La CONABIO (2009), define a la biodiversidad como la variedad de vida que comprende a la diversidad de plantas que existen en un área determinada, a su variabilidad genética, a los ecosistemas así como los paisajes o regiones donde éstos se ubican, además se incluyen también los procesos evolutivos y ecológicos que ocurren en los diferentes niveles (genes hasta paisajes).

En los últimos 50 años los ecosistemas se han modificado de manera rápida y extensiva, estos cambios se deben principalmente a las demandas de la humanidad de comida, agua, madera, fibras y combustibles; el aprovechamiento de éstos tiene consecuencias drásticas como son: la degradación de suelos, la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la degradación de la capa de ozono, el cambio climático etc. (Wake y Vredenburg, 2008; España-Boquera y Champo, 2016; Cartea, 2016).

México es reportado con una gran diversidad de especies vegetales, sin embargo y a pesar del trabajo realizado en sistemática en los dos últimos siglos, se conocen solo una fracción del total de especies existentes. Sumado a esto existe el problema de la pérdida en diversidad biológica que cada año aumenta y se refleja cuando se evalúa la tasa de extinción de especies (Martínez-Meyer *et al.*, 2014).

Rosete-Vergés *et al.* (2014) reportaron para un periodo de 31 años (1976 a 2007), 534 707 ha deforestada por año, con -0.08% en la tasa anual de deforestación para bosques, -0.41% para selvas y -0.36% para la asociación matorrales-mezquites. También informaron que hubo un aumento en el área ocupada por vegetación secundaria. Ubicaron que las principales causas son el crecimiento poblacional y el cambio de uso de suelos por actividades agrícolas y pecuarias, al alto grado de marginación y pobreza, a los desastres naturales y las políticas públicas mal dirigidas en las áreas rurales (CONAFOR, 2019).

Se requiere evaluar los cambios de uso de suelo para planear el manejo de los bosques a nivel global, nacional, estatal, municipal y local. En el estado de

Oaxaca, México; existe poca información sobre la situación actual de los bosques, esto provoca un manejo desordenado e intenso. Por ello la presente investigación tiene como objetivo evaluar el grado de deforestación que tiene el municipio de San Pablo cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca.

Antecedentes y planteamiento del problema

San Pablo Cuatro Venados, un municipio con aproximadamente 6 000 ha a pesar de ser un área pequeña cuenta con distintos climas y vegetación. El municipio, no cuenta con estudios locales que registren la diversidad de especie vegetales y animales, así como el estado actual de los mismos.

El cambio de uso de suelo y la deforestación han detonado alteraciones sobre las propiedades del suelo, el régimen de precipitación y la variación en la temperatura, razón por la cual el estudio de estas transformaciones ambientales es de gran relevancia en la investigación (Killeen *et al.*, 2005; Zurita *et al.*, 2015; Gordillo-Ruiz y Castillo-Santiago, 2017).

Los problemas ambientales en los últimos 50 años son prioridad de la investigación debido a los notables cambios que experimentan los suelos, el clima, el aire, precipitación entre otros, todo ello resultado de la deforestación y los distintos cambios de uso de suelo.

San Pablo Cuatro Venados es un área en la cual los habitantes se dedican principalmente a agricultura de temporal y dependen totalmente de sus bosques para la extracción de leña como combustible, así como la venta de leña y carbón para percibir ingresos. Estas actividades se desarrollan desde el establecimiento de la población en el área hasta la actualidad, sin ningún tipo de manejo, situación que ha venido desgastando la productividad de los bosques, así como la fragmentación de estos para el establecimiento de otros usos de suelo.

La falta de información respecto al estado actual de los bosques del municipio de San Pablo Cuatro Venados motivó la realización del presente estudio, con el

propósito de dar un panorama general e identificar las zonas con mayor cambio a lo largo de un periodo de 30 años (1987-2017).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El presente trabajo analizó la deforestación y los cambios de uso de suelo originados por actividades antropogénicas en el periodo de 1987-2017, mediante el uso de imágenes Landsat 5 y Landsat 8, en el Municipio de San Pablo Cuatro venados Zaachila, Oaxaca, con la finalidad de obtener la tasa de deforestación como base para un aprovechamiento forestal sustentable.

2.2. Objetivos particulares

- Ubicar los tipos de vegetación y uso de suelo de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca, mediante la elaboración de la cartografía de 1987 y 2017, con imágenes del satélite Landsat; para determinar el porcentaje de deforestación del municipio.
- Analizar los principales cambios de vegetación que experimento la zona en un periodo de 30 años, para realizar una mejor planeación y aprovechamiento forestal sustentable en los bosques.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Deforestación

La deforestación, se define como la eliminación de vegetación arbolada en áreas naturales con la finalidad de dar un uso diferente. Los cambios de uso de suelo son las principales causas de pérdida de los recursos forestales y degradación ambiental, estos procesos son causados principalmente por factores culturales, económicos, tecnológicos, sociales y políticos (Lamberechts, 2004; Galicia *et al.*, 2007; Gándara, 2011). Para Latinoamérica los principales factores causantes de la deforestación son: los parámetros biofísicos, los factores socioeconómicos y las características geográficas (Wassennar *et al.*, 2007).

Las zonas con mayor susceptibilidad a la deforestación con las que se localizan cerca de centros de población, mientras que las zonas que permanecen poco alteradas son aquellas que se encuentran más remotas, siempre y cuando no cuenten con vías de acceso para la extracción de diversos recursos ya que los caminos permiten la creación de nuevos asentamientos humanos, agricultura, ganadería etc., (SEMARNAT, 2005).

Una de la causa subyacente de la deforestación es la pobreza. La población pobre de un país con menos desarrollo, buscan el sustento principalmente en la extracción de los recursos naturales maderables, mismos que son usados para: construcción de viviendas, combustible para cocinar, o el aprovechamiento de recursos no maderables como lo es la constante demanda de terrenos nuevos y fértiles para cultivos. Otro factor importante es la falta de empleos o asesoramiento para un aprovechamiento sustentable, lo que origina una explotación irracional, lo anterior implica una clara pérdida en la cobertura vegetal (Zwane, 2007; Vallejo, 2011; FAO, 2014).

Las consecuencias de la deforestación son diversas, las más relevantes son: la contaminación del agua y aire, la erosión del suelo, pérdida de diversidad por la extinción de plantas y animales, la liberación de dióxido de carbono en la atmósfera el incremento del calentamiento global, la degradación de cuencas y las inundaciones (Arquiñigo y Encinas, 2011; Molina, 2012).

El uso de suelo se relaciona con la sustentabilidad, es decir la forma en la que se altera la cubierta vegetal, lo cual determina la permanencia de los bosques, la retención de suelo con declive (evitando la erosión), la infiltración de agua y recarga de mantos freáticos, la purificación de agua y atmosfera, y el abastecimiento de madera, leña, alimentos y otros productos. Por ello la importancia de estudiar a detalle los cambios de uso de suelo a nivel local integrando aspectos ecológicos, sociales, culturales y económicos (SEMARNAT, 2005).

Lo descrito anteriormente confirma el desafío de conservar la biodiversidad, el funcionamiento ecosistémico y los servicios ambientales, generando información precisa y confiable sobre los cambios de uso de suelo y deforestación, con el apoyo de herramientas novedosas como las imágenes satelitales y equipos de cómputo, que ofrecen mayor confiabilidad y rapidez en la generación de la cartografía de los recursos naturales (Rodríguez *et al.*, 2002).

3.2. Deforestación a nivel global

La humanidad comenzó a transformar los bosques y los usos de suelo, desde hace miles de años de manera primitiva con el fin de facilitar la caza y la agricultura. Actualmente se cuenta con tecnología avanzada que facilita un cambio acelerado y a gran escala (FAO, 2016).

La FAO (2015) en su valoración de los recursos forestales a nivel mundial concluyó que la superficie forestal disminuyó 129 millones de hectáreas (3.1%) de 1990 a 2015, esta pérdida puede ser producto de factores naturales, pero en su mayoría se debe a las actividades humanas por la eliminación de vegetación

para cambiar el uso de los suelos con diferentes fines, como: la agricultura, la infraestructura, asentamientos humanos, minerías entre otros. De la superficie total a nivel global, la agricultura constituye más de un tercio (37.7 %) diferente de los bosques que representan solo un tercio (30.7 %) y basado en un promedio mundial más de un tercio del área boscosa se ocupa por bosques primarios, mismos que mostraron una disminución de 40 millones de hectáreas desde el año 2000.

3.3. Deforestación en México

En México, durante los últimos tres siglos el uso del suelo ha cambiado de manera drástica, solo el 41% de selvas permanecen con vegetación primaria, lo que hace a este ecosistema como el más afectado por el hombre. En cambio, los matorrales primarios corresponden a un 55% de los originales (SEMARNAT, 2003). Al respecto, Rosete-Vergés *et al.* (2014) reportaron una disminución en las tasas de cambio de uso de suelo en México, en el periodo 2000 a 2007, dato que representa una disminución anual en superficie de 500 000 ha. La causa principal de la superficie deforestada fue agricultura de temporal y el aumento en la superficie de vegetación secundaria.

La FAO (2015) en su evaluación de los recursos forestales mundiales reporto para México una tasa de deforestación de 0.2% durante el periodo de 1990 a 2015. A nivel nacional se han realizado diversos estudios, sin embargo, hacer un cálculo correcto de la deforestación es cuestionable debido a las diferentes metodologías utilizadas, lo cual impide una comparación directa en cuanto a los porcentajes de deforestación (SEMARNAT, 2005).

El estado de Oaxaca destaca como el tercero con mayor pérdida de cobertura forestal en México, con alrededor de 35,000 hectáreas anuales para el periodo de 1993-2002, además de posicionarse dentro de los primeros diez estados con mayor tasa de deforestación (0.6%) (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010), Por su parte, Velázquez *et al.* (2003), reportan entre 1980 y 2001 una

deforestación de 24 000 ha por año, en tanto CONAFOR (2011), menciona que entre 2002 y 2007 la tasa de deforestación neta en el estado es alrededor de 16 000 ha. Actualmente las regiones de Oaxaca con mayores procesos de deforestación son: la región Sierra Sur, la Mixteca y la Sierra Mixe, siendo las selvas caducifolias quienes presentan mayor pérdida en superficie (Ellis *et al.*, 2016), sin embargo, Merino *et al.* (2008) reportaron las áreas forestales amenazadas en ese año fueron las cercanas a los centros urbanos en crecimiento.

