



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**TRANSFORMACIÓN DE LA CONECTIVIDAD ESPACIAL EN
TABASCO, MÉXICO.**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

RUTH DEL CARMEN LUNA RUIZ

DIRECTORES:

DRA. CORAL JAZVEL PACHECO FIGUEROA

DR. JUAN DE DIOS VALDEZ LEAL

VILLAHERMOSA, TABASCO

OCTUBRE 2017



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



SEPTIEMBRE 28 DE 2017

**C. RUTH DEL CARMEN LUNA RUIZ
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **“TRANSFORMACIÓN DE LA CONECTIVIDAD ESPACIAL EN TABASCO, MÉXICO”**, asesorado por la Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa y Dr. Juan de Dios Valdez Leal sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Luis José Rangel Ruiz, M. en C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez, Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Dr. Juan de Dios Valdez Leal y Dr. Miguel Ángel Gómez Albores.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA**



C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **TRANSFORMACIÓN DE LA CONECTIVIDAD ESPACIAL EN TABASCO, MÉXICO**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 28 de Septiembre de 2017.

AUTORIZO



RUTH DEL CARMEN LUNA RUIZ

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto UJAT-PTC-256 Fondo SEP-PRODEP “Diagnóstico del estado de la conservación de los humedales para la gestión integrada en la planeación de actividades productivas”. Por el apoyo financiero para la realización de esta tesis.

También quiero agradecer al cuerpo académico “Conservación y Gestión Ambiental” conformados por la Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Dr. Luis José Rangel Ruiz, M. C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez y Dr. Juan de Dios Valdez Leal por el apoyo y asesoría durante la realización de este documento.

Al cuerpo académico “Diagnostico Ambiental y Cambio Climático” conformado por el Dr. Stefan L. Arriaga Weiss, Dra. Ena Edith Mata Zayas, Dra. Lilia Maria Gama Campillo y M.C. Elías Jose Gordillo Chavez.

De igual manera, al “Laboratorio de Ecología de Paisaje y Cambio Climático” por facilitarme la herramienta para la elaboración de mi trabajo.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y la Secretaría de investigación, posgrado y vinculación por el apoyo financiero.

A CONACYT por su apoyo durante estos dos años de estudio.

A mis asesores:

Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa y Dr. Juan de Dios Valdez Leal, quienes me apoyaron durante todo el proceso y me ayudaron a resolver todas mis dudas. A ustedes les agradezco de corazón el apoyo incondicional que me han brindado siempre.

A mi comité revisor:

Dr. Luis José Rangel Ruiz, M. en C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez, Dra. Coral Jazvel pacheco Figueroa, Dr. Juan de Dios Valdez Leal y Dr. Miguel Ángel Gómez Albores, por los comentarios, revisiones y enseñanzas durante todo el proceso de la elaboración de este documento.

A mi familia:

A mis padres David Luna Landa y Ruth Ruiz Yépez por apoyarme siempre en todo, ustedes son un pilar en mi vida. Gracias por apoyarme en cada uno de mis proyectos de vida, hasta los que no tienen sentido, este logro igual es de ustedes. A mi hermano Guillermo Luna Ruiz, gracias por apoyarme, especialmente en esta etapa. A mi tía Raquel, mi abuela Angela y mis primos Lidia y Walfre gracias por su apoyo.

Dr. Miguel durante el tiempo que estuve de estancia me recibió con los brazos abiertos, gracias por compartir un poco de sus grandes conocimientos conmigo y enseñarme que absolutamente todo tiene solución.

Durante la realización de esta tesis tuve la ayuda de muchos amigos y colaboradores. Por lo que quisiera agradecerle al Dr. Humberto y al M.C. Victorio por las asesorías que me brindaron durante el proceso metodológico de esta tesis. También quisiera agradecer a Selma, Roció, Francisco, Coral, Gerardo, Ana y Don Toño por no dejarme sola y tener que levantarse temprano para ir a campo. A la Maestra Fabiola Burelo por ayudarme a pesar en grande y aprender a ver desde diferentes ángulos.

A mis compañeros del “Laboratorio de Ecología de Paisaje y Cambio Climático”, Hilda, Ricardo, Bertha, Victorio, Roció, Jazmin, Selma, Santos, Alejandro y Heidi por alentarme siempre.

Dedicatoria

A mi familia

A mis amigos

A mi país

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS DEL ESTUDIO	4
Objetivo general	4
Objetivo específicos	4
CAPITULO I. Antecedentes	5
Fragmentación	5
Conectividad.....	6
Tipos de conectividad	7
Cambio y uso del suelo: La transformación del suelo: Una historia contada por imágenes, computadoras y estadísticos	9
Referencias.....	14
CAPITULO II. Caracterización del paisaje natural y antrópico del estado de Tabasco. *	20
Resumen	20
Introducción	22
Descripción del área de estudio	23
Metodología	24
Adquisición de imágenes satelitales y Pre procesamiento	24
Elaboración de mapas temáticos	26
Clasificación por segmentación.....	29
Validación de las capas de uso de suelo.....	32
Análisis de características.....	35
Resultados.....	35
Adquisición de imágenes y pre procesamiento	35
Elaboración de mapas temáticos	36
Validación de los mapas, porcentaje de exactitud e índice de Kappa	43
Análisis de composición	47
Discusión	53
Conclusión.....	55
Referencias.....	57

Anexo 1. Orientación autores Cuadernos de geografía: Revista Colombiana de Geografía.....	61
CAPÍTULO III. Descripción de la cobertura y cambio de uso de suelo del estado de Tabasco .	64
Introducción	64
Metodología	65
Área de estudio e insumos cartográficos.....	65
Análisis de cambio de uso de suelo.....	65
Matriz de cambio.....	65
Determinación de transiciones	66
Índice de concordancia de Kappa (KIA).....	66
Tasa de cambio.....	67
Transformación del paisaje	67
Conectividad de paisaje.....	68
Resultados.....	71
Análisis de Cambio.....	71
Concordancia y porcentaje de cambio.....	74
Determinación de transiciones	76
Procesos de transformación del paisaje	76
Métricas de composición	77
Métricas de conectividad y aislamiento.....	81
Discusión	83
Conclusión.....	88
Recomendaciones	90
Referencias.....	92
CAPÍTULO IV. La transformación de la conectividad, por la pérdida de coberturas naturales y agrosistemas.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 1. Mapa del estado de Tabasco.....	24
Figura 2. Visualización del proceso de SEGTRAIN en el programa TerrSet®..	31
Figura 3. Coberturas de carácter natural visualizados en las diferentes composiciones que se utilizaron para el proceso de colocación de firmas espectrales para las imágenes del año 2003 y 2016.....	38
Figura 4. Coberturas de carácter antrópico visualizados en las diferentes composiciones que se utilizaron para el proceso de colocación de firmas espectrales para las imágenes del año 2003 y 2016.....	39
Figura 5. Gráfico de signatura espectral para las categorías de uso de suelo y vegetación del año 2003.....	42
Figura 6. Gráfico de signatura espectral para las categorías de uso de suelo y vegetación del año 2016.....	42
Figura 7. Mapa de uso de suelo y vegetación del estado de Tabasco año 2003.....	49
Figura 8. Mapa de uso de suelo y vegetación del estado de Tabasco año 2016.....	50

CAPITULO III

Figura 1. Procesos espaciales de transformación. Fuente Bogaert, Ceulemans, y Salvador-Van Eysenrode (2004).....	68
Figura 2. Mapa de persistencia.....	73
Figura 3. Principales transiciones entre coberturas naturales y antrópicas.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1. Conceptos de conectividad funcional y estructural.....	8
--	---

CAPITULO II

Tabla 1. Descripción de las coberturas de carácter natural presentes en el estado de Tabasco.....	27
--	----

Tabla 2. Descripción de las coberturas de carácter antrópico presentes en el estado de Tabasco.....	28
--	----

Tabla 3. Datos del archivo MAKESIG de los pixeles por categoría seleccionados en el proceso de SEGTRAIN.....	40
---	----

Tabla 4. Matriz de error para las categorías obtenida de la clasificación supervisada de imágenes landsat 7 ETM+ del año 2003.....	45
---	----

Tabla 5. Matriz de error para las categorías obtenida de la clasificación supervisada de imágenes landsat 8 OLI/ TIRS del año 2016.	46
---	----

Tabla 6. Datos de composición (Hectáreas, porcentaje de ocupación y número de parches) de los mapas temáticos del año 2003 y 2016 del estado de Tabasco.....	51
---	----

CAPITULO III

Tabla 1. Coberturas naturales y antrópicas en el Estado de Tabasco, México.....	65
--	----

Tabla 2. Matriz de pérdida.....	66
--	----

Tabla 3. Índices del paisaje de composición, conectividad y proximidad.....	69
--	----

Tabla 4. Pérdidas y ganancias de las coberturas naturales y antrópicas del estado de Tabasco en el periodo 2003-2016.....	72
--	----

Tabla 5. Persistencia por coberturas naturales y antrópicas	73
--	----

Tabla 6. Índice de concordancia de Kappa (KIA).....	74
--	----

Tabla 7. Porcentaje de tasa anual de cambios para los mapas de coberturas naturales y antrópicas del estado de Tabasco.....	75
--	----

Tabla 8. Procesos de transformación para las coberturas naturales y antrópicas del estado de Tabasco.....	77
--	----

Tabla 9. Métricas de composición por clase de las coberturas de uso de suelo y vegetación del año 2003 y 2016..... 80

Tabla 10. Métricas de conectividad y aislamiento por clase de las coberturas de uso de suelo y vegetación del año 2003 y 2016..... 82

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

INTRODUCCIÓN

Los principales causantes de la actual crisis de biodiversidad y recursos bióticos a nivel mundial son la fragmentación y reducción del hábitat (Santos y Tellería 2006; Landeros y Badii 2007). Actualmente se ha reconocido que los orígenes de estos procesos son de tipo antropogénicos, los cuales provocan la destrucción y degradación de los sistemas naturales en el paisaje (Orta-Pozo et al. 2010; Haddad et al. 2015). Estos causan desequilibrios en las funciones ecológicas y redes tróficas de las comunidades (Mueller 2015) al disminuir su abundancia, distribución, viabilidad (Pulsford et al. 2015) y eficacia biológica.

Es importante destacar que las especies responden diferente ante la fragmentación, (García 2011) siendo vulnerables aquellas que son condicionadas por el tamaño de los parches y su conectividad (Laiolo y Arroyo-Solís 2011). En este sentido las alteraciones de su hábitat pueden provocar numerosas consecuencias ecológicas que afectan a una gran diversidad de especies de plantas y animales que dependen de ellos (Pulsford et al. 2015).

Por otra parte, la destrucción del hábitat producto del uso de la tierra y el cambio de uso del suelo, está considerado como el factor determinante en la pérdida de biodiversidad (Jantz et al. 2015). La destrucción se impulsa en gran parte por la intensificación de la agricultura y las plantaciones (Bateman et al. 2015) y su impacto durante el siglo pasado en la mayoría de los ecosistemas ha sido superior a otros efectos que perturban a la biodiversidad terrestre como el cambio climático, la sobreexplotación de los recursos, especies invasoras y la contaminación (Souza, Teixeira, y Ostermann 2015). Únicamente debido a actividades agrícolas se prevé que para el 2050 se perderán 10 millones de km² de hábitat natural y disminuirá más del 50% de los sitios calientes de biodiversidad durante el próximo siglo (Clark et al. 2013).

Frente a esta problemática se ha planteado el mantenimiento de la conectividad como una estrategia clave para minimizar los efectos negativos de la

fragmentación y pérdida de hábitat (Brodie et al. 2015). Las conexiones se estiman comúnmente con la identificación de los elementos estructurales (Vogt et al. 2009) denominado conectividad estructural, pero también se evalúa calculando la probabilidad de movimiento de los organismos entre todos los puntos o parches ubicados en el paisaje (Taylor et al. 1993) conocido bajo el nombre de conectividad funcional.

Tabasco se considera como un estado con una gran pérdida de su biodiversidad, sin embargo, aún conserva relictos de vegetación natural, que mantienen poblaciones de fauna silvestre a pesar de las altas presiones de transformación y aislamiento. La pérdida de hábitat por transformación en coberturas antrópicas son una amenaza latente que deja sin hábitat viable a la fauna. Es por ello que el presente estudio se enfoca a determinar cómo se ha dado el cambio de uso de suelo en el estado de Tabasco en el periodo de 2003 a 2016 y cuál ha sido el efecto en la conectividad del mismo.

JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial la transformación del hábitat que involucra su pérdida, degradación y fragmentación es una amenaza contemporánea para las especies terrestres de todo el mundo. Esta transformación se originan principalmente por la expansión agrícola, la urbanización y el pastoreo (Bellard et al. 2014; Bommarco et al. 2014) Estas actividades antropogénicas afectan de manera negativa a la biodiversidad y la integridad ecológica, alterando la estructura y función de la red de alimentos, modificando los ciclos bioquímicos acuáticos y terrestres, alterando las propiedades de los ecosistemas e introduciendo especies no nativas, incluido patógenos (Gottdenker et al. 2014) .

Esta amenaza se considera como una de las más significativas y posiblemente más inmediata a la persistencia de las especies (Riordan y Rundel 2014). Además, tanto la pérdida de la vegetación como la fragmentación reducen la cantidad y la conectividad de hábitats adecuados. Ya que afectan la viabilidad de las poblaciones, disminuyen la diversidad genética y causan la depresión

endogámica, en consecuencia, los individuos son más susceptibles ante enfermedades nuevas y existentes y a eventos ambientales estocásticos (Brearley et al. 2013).

La cuantificación a nivel paisaje de la fragmentación y los cambios en la cubierta de la tierra se pueden realizar por métodos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para los cambios en el hábitat (Lui et al. 2014). La comprensión espacial de la pérdida de hábitat para la fauna silvestre es considerada importante para apoyar en la planificación de la conservación en una escala regional, incluyendo la priorización de regiones y las acciones de conservación (Martinuzzi et al. 2015).

Actualmente para el estado de Tabasco no se tiene documentada la conectividad de las especies. Estas especies se encuentran amenazadas por la presión constante de su hábitat, a causa de procesos antropogénicos que fragmentan e impiden el flujo de las especies en el paisaje. Por tanto, ubicar la conectividad es vital para evaluar el estado actual de las especies y proponer medidas de mitigación, que ayuden a salvaguardar la fauna silvestre que se encuentra en el estado.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo general

Analizar la transformación del paisaje con cartografía multitemporal, para identificar su efecto en la conectividad espacial en Tabasco, México.

Objetivo específicos

- 1) Analizar los cambios en los paisajes naturales y antrópicos en el estado de Tabasco.
- 2) Determinar el efecto de la transformación del paisaje sobre la conectividad espacial de Tabasco.

CAPITULO I. Antecedentes

Fragmentación

La fragmentación del hábitat es un proceso continuo y dinámico que actúa en diferentes escalas provocando alteraciones en la calidad y arreglo espacial de los complementos en el paisaje (Vazquez-Dominguez, Galindo-Gonzales, y Flores-Peredo 2011). Sus efectos producen en el hábitat cambios en la configuración dominante y continua, transformándola en una modificación dominada por la presencia de numerosos parches pequeños inmersos en un hábitat dominante nuevo (matriz), cuya característica es diferente a la original (García 2011; Valdés 2011).

Este proceso se origina como consecuencia de la transformación del paisaje por actividades de tipo antropogénico, produciendo destrucción y degradación (Orta et al. 2010). Entre estas actividades se encuentran la intensificación de la agricultura y del aprovechamiento forestal, la urbanización y sub urbanización del suelo, las infraestructuras y alteraciones de los cursos fluviales, la degradación de zona húmedas, las actividades extractivas, los vallados cinegéticos, los incendios forestales y las infraestructuras de transporte (Gurrutxaga y Lozano 2010).

Los estudios de los procesos de fragmentación se comenzaron a realizar en el siglo XX a partir de los años 60's bajo los fundamentos teóricos de teoría de islas y la teoría de metapoblaciones (Araúz 2007). En los años 80 la fragmentación se consideró como uno de los "jinetes del apocalipsis" causante de la crisis de biodiversidad y recursos bióticos a nivel global (Navarro-Rodriguez et al. 2010). Para la década de los noventa aproximadamente el 66% de los bosques a nivel mundial presentaban algún porcentaje de fragmentación, siendo el subcontinente Norteamericano el más afectado (SERMARNAT 2007). Es por ello que la fragmentación en conjunto con los cambios en el uso de suelo y la deforestación para el siglo XX ya habían impactado la conectividad en el planeta (Sala et al. 2000; Auffret, Plue, y Cousins 2015).

Este proceso se ubica entre una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a escala planetaria (Herrera 2011). Se cree que afecta negativamente a todos los grupos taxonómicos incluyendo aves, mamíferos, reptiles, anfibios e invertebrados (Fischer y Lindenmayer 2007). A nivel empírico se ha documentado sus efectos adversos sobre la vida silvestre, que involucran desde el decremento de número de individuos en las poblaciones, hasta la pérdida de especies en escalas locales y regionales (extirpación) o globales (extinción) (Hernández-Ramírez 2014). Sin embargo, sus efectos no siempre son negativos para las especies debido a que no responden de manera similar ante este impacto (García 2011).

Conectividad

La conectividad es definida como aquellas condiciones ecológicas que permiten el intercambio de flujo biótico y abiótico (Santini, Saura, y Rondinini 2016). En el flujo abiótico se considera el intercambio de sedimentos, nutrientes, agua y materiales, y para el biótico el intercambio genético entre poblaciones y los movimientos de los organismos (diarios o estacionales) dentro de su rango de hogar (Ament et al. 2014; Berger y Cain 2014). La conectividad es importante para el entendimiento y manejo de los sistemas ecológicos y las relaciones entre individuos, poblaciones y comunidades en sus hábitat o paisajes y regiones en donde se ubican (Auffret, Plue, y Cousins 2015).

Su estimación surge como una necesidad para afrontar los problemas provocados por los efectos de la fragmentación (Burel y Baudry 2002), causados principalmente por disturbios de tipo antropogénicos, los cuales incrementan la mortalidad y disminuyen la diversidad genética en las poblaciones (Cushman, Lewis, y Landguth 2013). Ubicar si existe una alta o baja conectividad dependen de la identificación de los elementos estructurales (Vogt et al. 2009) como son la estructura de la matriz (Kindlmann y Burel 2008) y de la composición, tamaño y abundancia que presenten sus parches (Haber y Nelson 2015). Pero también se evalúa calculando la probabilidad de movimiento de los organismos entre todos los puntos o parches ubicados en el paisaje (Taylor et al. 1993).