Debido a la problemática que se presenta a nivel nacional respecto al uso de los recursos naturales y a la deforestación, el gobierno de México creó instituciones como la secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Instituto Mexicano de Tecnología y del Agua (IMTA) (Carabias y Provencio ,2016) mismos que se encargan del estudio y propuestas de solución de múltiples problemáticas ambientales como la contaminación al suelo, la contaminación al aire, el cuidado de los recursos naturales y regular las actividades industriales riesgosas. además, en el país se elaboran leyes que regulan y protegen al medio ambiente tales como: Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y la Ley General de Cambio Climático.

Todo lo descrito anteriormente evidencia el impacto que las actividades humanas generan sobre la superficie terrestre debido a la demanda de recursos y servicios. También se describen las diferentes instituciones y leyes que regulan, monitorean y protegen a los recursos naturales, por medio de la ubicación de zonas perturbadas y la implementación de alternativas para minimizar los impactos y con ello aspirar un aprovechamiento sustentable. Durante la planificación, es importante la interacción multidisciplinaria, entre ellas la teledetección ya que con la disponibilidad de sensores remotos se ha podido medir con precisión la extensión y ubicación de los ecosistemas terrestres y los

cambios que han sufrido en las últimas décadas (Franklin, 2001; Gómez, 2001; Herrera, 2001; Chuvieco, 2008; Hansen *et al.*, 2013).

3.4. sensores remotos

La teledetección se sustenta en un sistema de obtención de datos a distancia sobre la biósfera, apoyado en las propiedades de la radiación electromagnética captada por un sensor, se extrae la información valiosa mediante algoritmos matemáticas y estadísticos, por lo tanto, es una actividad científica. Cualquier sistema de teledetección consta de tres componentes fundamentales: un sensor, un objeto observado y un flujo energético, de donde resultan tres formas de obtener información de un sensor remoto: por emisión, por emisión-reflexión y por reflexión (Jensen, 2007; Chuvieco, 2008; Campbell y Wynne, 2011; Buzai y Baxendale, 2015).

3.5. Cartografía de vegetación y uso de suelo mediante imágenes de satélite

En la actualidad, se reconoce la importancia de los recursos forestales, así como la necesidad de realizar un buen manejo en busca de la sustentabilidad para ello es indispensable adoptar la implementación de novedosa tecnología de análisis geográfico que sirve como herramienta de apoyo en la ejecución y en la integración de los recursos forestales. Para una planificación correcta del uso de los recursos forestales se tiene diferentes fuentes de información sobre los atributos geográficos de la superficie terrestre como: imágenes de satélite de alta resolución, mapas temáticos, radar, lidar entre otros. Actualmente se implementa en su mayoría el uso de las imágenes de satélite ya que ofrecen la oportunidad de observar los cambios ocurridos en la vegetación así como ilustrar continuamente un área geográfica determinada (Treviño, 1992).

El registro cartográfico de los diferentes tipos de vegetación, la clasificación, la evaluación y el constante monitoreo, así como la actualización cartográfica, son necesarios para cualquier tipo de manejo forestal debido a que esto permiten la

evaluación de los impactos sobre los ecosistemas (Aguirre, 2002; Pellat *et al.*, 2019).

El uso de las imágenes satélite se desarrolló en la guerra fría entre los Estados Unidos y la Unión Soviética con fines militares, sin embargo actualmente éstas se encuentran disponibles para diversidad de aplicaciones como lo son: base de catastro, desarrollo y planificación urbano, Infraestructura, investigación ambiental, negocios o geografía empresarial y asuntos militares, también ofrece, precisión posicional y tiempo de entrega revolucionaria, y con ello se amplían sus aplicaciones (LANDINFO, 2019).

Los primeros satélites iniciaron operación a principios de la década de los 70's, desde entonces se dispone de modelos conceptuales y herramientas que traducen los datos captados por los sensores, mismos que sirve para la generación de información científica que facilita la toma de decisiones en diversas áreas incluyendo las ciencias ambientales y de conservación. Los sensores en los satélites reconocen y registran energía electromagnética expuesta o reflejada por una superficie u objeto en diferentes bandas del espectro electromagnético y proporcionan datos cuantitativos y espacialmente continuos de la superficie (Paruelo, 2008).

A mediados de la década de los 60's, en EE. UU. lanzaron el satélite de Tecnología de Recursos de la Tierra (ERTS-1), que más tarde fue rebautizado como Landsat 1. Los lanzamientos de Landsat 2, Landsat 3 y Landsat 4 siguieron en 1975, 1978 y 1982, respectivamente.

Cuando se lanzó Landsat 5 en 1984, cuyas características se muestran en el cuadro 1, el satélite entregó datos globales de alta calidad de la superficie terrestre durante 28 años. Landsat 6 no pudo alcanzar la órbita en 1993, Landsat 7 se lanzó con éxito en 1999 y Landsat 8 (cuadro 2) que se lanzó en 2013, continúa proporcionando datos mundiales diarios. Está previsto que Landsat 9 se lance a finales de 2020 (Survey U. G., 2015).

Cuadro 1. Características de las imágenes de satélite Landsat 5

Sensor	Número de banda	Nombre de banda	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
TM	1	Azul	0.43–0.45	30
TM	2	Verde	0.45–0.51	30
TM	3	Rojo	0.53–0.59	30
TM	4	Infrarrojo cercano (NIR)	0.64–0.67	30
TM	5	Banda de onda corta (SWIR) 1	0.85–0.88	30
TM	6	Térmica	1.57–1.65	120
TM	7	Infrarrojo de onda corta (SWIR) 2	2.11–2.29	30

Fuente: (USGS, 2019)

Cuadro 2. Características de las imágenes de satélite Landsat 8

Sensor	Número de banda	Nombre de banda	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
OLI	1	Aerosol costero	0.43–0.45	30
OLI	2	Azul	0.45–0.51	30
OLI	3	Verde	0.53–0.59	30
OLI	4	Rojo	0.64–0.67	30
OLI	5	Infrarrojo cercano NIR	0.85–0.88	30
OLI	6	SWIR 1	1.57–1.65	30
OLI	7	Infrarrojo de onda corta (SWIR) 2	2.11–2.29	30
OLI	8	Pancromático	0.50–0.68	15
OLI	9	Cirrus	1.36–1.38	30
OLI	10	Infrarrojo térmico TIRS 1	10.60–11.19	100
OLI	11	Infrarrojo térmico TIRS 2	11.50–12.51	100

Fuente: (USGS, 2019)

3.6. Procesamiento de imagen satelital

Esta etapa tiene como objetivo corregir los datos de una imagen: la eliminación de ruidos, corrección radiométrica y corrección geométrica, entre otros, con la finalidad de crear una representación más fiel de la escena original y así poder aplicar algún método de clasificación puede ser no supervisada o supervisada (Lillesand *et al.*, 2014).

3.6.1. Clasificación no supervisada

La clasificación no supervisada se refiere a un proceso en donde se agrupan píxeles con valores digitales similares para todas las bandas, a cada agrupación se le conoce como clases espectrales, mismas que corresponden a un tipo de cubierta de terreno. Esta clasificación ejecuta una exploración automática de grupos con valores uniformes dentro de las imágenes, sin embargo, puede ocurrir que alguna categoría se exprese en varias clases espectrales, que más de dos categorías compartan una sola clase, o que diversas categorías compartan clases espectrales, todo esto impulsa el uso de técnicas supervisadas, ya que los algoritmos de clasificación no supervisada se utilizan para definir el las agrupaciones que intervienen en la clasificación supervisada (Gutiérrez, 2005; Chuvieco, 2000; Jiménez-Moreno *et al.*, 2011).

3.6.2. Clasificación supervisada

La clasificación supervisada se refiere al procedimiento de agrupar píxeles en un número finito de clases individuales o categorías de datos basado en su valor de reflectancia o los niveles digitales (UACJ, 2016), en donde el interesado define las características espectrales de las clases, por medio de la asignación campos de entrenamiento (áreas que representan cada cobertura de suelo, con la finalidad de obtener un valor espectral para clasificar los píxeles que representan los patrones de los tipos de cobertura y uso de suelo observados en campo) o áreas de muestreo. Es importante que el investigador se familiarice con el área

de interés (Chuvieco, 1995). Posteriormente debe realizar una validación para conocer la exactitud de la clasificación realizada.

3.6.3. Validación de la clasificación supervisada

La primera evaluación radica en efectuar un análisis de tipo cualitativo de los resultados obtenidos, en éste se inspecciona visualmente el grado de concordancia entre la clasificación y la imagen satelital, posteriormente se construye una matriz de confusión la cual es una herramienta analítica implementada para evaluar la exactitud temática, finalmente el cálculo del coeficiente kappa (κ) muestra concordancia entre la imagen clasificada y la realidad del terreno (López et al., 2005; Nolasco y Bocco, 2015).

3.6.3. 1. Matriz de confusión

La matriz de confusión consiste en comparar el resultado de la imagen clasificada con una segunda imagen creada con información de los sitios de muestreo en campo. Junto con la matriz se calcula la precisión general, la precisión del productor-usuario, el coeficiente kappa y los errores de comisión-omisión. La precisión general que se estima sumando el número de píxeles clasificados adecuadamente y dividido por el número total de píxeles (ENVI, 2009).

3.6.3.2. Coeficiente Kappa

El coeficiente kappa (K) que se calcula mediante la siguiente ecuación (ENVI, 2009).

$$k = \frac{N \sum_k X_{kk} - \sum_k X_{k\sum} X_{\sum k}}{N^2 - \sum_k X_{k\sum} X_{\sum k}}$$

Donde:

k = Coeficiente Kappa

N = Imagen realidad terreno

X_{kk} = Valores de las diagonales de la matriz de confusión

La precisión general se expresa en valores que van de 0 a 100%, en donde 0 indica nula concordancia de la imagen clasificada respecto a las coberturas encontradas en campo, mientras que 100% muestra la máxima concordancia de la imagen clasificada con la realidad en el terreno.

3.7. Métodos de análisis de cambio de uso de suelo

Se sugieren tres tipos de clasificación (según las técnicas empleadas, Según la temporalidad de la información y el tipo de dato empleado) de los métodos para la detección de cambios de uso de suelo y vegetación (Jiménez-Moreno et al., 2011).

3.7.1. Según las técnicas empleadas

Este criterio se fundamenta en los cambios a la reflectividad o texturas de una imagen, ya que éstas pueden ser separadas e influenciadas por las cuales son separables y afectadas por las condiciones temporales, temáticas, espectrales y espaciales (Lu *et al.*, 2004).

- Álgebra de mapas

Este método utiliza operaciones aritméticas básicas (suma, resta, multiplicación y división) con la finalidad de manipular y analizar datos espaciales que permitan crear nuevas funciones y relaciones de atributos de intercalación de dos capas de entrada, creando nuevas funciones de salida. Comprende técnicas como: regresión entre imágenes, diferencia entre imágenes, diferencias de índices de vegetación, proporción de imágenes, sustracción de fondo y análisis de vectores de cambio (Varga y Vila, 2008; Olaya, 2014).

- Transformación

Como su nombre lo indica, este método transforma entidades originales combinando principios y reglas geométricas, aritméticas o lógicas, operadores de conversión de datos ráster a vectoriales y viceversa, para perfeccionar aspectos

temáticos de la imagen, así como la disposición de los datos que permitan distinguir y evidenciar los acontecimientos de interés (Kumar *et al.*, 2007; Chuvieco, 2008; Jiménez-Moreno *et al.*, 2011).

- Post-Clasificación

En este método se clasifican o agrupan los rasgos geográficos según características comunes, reduciendo el número o variedades, lo que permite simplificar el mapa. Para ello, se agrupan los píxeles y posteriormente los mapas temáticos creados se usan para generar una matriz cruzada de información del cambio de uso entre las imágenes multitemporales. Es importante mencionar que la desventaja radica en la manipulación de datos históricos y del tiempo empleado para generar clasificaciones exactas (Herrera, 2001; Chuvieco, 2008; Jiménez-Moreno *et al.*, 2011).

- Modelación

Estos modelos conceptuales manipulan y describen características espaciales de los sucesos geográficos es decir valores de reflectancia de una imagen son transformados o fragmentados a parámetros basados físicamente de modelos no lineales, lineales o ambos. Transformar estos parámetros facilita la interpretación y extracción de información de las firmas espectrales. La principal desventaja reside en el tiempo que requiere y el conflicto de implementar modelos adecuados para transformar valores de reflectancia de una imagen a parámetros biofísicos (López *et al.*, 2001; Jiménez-Moreno *et al.*, 2011).

3.7.2. Según la temporalidad de la información

- Análisis bitemporal

Este es un análisis cuantitativo o cualitativo en donde se usan imágenes con dos fechas diferentes, las técnicas empleadas son proporción de imagen, diferencia de regresión, diferencia de imágenes, calidad de datos (cruce de clasificación y/o cruce de tablas) y análisis de vectores de cambios (entre dos imágenes) (Eastman, 2003).

- Análisis multitemporal

Este análisis, al igual que el análisis bitemporal, es un análisis cuantitativo o cualitativo de las imágenes, sin embargo, este varía en el número de fechas de análisis empleados puesto que en este se utilizan más de dos, asimismo, se requiere de técnicas estadísticas de series de tiempo para llevar a cabo su análisis (Eastman, 2003).

- Predicción de cambios a futuro

Con esta técnica se puede determinar la probabilidad de cambio por predicción espacial. Para ello se incluyen los análisis multicriterio, las cadenas de probabilidad de análisis de Markov y autónomas celulares (Eastman, 2003).

3.7.3. Según el tipo de dato empleado:

- Datos continuos o categóricos

Estos datos incluyen la normalización de números digitales por medio de la calibración radiométrica, es decir, la transformación a radianza y después a reflectancia. Con referencia a los datos categóricos se emplea del uso de mapas temáticos que se obtienen de la clasificación no supervisada o supervisada (Jiménez-Moreno *et al.*, 2011).

Los métodos con fundamentos en la teledetección demostraron que son herramienta eficaz para la detección de cambios en el uso del suelo otorgando una visión integral de la dinámica espaciotemporal de la cobertura y los patrones de uso, sin embargo, para elegir una técnica es necesario tomar en cuenta la calidad de información, así como el costo que implica su uso. Esto quiere decir que no todos los métodos se pueden aplicar en todos los casos, pero si es importante que se empleen, por lo menos uno o varios de ellos para generar información eficaz y con ello reconocer la intensidad de los cambios, así como las causas que lo provocan con la finalidad de generar bases para un plan de

aprovechamiento de los recursos (Treitz y Rogan, 2004; Jiménez-Moreno *et al.*, 2011).

A continuación, se mencionan solo algunos trabajos realizados en México relacionados con el cálculo de la deforestación así como la implementación de imágenes de satélite para el cálculo de esta.

3.8. Estudios de caso en México sobre la deforestación y los cambios de uso de suelo

Para 2002 México se reportaba aún en fase de experimentación en la aplicación de sensores remotos (Rodríguez *et al.*, 2002), pero en 2010, gracias a la evolución tecnológica así como la disponibilidad de imágenes de satélite con mayor calidad y resolución se logró aprovechar estos avances para mejorar el proceso de cuantificación de los recursos naturales (FAO, 2010).

De 1980 a 2015 se publicaron 259 artículos científicos sobre modelación forestal en 37 revistas, de las cuales 28 se encuentran indizadas en el Journal Citation Reports (JCR). Del total de artículos, 84 % se publicaron en revistas mexicanas (Martínez-Santiago *et al.*, 2017).

Diversos estudios comparan resultados sobre la situación del cambio de uso de suelo y deforestación en el país sustentado la mayoría el uso de imágenes satelitales continuación se describen algunos:

Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. Reynoso *et al.* (2016), en la cuenca de Metztitlán Hidalgo, realizaron un estudio donde ubicaron la proyección de uso de suelo a 2025 utilizando cadenas de Markov-autómatas celulares. Para ello generaron mapas con imágenes Landsat 5 y Landsat 7 para el año 2007 e imágenes SPOT 5 y 6 para 2013. Finalmente obtuvieron una tasa con valor positivo en la deforestación para la superficie de vegetación leñosa (1.42%).

Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. Mas *et al.* (2004) a nivel nacional generaron una base de datos SIG

multivariada para llevar a cabo la cuantificación y caracterización espacial de los cambios en el uso y cobertura de la tierra digitales de tres fechas diferentes (finales de 1970, 1993 y 2000) fueron revisados, evaluados, corregidos e integrados en una base de datos SIG. Finalmente reportaron tasas de deforestación de 0.25 % para los bosques templados y 0.76% para los bosques tropicales.

Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. Muñoz-Villers y López-Blanco (2008) analizaron los cambios en el área montañosa y tropical del centro-Este de México, con imágenes Landsat TM utilizando un enfoque GIS-RS. Concluyeron que los bosques fueron reemplazados por actividades agrícolas tales como el establecimiento de pastizales.

Modifications in Coverage Patterns and Land Use around the Huizache-Caimanero Lagoon System, Sinaloa, Mexico: A Multi-temporal Analysis using LANDSAT Images. Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999), analizaron cuatro subimágenes Landsat MSS (escáner multiespectral) y TM (mapa temático), tomadas entre 1973 y 1997, para evaluar las tendencias de los cambios en las clases de lagunas, marismas, manglares, agricultura, sucesión secundaria y bosque seco. Finalmente concluyeron que las cubiertas naturales (laguna, manglar y bosque seco) mostraron una reducción significativa en 1997 en comparación con 1973, mientras que las áreas agrícolas mostraron un aumento en la cobertura y que la región Huizache-Caimanero es un paisaje altamente perturbado por prácticas agrícolas, y debe rehabilitarse para mantener su productividad natural.

Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. Osorio (2015), elaboró mapas de cubiertas y usos del suelo basado en la interpretación de imágenes de satélite. Finalmente concluyó que la cuenca del río Coyuquilla perdió el 36% de la cubierta forestal de 1986 a 2011. Los bosques de encino fueron los más afectados por los cambios de la actividad ganadera.

Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. Leija-Loredo (2016), realizó un estudio basándose en la comparación espacio-temporal de mapas de vegetación y uso de suelo, originados de la interpretación de imágenes de satélite Spot y Landsat ETM+. Después de establecer las tendencias de los cambios en la cubierta vegetal para el periodo de 2000-2011, se precisaron los escenarios futuros así como la proyección de los cambios en la cubierta vegetal al año 2025. Concluyó que Santa María Tonameca contaba con una superficie total de 45 224 ha de coberturas naturales en el año 2000 (43 564 ha de selvas y 1 660 ha de manglares). Años después las selvas disminuyeron a 11 624.7 ha. Los manglares por su parte perdieron 259 ha. Las tasas de deforestación correspondientes para las selvas fueron de 2.8% y para los manglares de 1.5%.

Proceso de deforestación en el municipio de Cherán, Michoacán, México (2006-2012). España-Boquera (2016), estimó la pérdida anual de la cubierta forestal en el periodo de 2006-2012 apoyándose en el uso de imágenes del satélite Spot y utilizando un criterio basado en el NDVI y la firma espectral. Finalmente, en el periodo evaluado, la superficie vegetal total cambio de 12 730 ha a 3 661 ha, es decir se redujo a menos de un tercio de su extensión inicial.

La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. Monjardín-Armenta (2017) por su parte utilizó la cartografía de uso de suelo y vegetación del año 1993 a 2011 a escala 1:250 000, para estimar la deforestación mediante una técnica de detección de cambios, concluyendo que la agricultura temporal y los asentamientos humanos generaron una ganancia neta de 2 372.26 km², asimismo las coberturas de bosques y selvas presentaron una pérdida neta de 2 303.81 km².