La evaluación de la conectividad permite predecir los impactos de los cambios en el paisaje (Kindlmann y Burel, 2008; Ament et al. 2014). Por lo que el mantenimiento y mejoramiento de la conectividad es considerado como uno de los retos de mayor importancia (Rubio et al. 2015), adicionalmente es de vital importancia para el mantenimiento de la variabilidad genética entre poblaciones a largo plazo, como en la conservación del flujo genético en el paisaje, (Cushman, Lewis, y Landguth 2013) facilitando el movimiento de múltiples especies y manteniendo los procesos ecológicos

Tipos de conectividad

La conectividad se subdivide en dos grupos: funcional y estructural (Meiklejohn, Ament, y Tabor 2009) (Tabla 1). La conectividad estructural describe los aspectos físicos del paisaje y se enfoca en la relación existente de los parches o fragmentos y su continuidad y adyacencia en el paisaje (Ament et al. 2014). No se considera como un indicador exacto de la interpretación del uso de las comunidades y poblaciones en su entorno debido a que en algunos casos se fundamenta de la percepción humana del paisaje (Fischer y Lindenmayer 2007; Auffret et al. 2015) además no toma en consideración aquellos atributos de los organismos de interés (Tischendorf y Fahrig 2000).

En cuanto a la conectividad de tipo funcional, se describe como la continuidad en el paisaje de los flujos ecológicos y el grado de permeabilidad que dificulta o agiliza el movimiento de los individuos (Taylor et al. 1993; San Vicente y Lozano Valencia 2010; Ament et al. 2014). Por tanto, se considera como producto dependiente de la estructura del paisaje y la respuesta de los organismos

En términos generales la conectividad funcional considera el movimiento que se realiza en el espacio (Auffret, Plue, y Cousins 2015), o áreas de planificación y su cruce hacia áreas adyacentes (Haber y Nelson 2015). Ubicarla este tipo de conectividad resulta importante para fines de conservación (Betts et al. 2015) sin embargo su interpretación y determinación resulta difícil de cuantificar, debido a que

utiliza enfoques de tipo experimentales y de observación de los movimientos de los organismos (Moriarty et al. 2015).

Tabla 1. Conceptos de conectividad funcional y estructural

Tipo de Conectividad	Descripción	Fuente
Estructural	El componente estructural de la conectividad lo determina la distribución espacial de tipos diferentes de hábitats en el paisaje.	(Forman y Godron 1986)
	El contagio del hábitat espacial.	(Mönkkönen y Reunanen 1999)
	Describe la forma, el tamaño y la ubicación de las características en el paisaje.	(Brooks 2003)
	La conectividad estructural o espacial se refiere a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura.	(Taylor, Fahrig, y With 2006)
	Un producto de la cantidad de hábitat, la configuración espacial y el estado, a través de múltiples escalas.	(Andersson y Bodin 2009)
	Describe las relaciones físicas entre los parches de hábitat sin tener en cuenta la respuesta de comportamiento de los organismos para la estructura del paisaje.	(Kadoya 2009)
Funcional	Descrita como conectividad ecológica se define como la capacidad de éste para dar soporte a los desplazamientos de las especies silvestres entre las teselas con recursos.	(Taylor et al. 1993)
	una característica particular de una especie determinada por la interacción entre el movimiento potencial de cada especie	(Mönkkönen y Reunanen 1999)
	Describe los efectos combinados de la estructura del paisaje y el uso de la especie, capacidad para moverse y el riesgo de mortalidad en los diferentes elementos del paisaje, de la velocidad de movimiento entre parches de hábitat en el paisaje.	(Tischendorf y Fahrig 2000)
	Describe la respuesta de los individuos a las características del paisaje y los patrones de flujo de genes que dan lugar a las respuestas individuales.	(Brooks 2003)
	Descrita como conectividad conductual se refiere a la respuesta conductual de individuos y especies a la estructura física del paisaje.	(Bennett 2004)
	La extensión en la que una especie o población puede moverse entre los elementos de un mosaico del paisaje del tipo de hábitat.	(Hilty, Lidicker, y Merenlender 2006)
	Descrita como conectividad ecológica apoya el movimiento de ambos procesos bióticos (movimiento de animales, propagación de plantas, el intercambio genético) y procesos abióticos (agua, energía, materiales) y puede ser especies o proceso específico.	(Taylor et al. 2006)

Tipo de Conectividad	Descripción	Fuente
	Describe la facilidad con la que individuos se pueden mover sobre el paisaje como una función de la respuesta conductual del organismo a los elementos del paisaje y de la configuración espacial del paisaje completo.	(Kindlmann y Burel 2008)

Fuente: Meiklejohn et al. (2009) (modificado por Luna-Ruiz 2017)

Cambio y uso del suelo: La transformación del suelo: Una historia contada por imágenes, computadoras y estadísticos

El uso desmesurado de los recursos naturales está provocando alteraciones en el paisaje que colocan en riesgo a la biodiversidad del planeta. Estas modificaciones iniciaron hace miles de años debido a las necesidades básicas del hombre y se ejecutaban por medio de prácticas simples. Con el paso del tiempo estas alteraciones han continuado, sin embargo como resultado de los avances tecnológicos, se han empleado técnicas más avanzadas provocando que los cambios en el paisaje se presenten en periodos de tiempo cada vez más cortos y en escalas mucho más extensas (Smith et al. 2016), afectando a los sistemas de una manera alarmante.

En las últimas décadas se ha identificado que una de las actividades con mayor impacto negativo hacia la biodiversidad es el remplazo de las coberturas naturales hacia zonas urbanas y agrícolas (Tepox et al. 2016). Estas modificaciones inducen la transformación de la superficie terrestre y las alteraciones de las estructuras, además influyen en los procesos biogeofísicos (Armstrong et al. 2016).

Para poder estimar los efectos de las modificaciones en el paisaje, resulta indispensable el conocimiento del uso de suelo y la variación de la cubierta forestal (Yang et al. 2016). Estos conceptos comenzaron a ser de interés para la comunidad científica en los años noventa (Xiubin 1996) y fueron promovidos por el programa internacional de Geosfera y Biosfera (IGBP) y el programa internacional de Dimensiones Humanas sobre cambio Ambiental Global (IHDP) en el año 1994 (Chen 2016).

El término de uso de suelo se interpreta como aquella expresión cultural de las prácticas de apropiación del territorio (Velázquez et al. 2002). En el año 2016 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) describe este concepto como “las acciones de las personas y sus intenciones” (Smith et al. 2016). Por otro lado, el concepto de cambio de uso de suelo corresponde a aquella dinámica de las prácticas de apropiación del territorio (Velázquez et al. 2002), pero una de las definiciones más utilizada resume lo anterior definiéndolo como aquellos cambios realizados por las actividades antropogénicas (Khan y Jhariya 2016).

Realizar análisis de cambios de uso de suelo resulta necesario para determinar los cambios en cantidad y magnitud presentes en un intervalo de tiempo (Aldwaik y Pontius 2012; Farfán, Rodríguez-Tapia, y Jean-François 2015). Lo que permite efectuar acciones de gestión de los recursos naturales y los problemas ambientales (Masria et al. 2015; Khan y Jhariya 2016) para el mantenimiento del bienestar humano y la salud ambiental (FAO 2012).

Estos análisis son llevados a cabo en diferentes escalas, dependiendo del objetivo de investigación, o se enfocan en áreas de interés. Un ejemplo de ello es el análisis realizado en México por Farfán, Rodríguez-Tapia, y Jean-François (2015) cuyo estudio se enfocó en el análisis de cambio de uso de suelo en el área natural protegida (ANP) Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Estos autores encontraron que los cambios para esta reserva se ubicaron en las zonas de selva, cobertura que presento una alta tasa de deforestación debido al incremento de las zonas de uso agropecuario. Con este estudio se pudo resaltar que el ordenamiento territorial de zonificación actual de esta ANP no es suficiente para la conservación (*In Situ*).

Los estudios de cambio de uso de suelo no solo se enfocan en ubicar las transiciones entre coberturas, también se analizan los efectos secundarios que se producen en el paisaje a causa de las modificaciones. Por ejemplo, desde una perspectiva de urbanización se ha estudiado como las zonas urbanas han modificado el paisaje en consecuencia del incremento en las infraestructuras viales y de

abastecimiento de agua en las últimas dos décadas (Salazar, Vera, y De la Cruz 2016). Otro efecto que se ha analizado es la estimación de emisiones de CO₂, cuya reducción puede afectar a las reservas de carbono y la biomasa en los ecosistemas (Frank et al. 2016).

Otro efecto que se ha estudiado recientemente es el deslizamiento del suelo. Datos del estudio de Persichillo et al. (2017) muestran que los deslizamientos se encuentran influenciados debido a los cambios de uso de suelo, principalmente prácticas agrícolas y a las condiciones geológicas en el paisaje. Por otro lado, los estudios también se han orientado con fines de planeación territorial, sin embargo estos son escasos (Salinas et al. 2016).

Los métodos utilizados en los recientes estudios de uso de suelo varían dependiendo de los objetivos de estudio y la disponibilidad de recursos informáticos. Para los análisis de emisiones de CO₂, se han utilizado programas que incluyen modelos interactivos de vegetación. Autores como Frank et al. (2016) y Armstrong et al. (2016) han modelado las interacciones y calculado las emisiones de CO₂ utilizando modelos como GLOBIOM Model y Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3).

Para los análisis que se enfocan en visualizar las transiciones entre coberturas, se han manejado como insumo mapas de uso de suelo y vegetación. En un principio la práctica más común para la elaboración de estos mapas era usar fotografías aéreas (ortofotos), pero en la actualidad se presenta con más frecuencia el uso de imágenes satelitales debido a las ventajas que presentan en cuanto a calidad y costos (Salinas et al. 2016). En el año 2008 Xie et al. (2008) mencionan que los sensores más utilizados para la elaboración de los mapas son: SPOT, MODIS, NOAA-AVHRR, IKONOS, QuickBird y Landsat (TM y ETM), este último sensor ha sido uno de los más empleados por la comunidad científica. Sin embargo las fotografías aéreas u ortofotos multitemporales siguen siendo utilizadas en la actualidad en casos especiales, por ejemplo Dávila et al. (2016) recurrieron al uso de imágenes aéreas, con el fin de realizar el estudio histórico y cartográfico del paisaje en el municipio de Líbano (Colombia) entre los años 1955-1965-1988 y 2010.

Por otra parte, algunos autores han optado por el uso de cartografía ya existente, usualmente elaborada por estancias gubernamentales. En Europa, autores como Persichillo et al. (2017) y Reif y Hanzelka (2016) han utilizado la cartografía del programa "Corine Land Cover" (CLC) de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), la cual pone a disposición mapas desde el año 1990. En México las capas cartográficas de estancias gubernamentales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) son utilizadas como insumo principal, o como apoyo cartográfico en la elaboración de mapas. Farfán et al. (2015) utilizó para su análisis las capas de cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI con escala de 1:50 000, y la actualizó haciendo uso de imagen Landsat ETM+ del año 2000.

Otros autores han utilizado estas capas como insumo en la elaboración de sus mapas temáticos o como fuente de validación. Tal es el caso de los trabajos de Ramos-Reyes et al. (2016) y Hernández et al. (2016), quienes utilizaron datos de instituciones públicas de México como son el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección al Ambiental (SERNAPAM).

En México los estudios de uso de suelo no siguen una metodología establecida y los insumos varían debido a la disponibilidad de recursos. Recientemente en las publicaciones existe una tendencia en la determinación de cambio de uso de suelo por medio de sistemas de información geográfica (SIG) y el manejo de sistemas de clasificación (de tipo supervisado y no supervisado). Sin embargo, aunque los métodos y software concuerden en varias investigaciones, no pueden ser fácilmente comparables debido a que las categorías de uso de suelo, así como criterios técnicos y metodológicos no coinciden. Salinas et al. (2016) en su investigación exponen un poco esta problemática y realizan una recomendación de criterios técnicos para la elaboración de productos cartográficos de uso de suelo y vegetación (para estudios de planeación territorial).

Los insumos principales más comúnmente utilizados en las investigaciones son imágenes satelitales (principalmente Landsat y Spot) o bien cartografía generada por el INEGI. En México obtener imágenes que sean viables para hacer análisis de uso

de suelo resulta difícil o casi imposible, la secretaria de Mariana (SEMAR) cuenta con imágenes de tipo GEOEYES1 que podrían ser útiles para análisis de uso de suelo con una alta calidad, sin embargo, la obtención de estas imágenes es difícil puesto que solo las pueden solicitar gestores autorizados. Las imágenes satelitales de tipo Landsat en años recientes están siendo la opción más común debido a que se pueden obtener bandas actuales e históricas, reduciendo los costos en las investigaciones por ser de acceso libre. Estas imágenes son administradas por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) y al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Aunque queda claro que en México se están realizando análisis de cambio de uso de suelo, debe haber una continuidad y planteamiento de nuevas investigaciones especialmente en la zona sureste del país en donde existe mayor pérdida de las coberturas naturales por las actividades humanas (Aide et al. 2013). Por lo que a pesar de que no es un tema novedoso en el ámbito académico (Loya-Carrillo et al. 2013), es importante para documentar los procesos de cambio en el paisaje y para la preservación y conservación de los sistemas naturales en el país.

Referencias

- Aide, T. Mitchell, Matthew L. Clark, H. Ricardo Grau, David López-Carr, Marc A. Levy, Daniel Redo, Martha Bonilla-Moheno, George Riner, María J. Andrade-Núñez, y María Muñoz. 2013. "Deforestation and reforestation of latin America and the Caribbean (2001-2010)". *Biotropica* 45 (2): 262–71. doi:10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x.
- Aldwaik, Safaa Zakaria, y Robert Gilmore Pontius. 2012. "Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition". *Landscape and Urban Planning* 106 (1). Elsevier B.V.: 103–14. doi:10.1016/j.landurbplan.2012.02.010.
- Ament, R., R. Callahan, M. McClure, M. Reuling, y G. Tabor. 2014. *Wildlife Connectivity: Fundamentals for Conservation Action*.
- Andersson, Erik, y Örjan Bodin. 2009. "Practical tool for landscape planning? An empirical investigation of network based models of habitat fragmentation". *Ecography* 32 (1). Blackwell Publishing Ltd: 123–32. doi:10.1111/j.1600-0587.2008.05435.x.
- Araúz, Morón Guiselle Eunice. 2007. "Aplicación de un modelo geoespacial para el análisis de la fragmentación de bosques en el suelo de conservación del Distrito federal (SCDF), México". Centro Público de investigación CONACYT.
- Armstrong, Edward, Paul Valdes, Jo House, y Joy Singarayer. 2016. "The role of CO2 and dynamic vegetation on the impact of temperate land-use change in the HadCM3 coupled climate model". *Earth Interactions* 20 (10). doi:10.1175/EI-D-15-0036.1.
- Auffret, Alistair G., Jan Plue, y Sara A.O. Cousins. 2015. "The spatial and temporal components of functional connectivity in fragmented landscapes". *Ambio* 44 (1): 51–59. doi:10.1007/s13280-014-0588-6.
- Bateman, Ian J, Emma Coombes, Emily Fitzherbert, Amy Binner, Tomas Bad'ura, Chris Carbone, Brendan Fisher, Robin Naidoo, y Andrew R. Watkinson. 2015. "Conserving tropical biodiversity via market forces and spatial targeting". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (24): 7408–13. doi:10.1073/pnas.1406484112.
- Bellard, Céline, Camille Leclerc, Boris Leroy, Michel Bakkenes, Samuel Veloz, Wilfried Thuiller, y Franck Courchamp. 2014. "Vulnerability of biodiversity hotspots to global change". *Global Ecology and Biogeography* 23 (12): 1376–86. doi:10.1111/geb.12228.
- Bennett, G. 2004. "Integrating biodiversity conservation and sustainable use: lessons learned from ecological networks". https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uTt4BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Integrating+biodiversity+conservation+and+sustainable+use;+lessons+learned+from+ecological+networks&ots=T7YFfgz5Y7&sig=XAhY_vxKbhCGI6DDJF7mlzEh4b0.
- Berger, Joel, y Steven L. Cain. 2014. "Moving beyond science to protect a mammalian migration corridor". *Conservation Biology* 28 (5): 1142–50. doi:10.1111/cobi.12327.
- Betts, Matthew G., Kevin J. Gutzwiller, Matthew J. Smith, W. Douglas Robinson, y Adam S. Hadley. 2015. "Improving inferences about functional connectivity from

- animal translocation experiments". *Landscape Ecology* 30 (4): 585–93. doi:10.1007/s10980-015-0156-x.
- Bommarco, Riccardo, Regina Lindborg, Lorenzo Marini, y Erik Öckinger. 2014. "Extinction debt for plants and flower-visiting insects in landscapes with contrasting land use history". *Diversity and Distributions* 20 (5): 591–99. doi:10.1111/ddi.12187.
- Brearley, Grant, Jonathan Rhodes, Adrian Bradley, Greg Baxter, Leonie Seabrook, Daniel Lunney, Yan Liu, y Clive Mcalpine. 2013. "Wildlife disease prevalence in human-modified landscapes". *Biological Reviews* 88 (2): 427–42. doi:10.1111/brv.12009.
- Brodie, Jedediah F., Anthony J. Giordano, Brett Dickson, Mark Hebblewhite, Henry Bernard, Jayasilan Mohd-Azlan, Jesse Anderson, y Laurentius Ambu. 2015. "Evaluating multispecies landscape connectivity in a threatened tropical mammal community". *Conservation Biology* 29 (1): 122–32. doi:10.1111/cobi.12337.
- Brooks, C P. 2003. "A scalar analysis of landscape connectivity". *Oikos* 102 (2): 433–39. <http://www.jstor.org/stable/3548048>.
- Burel, Françoise., y J. Baudry. 2002. "Ecología del paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones." Mundi-Prensa Ediciones. doi:Sig.P-952.
- Chen, Han Shen. 2016. "The Establishment and Application of an Evaluation Model for Land - Use Change and Eco - Security". Preprint 1 (August): 1–10. doi:10.20944/preprints201608.0153.v1.
- Clark, Natalie E., Elizabeth H. Boakes, Philip J K McGowan, Georgina M. Mace, y Richard A. Fuller. 2013. "Protected Areas in South Asia Have Not Prevented Habitat Loss: A Study Using Historical Models of Land-Use Change". *PLoS ONE* 8 (5): 1–7. doi:10.1371/journal.pone.0065298.
- Cushman, Samuel A, Jesse S Lewis, y Erin L Landguth. 2013. "Evaluating the intersection of a regional wildlife connectivity network with highways". *Movement ecology*, 1–12.
- Dávila, Rodríguez A., Zambrano E. A. Corona, Álvarez A. Pinedo, Rentería G. Jiménez, C. Pinedo, Álvarez, R. I. Rojas, Caldelas, y A Ranfla, González. 2016. "Marginación y cambio de cobertura y uso del suelo de la zona metropolitana de Chihuahua Investigación". *Investigacion y ciencia* 24 (67): 38–45. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67413203005>.
- Farfán, Gutiérrez Michelle, Gerardo Rodríguez-Tapia, y Mas Jean-François. 2015. "Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México". *Investigaciones Geograficas*, núm. 90. Elsevier: 89–104. doi:10.14350/rig.48600.
- Fischer, Joern, y David Lindenmayer. 2007. "Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis". *Global Ecology and Biogeography* 116: 265–80. doi:10.1111/j.1466-8238.2006.00287.x.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO), y European Commission Joint Research Centre (JRC). 2012. Global forest land-use change 1990–2005. FAO Forestry Paper No. 169. <http://www.fao.org/docrep/017/i3110e/i3110e.pdf>.
- Forman, RTT, y M Godron. 1986. "Landscape ecology. 619pp". Jhon Wiley & Sons, New York.