Las ventajas de la teledetección son diversas, destacando: que implica menores gastos, abarca grandes áreas y posibilita la repetición y obtención de los datos a través del tiempo (Bocco *et al.*, 2014)

IV. LITERATURA CITADA

- Aguirre Z., E. 2002. Evaluación de cambios de vegetación en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N. L. 63 p.
- Arquiñigo, C. M., & Encinas, A. I. D. (2011). Evaluación de la deforestación y sus impactos ambientales: provincia de Padre Abad. *Investigaciones sociales*, 15(27), 121-131.
- Bocco, M., Ovando, G., Sayago, S., Willington, E. (2007) Neural network models for land cover classification from satellite images. *Agricultura Técnica*, 67:414-421
- Buzai, G., y Baxendale, C. (2015). Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado en la teoría de la geografía. *Ciencias Espaciales*, 8(2), 391-408. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2089>
- Campbell, J., y Wynne, R. (2011). Introduction to Remote Sensing. New York. Guilford Press.
- Carabias, J., & Provencio, E. (2016). Creación y consolidación de capacidades institucionales para la gestión ambiental. *Capital natural de México*, 4, 37-49.
- Cartea, P. Á. M. (2006). Crisis ambiental y globalización: Una lectura para educadores ambientales en un mundo insostenible. *Trayectorias*, 8(20-21), 110-123.)
- Céspedes-Flores, S. E. y Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación ambiental*, 2(2), 5-13

- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental la observación de la tierra desde el espacio*. 3ª. Ed. Barcelona. Ariel ciencia 2008
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Segunda edición. Madrid, España. RIALP, S. A.
- Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp, Madrid. CHUVIECO, E.
- CONAFOR. 2011. Programa de Inversión Forestal de México. Banco Mundial, Financiera Nacional, BID y Conafor. México.
- Eastman, R. (2003). *Guide to GIS and image processing. Kilimanjaro Tutorial*. USA. Clark Labs.
- Ellis, E.A., Romero Montero, J.A., Hernández Gómez, I.U., Anta-Fonseca, S. y López Paniagua, J.E. (2016). *Determinantes de deforestación en el estado de Oaxaca*. México, Distrito Federal.
- ENVI Versión 4.7. (2009). ENVI User's Guide. Research Systems Inc. 1272 p.
- España-Boquera, M. L., & Champo-Jiménez, O. (2016). Proceso de deforestación en el municipio de Cherán, Michoacán, México (2006-2012). *Madera y bosques*, 22(1), 141-153.
- FAO (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales: Informe Nacional México. Roma.
- FAO. (2014). *El Estado de los bosques del mundo 2014*. Roma, Food & Agriculture Org
- FAO. (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf>
- FAO. (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Roma.
- FAO. (2016). *El estado de los bosques del mundo*. Roma, Italia: FAO

- Franklin, S. 2001. *Remote sensing for sustainable forest management*. United States of America. Lewis Publishers.
- Galicia, L., García, R. A., Gómez-Mendoza, L., y Ramírez, M. I. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia*, 58(4), 50-59.
- Gándara, A. S. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. México D.F. Instituto Nacional de Ecología.
- Gómez, O. D. (2001). *Ordenación territorial*. España. Ediciones Mundi-Prensa.
- Gordillo-Ruiz, M. C., & Castillo-Santiago, M. A. (2017). Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(10), 39-49. doi: 10.19136/era.a4n10.803
- Gutiérrez, M. A. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: "landsat-etm+". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2611-2634.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A. A., Tyukavina, A., ... & Kommareddy, A. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *science*, 342(6160), 850-853.
- Herrera, V. (2001). Estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia (Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG, y equipos GPS. *Revista de Teledetección*. 15,1-9.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. 2da. ed. E. U. Pearson
- Jiménez-Moreno, M. J., González-Guillen, M. D. J., Escalona-Maurice, M., Valdez-Lazalde, J. R., & Aguirre-Salado, C. A. (2011). Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(3), 389-406.

- Killeen, T. J., Siles, T. M., Soria, L., Correa, L., & Oyola, N. (2005). La Estratificación de vegetación y el cambio de uso de suelo en Las Yungas y El Alto Beni de La Paz. *Estudios Botánicos de la Región de Madidi, Ecología en Bolivia*, Número Especial, 40, 32-69.
- Kunmar, J. M., Garg, P. K. & Khare, D. (2007). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation* 10,26-43.
- Lamberechts, C. (2004). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.aag.org/galleries/mycoefiles/T.Deforestacion.pdf>
- Lambin, E. F., & Geist, H. J. (Eds.). (2008). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer Science & Business Media.
- LANDINFO (2019). Worldwide Mapping, L. Obtenido de http://www.landinfo.com/espanol/productos_satellite.htm
- Leija-Loredo, E. G., Reyes-Hernández, H., Reyes-Pérez, O., Flores-Flores, J. L., & Sahagún-Sánchez, F. J. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 22(1), 125-140.
- Lillesand, T., Kiefer, R., y Chipman, J. (2014). Remote sensing and image interpretation. J. Wiley.
- Lu, D., Mausel P., Brondizio, E., Moran, E. (2004). Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing* 25(12):2365-2407.
- Martínez-Santiago, S. Y., Alvarado-Segura, A. A., Zamudio-Sánchez, F. J., & Cristóbal-Acevedo, D. (2017). Spatio-temporal analysis of forest modeling in Mexico. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1), 5-22. doi: 10.5154/r.rchscfa.2016.01.003

- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G. & Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., & Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección?. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 1-9.
- Merino, L. (1997). *El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad*. Morelos. Chapela, Francisco
- Merino, L; (2008). Conservación comunitaria en la cuenca alta del Papaloapan, Sierra Norte de Oaxaca. *Nueva Antropología*, XXI () 37-49.
- López, G. E. M., Bocco G. & Mendoza C. M. E. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo, el caso de la ciudad de Morelia. Investigaciones geográficas. *Boletín del Instituto de Geografía UNAM*.45,56-76.
- Molina, D. O. (2012). Determinantes de la deforestación en la Amazonia. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo-RIAT*, 8(1), 17-25.
- Monjardín-Armenta, S. A., Pacheco-Angulo, C. E., Plata-Rocha, W., & Corrales-Barraza, G. (2017). La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. *Madera y bosques*, 23(1), 7-22. doi: 10.21829/myb.2017.2311482
- Muñoz-Villers, L. E., & López-Blanco, J. (2008). Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1), 71-93.
- Nolasco, M., Willington, E., & Bocco, M. (2015). Uso del suelo agrícola: comparación entre series temporales e imágenes satelitales individuales

para su clasificación. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR*, (26), 017-021.

Osorio, L. P., Mas, J. F., Guerra, F., & Maass, M. (2015). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*, (88), 60-74. doi: 10.14350/rig.43853

Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Revista Ecosistemas*, 17(3).

Pellat, F. P., Romero, V. M., Argumedo, J., y Cabrera, J. C. (2019). Base de datos vectoriales multi-temporales de mapas de uso del suelo y vegetación escala 1: 250 000 de México. *Elementos para Políticas Públicas*, 2(2), 125-146.

Reynoso Santos, R., Valdez Lazalde, J. R., Maurice, E., Jorge, M., de los Santos Posadas, H. M., & Pérez Hernández, M. J. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 72-81.

Rodríguez, E. B., Domínguez, S. T., & Pérez, E. V. (2002). Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de uso de suelo y vegetación en una región del Oriente del Valle de México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 8(1), 13-19.

Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y bosques*, 20(1), 21-35.

Ruiz-Luna, A., & Berlanga-Robles, C. A. (1999). Modifications in coverage patterns and land use around the Huizache-Caimanero lagoon system, Sinaloa, Mexico: a multi-temporal analysis using LANDSAT images. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(1), 37-44.

- SEMARNAT. (2003). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002*. México, DF.
- SEMARNAT. (2005). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales 2005. Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Semarnat, México D. F. (2006), p. 384
- Treitz, P. & Rogan J. (2004). Remote sensing for mapping and monitoring land-cover and land-use change: an introduction. *Progress in Planning* 61,269-279.
- UACJ (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez). (2016). *Estudios territoriales en México: percepción remota y sistemas de información espacial*. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Dirección General de Difusión Cultural y Divulgación Científica.
- US Geological Survey. (2016). Landsat: satélites de observación de la Tierra US Geological Survey Fact Sheet 2015–3081, 4 p., [Http://dx.doi.org/10.3133/fs20153081](http://dx.doi.org/10.3133/fs20153081).
- Vallejo, M. (2011). *Evaluación Preliminar sobre Causas de Deforestación y Degradación de Bosques en Honduras (Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD – CCAD/GIZ))*. Tegucigalpa.
- Varga, D., & Vila, J. (2008). Capítulo 15: Los sistemas de información geográfica. In *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica* (pp. 1000-1020). Documenta Universitaria.
- Velázquez, A., Durán, E., Ramírez, I., Mas, J., Bocco, G., Ramírez, G. and Palacio, J. (2003). Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change*, 13(3), pp.175-184.

- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica Tomo I*. España: Creative Commons.
- Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P.H., Rosales, M., Ibrahim, M. & Steinfeld, H. (2007). Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change*, 17, 86-104.
- Wake, D. B., & Vredenburg, V. T. (2008). Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(Supplement 1), 11466-11473.
- Zurita, A., Badii, M., Guillen, A., Lugo, O., & Aguilar, J. (2015). Factores Causantes de Degradación Ambiental (Factors Causing Environmental Degradation). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(3), 1-9.
- Zwane, A. P. (2007). Does poverty constrain deforestation? Econometric evidence from Peru. *Journal of Development Economics*, 84(1), 330-349. doi: 10.1016/j.jdeveco.2005.11.007

V. CAMBIOS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN POR ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS EN EL DISTRITO DE ZAACHILA, OAXACA

5.1. ¹Resumen

La importancia de los bosques a nivel mundial es ampliamente ubicada por el conjunto de bienes y servicios que ofrecen, sin embargo, el aprovechamiento de dichos recursos provoca cambios en el uso de suelo y en la vegetación. Las consecuencias son: aceleración del cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la ocurrencia de inundaciones, degradación de los suelos, amenaza de las formas de vida y la integridad cultural de la población que depende directamente de los bosques. El presente trabajo se desarrolló en el Municipio de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila Oaxaca, con la finalidad de analizar los cambios de uso de suelo y vegetación en un periodo de 30 años (1987 a 2017) y obtener la tasa de deforestación con el uso de imágenes Landsat. Los resultados mostraron que la vegetación arbórea perdió 193 ha (3.35%) y la vegetación arbustiva ganó 334 ha (5.57%). Los cambios en el bosque de pino-encino revelaron un importante reemplazo de vegetación arbustiva sobre vegetación arbórea. La tasa de deforestación (0.31%) sugieren un aprovechamiento constante de los recursos forestales y evidencian la necesidad de implementar acciones para mantener la cobertura forestal.

Palabras clave: aprovechamiento forestal, imágenes de satélite, tasa de deforestación.

¹Tesis de Maestría, Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad autónoma Chapingo
Autor: Rosa Sanchez Jimenez
Directora de Tesis: Dra. Elizabeth Hernández Acosta

5.2. ² Abstract

Deforestation and change of land use in San Pablo Cuatro Venados, Zaachila
Oaxaca

The importance of forests worldwide is widely located by the set of goods and services they offer; however, the use of these resources causes changes in land use and vegetation. The consequences are acceleration of climate change, loss of biodiversity, the occurrence of floods, degradation of soils, threatens the ways of life and cultural integrity of the population that depends directly on forests. The present development work in the Municipality of San Pablo Cuatro Venados, Zaachila Oaxaca, with the purpose of analyze the changes in land and vegetation use over a period of 30 years (1987 to 2017) and obtain the deforestation rate with the use of Landsat images. The results showed that tree vegetation lost 193 ha (3.35%) and shrub vegetation gained 334 ha (5.57%). Changes in the pine forest revealed an important replacement of shrub vegetation over tree vegetation. The deforestation rate (0.31%) suggests a constant use of forest resources and demonstrates the need to implement actions to maintain forest cover.

Keywords: forest utilization, deforestation rate, satellite images.

¹ Master thesis, Master of Science in Forest Sciences, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Rosa Sanchez Jimenez

Thesis director: Dr. Elizabeth Hernández Acosta

5.3. Introducción

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes del cual depende la existencia de plantas y animales, así como diversas actividades de desarrollo para la humanidad (Blum *et al.*, 2006; Segura-Castruita, 2010) sin embargo, de este proceso se derivan ciertos impactos negativos relacionados con la deforestación y fragmentación de ecosistemas, la desertización, la alteración del ciclo hidrológico e incremento de la vulnerabilidad de grupos humanos; siendo éstos últimos los principales agentes transformadores (Ballesteros, 2007).

Los dos factores que evidencian estos cambios son la cobertura y uso de suelo (Reyes *et al.*, 2006) de tal manera que se ubican como prioridad de la investigación ambiental para entender las directrices de cambios y deterioro de los recursos naturales (Nájera *et al.*, 2010).

Diversas regiones de México no cuentan con información espacial y temporal que cuantifique con precisión los cambios en la cubierta, uso de suelo y deforestación (Mas *et al.*, 2017). Sin embargo, existen estudios que aportan información relevante para entender la dinámica del cambio de la cubierta vegetal, por ejemplo: la deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México (Monjardín *et al.*, 2017), cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México (Escandón *et al.*, 2018), cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México (Leija *et al.*, 2016), el avance de la deforestación en México 1976-2007 (Rosete *et al.*, 2014) y análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México (Ramos-Reyes *et al.*, 2016), entre otros.

Lo anterior resalta la importancia de realizar estudios regionales en México con la finalidad de tener bases específicas para el buen manejo de los ecosistemas. El municipio de San Pablo Cuatro Venados Zaachila, Oaxaca no cuenta con información que ofrezcan una perspectiva sobre el estado actual de sus bosques, por ello el interés de llevar a cabo la presente investigación.

5.4. Objetivos

El objetivo del presente trabajo fue analizar los cambios de uso de suelo y vegetación por actividades antropogénicas en un periodo de 30 años, mediante el uso de imágenes Landsat, en el Municipio de San Pablo Cuatro venados Zaachila, Oaxaca, con la finalidad de obtener la tasa de deforestación como base para un aprovechamiento forestal sustentable.

5.5. Materiales y métodos

5.5.1. Ubicación y caracterización del área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en el Municipio de San Pablo Cuatro Venados. Cuenta con una superficie de 60.86 km², pertenece al distrito de Zaachila en la región Valles Centrales del estado de Oaxaca. Su posición geográfica es: 16° 59' N y 96° 52' W. Colinda con los municipios de San Pedro Ixtlahuaca (al Norte), con Cuilapam de Guerrero (al Este), con Santiago Tlazoyaltepec (al Oeste), con Jalapa del valle (al Noroeste) y con San Miguel Peras y Santiago Clavellinas (al Suroeste) (Fig. 1).

Cuenta con una población de 1 388 habitantes (INEGI, 2018). El clima predominante corresponde al tipo C(w₁), templado subhúmedo, con precipitación media anual de 700 a 1 200 mm y temperatura media anual de 17 °C. Los tipos de suelos predominante en el municipio son; regosol (47.60%), seguido de luvisol (21.76%), acrisol (19.61%) y cambisol (11.03%) (INEGI, 2019). Dichas características se relacionan con el tipo de vegetación bosque de pino-encino (García *et al.*, 2004).

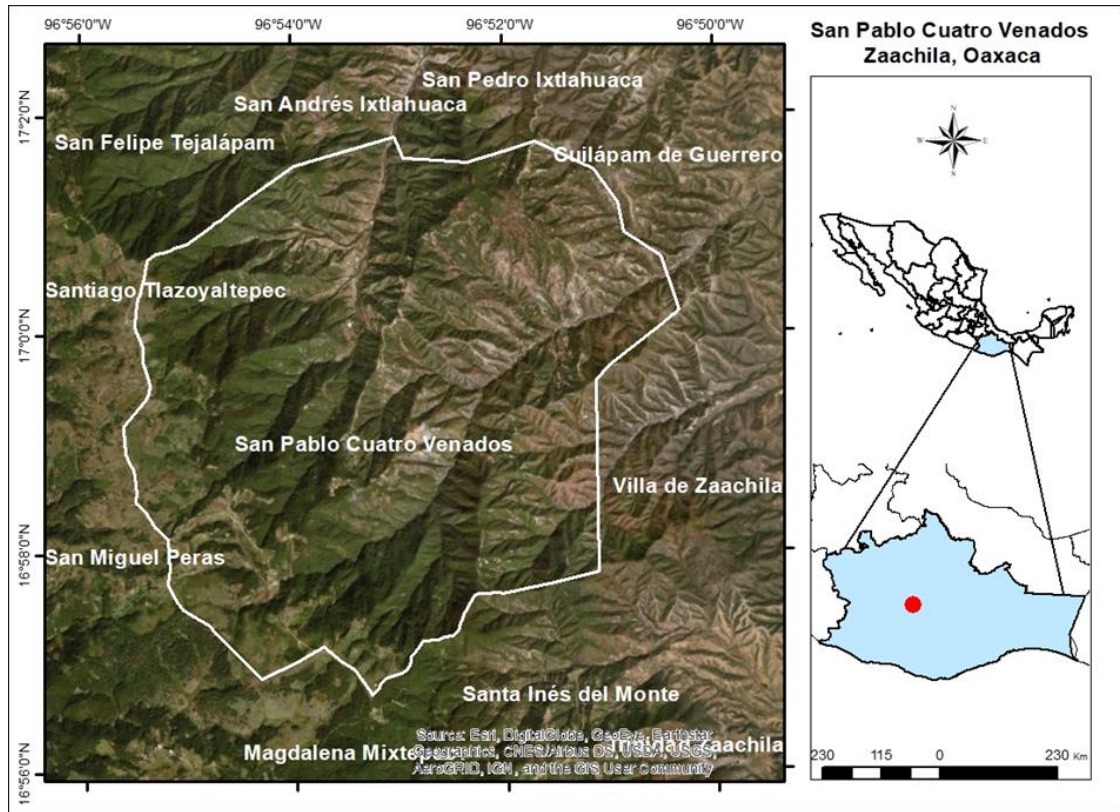


Figura 1. Localización geográfica del municipio San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca.

Fuente: elaboración propia

5.5.2. Preprocesamiento de las imágenes

Para identificar los usos de suelo y vegetación se usaron imágenes de satélite Landsat correspondientes al mes de julio de 1987 (Landsat 5) y mayo de 2017 (Landsat 8). Se seleccionaron imágenes con bajo porcentaje de nubosidad y con niveles de procesamiento L1T (corrección geométrica y topográfica). Las imágenes Landsat 5 se integran de 7 bandas: las bandas 1-3 corresponden al rango espectral del visible, 4, 5 y 7 pertenecen al infrarrojo y la banda 6 al infrarrojo térmico (Coppel y Llorente, 2001). Landsat 8, presenta 11 bandas: las bandas 1-4 refieren al rango visible, de la 5-7 al infrarrojo, la banda 8 corresponde al pancromático, la banda 9, a cirrus y las bandas 10 y 11 a los infrarrojos térmicos (Ariza, 2013). Las imágenes se obtuvieron de manera gratuita de la plataforma <https://earthexplorer.usgs.gov/> (USGS, 2018).

Con el propósito de homogeneizar las imágenes, se realizó un proceso de corrección atmosférica empleando el software IDRISI Selva®, a través del módulo ATMOSC, y se utilizó el modelo Cost(t) el cual es una mejora del modelo de sustracción del objeto oscuro (DOS) (Eastman *et al*, 2004). Este método permite eliminar bruma y transformar los Niveles Digitales (ND) a valores reales de reflectancia espectral del terreno.

5.5.3 Recorrido en campo para reconocer los usos de suelo y vegetación

El reconocimiento de los tipos de uso de suelo y vegetación se realizó en toda la superficie del municipio, el cual consistió en registrar los diferentes estratos, porcentajes de cobertura vegetal y los usos que los habitantes del municipio hacen de la vegetación. Esta actividad permitió definir el número de categorías de vegetación en el terreno respecto a las observadas en las imágenes de satélite. Al mismo tiempo se identificaron nueve sitios representativos de las diferentes categorías de uso, mismos que permitieron definir los campos de entrenamiento en el proceso de clasificación supervisada.