- Frank, Stefan, Hannes Böttcher, Mykola Gusti, Petr Havlík, Ger Klaassen, Georg Kindermann, y Michael Obersteiner. 2016. "Dynamics of the land use, land use change, and forestry sink in the European Union: the impacts of energy and climate targets for 2030". *Climatic Change* 138 (1–2). *Climatic Change*: 253–66. doi:10.1007/s10584-016-1729-7.
- García, D. 2011. "Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema". *Ecosistemas* 20 (2): 1–10.
- Gottdenker, Nicole L., Daniel G. Streicker, Christina L. Faust, y C. R. Carroll. 2014. "Anthropogenic Land Use Change and Infectious Diseases: A Review of the Evidence". *EcoHealth* 11 (4): 619–32. doi:10.1007/s10393-014-0941-z.
- Gurrutxaga, Mikel San Vicente, y Valencia Pedro J. Lozano. 2010. "Causas de los procesos territoriales de fragmentación de hábitats". *Lurralde: Investigación y Espacio* 33: 147–58.
- Haber, Jonathan, y Peter Nelson. 2015. "Planning for Connectivity". <https://www.defenders.org/sites/default/files/publications/planning-for-connectivity.pdf>.
- Haddad, N. M., L. a. Brudvig, J. Clobert, K. F. Davies, A. Gonzalez, R. D. Holt, T. E. Lovejoy, et al. 2015. "Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems". *Science Advances* 1 (2): 1–9. doi:10.1126/sciadv.1500052.
- Hernández-Ramírez, A.M. 2014. "En el umbral de la extinción." *Biodiversitas* 113: 1–7.
- Hernandez, Melchor Gloria Isela, Rosado Octavio Ruiz, Sanchez Angel Sol, y Hernandez Juan Ignacio Valdez. 2016. "Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco * Changes in land use in coastal mangroves of Tabasco Resumen Introducción", 2757–67.
- Herrera, J M. 2011. "El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación". *Ecosistemas* 20 (2): 21–34.
- Hilty, JA, Jr WZ Lidicker, y AM Merenlender. 2006. "Corridor Ecology. (Island Press: Washington, DC)". https://scholar.google.com.mx/scholar?q=Hilty%2C+J.%2C+W.Z.+Lidicker+Jr.+and+A.M.+Merenlender.+2006.+Corridor+Ecology.+Island+Press%2C+Washington+D.C.+Center&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5.
- Jantz, Samuel M., Brian Barker, Thomas M. Brooks, Louise P. Chini, Qiongyu Huang, Rachel M. Moore, Jacob Noel, y George C. Hurtt. 2015. "Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate-change mitigation". *Conservation Biology* 29 (4): 1122–31. doi:10.1111/cobi.12549.
- Kadoya, Taku. 2009. "Assessing functional connectivity using empirical data". *Population Ecology*. Springer Japan. doi:10.1007/s10144-008-0120-6.
- Khan, Rubia, y D C Jhariya. 2016. "Land use land cover change detection using remote sensing and geographic information system in raipur municipal corporation Area , Chhattisgarh". *Scientific Society of Advanced Research and Social Change SSARSC International Journal of Geo Science and Geo Informatics* 3 (1): 1–4.
- Kindlmann, Pavel, y Francoise Burel. 2008. "Connectivity measures: A review". *Landscape Ecology* 23 (8): 879–90. doi:10.1007/s10980-008-9245-4.

- Laiolo, P., y A. Arroyo-Solís. 2011. "La fragmentación del hábitat como determinante de la diferenciación de los sistemas de comunicación animal". *Revista Ecosistemas* 20 (2–3): 46–53. doi:10.7818/re.2014.20-2-3.00.
- Landeros, J, y M Badii. 2007. "Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad". *Daena* 2 (1): 26–38. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Cuantificaci?n+de+la+fragmentaci?n+del+paisaje+y+su+relaci?n+con+Sustentabilidad#0>.
- Loya-Carrillo, J.O., S.a. Aguilar-Estrada, L.C. Bravo-Peña, y E. Sánchez-Flores. 2013. "Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales , México y Arizona , Estados Unidos , durante el periodo 1995-2010 ." *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 9 (1): 124–40.
- Lui, Sgiliang, Yuhong Dong, Li Deng, Qi Liu, Haidi Zhao, y Shikui Dong. 2014. "Forest fragmentation and landscape connectivity change associated with road network extension and city expansion: A case study in the Lancang River Valley". *Ecological Indicators* 36: 160–68. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.018>.
- Martinuzzi, Sebastián, John C. Withey, Anna M. Pidgeon, Andrew J. Plantinga, Alexa J. McKerrow, Steven G. Williams, David P. Helmers, y Volker C. Radeloff. 2015. "Future land-use scenarios and the loss of wildlife habitats in the southeastern United States". *Ecological Applications* 25 (1): 160–71. doi:10.1890/13-2078.1.
- Masria, Ali, Kazuo Nadaoka, Abdelazim Negm, y Moheb Iskander. 2015. "Detection of Shoreline and land cover changes around rosetta promontory, egypt, based on remote sensing analysis". *Land* 4 (1): 216–30. doi:10.3390/land4010216.
- Meiklejohn, Katie, Rob Ament, y Gary Tabor. 2009. "Habitat corridors & landscape connectivity: clarifying the terminology". A project of the wild foundation.
- Mönkkönen, Mikko, y Pasi Reunanen. 1999. "On critical thresholds in landscape connectivity: a management perspective". *Oikos* 84 (2): 302–5. doi:10.2307/3546725.
- Moriarty, Katie M., Clinton W. Epps, Matthew G. Betts, Dalton J. Hance, J. D. Bailey, y William J. Zielinski. 2015. "Experimental evidence that simplified forest structure interacts with snow cover to influence functional connectivity for Pacific martens". *Landscape Ecology* 30 (10). Springer Netherlands: 1865–77. doi:10.1007/s10980-015-0216-2.
- Mueller, Matthew C. 2015. "Islands within islands: The effects of habitat fragmentation , novel community interactions , and climate on Hawaiian *Drosophila* populations ."
- Navarro-Rodriguez, Maria Del Carmen, J Téllez-López, L González, y B Cruz-Romero. 2010. "La fragmentación del sistema estuarino de Bahía de Banderas". *Ciencia y Mar* 42: 35–42.
- Orta-Pozo, Surima, Pedro Jesús López-Trabanco, Ángel Zaldivar-Solís, y Alexander Chile-Bocourt. 2010. "Efectos de la fragmentación antropogénica en la montaña «El Mogote» sobre las orquídeas". *Revista Forestal Baracoa* 29 (2): 43–50.
- Persichillo, Maria Giuseppina, Massimiliano Bordoni, y Claudia Meisina. 2017. "The role of land use changes in the distribution of shallow landslides". *Science of the Total Environment* 574. Elsevier B.V.: 924–37. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.125.

- Pulsford, Ian, David Lindenmayer, Carina Wyborn, Barbara Lausche, Maja Vasilijević, Graeme L Worboys, y Ted Lefroy. 2015. "Connectivity Conservation Management Supporting author": En .
- Ramos-Reyes, Rodimiro, Rufo Sánchez-Hernández, y Lilia María Gama-Campillo. 2016. "Análisis de cambio de uso de suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México". *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3 (8): 151.
<http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=120653458&lang=es&site=eds-live>.
- Reif, Jiří, y Jan Hanzelka. 2016. "Grassland winners and arable land losers: The effects of post-totalitarian land use changes on long-term population trends of farmland birds". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 232: 208–17. doi:10.1016/j.agee.2016.08.007.
- Riordan, Erin Coulter, y Philip W Rundel. 2014. "Land use compounds habitat losses under projected climate change in a threatened California ecosystem." *PloS one* 9 (1): e86487. doi:10.1371/journal.pone.0086487.
- Rubio, Lidón, Örfan Bodin, Lluís Brotons, y Santiago Saura. 2015. "Connectivity conservation priorities for individual patches evaluated in the present landscape: How durable and effective are they in the long term?" *Ecography* 38 (8): 782–91. doi:10.1111/ecog.00935.
- Sala, Osvaldo E., F. Stuart Chapin III, Juan J. Armesto, Eric Berlow, Janine Bloomfield, Rodolfo Dirzo, Elisabeth Huber-Sanwald, et al. 2000. "Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100". *Science* 287 (March): 1770–74. doi:10.1126/science.287.5459.1770.
- Salazar, Dany, Otto Vera, y Mariuxi De la Cruz. 2016. "Modelos explicativos del cambio en la cobertura del suelo en el crecimiento del uso urbano de la provincia de Santa Elena - Ecuador." *Revista Científica y Tecnológica III* (2): 82–90.
- Salinas, Laura Cano, Rodrigo Rodríguez Laguna, José René, Valdez Lazalde, Rosa Icela, Beltrán Hernández, César Abelardo, González Ramírez, Otilio Arturo, y Acevedo Sandoval. 2016. "Perspectiva del diseño cartográfico para estudios de uso del suelo y ordenamiento territorial: una revisión internacional, técnica y normativa". *Tierra Latinoamericana* 34 (4): 409–17.
- Santini, Luca, Santiago Saura, y Carlo Rondinini. 2016. "Connectivity of the global network of protected areas". *Diversity and Distributions* 22 (2): 199–211. doi:10.1111/ddi.12390.
- Santos, T, y L Tellería. 2006. "Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies". *Ecosistemas* 15 (2): 3–12. doi:10.7818/re.2014.15-2.00.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMARNAT). 2007. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo. Jugoterapia. http://www.jugoterapia.net/wp/?page_id=88.
- Smith, P., H. Bustamente, H. Ahammad, H. Clark, E.A. Dong, H. Elsiddig, R. Haberl, et al. 2016. *Agriculture, Forestry and Other Land Use. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Vol. 45.* doi:10.1146/annurev-environ-020411-130608.
- Souza, Danielle M., Ricardo F M Teixeira, y Ole P Ostermann. 2015. "Assessing

- biodiversity loss due to land use with Life Cycle Assessment: Are we there yet?" *Global Change Biology* 21 (1): 32–47. doi:10.1111/gcb.12709.
- Taylor, Philip D, Lenore Fahrig, Kringen Henein, y Gray Merriam. 1993. "Connectivity is a vital element of landscape structure". *Oikos* 68 (3): 571–73. doi:10.2307/3544927.
- Taylor, Philip D, Lenore Fahrig, y KA Kimberly a With. 2006. "Landscape connectivity: a return to the basics". *Connectivity Conservation*, núm. 14: 29–43. doi:10.2307/3545811.
- Tepox, Alejandro Tochiuitl, Luis Alberto, Villarreal Manzo, Benito Ramírez, Edmundo Antonio, Gutiérrez Domínguez, y Margarita Tlapa. 2016. "Análisis de los cambios y la persistencia en los usos del suelo de 1958 a 2010 en el municipio de Cuautlancingo, Puebla , México". *Ambiente y Desarrollo XX* (39): 35–54. doi:10.11144/Javeriana.ayd20-39.acpu.
- Tischendorf, Lutz, y Lenore Fahrig. 2000. "On the usage and measurement of landscape connectivity". *Oikos* 90 (1): 7–19. doi:10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x.
- Valdés, A. 2011. "Modelos de paisaje y análisis de fragmentación : de la biogeografía de islas a la aproximación de paisaje continuo". *Ecosistemas* 20 (2): 11–20.
- Vazquez-Dominguez, G, J Galindo-Gonzales, y R Flores-Peredo. 2011. "La fragmentación del paisaje y la pérdida del hábitat, sus efectos sobre comunidades de murciélagos". *La Biodiversidad en Veracruz, estudio del Estado, Volumen II*, núm. August 2017: 601–9. doi:10.13140/2.1.3777.3767.
- Velázquez, A, J R Díaz-Gallegos, R Mayorga-Saucedo, 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 ecologica*, núm. 62: 21–37.
- Vogt, Peter, Joseph R. Ferrari, Todd R. Lookingbill, Robert H. Gardner, Kurt H. Riitters, y Katarzyna Ostapowicz. 2009. "Mapping functional connectivity". *Ecological Indicators* 9 (1): 64–71. doi:10.1016/j.ecolind.2008.01.011.
- Xie, Yichun, Zongyao Sha, y Mei Yu. 2008. "Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review". *Journal of Plant Ecology* 1 (1): 9–23. doi:10.1093/jpe/rtm005.
- Xiubin, Li. 1996. "A review of the international researches on land use/land cover change". *Acta Geographica Sinica* 6.
- Yang, Xuhong, Xiaobin Jin, Xindong Du, Xiaomin Xiang, Juan Han, Wei Shan, Yeting Fan, y Yinkang Zhou. 2016. "Multi-agent model-based historical cropland spatial pattern reconstruction for 1661–1952, Shandong Province, China". *Global and Planetary Change* 143. Elsevier B.V.: 175–88. doi:10.1016/j.gloplacha.2016.06.010.

CAPITULO II. Caracterización del paisaje natural y antrópico del estado de Tabasco.*

Ruth del Carmen Luna Ruiz**

Coral Jazvel Pacheco Figueroa1**

Miguel Angel Gómez Albores***

Juan de Dios Valdez Leal**

Eduardo Moguel Ordoñez**

Luis José Rangel Ruíz**

* Esta investigación fue realizada como parte del proyecto UJAT-PTC-256 Fondo SEP-PRODEP. Diagnóstico del estado de la conservación de los humedales para la gestión integrada en la planeación de actividades productivas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco -UJAT.

**División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Dirección postal: Carretera Villahermosa-Cardenas Km. 0.5. Entronque bosques de Saloya. CP 86039. Villahermosa, Tabasco. México. Coral.pacheco@ujat.mx

ORCID:0000-0001-5281-9251

***Centro Interamericano de Recursos del Agua. Lab. HidroGeomática, CIRA, Fac. Ingeniería, UAEMex. Toluca, México.

Resumen

Con la finalidad de contrastar las coberturas previas y actuales del estado de Tabasco se elaboraron mapas temáticos de las coberturas naturales y antrópicas para los años 2003 y 2016 por medio de un proceso de clasificación supervisada. Para ello se utilizaron como insumo imágenes Landsat 7ETM+ y 8 OLI/ TIRS, la clasificación se valoró por medio de una matriz de error y el Coeficiente de Kappa. Como resultado se obtuvieron dos mapas con un total 25 coberturas, cuya exactitud global se ubicó por encima del 90% y con una concordancia aceptable. Las

características de estas imágenes hicieron posible trabajar a nivel de paisaje y documentar la dinámica de las coberturas.

Palabras claves: *Sistemas de información geográfica, Teledetección, Kappa, Cartografía, Tabasco, México.*

Resumo

Para contraste a cobertura anterior e atual do estado de Tabasco foram elaborados mapas temáticos das coberturas naturais e antrópicas para os anos de 2003 e 2016 através de um processo de classificação supervisionada. Para isso, as imagens Landsat 7 ETM + e 8 OLI / TIRS são utilizadas como entrada, a classificação foi avaliada por meio de uma matriz de erro e do coeficiente Kappa. Como resultado, foram obtidos dois mapas com um total de 25 coberturas, cuja precisão geral foi superior a 90% e com consenso considerável. As características dessas imagens possibilitaram trabalhar no nível da paisagem e documentar a dinâmica das coberturas.

Palavras-chave: *Sistemas de Informação Geográfica, Percepção Remota, Kappa, Cartografia, Tabasco, Mexico.*

Abstract

In order to contrast the previous and current coverages of the state of Tabasco, thematic maps of the natural and anthropic coverages were prepared for the years 2003 and 2016 through a supervised classification process. For this, Landsat 7ETM + and 8 OLI / TIRS images were used as input, classification was assessed by error matrix and Kappa Coefficient. As a result, two maps were obtained with a total of 25 coverage, with global accuracy being above 90% and with considerable agreement.

The characteristics of these images made it possible to work at the landscape level and document the dynamics of the coverages.

Key words: Geographic information systems, Remote sensing, Kappa, Cartography, Tabasco, Mexico.

Introducción

La transformación de la coberturas forestales y no forestales a nivel mundial tienen orígenes naturales como sequías, incendios, tormentas y enfermedades pero también las actividades humanas son un fuerte agente transformador de las coberturas (Keenan et al. 2015). La principal causa de la dinámica de cambio recae en el incremento de la población y la necesidad de recursos, en América latina y el caribe la presión en el cambio de suelo es provocada por actividades como la expansión agrícola, el aumento de las actividades extractivas de minería y combustibles fósiles y el desarrollo de nuevas infraestructuras (Aide et al. 2013).

En México estos cambios están afectando su biodiversidad, a tal grado que el 73% de sus bosques secos tropicales presentan alteraciones o degradación e inclusive conversión total de su estructura y función (Trejo y Dirzo 2000; Burgos y Maass 2004). Para el sur del país, por efecto de la deforestación, se está perturbando la alta diversidad y la biomasa de los bosques húmedos (Aide et al. 2013).

En los últimos 50 años las políticas de desarrollo nacionales han provocado la sustitución de la vegetación original por zonas de uso agropecuario (García-Morales et al. 2014) provocando la pérdida de la cobertura original en más de un 95% (Tudela

1990; García-Morales et al. 2014; Valdez- Leal 2016). Es por ello que se planteó el objetivo de elaborar la cartografía de los paisajes naturales y antrópicos existentes y pasados del Estado de Tabasco, por medio de SIG, para contrastar las características previas y actuales del mismo. Los insumos del trabajo servirán como referencia para futuras investigaciones y aportarán conocimiento al estado del arte del cambio de uso de suelo.

Descripción del área de estudio

El Estado de Tabasco (Figura 1) se encuentra situado en la porción de la república Mexicana, está constituido por 17 municipios, mientras que sus coordenadas geográficas son de 17°15' y 18°39' latitud norte y 90°59' y 94°08' longitud oeste. Colinda al oeste con el estado de Veracruz, al este con el estado de Campeche y la República de Guatemala y al norte con el Golfo de México y al sur con el estado de Chiapas (Galindo et al. 2006). Tiene una extensión territorial de 24.694,60 km², representando el 1,3% del territorio nacional (SERMARNAT 2015).