5.5.4. Método de clasificación de la imagen

Los mapas de uso de suelo y vegetación se obtuvieron a través del método de clasificación supervisada mediante el software ENVI 5.3®. El proceso implicó tres etapas fundamentales. Primero fue necesario realizar una combinación de bandas (compuesto RGB) que permitiera resaltar las principales coberturas del suelo, para este caso se utilizó el compuesto infrarrojo, ya que es la combinación de bandas que resalta el vigor de la vegetación (Manrique, 1999; Rodríguez-Moreno y Bullock, 2013), se usaron las bandas 5, 4, 3, para la imagen del 2017 y las bandas 4, 3, 2, para el año 1987.

El resultado anterior, dio paso a la segunda etapa del proceso de clasificación supervisada, el cual consistió en delimitar los campos de entrenamiento acorde

a los tipos de coberturas identificados en campo. En la última etapa, se ejecutó el algoritmo de paralelepípedo descrito por Eastman (2001), este algoritmo permite la agrupación de píxeles creando un subespacio con forma de paralelepípedo para cada categoría de uso, considerando valores mínimos y máximos de los píxeles correspondientes a los campos de entrenamiento (Gao, 2008).

5.5.5. Evaluación de la precisión de la clasificación supervisada

Para la evaluación de la precisión de la clasificación supervisada se construyó una matriz de confusión utilizando el software ENVI 5.3[®]. El proceso consiste en comparar el resultado de la imagen clasificada con una segunda imagen creada con información de los sitios de muestreo en campo. Junto con la matriz se calcula la precisión general, la precisión del productor y del usuario, el coeficiente kappa, y los errores de comisión y omisión.

En esta investigación, la precisión de la clasificación se determinó mediante la precisión general que se estima sumando el número de píxeles clasificados correctamente y dividido por el número total de píxeles y el coeficiente kappa (K) que se calcula mediante la siguiente ecuación (ENVI, 2009).

$$k = \frac{N \sum_k X_{kk} - \sum_k X_{k \sum X \sum k}}{N^2 - \sum_k X_{k \sum X \sum k}}$$

Donde:

k = Coeficiente Kappa

N = Imagen realidad terreno

X_{kk} = Valores de las diagonales de la matriz de confusión

La precisión general se expresa en valores que van de 0 a 100%, en donde 0 indica nula concordancia de la imagen clasificada respecto a las coberturas encontradas en campo, mientras que 100% muestra la máxima concordancia de la imagen clasificada con la realidad en el terreno. Por su parte, el coeficiente Kappa se expresa en valores que van de 0 a 1, donde 0 corresponde a una clasificación no acorde a la realidad y 1 es el máximo valor de concordancia de la imagen clasificada con la realidad en campo.

5.5.6. Análisis de cambio de uso de suelo y deforestación en el distrito de Zaachila, Oaxaca

La detección de cambios se llevó a cabo con los mapas de uso de suelo y vegetación correspondientes a los años 1987 y 2017. Se utilizó el módulo Land Change Modeler for Ecological Sustainability del software IDRISI Selva®. El análisis se realizó con la finalidad de observar la dinámica de cambio en un periodo de 30 años.

La tasa de deforestación se obtuvo mediante la ecuación propuesta por Palacio-Prieto *et al.* (2004). $Td = [(S2/S1)^{(1/n)} - 1] * 100$

Donde:

Td = tasa de deforestación anual en porcentaje

$S2$ = área arbolada en el año final

$S1$ = área arbolada en el año inicial

n = número de años del periodo de análisis

5.6 Resultados y discusión

5.6.1. Verificación en campo

El recorrido de campo permitió definir cuatro categorías de usos de suelo y vegetación: vegetación arbórea (V/A), que incluye la vegetación de pino-encino,

vegetación arbustiva (V/AR), conformada por vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino, vegetación herbácea (V/H), que agrupa hierbas y pastizales; por último, la categoría sin vegetación (S/V), conformada por asentamientos humanos, áreas dedicadas a la agricultura, suelo desnudo y suelos erosionados.

5.6.2. Mapas de uso de suelo y vegetación

Los indicadores de la precisión derivados en la clasificación se consideran aceptables, ya que se obtuvo una exactitud global de 88% para el año 1987 y 85% para el año 2017. Referente al índice Kappa se obtuvieron valores de 0.83 para el año 1987 y 0.79 para el año 2017 (Cuadro 3 y 4). De acuerdo con Anderson *et al.* (1976); Mas *et al.* (2003) y Lesschen *et al.* (2005) la precisión general y el valor del coeficiente Kappa obtenidos para ambas fechas son confiables para estudios de post-clasificación, tales como: la modelación de cambios de uso de suelo y la proyección de deforestación, entre otros.

Cuadro 3. Matriz de confusión para evaluar la exactitud de los resultados de la clasificación supervisada de 1987.

Clases	V/A	Píxeles clasificados (%)			Total
		V/AR	V/H	S/V	
No clasificado	0	0	0	0	0
V/A	98.34	8.82	3.23	0.55	42.45
V/AR	1.66	82.35	54.84	5.46	22.45
V/H	0	0.98	40.32	0	4.42
S/V	0	7.84	1.61	93.99	30.78
Total	100	100	100	100	100
Precisión general	88.00%				
Coeficiente Kappa	0.82				

Vegetación arbórea (V/A), Vegetación arbustiva (A/AR), Vegetación herbácea (V/H) y Sin vegetación (S/V).

Cuadro 4. Matriz de confusión para evaluar la exactitud de los resultados de la clasificación supervisada de 2017.

Clases	Píxeles clasificados (%)				Total
	V/A	V/AR	V/H	S/V	
No clasificado	0	0	0	0	0
V/A	99.26	3.25	0	1.23	33.25
V/AR	0.74	95.93	8.64	49.38	39.43
V/H	0	0.81	9.88	48.15	11.4
S/V	0	0	81.48	1.23	15.91
Total	100	100	100	100	100
Precisión general	85.00%				
Coficiente Kappa	0.79				

Vegetación arbórea (V/A), Vegetación arbustiva (A/AR), Vegetación herbácea (V/H) y Sin vegetación (S/V).

El mapa de uso de suelo y vegetación correspondiente al año de 1987 evidencia que la vegetación arbórea se encontraba distribuida de manera homogénea en toda la superficie que ocupa el municipio, y para 2017 se aprecia que este tipo de vegetación se concentró en mayor cantidad en la zona Oeste, que corresponde a las áreas de mayor pendiente y altitud (Fig. 2).

En la figura 3 se presenta el porcentaje que ocupó cada una de las cuatro categorías de usos de suelo y vegetación. En 1987 la categoría que tuvo mayor superficie fue la vegetación arbórea con 2 317 ha (38%) y la que cubrió menos superficie fue la categoría vegetación herbácea con 462 ha (7.5%). Para el año 2017, se encontró que la categoría que tuvo mayor superficie fue la vegetación arbustiva con 2 303 ha (37.84%) y la que presentó menor superficie fue la vegetación herbácea con 483 ha (7.94%).

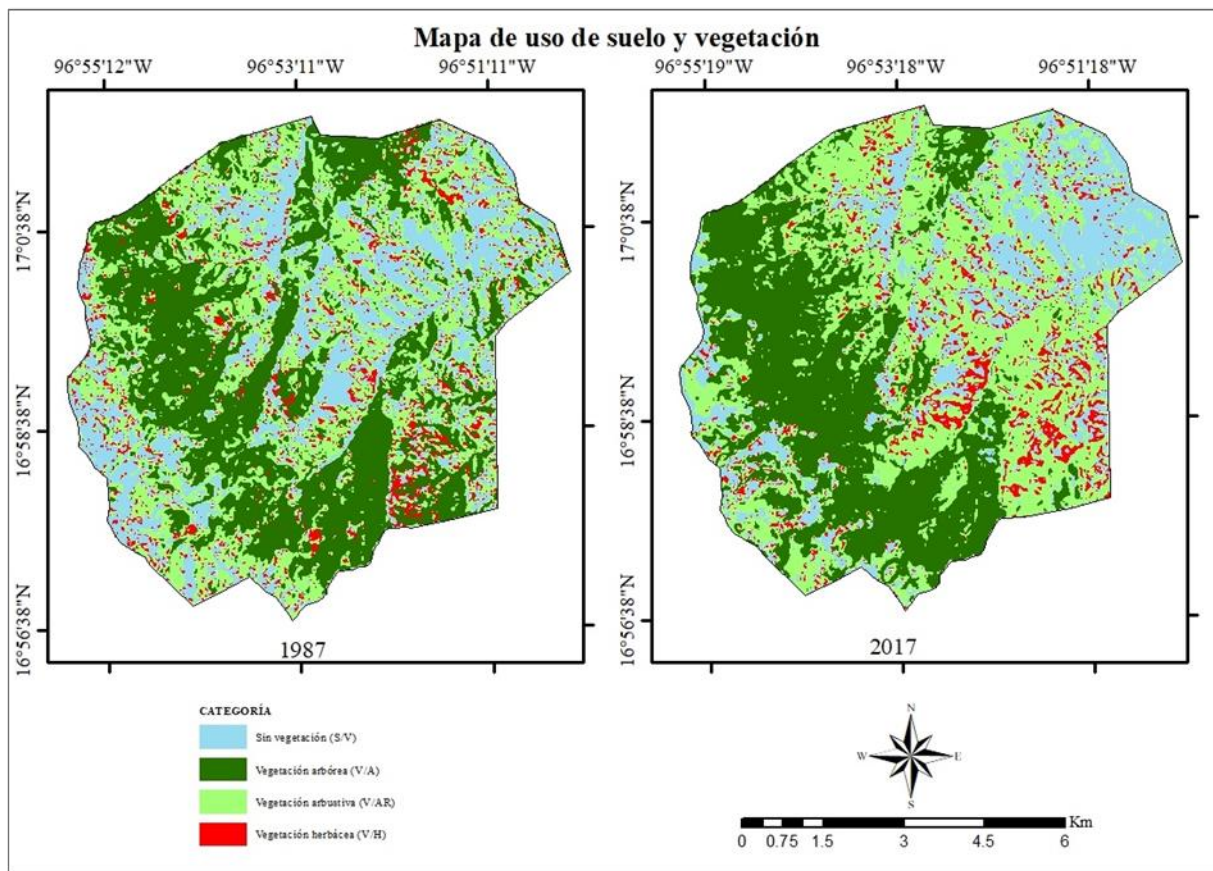


Figura 2. Mapas de uso de suelo y vegetación de los años 1987 y 2017
Fuente: elaboración propia.

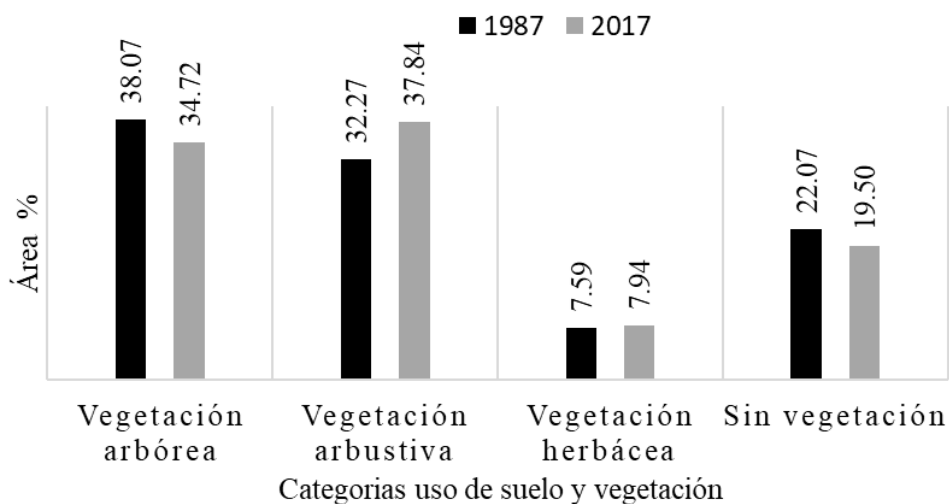


Figura 3. Porcentaje de cobertura en las cuatro categorías de uso de suelo y vegetación.
Fuente: elaboración propia.

Los resultados expuestos en el párrafo anterior se deben a los siguientes factores:

1) Pobreza y grado de marginación en la zona, CONAPO (2019) reportó de 1990 a 2010 un grado de marginación muy alto para el área de estudio, aunque esta condición mejoró en 2015 (grado de marginación alta), la dependencia de la población a los recursos forestales para subsistir es significativa, lo cual provoca cambios notables en la vegetación.

2) Accesibilidad de la población a los bosques, para las comunidades que se encuentran dentro o cerca de los bosques éstos representan una importante fuente de empleo, de ingresos y subsistencia (Chapela, 2012; Osorio *et al.*, 2015). En este estudio se observó el aprovechamiento de diversos recursos, entre ellos, madera para construcción, para leña, plantas medicinales y ornamentales, hongos comestibles, entre otros.

3) Incendios forestales, el área de estudio tiene una vegetación de tipo pino-encino, estos ecosistemas son dependientes del fuego. Sin embargo; Manson *et al.* (2009) refieren que los regímenes de incendios pueden ser alterados por dos razones: primero, si los incendios antropogénicos son más frecuentes, se consumen los renuevos evitando la regeneración y con ello se reemplaza el arbolado por hierbas y matorrales. En segundo lugar, la falta de prácticas de limpieza de los ecosistemas forestales genera mayores cargas de combustible y con ello se corre el riesgo de tener incendios más severos y destructivos (Rodríguez-Trejo y Myers, 2010).

4) Pendiente, el municipio cuenta con terrenos accidentados donde la presencia de barrancas y cañadas es común, y en temporada de lluvias los deslizamientos del suelo son frecuentes, esta situación provoca cambios en la vegetación, así como la modificación de la fertilidad y pérdida del suelo (Escandón *et al.*, 2018).

5.6.3. Análisis de cambio de uso de suelo y deforestación en el distrito de Zaachila, Oaxaca

Las ganancias y pérdidas de la cobertura vegetal para el periodo de 1987 a 2017 se observan en la figura 4. Las categorías que perdieron cobertura fueron vegetación arbórea 193 ha (3.35%) y suelo sin vegetación con 362 ha (2.57%), en tanto, las categorías que ganaron superficie fueron vegetación arbustiva 334 ha (5.57%) y vegetación herbácea 16 ha (0.35%). Si bien es cierto que el cambio neto en superficie es bajo, la dinámica de cambio revela que existió un proceso de degradación y fragmentación de la vegetación arbórea, ya que áreas con vegetación de bosque de pino-encino en el año uno, transitaron a vegetación arbustiva para el año dos (Fig. 5).

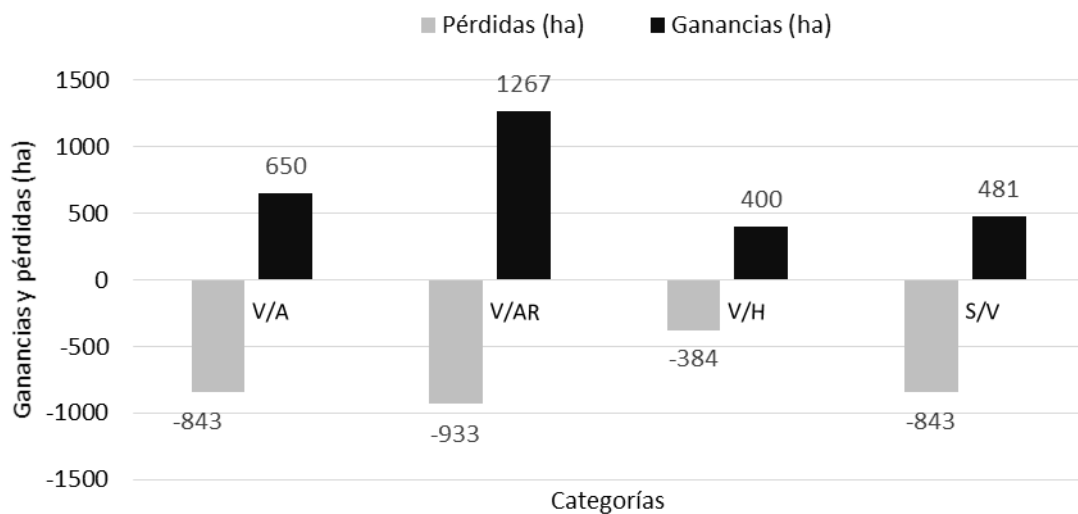


Figura 4. Ganancias y pérdidas de uso de suelo y vegetación de 1987 a 2017, en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila Oaxaca.

Fuente: elaboración propia.

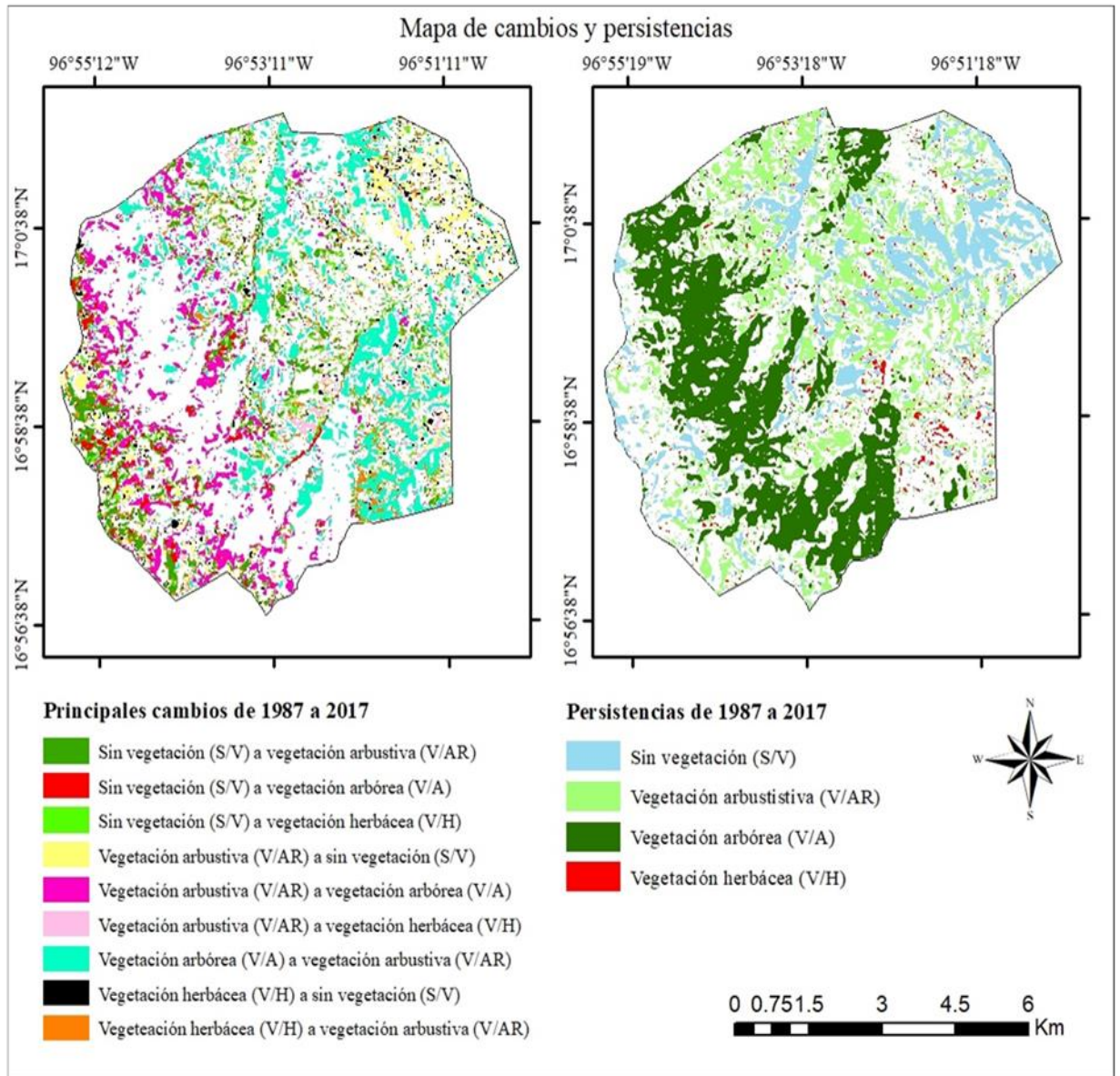


Figura 5. Cambios y persistencias de uso de suelo y vegetación de 1987 a 2017, en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila Oaxaca. Fuente: elaboración propia.