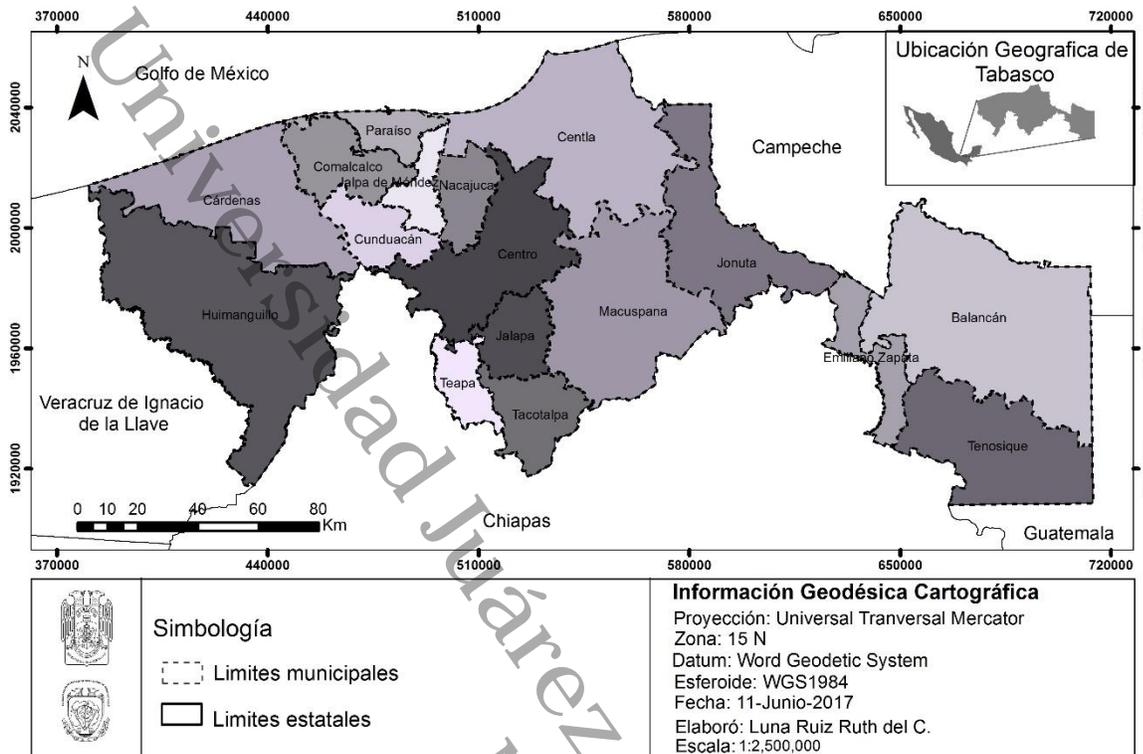


Figura 1. Mapa del estado de Tabasco
 Fuente: INEGI 2015.

Metodología

Adquisición de imágenes satelitales y Pre procesamiento

Los insumos cartográficos se adquirieron de la página del Servicio Geológico de Estados Unidos (por sus siglas en inglés USGS, disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Para la selección de las escenas, se estableció que el espacio temporal para evaluar los cambios debía ser igual o superior a los 10 años, considerando que las escenas más recientes del satélite Landsat corresponde a Landsat 8 OLI y TIRS y Landsat 7 ETM+. Estas imágenes acopian escenas de la tierra en un ciclo de 16 días, con una altitud de orbita de 705 km. La diferencia más marcada entre los dos tipos de Landsat se distingue en el número de bandas que presenta cada escena, es decir a su resolución espectral. Landsat 7 ETM+ presenta

un total de ocho bandas mientras que Landsat 8 OLI / TIRS cuenta con un total de 11 bandas. El beneficio de utilizar estas series de imágenes satelitales se debe principalmente a su facilidad de adquisición y la disponibilidad de una extensa serie temporal.

Solo se eligieron escenas de la temporada de secas (febrero a mayo) con la finalidad de evitar incoherencias en la calidad de la clasificación (Hyman et al. 2011) y reducir la nubosidad. Debido a que el satélite esta en movimiento perpendicular (correspondiente a los satélites con desplazamiento de radiómetros de barrido), para cubrir el estado las escenas presentan diferentes fechas. Por lo que, para evitar incertidumbre y error, durante el procesamiento se estableció como máximo una diferencia de dos meses entre cada escena de un mismo tiempo.

El procesamiento digital de las imágenes satelitales se llevó a cabo con el software de análisis espacial y modelación de la tierra TerrSet® (Eastman 2016) en su módulo especializado para el tratamiento de las imágenes "IDRISI IMAGE PROCESSING". Únicamente se utilizaron las bandas dentro del espectro visible e infrarrojo (Banda 2 a 7) con una resolución de 30 m, y proyectadas al sistema métrico UTM con datum WGS84 (NASA 2014).

Debido a diversos factores las imágenes (adquiridas por sensores remotos) presentan alteraciones de tipo radiométricas y geométricas (Chuvieco 2002), para arreglar estos errores se procedió a realizar la corrección de las imágenes utilizando los módulos de "ATMOSC" y "RESAMPLE". Durante la corrección radiométrica los valores o números digitales (ND) de las bandas se transformaron en valores de

reflectividad (relación existente entre la energía incidente y reflejada) (Vecchio et al. 2016). Esta transformación es necesaria para compensar diferencias de valores de irradianza solar extra atmosférica y eliminar los efectos producidos por el ángulo solar (Chander y Markham 2003; Brizuela, Aguirre, y Velasco 2007). Este procedimiento se llevó a cabo de manera automatizada por medio del módulo "ATMOSC".

La corrección geométrica de las bandas se realizó con el módulo "RESAMPLE", en este proceso las bandas son rectificadas geométricamente por medio de puntos de control (GCP). El número de puntos de control y el error (RMS) aceptable se estableció en base a los recomendado por Polanco (2012) quien menciona que el mínimo de puntos de referencia debe ser de 6 y el error (RSM) aceptable no debe de pasar 0,5 veces a la unidad de pixel. Para unir cada una de las bandas, se utilizó el módulo "MOSAIC".

Elaboración de mapas temáticos

Para elaborar los mapas temáticos, se definieron los tipos de cobertura a utilizar como unidad. Se aplicó el proceso de clasificación por segmentación. La validación de esta clasificación se llevó a cabo con una matriz de error y el Coeficiente de Kappa.

Para seleccionar los tipos de cobertura de carácter natural y antrópicos se utilizó como base las categorías sugeridas Pacheco-Figueroa (2014) de los usos de suelo y vegetación presentes en el Estado, adaptadas para ser evaluadas en estudios posteriores por su nivel de resistencia, para conectividad. Esa clasificación se agrupó

en 25 clases que fueran representativas del Estado de Tabasco; y útiles para estudios de conectividad. Para la descripción se consideró el Inventario estatal Forestal y de Suelos Tabasco 2013 (SERMARNAT 2015), el Programa de Ordenamiento Ecológico para el Estado de Tabasco (Galindo et al. 2006), la Guía de Interpretación Cartográfica de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V (INEGI 2015), el libro de Biodiversidad del estado de Tabasco (Bueno, Álvarez, y Santiago 2005) y datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para el año 2015 (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Descripción de las coberturas de carácter natural presentes en el estado de Tabasco.

Tipo de cobertura	Descripción
Tintal-Bosques de galería (TB)	El estrato arbóreo del bosque de galería puede medir de 4 a 30 metros, compone por especies perennifolias, sub caducifolias y caducifolias. Sus comunidades se ubican en los márgenes de los ríos formando franjas de vegetación. Para la vegetación de Tintal predomina la especie <i>H. campechianum</i> y se ubica en zonas inundables.
Selva baja caducifolia (SB)	Las comunidades de esta selva presentan una altura en el arbolado que oscila entre los 4 a 15 metros. Se desarrollan en climas cálidos donde la temperatura media anual oscila entre los 18 a 28°C y a una altitud por debajo de los 800 msnm. Presentan una estación seca bien marcada de 6 a 8 meses.
Selva mediana perennifolia (SM)	Estas selvas presentan una altura en el arbolado de 15 a 30 metros. Se puede encontrar en una altitud que oscila entre los 0 a 100 msnm en zonas con más de 1.500 mm de precipitación o inclusive en zonas secas pero cercanas a cuerpos de agua (ríos o zonas pantanosas).
Selva alta perennifolia (SA)	La selva alta presenta una altura en el arbolado mayor a 30 metros y durante todo el año las comunidades mantienen su follaje. En el estado se tiene la presencia de la selva alta perennifolia en zonas húmedas cuya temperatura media anual son mayores a 20 ° C en altitudes que oscilan entre los 0 a 1.500 msnm.
Acahual (AC)	Vegetación secundaria comúnmente conocida como "Acahual". Estas zonas se presentan debido a disturbios o alteraciones de la vegetación de origen natural o antrópico, que altera o cambia la composición florística de la comunidad.

Tipo de cobertura	Descripción
Manglar (M)	Se ubican en zona de muy baja altitud en climas cálidos húmedos y sub húmedos. El manglar se constituye de especies perennifolias que generalmente tienen una altura que varía de 1 a 30 mts. Se desarrolla en esteros, desembocaduras de ríos, márgenes de lagunas costeras y esteros o en partes bajas fangosas de la costa.
Vegetación Hidrofita flotante (VHF)	Se constituye por plantas acuáticas que se ubican sobre la superficie del agua. Usualmente se encuentran en cuerpos de agua lenticos de agua dulce o moderadamente salobres.
Popal- Tular (PT)	Las comunidades de popal y tular se pueden encontrar en una altitud que va de 0 a 100 msnm. Las especies presentes en el popal son generalmente herbáceas y forman extensas masas vegetales que se ubica en zonas con climas húmedos y temperaturas medias de 25°C y se desarrolla en sitios permanentemente inundados. Las comunidades de Tular se constituye por plantas acuáticas que se encuentra en zonas donde la temperatura puede ser desde calida a templada y se desarrolla en áreas de escasa profundidad, las plantas de esta comunidad pueden medir de 80 cm hasta 2 metros de altura. Ambas comunidades se pueden encontrar en un rango de 0 a 100 msnm.
Dunas costeras (DC)	Comunidad vegetal compuesta por plantas pequeñas y suculentas fijadas a la arena que se establecen a lo largo de la costa.
Cuerpos de agua (CA)	Cuerpos de agua continentales de tipo lotico (ríos, arroyos y arroyuelos) y lenticos (lagos, lagunas, charcas y bañados).
Tasistal (T):	Palmares inundados en donde domina la especie <i>Acoelorrhaphes wrightii</i> . Este tipo de vegetación se encuentra intercalado entre los popales.

Fuente: Pacheco-Figueroa 2014, SERMARNAT 2015, Galindo et al. 2006 y Bueno, Álvarez, y Santiago 2005

Tabla 2. Descripción de las coberturas de carácter antrópico presentes en el estado de Tabasco.

Tipo de cobertura	Descripción
Pastizal (PAS)	Son zonas cuya vegetación original fue desmontada y remplazada por pasto nativo (pastizal cultivado) o exóticos (pastizales inducidos). Los pastizales cultivados son comúnmente conocidos como "potreros" y constituyen áreas de aprovechamiento pecuario, mientras que los pastizales inducidos pueden ser zonas de pastoreo, con presencia de actividades de tala o que son frecuentemente incendiados.
Cultivos (C)	Cultivos de temporal. Los cultivos en el estado se encuentran sujetos a las condiciones climatológicas y meteorológicas. Por ejemplo: arroz, chile, maíz, calabaza, chayote y frijol.
Cultivo de palmas (CP)	Cultivo de ciclo perenne, con modalidad de agricultura tipo temporal.
Plantación de coco (PC)	Plantaciones de ciclo perenne, con modalidad de agricultura tipo temporal.
Plantación de plátano (PP)	Plantaciones de ciclo perenne, y modalidad de agricultura tipo temporal y de riego
Plantación de hule	Plantaciones de ciclo perenne y modalidad de agricultura de tipo

Tipo de cobertura	Descripción
(PH):	temporal.
Plantación de cacao (PCAC)	Plantaciones de ciclo tipo perenne con modalidad de agricultura tipo temporal y de riego.
Plantación de eucalipto (PE)	Plantaciones de ciclo tipo perenne.
Plantación de cítrico (PCI)	Plantaciones de ciclos perennes, con modalidad de agricultura tipo temporal y de riego.
Plantación de caña (PCAN)	Plantaciones de tipo perenne con modalidad de agricultura tipo temporal y de riego
Plantación de piña (PPI)	Plantaciones de ciclo perenne y modalidad de agricultura de tipo temporal y de riego.
Asentamientos humanos (AH)	Se tomarán en cuenta aquellas zonas en donde se detecte aglomeraciones como localidades o zonas urbanas e infraestructuras de desarrollo urbano (Ejemplo: Aeropuertos, Muelles, Represas etc.)
Infraestructuras petroleras (IP)	Infraestructura (estaciones de bombeo, campos, almacenes y redes de transporte) destinadas para los procesos de petróleo y gas.
Zonas sin vegetación (ZSV)	Áreas con ausencia de vegetación. Se incluyen aquellas zonas en donde la vegetación natural fue removida a causa de actividades humanas (como incendios o zonas de extracción de minerales). También se incluyen las zonas de depósitos litorales, bancos de ríos y áreas en donde no se puede desarrollar cubiertas vegetales.

Fuente: Pacheco-Figueroa 2014, SERMARNAT 2015, Galindo et al. 2006 , Bueno, Álvarez, y Santiago 2005 y SIAP 2017

Clasificación por segmentación

Los mapas de uso de suelo se llevaron a cabo en el programa TerrSet®, bajo el esquema de clasificación por segmentación, siendo una rutina de clasificación de carácter rígido (Eastman 2016). Este proceso se realizó en cuatro etapas: 1) segmentación (“SEGMENTATION”), 2) selección de puntos de entrenamiento (“SEGTRAIN”), 3) clasificador supervisado (“MAXLIKE”), y 4) segmentos homogéneos por clase (“SEGCLASS”).

En esta primera etapa se ingresó el mosaico de las bandas 2,3,4,5 y 7 al módulo de “SEGMENTATION” especificando un valor de tolerancia de similitud de 50, el cual se considera un valor adecuado de acuerdo con el tamaño de la zona de estudio. Al cargar las capas los valores de peso se ajustaron a 0,2 y se definió una anchura de

ventana de tres, valor recomendado para obtener resultados más concretos. El peso para la media y los factores de varianza para evaluar la similitud entre fragmentos vecinos se especificó en 0,5 (Richard 2015).

Para el siguiente proceso se seleccionaron segmentos de entrenamiento. Por lo que se trabajó con combinaciones de las bandas del aspecto visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio. Además, se realizaron consultas sobre los tipos de vegetación en el estado con especialistas de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), así como utilizando las capas temáticas recopiladas en la etapa previa.

Para la segunda etapa se utilizó el módulo SEGTRAIN para indicar las parcelas de entrenamiento (Paegelow y Camacho-Olmedo 2010) (Figura 2). Se indicaron 25 coberturas de uso de suelo y vegetación por medio de puntos de entrenamiento. También se indicaron las zonas con presencia de nubes o incendios, con el fin de eliminarlos en el siguiente proceso. El número de firmas se estableció tomando en consideración que el número mínimo de píxeles por clase con las que el programa puede trabajar es 40. Esta unidad mínima se verificó por medio del reporte "MARKESIG" producto de proceso de "SEGTRAIN".

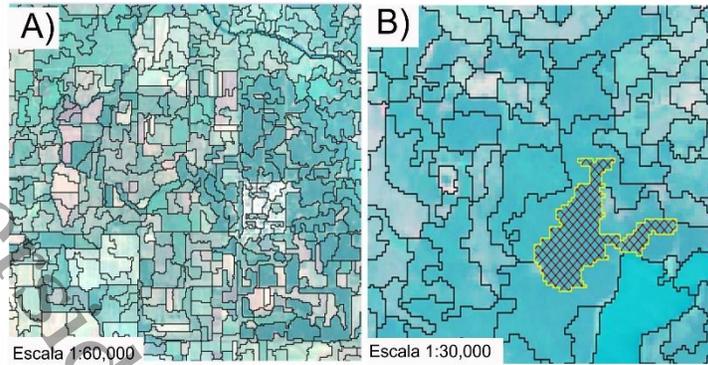


Figura 2. Visualización del proceso de SEGTRAIN en el programa TerrSet®. A: Parcelas de entrenamiento, B: Selección de una firma

Fuente: Landsat 7, composición RGB 237, marzo-abril 2003.

La verificación de las firmas espectrales en las bandas 3,4, 5, y 6 se realizó por medio de un diagrama de signaturas en donde se muestran las cuatro bandas (abscisas) que se utilizaron para el análisis y los valores medios de cada categoría (ordenadas). Con este gráfico se verificó si existe un comportamiento peculiar entre bandas. Para su interpretación se tomó como referencia la descripción de Chuvieco (2002), quien menciona que los solapamientos se distinguen debido a la presencia de líneas paralelas y próximas entre coberturas, mientras que la presencia de intersecciones indican mayor posibilidad de separación. Los datos para la construcción de este gráfico se obtuvieron de los datos derivados de la herramienta "HISTO" que corresponden la media (x) y la desviación típica (DT) por categoría. Para este análisis, los datos de reflectividad se transformaron en ND (números digitales).

Como tercera etapa, se utilizó el archivo generado por "SEGTRAIN" para aplicar el clasificador de máxima probabilidad ("MAXLIKE"), el cual genera una imagen clasificada de uso de suelo. Para finalizar, en la cuarta etapa se realizó la

suavización u homogenización de la imagen clasificada a través de un clasificador algorítmico (“*SEGCLASS*”) (Wang y Weng 2013).

Los mapas obtenidos del proceso de clasificación por segmentación se ajustaron a una Unidad Mínima Cartografiable (UMC). La unidad de referencia fue tomada de las sugerencias de Salinas et al. (2016) quien indica que la UMC de un mapa a nivel Estatal debe fijarse en 0,16 km². Para realizar este ajuste, en el programa Arcgis® 9.3 por medio de la herramienta “*ELIMINATE*” los polígonos iguales o menores a 0,16km² se incorporaron a los polígonos adyacentes.

Validación de las capas de uso de suelo

Para este proceso se llevó a cabo la metodología sugerida por (Hyman et al. 2011) en donde se busca la validación de los resultados, realizando el contraste de los mapas generados con la condición real del terreno (Boca y Rodriguez 2012). Este proceso se encuentra constituido por dos etapas. La primera etapa consistió en la ejecución de la verificación en campo, indicando dentro del área de estudio la condición real del uso de la tierra por medio de puntos de verificación. En la segunda etapa se llevó a cabo el proceso de validación de los resultados por medio de elaboración de una matriz de error. Se verificaron un total de 14 coberturas, puesto que las coberturas antrópicas de cultivos y plantaciones se agruparon en una sola categoría.

Para el proceso de la validación de campo se generaron aleatoriamente un total de 75 puntos de verificación para cada cobertura. El tamaño de la muestra se estableció según lo sugerido por (Congalton 1991) , quien menciona que para áreas mayores a

400.000 ha ó que cuenten con más de 12 categoría, es conveniente usar de 75 a 100 puntos.

Este proceso se llevó a cabo por medio de observación directa (Camacho-Sanabria et al. 2015) y con imágenes satelitales (Khan y Jhariya 2016). Para la observación directa se realizaron visitas a los puntos de verificación y se registraron los datos en un formulario adaptado de la plataforma para la biodiversidad CIFOR-ICRAF (Hyman et al. 2011). Para la verificación con imágenes satelitales se utilizaron las del Google Earth (Google Earth. Image ©2016. Digital Globe) y Bing maps (Bing maps. ©2016. Digital Globe) cuyo proveedor de imágenes es "*Digital Globe*".

En el caso de la validación de los resultados se llevó a cabo la comparación entre los datos de verificación y el mapa clasificado por medio de una matriz de error. La elaboración de esta matriz facilita distinguir las inconsistencias entre las coberturas verificadas y generadas (Romero-Berny et al. 2015) permitiendo estimar la exactitud del producto, del usuario y global (Berlanga et al. 2010). La fiabilidad global del mapa se expresa en la matriz por la relación entre el número de puntos que fueron correctamente asignados y el total. Una gran ventaja de esta tabla es que se conoce la exactitud y conflictos entre clases (Chuvieco 2002).

Para la construcción de la matriz de error se siguió la estructura que maneja Chuvieco (2002). En donde las columnas indican las clases de referencia y las categorías representan las deducidas de la clasificación. En forma diagonal se expresó dentro de la matriz los puntos de verificación en donde se producen acuerdos (mapa y realidad), los datos marginales en la tabla indicaron los errores de

asignación. Los datos residuales de las filas indicaron los tipos de cubierta reales que no se incluyeron en el mapa y los residuales en las columnas mostraron las categorías de los mapas que no se ajustaron a la realidad (Morales- Hernández et al. 2016). La confiabilidad de los mapas se calculó realizando la siguiente ecuación:

$$F_m = \frac{\sum X_i x 100}{\sum X_{ij}}$$

Donde:

F_m porcentaje de exactitud global (confianza del mapa)

$\sum X_i$ sumatoria de los aciertos o acuerdos observados

$\sum X_{ij}$ total de los puntos muestreados

Otra prueba complementaria que se ejecuto fue el coeficiente de Kappa (K') para evaluación de la exactitud de la clasificación. Por lo que se ejecutó la siguiente ecuación:

$$K = \frac{N \sum X_{ii} - \sum (X_i * X_{+i})}{N^2 - \sum (X_i * X_{+1})}$$

Dónde:

N total de los datos muestreados

X_{ii} acuerdos observados

$X_i * X_{+1}$ concordancia esperada (productos de marginales)

Con este análisis se intenta analizar si las categorías de interés o las obtenidas con una asignación aleatorias presentan una precisión significativamente mayor. Si el valor resultante se ubica en 0,8 (80%) o mayor se considera que es mejor que lo

esperado al azar. Si los valores se distribuyen en un rango de 0,4 a 0,8 se considera como concordancia moderada, los valores menores a 0,4 indican que la concordancia es pobre (Morales- Hernández et al. 2016).

Análisis de características

Por último, se estimaron las métricas de composición: área total y número de parche por clase en el programa TerrSet® por medio del panel “LANDSCAPE CHANGE PROCESS ANALYS” dentro del set de biodiversidad. El área total (CA), es una medida de composición que indica la suma de las áreas de cada uno de los parches de una misma cobertura, y el número de parches (NUMP), es el total de parches por tipo de cobertura (Torres-Gómez et al. 2009; Carmona-Islas et al. 2013). El uso de índices, como los mencionados anteriormente, desde un punto de vista comparativo son importantes para el entendimiento de la evolución y cambios en un paisaje (Aguilera 2010).

Resultados

Adquisición de imágenes y pre procesamiento

Las imágenes de tipo Landsat 8 OLI y TIRS se encuentran disponibles desde el año 2013 a la actualidad, presentado apenas una diferencia de 4 años. Por lo que, para cumplir con la diferencia de 10 años entre cada una de las capas se recurrió a utilizar imágenes de la versión anterior (Landsat 7 ETM+) para el tiempo 1 (t1). La serie Landsat 7 ETM+ tiene un acervo de imágenes disponibles desde el año 2003, sin embargo, a partir de del 31 de mayo de ese año las imágenes presentaron anomalías (Administración de Parques Nacionales (ANP) y Sistema de Información

De Biodiversidad (SIB) 2005). Es por ello, que para evitar problemas durante el procesamiento se optó por utilizar imágenes del año 2003 anteriores a la fecha en las que se presentan las fallas.

Para elaborar la capa del tiempo actual (t_2) se utilizaron cinco imágenes satelitales del año 2016 de tipo Landsat 8 OLI (“Operational LandImager”) y TIRS (“Thermal Infrared Sensor”) y para el tiempo pasado (t_1) cinco imágenes Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Las imágenes del año 2003 se tomaron a partir del 18 de marzo al 28 de abril y para el 2016, del 9 de mayo al 30 de abril. Ambos con una diferencia máxima de dos meses y ubicados durante la época de secas del estado de Tabasco.

Debido a un error en los datos de origen de una de las imágenes Landsat de año 2016 que imposibilitó el uso de los modelos de corrección más utilizados. Para este trabajo se optó por utilizar el modelo de reflectancia aparente. En este modelo se transforman los valores ND en valores aproximados de reflectancia (Brizuela, Aguirre, y Velasco 2007) y se realiza un leve ajuste del efecto atmosférico. Para la corrección de tipo geométrica se establecieron en total 20 puntos de control por banda y se determinó como valor medio cuadrático (RMS por sus siglas en inglés) óptimo 30 metros considerando la escala del trabajo.

Elaboración de mapas temáticos

El número total de coberturas con los que se trabajó fue de 25. De las cuales 11 correspondieron a coberturas de carácter natural y 14 a coberturas de carácter antrópico. Durante el proceso de entrenamiento estas coberturas se indicaron con un

total de 800 firmas espectrales para los datos de entrenamiento del año 2003 y 847 firmas para el año 2016.

Las identificaciones de coberturas mediante la combinación entre las bandas resulto un método efectivo. Para el año 2016 en donde se trabajó con imágenes Landsat 8 OLI y TIRS las combinaciones 4-3-2, 2-3-7 y 3-4-2 facilitaron la identificación de la vegetación natural, mientras que las combinaciones 2-3-7,4-3-2 y 7-4-1 resultaron efectivas para la detección de coberturas antrópicas. Para el año 2003, cuyo insumo cartográfico fueron las imágenes Landsat 7 ETM+, las combinaciones 2-3-7 y 4-5-3 permitieron la identificación de las coberturas naturales. A diferencia de las imágenes Landsat 8 OLI y TIRS en donde se utilizaron un total de 3 combinaciones para identificar las coberturas antrópicas, en las imágenes Landsat 7 ETM+ solo se requirió de la composición 2-3-7 (Figura 3 y 4).

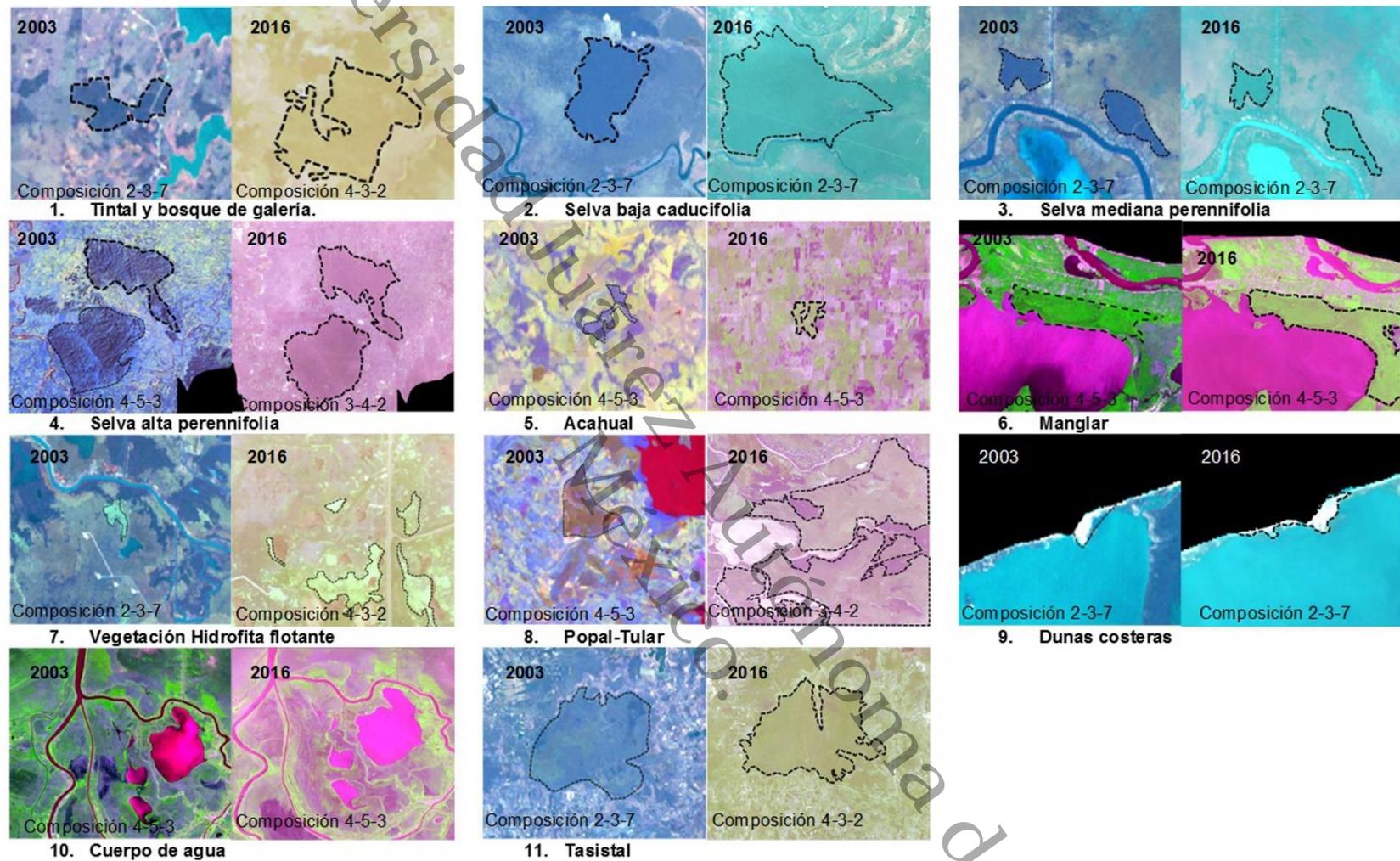


Figura 3. Coberturas de carácter natural visualizados en las diferentes composiciones que se utilizaron para el proceso de colocación de firmas espectrales para las imágenes del año 2003 y 2016

Fuente 1: Landsat 7, composición RGB 237, 453, marzo-abril 2003

Fuente 2: Landsat 8, composición RGB 432, 237, 453, 342, mayo-abril 2016

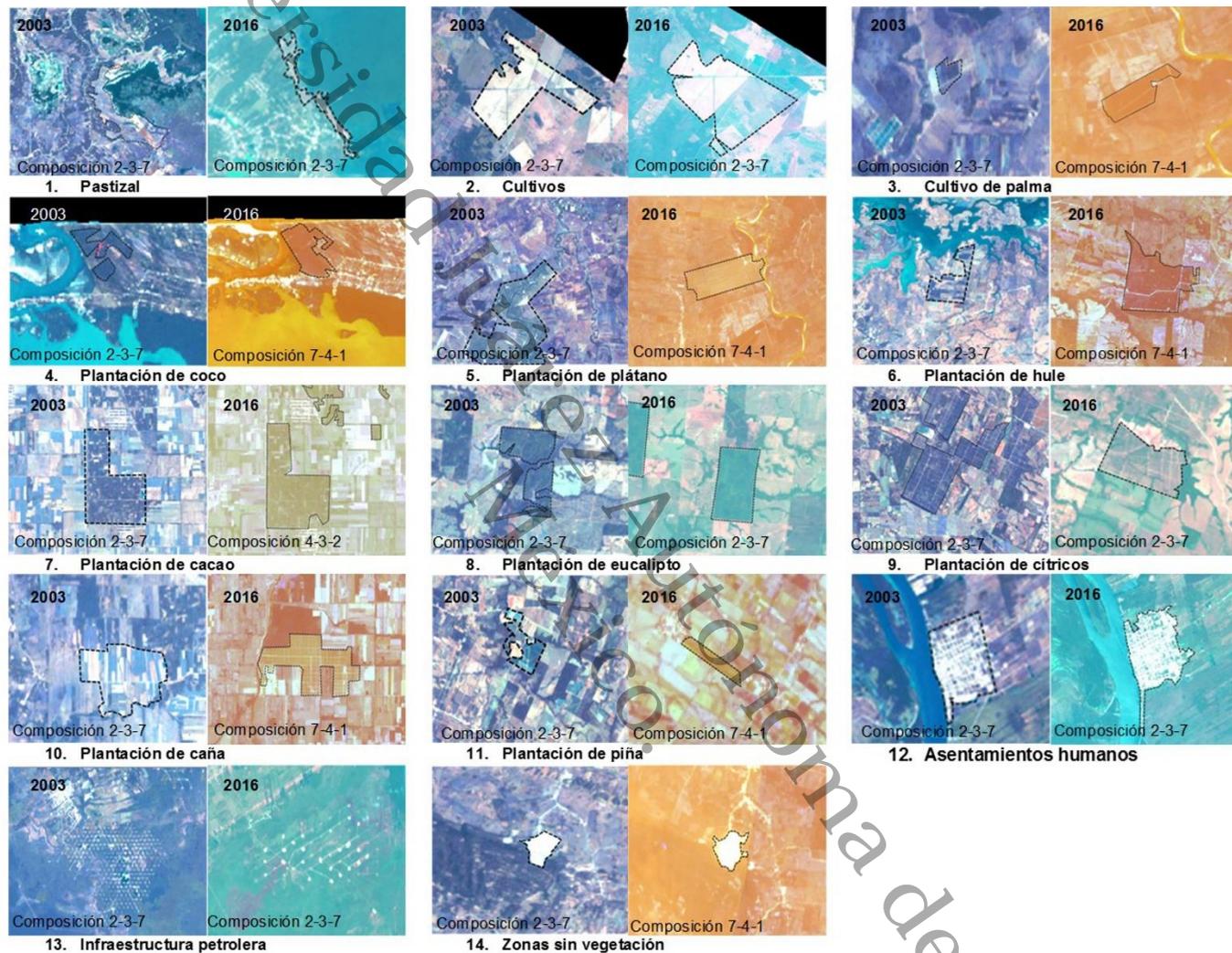


Figura 4. Coberturas de carácter antrópico visualizados en las diferentes composiciones que se utilizaron para el proceso de colocación de firmas espectrales para las imágenes del año 2003 y 2016.

Fuente 1: Landsat 7, composición RGB 237, marzo-abril 2003

Fuente 2: Landsat 8, composición RGB 237, 741, 432, mayo-abril 2016

En total se ocuparon 435.787 píxeles en el proceso de entrenamiento para año 2003 y 468.525 píxeles en el año 2016 (Tabla 3). La cobertura de incendios no cumplía con el número mínimo de píxeles (40) requerido por el programa debido a que eran zonas muy pequeñas, por lo que se removió del análisis.

Tabla 3. Datos del archivo MAKESIG de los píxeles por categoría seleccionados en el proceso de SEGTRAIN.

CLASE (ID)	Nombre de la clase	Número de píxeles	
		2003	2016
1	Tintal y bosque	2.062	1.473
2	Selva baja	17.592	23.442
3	Selva mediana	12.329	13.972
4	Selva alta	9.234	21.869
5	Acahual	20.200	20.527
6	Manglar	17.861	20.857
7	Vegetación Hidrófita flotante	1.898	2.927
8	Popal-tular	45.738	54.349
9	Dunas costeras	552	801
10	Cuerpo de agua	198.150	178.440
11	Tasistal	1.966	5.133
12	Pastizal	29.849	41.858
13	Cultivos	5.728	6.197
14	Cultivo de palmas	367	7.661
15	Plantación de coco	6.328	9.894
16	Plantación de plátano	9.098	5.796
17	Plantación de hule	481	8.851
18	Plantación de cacao	34.634	13.502
19	Plantación de eucalipto	6.373	7.606
20	Plantación de cítrico	1.537	1.135
21	Plantación de caña	6.201	11.971
22	Plantación de piña	1.137	1.235
23	Asentamientos humanos	3.888	3.631
24	Infraestructura petrolera	755	936
25	Zonas sin vegetación	663	879
26	Nube	1.166	3.583

Datos: Numero de píxeles seleccionados en el proceso de entrenamiento por clase

En cuanto el análisis de firmas espectrales los datos presentan separabilidad. La cual se distingue por las intersecciones presentes entre las categorías (Figura 5 y 6). Es decir que a pesar de las sobreposiciones, fue posible diferenciar las categorías en ambos periodos.

Tanto en el mapa del 2003 como en el 2016 se puede observar un comportamiento similar en los valores de niveles digitales (ND) para las categorías de zonas sin vegetación, infraestructuras petroleras, dunas costeras, asentamientos humanos y cultivos . Estas coberturas presentaron valores altos en las bandas 3 4 y 7, en un rango de 11 a 27 ND's para el año 2003 y de 13.4 a 25.10 ND's para el 2016. En el caso de la categoría de cuerpos de agua, sus valores fueron inferiores en la banda 5 (NIR) y 7 (SWIR 2) en donde se ubicaron en un rango de 11 a 27 ND's.

Analizando las medias se puede observar que la banda 5 permite una mejor discriminación de las coberturas de tipo natural y antropico. Esta banda corresponde al infrarrojo cercano. Para las coberturas antropicas tambien se identifico una buena discriminación en la banda 7.

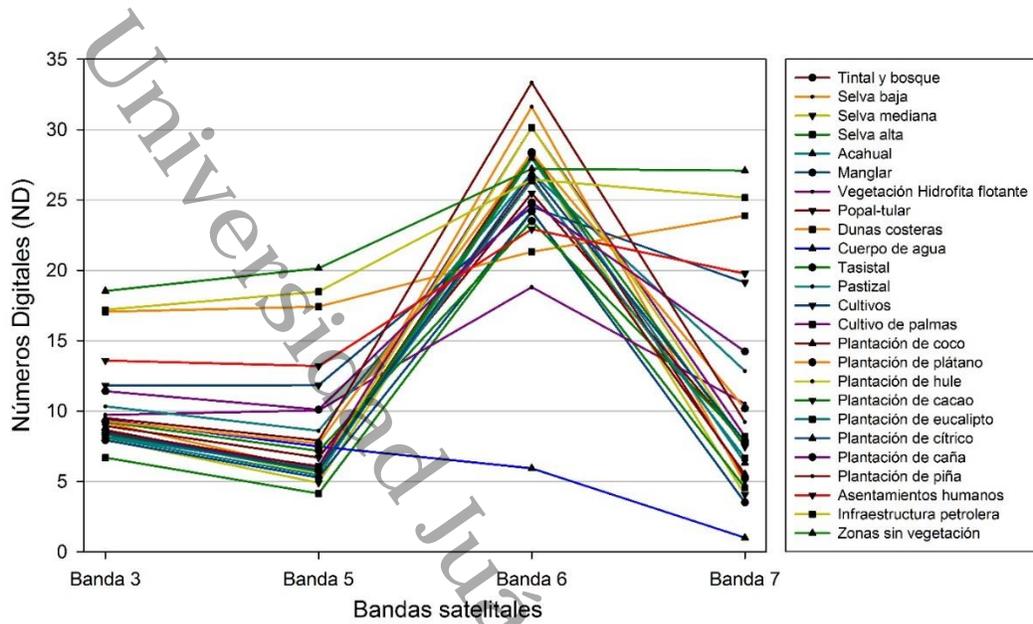


Figura 5. Gráfico de signatura espectral para las categorías de uso de suelo y vegetación del año 2003.