En esta investigación se observó que los cambios de uso de suelo y vegetación se producen debido a la falta de empleos, a la dependencia del bosque para subsistir y al alto grado de marginación. Al respecto Ellis *et al.* (2016), sugieren que la principal causa de deforestación en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca es el aprovechamiento de leña para autoconsumo.

Por otro lado, Meave *et al.* (2012) y Duran *et al.* (2007) citan que la magnitud de la pérdida de cubierta vegetal en los bosques tropicales caducifolios de Oaxaca es indiscutible, y que solo se conserva un poco más de la mitad (52.4%) de la superficie original. Siendo la región de valles centrales donde existe una destrucción acelerada y masiva con una tendencia recurrente.

En la zona de estudio se aprovecha la vegetación arbórea sin ningún tipo de manejo, lo que provoca el abandono de estas áreas, con ello la vegetación arbustiva gana superficie y desplaza a la vegetación arbórea considerablemente. Al respecto, CONAFOR (2014) señala que este comportamiento es un indicador del deterioro de los bosques.

5.6.4. Porcentaje de deforestación para periodo de 1987 a 2017 en el municipio de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca

La tasa anual de deforestación para la vegetación arbórea fue de 0.31%. Resultados similares fueron obtenidos por Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez (2010) quienes mencionan que Oaxaca se posiciona entre los diez primeros lugares a nivel nacional con mayor tasa de deforestación (0.6%). Datos superiores (6.1%) fueron reportados por Sahagún *et al.*, (2016) para la categoría de bosque de pino-encino en la región costera de Oaxaca. Al respecto Ellis *et al.* (2016) señalan que la Sierra Sur, la Mixteca, y la Sierra mixe son las regiones con mayores tasas de deforestación en Oaxaca.

Debido a que el 80% de los bosques y selvas del estado de Oaxaca son propiedad de ejidos y comunidades, debe ser prioritario promover sistemas de manejo que permitan un aprovechamiento sustentable de los ecosistemas forestales, reconociendo a las comunidades locales como dependientes de los recursos naturales (Ellis *et al.*, 2016).

Finalmente, como resultado del presente estudio se ubica que la parte Este del municipio se encuentra degradada por lo que es necesario realizar una

caracterización de sus suelos para distinguir la problemática que presente y realizar obras de conservación y restauración en los sitios más afectados.

5.7. Conclusiones

Se ubicó que la vegetación arbustiva está ganando superficie sobre la vegetación arbórea y las causas que originan dichos cambios son, la falta de empleos, la dependencia del bosque para subsistir y el alto grado de marginación. La tasa de deforestación en los bosques de pino-encino (0.31%.) sugiere la necesidad de implementar acciones tales como; la reforestación de las zonas montañosas, realizar obras de conservación de suelo en las áreas desprovistas de vegetación y con alto grado de pendiente. De igual manera se expone la necesidad de elaborar un plan de manejo forestal de especies maderables y no maderables que permitan realizar un aprovechamiento sustentable de los recursos forestales del municipio de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca.

5.8. Referencias

- Anderson, J. R., Hardy E. E., Roach J. T. y Witmer R E. (1976). *A Land Use and Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data*. (Vol. 964). US Government Printing Office.
- Ariza, A. (2013). Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM. Knowledge Portal. Recuperado de <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Ballesteros, A. C. (2007). El entendimiento de las fuerzas dinamizadoras de la degradación ambiental: las aportaciones de Paul Ehrlich. *Gaceta Ecológica*, (84), 2-5.
- Blum, W. E. H., Warkentin, B. P., & Frossard, E. (2006). Soil, human society and the environment. *Geological Society, London, Special Publications*, 266(1), 1-8. doi: 10.1144/GSL.SP.2006.266.01.01
- Céspedes-Flores, S. E., y Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación ambiental*, 2(2), 5-13.
- Chapela, F. (2012). Estado de los bosques de México. *Estado de los bosques de México*, CCMSS, México. Recuperado de http://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Estado_de_los_bosques_en_Mexico_final.pdf
- CONAFOR. (2014). Inventario estatal forestal y de suelos-Morelos 2013. Recuperado el 2019, de http://187.218.230.30/filesconafor/userfiles/IEFYs/IEFYS_Morelos_2013/IEFYS_Morelos_2013.pdf
- CONAPO (2018). GOB. MX. Índice de marginación por localidad, 1990-2010. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de->

marginacion-carencias-poblacionales-por-localidad-municipio-y-entidad/resource/ace60e8e-b247-489a-8ff2-00a71563f5c0

Coppel, I. A. F., & Llorente, E. H. (2001). El Satélite Landsat: análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat. Universidad de Valladolid. Recuperado de <http://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf>

Duran, E., Gopar, F., Velázquez, A., Lopez, F., Larrazabal, A., & Medina, C. (2007). Análisis de cambio en las coberturas de Vegetación y Usos del Suelo en Oaxaca. In *II Simposio Biodiversidad de Oaxaca*. Oaxaca, México (Vol. 25).

Eastman, J. R. (2004). IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing. *Labs Clark University. Worcester, EE. UU.* Recuperado de <https://www.mtholyoke.edu/courses/tmillett/course/geog307/files/Kilimanjaro%20Manual.pdf>

Eastman, J.R. (2001). Idrisi 32. Guide to GIS and Image Processing. Volume 1. *Clark Labs. Clark University. Worcester, MA.*

Ellis, E.A., Romero Montero, J.A., Hernández Gómez, I.U., Anta-Fonseca, S. y López Paniagua, J.E. (2016). *Determinantes de deforestación en el estado de Oaxaca*. México, Distrito Federal.

ENVI Versión 4.7. (2009). ENVI User's Guide. Research Systems Inc. 1272 p.

Escandón Calderón, J., Ordóñez Díaz, J. A. B., Nieto de Pascual Pola, M. C. D. C., & Ordóñez

Díaz, M. D. J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 27-53. doi: 10.29298/rmcf.v9i46.135

- Gao, J. (2008). *Digital analysis of remotely sensed imagery*. McGraw-Hill Professional.
- García-Mendoza, A. J., Díaz, M. D. J. O., & Briones-Salas, M. (Eds.). (2004). *Biodiversidad de Oaxaca*. UNAM.
- INEGI (2018). San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca (20292). México en cifras. México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=20>
- INEGI (2019) Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca. Clave geoestadística 20292. Recuperado de <file:///C:/Users/R%C3%B6sita/Downloads/20292.pdf>
- Leija-Loredo, E. G., Reyes-Hernández, H., Reyes-Pérez, O., Flores-Flores, J. L., & Sahagún-Sánchez, F. J. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 22(1), 125-140.
- Lesschen, J. P., P. H. Verburg and S. J. Staal. (2005). *Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes: In land use and farming systems*. Lucc Report Series No. 7. The International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya y Lucc Focus 3 Office, Wageningen University, The Netherlands. 80 p.
- Manrique, E. G. (1999). Índice de vegetación. Aplicación del NDVI. Teledetección. *Avances y aplicaciones*. pp. 217-219
- Manson, R., Jardel-Peláez, J. E. M., & Escalante-Sandoval, C. (2009). Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. *Capital natural de México*, 2, 131-184.

- Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., y Pérez Vega, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones geográficas*, (51), 53-72.
- Mas, J. F., Lemoine-Rodríguez, R., González, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., & Herrera-Flores, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y bosques*, 23(2), 119-131. doi: 10.21829/myb.2017.2321472
- Meave, J. A., Romero-Romero, M. A., Salas-Morales, S. H., Pérez-García, E. A., & Gallardo-Cruz, J. A. (2012). Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
- Monjardín-Armenta, S. A., Pacheco-Angulo, C. E., Plata-Rocha, W., & Corrales-Barraza, G. (2017). La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. *Madera y bosques*, 23(1), 7-22. doi: 10.21829/myb.2017.2311482
- Nájera-González, O. Y. O. L. S. I., Bojórquez-Serrano, J. I., Cifuentes-Lemus, J. L., & Marcelaño-Flores, S. U. S. A. N. A. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, 1(1).
- Osorio, L. P., Mas, J. F., Guerra, F., & Maass, M. (2015). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*, (88), 60-74. doi: 10.14350/rig.43853
- Palacio-Prieto J. L., Sánchez-Salazar M. T., Casado J. M., Propin F. E., Delgado C. J., Velázquez M. A., Chias B. L., Ortíz A. M. J., González S. J., Negrete F. G., Morales J. G. y Márquez H. R. (2004). *Indicadores para la*

caracterización y ordenamiento territorial. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México D.F.

Ramos-Reyes, R., Sánchez-Hernández, R., & Gama-Campillo, L. M. (2016). Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(8), 151-160.

Reyes Hernández, H., Aguilar Robledo, M., Aguirre Rivera, J. R., & Trejo Vázquez, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones geográficas*, (59), 26-42.

Rodríguez-Moreno, V. M., & Bullock, S. H. (2013). Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(4), 611-623.

Rodríguez-Trejo, D. A. y R. L. Myers. 2010. Using oak characteristics to guide fire regime restoration in Mexican pine-oak and oak forests. *Ecological Restoration* 28:304-323. doi: 10.3368 / er.28.3.304

Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y bosques*, 20(1), 21-35.

Sahagún-Sánchez, F. J. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 22(1), 0-0.

Segura-Castruita, M. A. (2014). The Soils of Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1), 223-224.

United States Geological Survey. (2018). Science for a changing world. E. U. <https://earthexplorer.usgs.gov/>