Datos: Signaturas espectrales por cobertura a partir de las bandas de las escenas de Landsat 7.

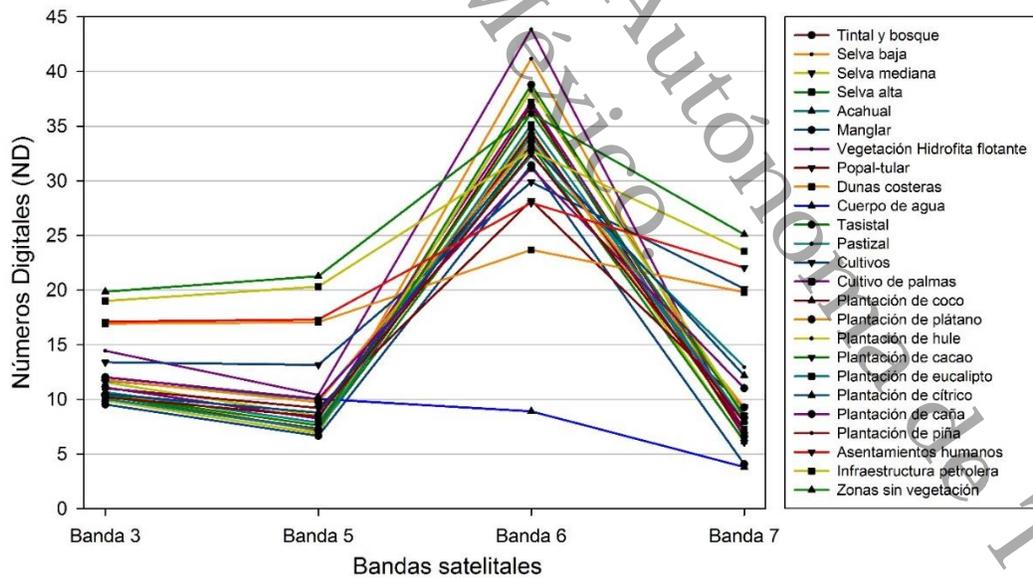


Figura 6. Gráfico de signatura espectral para las categorías de uso de suelo y vegetación del año 2016.

Datos: Signaturas espectrales por cobertura a partir de las bandas de las escenas de Landsat 8.

Validación de los mapas, porcentaje de exactitud e índice de Kappa

El proceso de validación se llevó a cabo con un total de 825 puntos. Para este proceso las coberturas de tasistal, dunas costeras, infraestructuras petroleras y zonas sin vegetación fueron eliminadas del análisis. Estas categorías al presentar reducido número de parches, por lo que se facilitó su completa revisión y corrección en ambos periodos.

En los mapas se ubicó que la exactitud era considerablemente buena, obteniendo valores altos de confianza. Para la clasificación del año 2003, según los datos obtenidos de la matriz de error la exactitud global fue de 94,1% y el índice de Kappa de 77% lo que indica que el mapa presenta una alta exactitud y una concordancia considerable. Por coberturas los valores correctamente clasificados respecto al total (exactitud de los usuarios) fueron superiores a 90% en 9 de las categorías analizadas, las clases de selva mediana y acahual presentaron valores más bajos (85,3% y 88% respectivamente). El porcentaje de elementos bien clasificados (exactitud del productor) llegó a 100% en las categorías de selva baja, selva mediana, cuerpos de agua y asentamientos humanos. En las coberturas restantes este porcentaje se ubicó en un rango de 88% a 98,6%. La probabilidad más baja se observó en la categoría de acahual en donde el valor de error de omisión fue de 19,5% (Tabla 4).

En el caso de la clasificación del año 2016 la exactitud global del mapa fue de 93,6% y el índice de Kappa 76%. La cobertura de asentamientos humanos presentó una alta exactitud, puesto que no se obtuvieron datos de errores de comisión y omisión y

la exactitud de productor y usuario fue del 100%. Los valores correctamente clasificados respecto al total de clases (exactitud de los usuarios) se ubicaron en un rango de 92% a 97 % en 8 categorías. Los porcentajes más bajos se presentaron en las categorías de selva mediana y popal-tular (con 84% cada uno).

En cuanto al porcentaje de elementos bien clasificados se obtuvo una alta exactitud en las categorías de tinal y bosques, selva baja, selva mediana, popal-tular y asentamientos humanos. El resto de las categorías presentaron porcentajes por encima del 80% a excepción de la categoría de acahual que presentó un 70,3% y cuyo porcentaje de error de omisión fue el más elevado (29,3%) (Tabla 5).

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco.
México.

Tabla 4. Matriz de error para las categorías obtenida de la clasificación supervisada de imágenes landsat 7 ETM+ del año 2003.

Coberturas/ uso suelo	TB	SB	SM	SA	AC	M	PT	CA	PAS	CYP	AH	Otro	TOTAL	Exactitud de usuario	Error de comisión
TB	68	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	75	90,7	9,3
SB	0	73	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	75	97,3	2,7
SM	0	0	64	1	8	1	0	0	0	1	0	0	75	85,3	14,7
SA	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100,0	0,0
AC	1	0	0	5	66	1	1	0	0	1	0	0	75	88,0	12,0
M	0	0	0	0	1	74	0	0	0	0	0	0	75	98,7	1,3
PT	0	0	0	0	0	0	71	0	2	1	0	1	75	94,7	5,3
CA	0	0	0	0	0	1	1	71	1	0	0	1	75	94,7	5,3
PAS	0	0	0	0	0	0	0	0	74	1	0	0	75	98,7	1,3
Cy P	0	0	0	0	0	0	0	0	5	69	0	1	75	92,0	8,0
AH	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	71	0	75	94,7	5,3
TOTAL	69,0	73	64	81	82	77	75	71	84	75	71				
Exactitud del productor	98,6	100	100	92,6	80,5	96,1	94,7	100	88	92	100				
Error de omisión	1,4	0	0	7,41	19,5	3,9	5,33	0	12	8	0				

Datos: Matriz de error que contrasta los datos del proceso de validación obtenidos en campo y por medio de imágenes satelitales de Google Earth y Bing maps con la clasificación supervisada de las de imágenes landsat 7.

Nota: Coberturas. TB: Tintal y bosque de galería, SB: selva baja, SM: Selva mediana, SA: Selva alta, AC: Acahual, M: Manglar, PT: Popal-tular, CA: Cuerpo de agua, PAS: Pastizal, CyP: Cultivos y plantaciones, AH: Asentamientos humanos.

Tabla 5. Matriz de error para las categorías obtenida de la clasificación supervisada de imágenes landsat 8 OLI/ TIRS del año 2016.

Coberturas/ uso suelo	TB	SB	SM	SA	AC	M	PT	CA	PAS	CYP	AH	Otro	TOTAL	Exactitud de usuario	Error de comisión
TB	69	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	75	92	8
SB	0	73	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	75	97	3
SM	0	0	63	1	10	1	0	0	0	0	0	0	75	84	16
SA	0	0	0	70	5	0	0	0	0	0	0	0	75	93	7
AC	0	0	0	2	71	0	0	0	1	1	0	0	75	95	5
M	0	0	0	0	0	73	0	1	0	1	0	0	75	97	3
PT	0	0	0	0	5	0	63	0	0	5	0	2	75	84	16
CA	0	0	0	0	1	0	0	73	1	0	0	0	75	97	3
PAS	0	0	0	0	0	0	0	0	73	2	0	0	75	97	3
Cy P	0	0	0	0	1	0	0	0	5	69	0	0	75	92	8
AH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	75	100	0
TOTAL	69	73	63	73	101	74	63	74	80	78	75	2			
Exactitud del productor	100	100	100	95,9	70,3	98,6	100	98,6	91	88,5	100	100			
Error de omisión	0	0	0	4,11	29,7	1,4	0	1,35	8,8	11,5	0	0			

Datos: Matriz de error que contrasta los datos del proceso de validación obtenidos en campo y por medio de imágenes satelitales de Google Earth y Bing maps con la clasificación supervisada de las de imágenes landsat 8.

Nota: Coberturas. TB: Tintal y bosque de galería, SB: selva baja, SM: Selva mediana, SA: Selva alta, AC: Acahual, M: Manglar, PT: Popal-tular, CA: Cuerpo de agua, PAS: Pastizal, CyP: Cultivos y plantaciones, AH: Asentamientos humanos.

Análisis de composición

Se obtuvieron dos mapas temáticos de uso de suelo y vegetación para el estado de Tabasco ($t_1=2003$ y $t_2=2016$). Ambos mapas presentan una superficie de 2.471, 870,43 ha y se conforman por 25 categorías (Figura 7 y 8).

El porcentaje de ocupación de las coberturas naturales y antrópicas es similar en ambos periodos. Para el año 2003 el porcentaje de coberturas naturales es de 39,96%, el 63,07% restante corresponden a coberturas antrópicas. Para el año 2016 el 35,25% de la superficie es ocupado por las coberturas naturales y el 64,66% por coberturas de tipo antrópicas.

En la tabla 9 se puede observar que en ambos periodos las coberturas con mayor ocupación son pastizales y popal-tular. La cobertura dominante para el estado es pastizal, cubriendo más del 50% del territorio en ambos periodos. El popal-tular, ocupa el 15,16% para el año 2003 y se reduce a 13,33% para el año 2016, perdiendo un total de 56.835,63 ha.

Se obtuvo una reducción de parches del 3% (229 parches) entre ambos periodos para todo el estado. Analizando por tipos de coberturas se encontró un resultado similar, puesto que las coberturas naturales presentaron una reducción en sus parches del 3,52% y las coberturas antrópicas se redujeron en un 2,22%.

Se ubicaron dos tendencias de cambio que ocuparon el 80% de las categorías. La primera tendencia se presentó en el 44% de las coberturas y consistió en la disminución del número de parches y el porcentaje de ocupación. Esta reducción se presentó en categorías naturales como: Tintal y bosque de galería, selva baja, selva

mediana, selva alta, popal-tular y tasistal. En el caso de las antrópicas se observó en las plantaciones de coco, plátano, hule y eucalipto y en la categoría de zonas sin vegetación. La segunda tendencia se evidencio en el 36% de las coberturas, las cuales presentaron un incremento tanto en su porcentaje de ocupación como en su número de parches. Las coberturas naturales que presentaron este aumento fueron: acahual, vegetación hidrófita flotante, dunas costeras, cuerpos de agua y tasistal. En coberturas antrópicas se observa en cultivos de palmas, plantaciones de cítricos y piña, asentamientos humanos y cultivos.

En el 20% de las coberturas se presentaron contrastes entre el incremento y reducción de sus polígonos y porcentaje de ocupación. En las categorías de manglar, pastizal y plantación de caña las cuales representan el 12% del total de coberturas, se observó un incremento en el porcentaje de ocupación, pero una reducción en su número de parches. En la categoría de plantación de caña la reducción de sus parches es muy marcada, ya que se presenta una pérdida del 56,3%. En las coberturas de plantación de cacao e infraestructuras petroleras se observa que existe una disminución en el porcentaje de ocupación y un incremento en el número de parches.

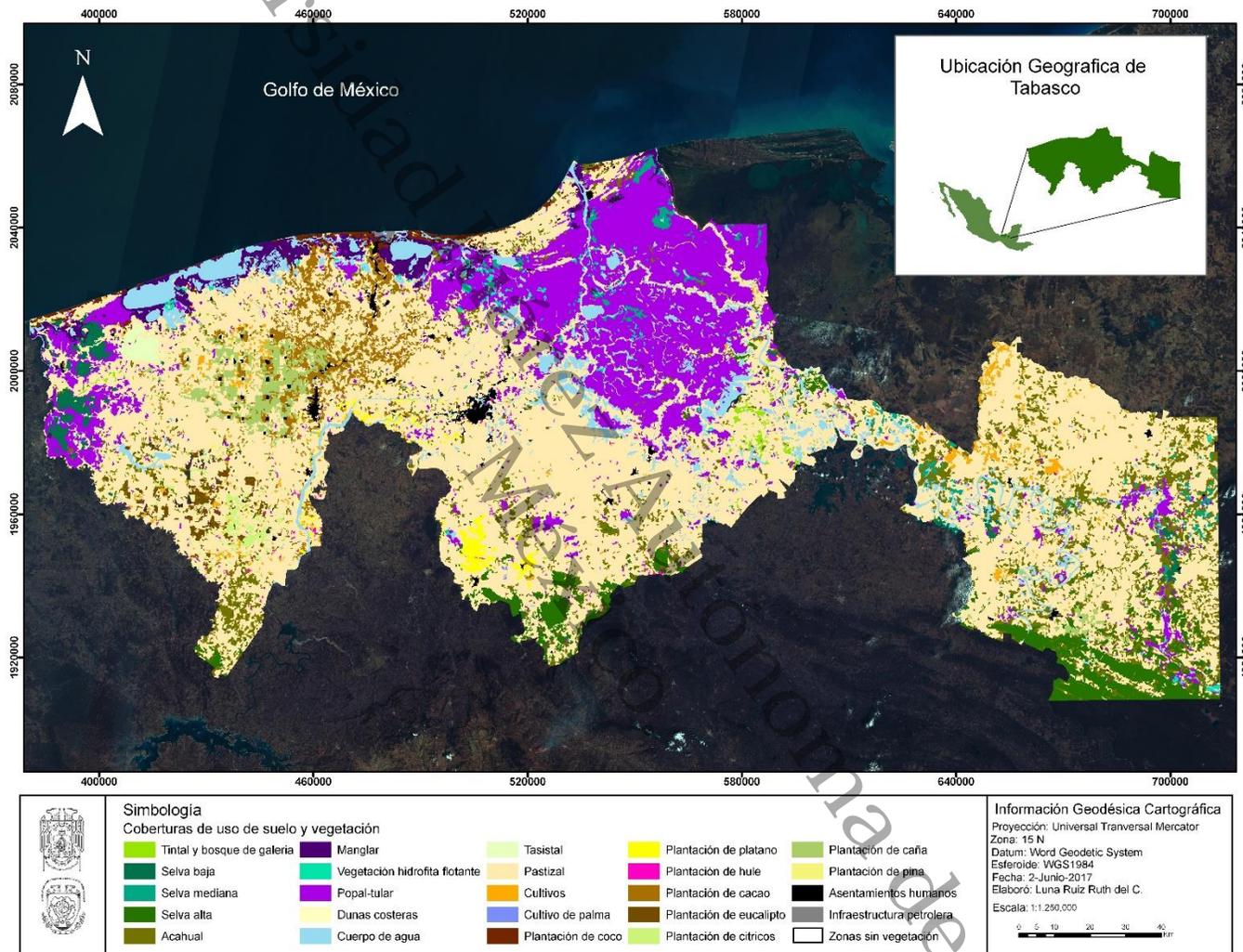


Figura 7. Mapa de uso de suelo y vegetación del estado de Tabasco año 2003.
 Fuente: Landsat 7, marzo-abril 2003

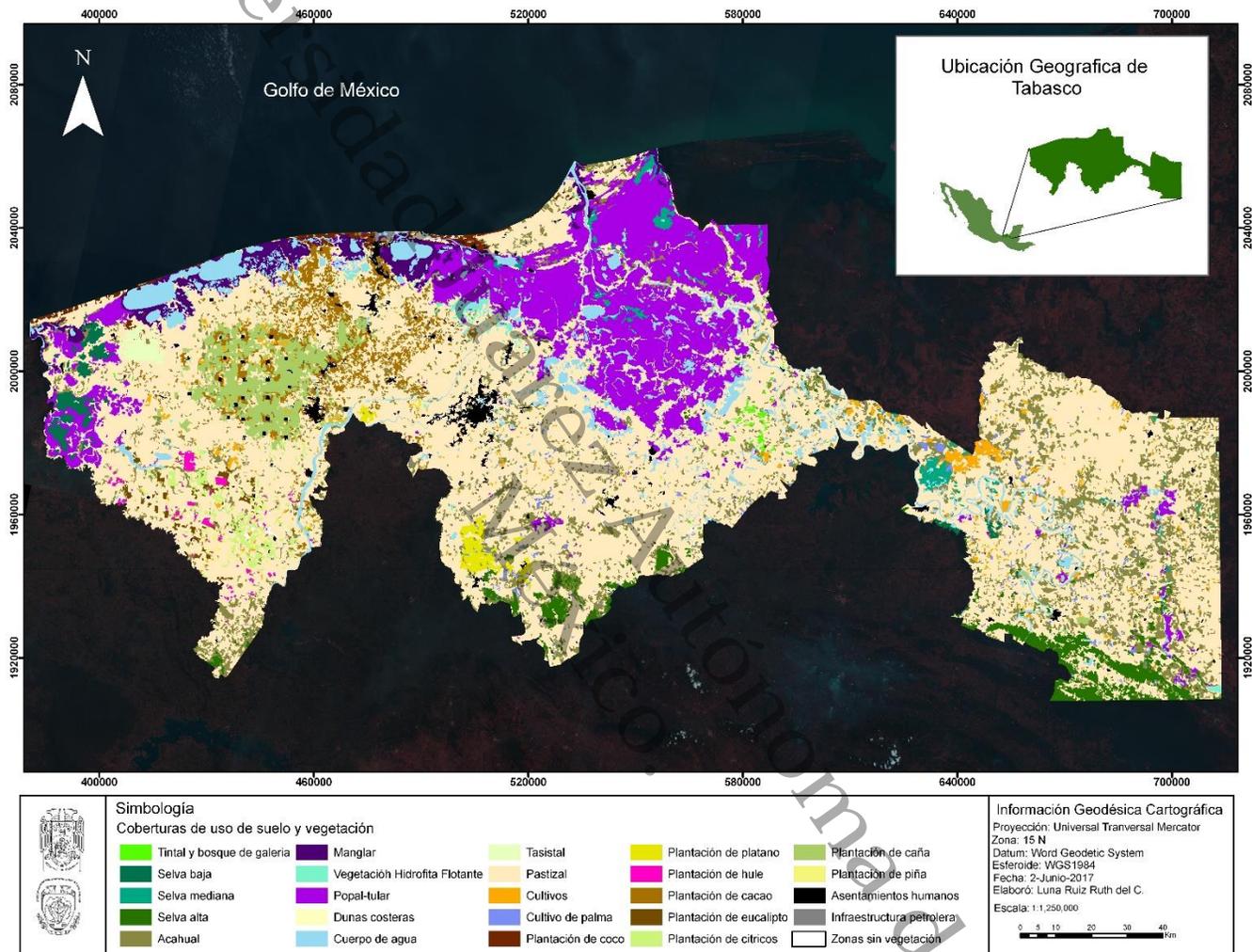


Figura 8. Mapa de uso de suelo y vegetación del estado de Tabasco año 2016.
 Fuente: Landsat 8, mayo-abril 2016

Tabla 6. Datos de composición (Hectáreas, porcentaje de ocupación y número de parches) de los mapas temáticos del año 2003 y 2016 del estado de Tabasco.

Coberturas	2003			2016			Perdida/Ganancia
	Hectáreas	%	Numero de parches	Hectáreas	%	Numero de parches	Hectáreas
Tintal y bosque	8.949,78	0,36	172	3.957,48	0,16	55	-4.992,30
Selva baja	24.493,86	0,99	83	17.895,15	0,72	40	-6.598,71
Selva mediana	21.346,02	0,86	182	17.920,26	0,72	112	-3.425,76
Selva alta	89.835,84	3,63	367	58.882,23	2,38	243	-30.953,61
Acahual	176.719,32	7,15	2043	247.480,29	10,01	2758	70.760,97
Manglar	42.523,47	1,72	128	45.525,60	1,84	103	3.002,13
Vegetación Hidrófita flotante	10.296,00	0,42	153	10.890,18	0,44	162	594,18
Popal-tular	386.349,03	15,63	824	329.513,40	13,33	300	-56.835,63
Dunas costeras	145,53	0,01	4	299,34	0,01	8	153,81
Cuerpo de agua	143.329,23	5,8	586	131.727,87	5,33	622	-11.601,36
Tasistal	8.879,04	0,36	26	7.727,31	0,31	4	-1.151,73
Pastizal	1.332.981,63	53,93	820	1.339.004,52	54,17	817	6.022,89
Cultivos	30.711,51	1,24	536	31.220,46	1,26	541	508,95
Cultivo de palmas	2.105,55	0,09	68	13.114,26	0,53	311	11.008,71
Plantación de coco	13.360,95	0,54	113	11.505,06	0,47	97	-1.855,89
Plantación de plátano	15.724,17	0,64	103	13.005,54	0,53	27	-2.718,63
Plantación de hule	5.639,40	0,23	181	6.563,97	0,27	76	924,57
Plantación de cacao	63.252,18	2,56	452	59.433,30	2,4	473	-3.818,88
Plantación de eucalipto	13.449,15	0,54	110	7.050,96	0,29	76	-6.398,19
Plantación de cítrico	11.099,52	0,45	133	17.006,04	0,69	135	5.906,52
Plantación de caña	42.293,43	1,71	233	66.006,63	2,67	108	23.713,20
Plantación de piña	823,23	0,03	21	3.048,93	0,12	56	2.225,70

Coberturas	2003			2016			Perdida/Ganancia
	Hectáreas	%	Numero de parches	Hectáreas	%	Numero de parches	Hectáreas
Asentamientos humanos	19.887,21	0,8	173	29.975,76	1,21	240	10.088,55
Infraestructura petrolera	1.015,74	0,04	3	1.268,28	0,05	8	252,54
Zonas sin vegetación	6.659,64	0,27	123	1.847,61	0,07	36	-4.812,03

Datos: Datos de composición de los mapas temáticos elaborados a partir de imágenes Landsat 7, marzo-abril 2003 y Landsat 8, mayo-abril 2016.

Discusión

A pesar de la alta precisión de la cartografía utilizada como insumo, esta fue sujeta a un proceso de corrección de tipo geométrica y radiométrica. Estos procesos son considerados fundamentales y deben ser ejecutados de manera rutinaria para la elaboración de cartografía (Cuartero y Felicísimo 2003) especialmente en estudios en donde se realizan comparaciones entre imágenes que presentan diferentes fechas y misma área (Brizuela, Aguirre, y Velasco 2007). Los problemas de reconocimiento de coberturas en el trabajo se pueden atribuir a el tipo de análisis, ya que por ser de tipo multitemporal tiende a presentar menor eficiencia en la clasificación en comparación con análisis que incluyen solo una escena (Nolasco, Willington, y Bocco 2016).

Los mapas presentaron una alta exactitud y una concordancia considerablemente buena según los valores de exactitud obtenidos. Los valores de exactitud global fueron altos y se puede considerar como resultados confiables ya que se obtuvieron porcentajes por encima del 90%, según los recomendado por Anderson et al. (1976). En cuanto al índice de Kappa, se obtuvo que ambos mapas presentaron una fuerza de concordancia considerable. Otros trabajos en México, cuyo insumo cartográfico fueron imágenes Landsat, como el de Morales-Hernández et al. (2016) y Loya-Carrillo et al. (2013) obtuvieron mapas con concordancias considerables y casi perfectas. Ramirez y Zubieta (2005) mencionan la ventaja del uso de imágenes Landsat ya que se obtiene una buena exactitud. Sin embargo, es importante mencionar que la principal desventaja recae

en su resolución espacial debido a que se dificulta discriminar las transiciones en áreas pequeñas.

Sin embargo, aunque se obtuvo una buena exactitud en ambos mapas, existe la posibilidad de que los porcentajes se reduzcan. Según los resultados obtenidos por Del Toro-Espín et al. (2015) englobar categorías en la matriz de error favorecen la obtención de mejores resultados y por tanto su separación da lugar a una reducción en el porcentaje de confiabilidad. Rullán-Silva et al. (2011) en su análisis en la Región de la Sierra de Tabasco, ubicó durante su análisis confusión entre las actividades agrícolas, con la vegetación secundaria, pastizales, la vegetación hidrófita y entre ellas mismas, como consecuencia del contenido de humedad y suelo en las zonas bajas y su estructura herbácea. Por lo que se sugiere que para futuras investigaciones estas coberturas se validen por separado, lo que implica mayor esfuerzo de muestreo y por consiguiente mayor inversión económica y tiempo.

El presente trabajo cuenta con una alta representatividad de los tipos de usos de suelo en el estado, ya que considera un total de 25 coberturas antrópicas y naturales. Otros trabajos en el estado por amplia biodiversidad generalizan las coberturas naturales. Rullán-Silva et al. (2011) en su análisis trabaja en un área de 428.003,00 ha en donde ubica un total de siete coberturas, de las cuales el pastizal, al igual que en los resultados de este trabajo, se ubica como la cobertura dominante. En la Reserva de la biosfera Pantanos de Centla que representa el 12% del territorio Tabasqueño Guerra y Ochoa (2005) reportan cinco coberturas naturales y una antrópica que correspondía a los cultivos y potreros.

En estos trabajos los cultivos y plantaciones no son especificados, debido a que se engloban en una sola categoría o no se contemplan. Sin embargo, el año 2004 Ramos-Reyes et al. (2004) registra en la región Chontalpa un total de nueve cultivos, de los cuales cuatro son de tipo perenne (Cacao, naranja, mango y coco), otros cuatro son semiperene (plátano, papaya, caña y huertos familiares) y uno anual (maíz). El presente trabajo maneja 10 coberturas agrícolas, coincidiendo únicamente seis coberturas de las anteriores. Este autor menciona que a pesar de que las coberturas agrícolas tienen una gran representatividad en la zona, la principal causa de la eliminación de la vegetación natural se debe al incremento del uso de suelo pecuario (pastizales).

Los trabajos anteriormente realizados en Tabasco, menciona que la cobertura dominante son los pastizales, por lo que coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo. La categoría de pastizal es la cobertura que ocupa en ambos mapas de uso de suelo más del 50% del territorio. La causa de esta dominancia en el Estado se encuentra vinculada a los programas gubernamentales y condiciones del mercado que comenzaron en los años setenta orientando la productividad de los campesinos hacia la ganadería extensiva (Isaac-Márquez et al. 2005).

Conclusión

La confección de cartografía por medio SIG es una herramienta muy útil para ubicar los procesos de cambios de uso de suelo. Este proceso facilitó el desarrollo de mapas temáticos en donde se pudo distinguir las coberturas más

representativas en el estado. El uso de las imágenes satelitales de tipo Landsat ayudó a obtener mapas con una calidad considerablemente buena. Las características de estas imágenes hicieron posible trabajar a nivel de paisaje e identificar las coberturas con mayor representatividad, incluyendo las zonas de cultivos y plantaciones.

En cuanto a la exactitud de los mapas obtenidos, se obtuvieron resultados aceptables a pesar de los problemas vinculados con el hecho de trabajar con imágenes multitemporales. Por lo que se pudo obtener que existe una gran dinámica de las coberturas naturales como las antrópicas. Una de las generalidades que se puede distinguir es la pérdida de la vegetación natural. Las coberturas de selva son las que principalmente se ven afectadas ya que se ve la reducción tanto de su cobertura como el porcentaje de ocupación. Por el contrario, coberturas como el manglar y la plantación de caña, muestran una integración dentro del paisaje por lo que existe una reducción en su número de parches, pero un incremento en su superficie.

Referencias

- Administración de Parques Nacionales (ANP), y Sistema de Información De Biodiversidad (SIB). 2005. "Protocolo para el preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales".
- Aguilera, Francisco. 2010. "Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada". *Anales de geografía* 30 (2): 9–29.
- Aide, T. Mitchell, Matthew L. Clark, H. Ricardo Grau, David López-Carr, Marc A. Levy, Daniel Redo, Martha Bonilla-Moheno, George Riner, María J. Andrade-Núñez, y María Muñiz. 2013. "Deforestation and reforestation of latin America and the Caribbean (2001-2010)". *Biotropica* 45 (2): 262–71. doi:10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x.
- Anderson, James R., Ernest E. Hardy, John T. Roach, y Richard E. Witmer. 1976. "A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data". USGS Professional Paper 964. Washinton, D.C.
- Berlanga, Robles C., Campos R. García, Blanco J. López, y Luna A. Ruiz. 2010. "Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000) Land use and land cover change patterns in the north coast region of Nayarit (1973-2000)". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 72: 7–22.
- Boca, Teresa, y Gabriel Rodríguez. 2012. "Métodos Estadísticos De La Evaluación De La exactitud De Productos Derivados De Sensores Remotos". Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar.
- Brizuela, Armando, César Aguirre, y Inés Velasco. 2007. "Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal". En TELEDECCION, 207–14. Madrid, España. <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg27.pdf>.
- Bueno, Joaquín, Fernando Álvarez, y Silvia Santiago. 2005. Biodiversidad del estado de Tabasco. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Burgos, A., y M. Maass. 2004. "Vegetation change associated with land-use in tropical dry forest areas of Western Mexico". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104 (3): 475–81. doi:10.1016/j.agee.2004.01.038.
- Camacho-Sanabria, Jose Manuel, Jose Isabel Juan Perez, Noel Bonfilio Pineda Jaimes, Edel Gilberto Cadena Vargas, Luis Carlos Bravo Pena, y Marcela Sanchez Lopez. 2015. "Coverage/land use changes in a portion of the Mountainous Mexican Transition Zone". *Madera Y Bosques* 21 (1): 93–112.
- Carmona-Islas, Cynthia, Javier Bello-Pineda, Roberto Carmona, y Enriqueta Velarde. 2013. "Modelo espacial para la detección de sitios potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias en el noroeste de México". *Científica_ HUITZIL* 14 (1): 22–42. www.huitzil.net.
- Chander, G., y B. Markham. 2003. "Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41 (11): 2674–77. doi:10.1109/TGRS.2003.818464.
- Chuvieco, Emilio. 2002. *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Congalton, Russell G. 1991. "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". *Remote Sensing of Environment* 37 (1): 35–46. doi:10.1016/0034-4257(91)90048-B.
- Cuartero, A, y A.M Felicísimo. 2003. "Rectificación y Ortorrectificación de Imágenes de

- Satélites: Análisis Comparativo y Discusion". *Geofocus* 3: 45–57.
- Eastman, J. Ronald. 2016. "TerraSet Manual. Geospatial Monitoring and Modeling System".
- Galindo, Alcántara Adalberto, Campillo Lilia María Gama, Meza Miguel Angel Salcedo, Acosta Silva del Carmen Ruiz, Hernández Adriana Morales, Silva Cristóbal Rullan, Larios Carolina Zequeira, et al. 2006. "Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco". Villahermosa, Tabasco.
- García-Morales, Rodrigo, Elías José Gordillo-Chávez, Juan De Dios Valdez-Leal, y Coral Jazvel Pacheco-Figueroa. 2014. "Las áreas naturales protegidas y su papel en la conservación de los murciélagos del estado de Tabasco, México". *Therya* 5 (3): 725–36. doi:10.12933/therya-14-217.
- Guerra, Verónica, y Susana Ochoa. 2005. "Identificación y variación de la vegetación y uso del suelo en la Reserva Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000) mediante sensores remotos y sistemas de información geográfica". *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable* 1: 325–46.
- Hyman, Glenn, Valentina Robiglio, Douglas White, Sandra Velarde, y Meine van Noordwijk. 2011. "Capítulo 4. Uso la tierra suelo y cambio en el uso de la tierra". En *Estimación de los Costos de Oportunidad Versión 1.4 Agosto 2011 i de los Costos de Oportunidad de REDD+ Manual de capacitación de los Costos de Oportunidad de REDD+ Manual de capacitación*, 4–38.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. "Guía para la interpretación de cartografía: Uso de suelo y vegetación Escala 1:250 000 Serie V". México.
- Isaac-Márquez, R., B de Jong, A. Eastmond, S Ochoa-Gaona, S Hernández, y MD Kantún. 2005. "Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el oriente de Tabasco, México". *Universidad y Ciencia* 21 (42): 57–73.
- Keenan, Rodney J., Gregory A. Reams, Frédéric Achard, Joberto V. de Freitas, Alan Grainger, y Erik Lindquist. 2015. "Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015". *Forest Ecology and Management* 352. Elsevier B.V.: 9–20. doi:10.1016/j.foreco.2015.06.014.
- Khan, Rubia, y D C Jhariya. 2016. "Land use land cover change detection using remote sensing and geographic information system in raipur municipal corporation Area , Chhattisgarh". *Scientific Society of Advanced Research and Social Change SSARSC International Journal of Geo Science and Geo Informatics* 3 (1): 1–4.
- Loya-Carrillo, J.O., S.a. Aguilar-Estrada, L.C. Bravo-Peña, y E. Sánchez-Flores. 2013. "Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales , México y Arizona , Estados Unidos , durante el periodo 1995-2010 ." *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 9 (1): 124–40.
- Morales- Hernández, Julio Cesar, Fátima Maciel Carrillo-Gonzales, Luis Manuel Farfán-Molina, y Víctor Manuel Cornejo-López. 2016. "Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México". *Caldasia* 38 (1): 17–29. doi:10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57709.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2014. *Learning and Teaching about Earth from Space with NASA / USGS Landsat Satellites*.
- Nolasco, M., E. Wellington, y M. Bocco. 2016. "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 (2012): 017–021.
- Pacheco Figueroa, Coral Jazvel. 2014. "Medición del estado de conservación de los humedales de la planicie, Tabasqueña". Tesis de doctorado en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales, Universidad Juárez Autónoma De Tabasco.

- Paegelow, Martin, y Maria Camacho-Olmedo. 2010. "Modelos de simulacion espacio-temporal y teledeteccion: el método de la segmentacion para la cartografia cronologica de usos del suelo". Serie Geográfica 16 (16): 19–34. [https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01063980/%5Cnfiles/729/Modelos de simulacion espacio-temporal y teledeteccion.pdf%5Cnhttps://onedrive.live.com/edit.aspx/Documents2/Doctorado?cid=14f67dacc40b137&id=documents?&wd=target\(Papers/Serie geográfi.](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01063980/%5Cnfiles/729/Modelos%20de%20simulacion%20espacio-temporal%20y%20teledeteccion.pdf%5Cnhttps://onedrive.live.com/edit.aspx/Documents2/Doctorado?cid=14f67dacc40b137&id=documents?&wd=target(Papers/Serie%20geogr%C3%A1fica)
- Polanco, J. 2012. "Remote Sensing Analysis of Belmira ' S Paramo Vegetation With Landsat Imagery". *Dyna* 79 (171): 1–11.
- Ramirez, I., y R. Zubieta. 2005. "Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca." Mexico, D.F.
- Ramos-Reyes, Rodimiro, David Palma-Lopez, Carlos Ortiz-Solorio, Carlos Ortiz-Garcia, y Gabriel Díaz-Padilla. 2004. "Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera". *Terra Latinoamericana* 22 (3): 278.
- Richard, J U. 2015. "Object-oriented classification using aerial photograph and spot image of eagle island port Harcourt, Riveris State, Nigeria". *Internal journal of advance research (IJOAR)* 3 (12): 11–23.
- Romero-Berny, Emilio I, Joanna Acosta-Velázquez, Cristian Tovilla-Hernández, Birgit Schomook, y Rocio Gomez-Ortega. 2015. "Cambios en coberturas y fragmentación de manglar en la region del soconusco, Chiapas, México, 1994-2011". *Revista Geográfica de América Central*, 153–69.
- Rullán-Silva, CD, LM Gama-Campillo, A Galindo-Alcántara, y AE Olthoff. 2011. "Clasificación No Supervisada De La Cobertura De Suelo De La Región Sierra De Tabasco Mediante Imágenes Landsat Etm+". *Universidad y Ciencia* 27 (1): 33–41. <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=15419871003>.
- Salinas, Laura Cano, Rodrigo Rodríguez Laguna, José René, Valdez Lazalde, Rosa Icela, Beltrán Hernández, César Abelardo, González Ramírez, Otilio Arturo, y Acevedo Sandoval. 2016. "Perspectiva del diseño cartográfico para estudios de uso del suelo y ordenamiento territorial: una revisión internacional , técnica y normativa". *Tierra Latinoamericana* 34 (4): 409–17.
- Secretaria de Medio Ambiente y recursos Naturales (SERMARNAT). 2015. Inventario Estatal Forestal y de Suelos-Tabasco 2013. Editado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comision Nacional Forestal.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesqueria (SIAP). 2017. "Datos Abiertos". <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- Toro Espín, Nicolas Del, Francisco Gomariz-Castillo, Fulgencio Cánovas-García, y Francisco Alonso-Sarría. 2015. "Comparación de métodos de clasificación de imagenes de satelites en la cuenca río Argos (Región de Murcia)". *Boletin de la Asociación de Geógrafos españoles*, núm. 67: 327–48.
- Torres-Gómez, Marcela, Luisa E. Delgado, Víctor H. Marín, y Ramiro O. Bustamante. 2009. "Estructura del paisaje a lo largo de gradientes urbano-rurales en la cuenca del río aiséen (región de Aiséen, Chile)". *Revista Chilena de Historia Natural* 82 (1): 73–82. doi:10.4067/S0716-078X2009000100005.
- Trejo, I, y Rodolfo Dirzo. 2000. "Deforestation of seasonally dry tropical forest a national and local analysis in Mexico". *Biological Conservation* 94 (2): 133–42. doi:10.1016/S0006-3207(99)00188-3.
- Tudela, F. 1990. Recursos naturales y sociedad en el trópico húmedo tabasqueño. Medio ambiente y desarrollo en México.
- Valdez-Leal, Juan de Dios. 2016. "Propuesta para el establecimiento de corredores biológicos en el estado de Tabasco". Tesis de doctorado en Ecología y Manejo de

- Sistemas Tropicales, Universidad Juárez autónoma de Tabasco.
- Vecchio, Lo A, M G Lenzano, S. Richiano, y L E Lenzano. 2016. "Lithologic identification and characterization using ETM+ (Landsat 7). Study case of the Upsala glacier basin, Argentine". *Revista de teledeteccion* 2016 (46): 57–72. doi:10.4995/raet.2016.4482.
- Wang, Guangxing, y Qihao Weng. 2013. Remote sensing of natural resources. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=TZoAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=G+Wang+%26+Q+Weng+2013+Remote+sensing+of+natural+resources&ots=n0DG8w6kip&sig=tG8VY_dcPvhmotZxYdDDYxgwzjc.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Anexo 1. Orientación autores Cuadernos de geografía: Revista Colombiana de Geografía.

Cuadernos de geografía

Revista Colombiana de Geografía

español

248 Orientaciones para autores

Orientaciones para autores

Propósito y alcance

Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía es una revista académica arbitrada, de periodicidad semestral desde el 2011, y editada desde 1979 por el Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia; su propósito es la difusión de la producción científica en el campo de la geografía a nivel nacional e internacional. Dirigida primordialmente a las comunidades académicas e investigativas de geógrafos, recibe y publica (en español, inglés y portugués) artículos originales e inéditos derivados de investigaciones; artículos de reflexión analítica, interpretativa y crítica; artículos de revisión; y reseñas bibliográficas.

Dado su carácter semestral y la recepción permanente de contribuciones, los artículos recibidos son consolidados cada trimestre (I trimestre: 31 de marzo, II trimestre: 30 de junio, III trimestre: 30 de septiembre, y IV trimestre: 20 de diciembre), momento en el cual se convoca a la comunidad para la presentación de propuestas para la revista.

El Comité Editorial y sus políticas se orientan a la divulgación de una amplia diversidad de contenidos en el campo de la geografía, dando cabida a las diferentes variantes de la geografía humana (económica, política, urbana, cultural, histórica), la geografía física (climatología, geomorfología e hidrología), la geografía ambiental (riesgos, desastres, desarrollo sostenible, sustentabilidad y análisis de paisaje) y las aplicaciones y desarrollos en tecnologías de la información geográfica (sensores remotos, sistemas de información geográfica —SIG— y cartografía). Igualmente, la revista promueve su libre consulta a través del Open Journal System (OJS), disponible en www.cuadernosdegeografia.unal.edu.co.

La postulación y envío de productos científicos debe dirigirse a *Cuadernos de Geografía* a través del sistema OJS. Este sistema brinda la posibilidad de rastrear los diferentes procesos realizados con los artículos postulados. Los potenciales autores pueden postular también su producción vía correo electrónico,

a la dirección de la revista rcgeogra_fchb@unal.edu.co, con una carta firmada por el(los) autor(es) de "Declaración de Originalidad y Aceptación de Consideraciones Éticas" dirigida al editor, que incluya los datos de contacto del(los) autor(es), formato que puede ser descargado por el sistema OJS de la revista. Todo artículo o escrito postulado a la revista debe corresponder a un trabajo inédito y original, que no haya sido remitido simultáneamente a otra publicación, y que cumpla con las especificaciones descritas en el apartado "Características formales de los artículos".

Cuadernos de Geografía no enviará a arbitraje artículos que hayan sido publicados previamente en físico o en páginas web. La revista pedirá las aclaraciones correspondientes cuando se trate de la publicación de memorias de eventos científicos. Sin embargo, si la publicación en cuestión tiene asignado ISBN, el artículo no será considerado.

Declaración de ética y buenas prácticas

Ante la postulación de todo artículo a *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, el(los) autor(es) debe previamente haber consultado y acogerse a las "Consideraciones Éticas" manejadas por la publicación, las cuales se encuentran explícitas en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/about/editorialPolicies#custom-1>:

1. Todo artículo o escrito postulado a *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* debe corresponder a un trabajo inédito y original, que no haya sido remitido o postulado simultáneamente a otra publicación científica nacional o internacional.
2. Con la postulación del artículo, el (los) autor(es) declaran que han leído y aceptado las Directrices para autores (<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/about/submissions#authorGuidelines>) y las Consideraciones Éticas de la revista.
3. Los escritos que previamente hayan sido publicados en otro idioma no serán considerados como artículos, sino como traducciones y serán publicados en la revista

en un apartado bajo el nombre de "Traducciones". En tal caso, solo serán publicadas estas traducciones siempre y cuando: a) el autor cuente y presente una autorización expresa de la revista en la que se ha hecho la publicación inicial del documento, y b) si el editor de *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* considera relevante la difusión del artículo en otro idioma. En caso de que un autor desee postular una traducción, debe hacer clara referencia de la publicación original (junto con la URL) en el documento "Declaración de Originalidad y Aceptación de Consideraciones Éticas", apartado "Observaciones por parte del(los) autor(es)", para poner en conocimiento del editor de la revista.

4. El escrito que previamente haya sido presentado total o parcialmente en un evento científico (congreso, ciclo, seminario, etc.), puede ser publicados en *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* solamente, si no está incluido en las memorias o similares del evento en cuestión.

Para los documentos que han sido presentados en eventos científicos y se encuentran divulgados en actas, memorias o similares que no cuentan con ISBN y son postulados a *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, serán considerados por la revista para realizar el proceso de revisión y evaluación; sin embargo, una vez sea aceptado el documento para su publicación en la revista, este debe ser retirado inmediatamente de páginas web, blog, repositorios institucionales o similares donde se ha difundido previamente. Esta misma consideración aplica para documentos alojados en blogs o en páginas web administradas o coordinadas por el autor del documento. En el documento "Declaración de Originalidad y Aceptación de Consideraciones Éticas", apartado "Observaciones por parte del(los) autor(es)", debe hacerse referencia expresa a los medios previos en los que se ha difundido el documento para conocimiento del editor y se debe incluir una nota aclaratoria con los datos del evento científico en el que se ha presentado.

6. Dentro de los artículos, el uso de fotografías que incluyan rostros de personas adultas y niños, solo será permitido, siempre y cuando el(los) autor(es) cuenten con una autorización por escrito de las personas que aparecen en las fotografías, estas para que su imagen sea difundida por los diferentes medios usados por *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*.

Arbitraje

Todos los artículos enviados a *Cuadernos de Geografía* son inicialmente revisados por el equipo editorial, que da un concepto sobre su pertinencia, calidad y cumplimiento de las normas generales de presentación. Superada esta etapa, los documentos son sometidos a arbitraje (evaluación doblemente ciega, en la que se reserva el nombre del autor y de los árbitros asignados al proceso) por dos o más pares especializados en el campo de la geografía y disciplinas afines, tanto nacionales como internacionales. El concepto de los pares tiene tres posibilidades: aceptado, sujeto a revisión y reevaluación o rechazado. Para que un artículo sea incluido para publicación en la Revista, requiere de dos conceptos de aceptación. El Comité Editorial solamente enviará el texto a una tercera evaluación (o reevaluación) cuando este tenga un concepto de aceptado y otro de revisar y reevaluar. Obtenidos los resultados del arbitraje, el equipo editorial informará al autor la decisión tomada por el Comité Editorial y el proceso a seguir según el resultado.

El tiempo destinado para la revisión de los artículos postulados es de máximo seis (6) meses. Sin embargo, este lapso de tiempo puede verse alterado de acuerdo a la disponibilidad de los árbitros y otros aspectos que pueden alargar o reducir el tratamiento de cada artículo. Para el caso de las reseñas, estas serán revisadas y evaluadas internamente por miembros del Comité editorial. El resultado de la evaluación será remitido al autor para los ajustes a que haya lugar.

Los miembros de los Comités Editorial y Científico pueden postular artículos de su autoría para la publicación, pero su evaluación será asignada a pares externos a los comités. En todo caso, el espacio para publicación por miembros de los comités estará restringido a un producto por cada número.

Derechos de publicación

Todo artículo y documento publicado en la Revista están regidos por los términos de la licencia **Creative Commons (reconocimiento, no comercial y sin obras derivadas)**¹. Se entiende que la revista se reserva los derechos de reproducción, publicación y distribución de los artículos en cualquier medio impreso o digital que permita el acceso público a ella.

Igualmente, cuando un artículo es aceptado para su publicación en la revista, los autores deben aceptar y

¹ Para ampliar información al respecto, puede consultarse <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

firmar la licencia de autorización para difusión de publicaciones. La publicación de los artículos y resenas no tiene ninguna remuneración por parte de la Revista, por lo que el autor renuncia a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución y cualquier otro uso que se haga en los términos señalados en la licencia.

Características formales de los artículos

Normas generales para artículos

De acuerdo con la tipología de artículos reglamentada por Colciencias, los artículos de investigación científica, de reflexión o de revisión que aparezcan en la revista deben contemplar una organización básica según sea el caso:

- Artículo de investigación: es un documento que presenta de manera detallada resultados originales de proyectos investigativos terminados. Generalmente están organizados así: título, resumen, palabras clave, introducción (donde se menciona la finalidad del artículo), metodología, resultados, conclusiones y lista de referencias.
- Artículo de reflexión: es un documento que presenta los resultados de una investigación sobre un tema específico desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, que recurre a las fuentes originales para su desarrollo. Generalmente están organizados así: título, resumen, palabras clave, introducción (donde se indica la temática abordada), exposición de la temática, perspectiva crítica del autor frente al tema, conclusiones y lista de referencias.
- Artículo de revisión: es un documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran resultados de investigaciones publicadas, o no, sobre un campo o tecnología, con el objeto de divulgar los avances y las tendencias del desarrollo. Su organización es parecida a la anterior tipología, diferenciándose de ella por una cuidadosa revisión bibliográfica del tema de por lo menos cincuenta referencias.

Estructura

La página de presentación del documento debe contener el nombre "de pluma" del autor (nombre con el que acostumbra a firmar sus producciones académicas), su filiación institucional, tipo de artículo (de acuerdo a los tipos particulares indicados anteriormente), dirección postal y correo electrónico institucional. Cuando el artículo es resultado de alguna investigación o proyecto, se

debe especificar el nombre y el número de este, así como los datos de la institución que lo financió.

La extensión límite de los artículos recibidos es de 38 páginas o 12.000 palabras sin incluir la lista de referencias. Cualquier tipo de texto propuesto para publicación se debe dirigir y enviar al editor en archivo digital (en formato estándar: .rtf, .doc, .docx, .odt), en tamaño carta, con todas las márgenes de 2,54 cm (una pulgada), texto a doble espacio y letra Arial de 12 puntos, junto con una impresión física o digital (PDF) del documento completo, en la que se incorporen las figuras y cuadros.

Para las resenas, su extensión límite es de 6 páginas o 2.000 palabras, sin incluir la lista de referencias y debe cumplir con la estructura de presentación establecida para los artículos.

Resumen y datos de contacto

Es muy importante que todos los artículos incluyan título, resumen y cinco palabras clave en español, inglés y portugués. Para la adecuada selección de las palabras clave correspondientes al artículo, se recomienda a los autores utilizar el sistema Thesaurus². El resumen debe ser un texto claro, completo y conciso que abarque los objetivos, la metodología y los principales aportes del documento, sin referencias bibliográficas ni notas a pie de página, escrito en máximo 120 palabras. Anexo a esta información básica, se solicita incluir datos de contacto del autor (teléfono, correo electrónico institucional y dirección postal); y una breve reseña del perfil académico y profesional.

Formato de figuras y tablas

Las figuras (mapas, gráficas y fotografías) se deben enviar en una carpeta aparte en formato de JPG, TIFF, GIF o XLSX, con una resolución mínima de 500 dpi (o superior a esta resolución de acuerdo al tamaño de la figura). En el caso de los mapas, es indispensable que estos sean enviados en archivos vectoriales independientes (formatos CDR-Corel Draw, DWG, DXF, SVG, AI, EPS). Este tipo de formatos permiten que los diferentes elementos que conforman la cartografía puedan ser editados según la pauta editorial de la Revista.

Las figuras elaboradas a mano se deben dibujar con tinta y en papel pergamino. Es fundamental que todas las figuras sean completamente legibles en sus diferentes componentes (incluso la topología), por ello, si bien es

² Para ampliar información al respecto, puede consultarse: <http://www.visualthesaurus.com/>

desable que las figuras se ajusten en tamaño y escala al formato de la revista (21,59 cm x 25 cm), dependiendo del producto podrán ser publicados mapas en formato mayor para respetar la relación de escala.

Las figuras y tablas presentes en un texto se presumen de autoría de quien suscribe el documento. En ellas se debe anotar el origen de los datos a partir de los cuales fue elaborada. La reproducción de figuras no originales, es decir, tomadas de alguna fuente, está sujeta a las condiciones que establezca el detentor de los derechos de autor, proceso que está a cargo del autor del artículo. Para toda figura o tabla reproducida o modificada se debe señalar con detalle la fuente de donde fue tomada, inmediatamente después del título de la figura. La Revista recomienda no usar la autoreferenciación (por ejemplo, elaborada por el autor).

Como ejemplos de lo anterior se encuentran:

1. Para el caso de una figura o tabla elaborada para el artículo por el autor:
Figura x. Desplazamiento forzado en Colombia 1990-2010.
Datos: Codhes 2005.
2. Para el caso de una reproducción:
Figura x. La propuesta de Centro Cívico de Le Corbusier para Bogotá, 1951.
Fuente: Le Corbusier 1951, p. 24 o Modificado de Le Corbusier 1951, p. 24.
3. Para fotografías convencionales:
Figura x. Areats inundadas por desbordes del río Bogotá.
Fotografía del autor, noviembre 2011.
Figura x. Panorámica del centro de Bogotá en 1960.
Fuente: Fotografía de Saúl Orduz, Fondo Saúl Orduz, Museo de Bogotá, Mdb 26983.jpg.
4. Para imágenes de satélite:
Figura x. Piedemonte amazónico colombiano.
Fuente: Landsat 7, composición RGB 321, diciembre 2009.
5. Para cartografía derivada de la interpretación de fotografías aéreas:
Figura x. Piedemonte amazónico colombiano.
Fotointerpretación, vuelo C-3345, N.º 5, enero 2008.

Todas las figuras deben mencionarse en el cuerpo del texto, titularse en la parte inferior izquierda y numerarse consecutivamente. También las tablas deben ser citadas y numeradas, pero tituladas en la parte superior central.

Sistema de citas y referencias bibliográficas

Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía utiliza el sistema de citas y referencias del *Manual de Estilo de la Universidad de Chicago*³. En este sistema, las referencias se hacen en el texto utilizando el apellido del autor y el año de publicación entre paréntesis. Las citas de un autor en un mismo año se ordenan alfabéticamente adicionando una letra al año de la publicación. Cuando la cita es textual, se incluye el número de página.

Ejemplos:

- (Wong 1998)
- (Castells 1996a; Castells 1996b)
- (Wong 1998, 4)
- Wong (1998, 4) argumenta que...

Las notas a pie de página son utilizadas para aclaraciones del contenido, más no para referencias bibliográficas.

Para citar un informe o trabajo de una institución se usa el nombre de la entidad que produjo o patrocinó el informe.

La lista de referencias bibliográficas se elabora en orden alfabético (A-Z), según los ejemplos siguientes:

- Libro:
Knox, Paul L. 2010. *Cities and Design*. New York, NY: Routledge.
- Capítulo en un libro:
Sánchez, Adolfo. 2002. "Importancia del sistema de ciudades de la región Centro de México". En *Actualidad de la investigación regional en el México central*, eds. Javier Delgado Macías y Alfonso Iracheta, 93-108. México: Plaza y Valdéz.
- Artículo de revista:
Gunder, Michael. 2010. "Planning as the Ideology of (Neoliberal) Space". *Planning Theory* 9 (4): 298-314. DOI: 10.1177/1473095210368878.

³ Para ampliar información al respecto, puede consultarse http://www.chicomanualofstyle.org/tools_citationguide.html

- Tesis:
Duque Franco, Isabel. 2008. "La renovación urbana en Bogotá, entre el modelo de planeamiento global y la dinámica local. Planeamiento urbano en Bogotá 1994-2007". Tesis de doctorado en Geografía Humana. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Citas de Internet:
Caribbean Tourism Organization. 2010. Latest Tourism Statistics. Onecaribbean 2008. <http://www.onecaribbean.org/statistics/tourismstats/> (consultado en diciembre del 2010).

Se recomienda a los autores utilizar un sistema de referenciación automática como Endnote o Mendeley y remitir los respectivos archivos de la lista de referencias con el artículo.

Para citar artículos publicados en la revista utilice el título completo así:

Zubelzu Mínguez, Sergio y Fernando Allende Álvarez. 2015. "El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 24 (1): 29-42. DOI: doi.org/10.15446/rcdg.v24n1.41369

En caso de requerir el empleo del título abreviado siga el ejemplo siguiente:

Delgado Martínez, Aida Mercedes, y Freddy Pantoja Timarán. 2016. "Valoración del paisaje en una propuesta de turismo sostenible: la 'Ruta del Oro', Nariño (Colombia)". *Cuad. geog. rev. colomb. geogr.* 25 (1): 233-253. DOI: doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.50157.

CAPÍTULO III. Descripción de la cobertura y cambio de uso de suelo del estado de Tabasco.

Introducción

Las transformaciones de las coberturas naturales en consecuencia de factores antrópicos incrementan el deterioro ambiental. Este proceso de conversión se presenta con mayor magnitud en zonas con clima tropical (FAO y JRC 2012) y son provocadas por actividades humanas, las cuales en los últimos tres siglos han causado grandes transformaciones en el paisaje (Ruiz, Savé, y Herrera 2013; Dávila et al. 2016) perturbando las funciones de los ecosistemas (Tepox et al. 2016). Tan solo para los años 80' y 90's del siglo pasado a nivel mundial se desplazaron más del 55% de los bosques intactos y 28% de bosques perturbados por actividades agrícolas, de cultivo, tala, recolección de maderas, combustibles, entre otras formas de degradación gradual (Gibbs et al. 2010).

En Tabasco las transformaciones aceleradas de los ecosistemas han provocado la degradación de gran parte de la vegetación natural. Modificando el paisaje, dando lugar a un mosaico constituido por pequeños y escasos fragmentos de vegetación natural rodeados de extensiones de campos ganaderos y agrícolas (Hidalgo et al. 2016). Las principales actividades que originan estos cambios en el estado son los procedimientos de preparación de la tierra para cultivos y el establecimiento de campos permanentes de pastura (Magaña 2010).

A pesar de este problema, existen pocos trabajos en el Estado que ponga en evidencia cuál es la dinámica de cambio. Por lo que se fijó como objetivo analizar la transformación del paisaje en las principales coberturas naturales y antrópicas de Tabasco, utilizando un análisis multitemporal para determinar su efecto en la conectividad. Los resultados de este trabajo contribuirán al conocimiento general del cambio de uso de suelo en el país y fungirá como apoyo en futuras investigaciones.

Metodología

Las capas de uso de suelo y vegetación del año 2003 (t1) y 2016 (t2) se sometieron a un análisis de cambio de uso de suelo por medio del módulo “Land Change Modeler” en el programa TerrSet® con el fin de ubicar las transiciones dominantes. Los cambios entre coberturas se estimaron por medio de una tabla cruzada (tabla bidimensional) o matriz de cambio y el índice de concordancia de Kappa (KIA) y por último se realizó por clase análisis de los procesos de transformación y conectividad.

Área de estudio e insumos cartográficos

Para la elaboración del análisis de cambio de uso de suelo se utilizaron los mapas temáticos del estado de Tabasco elaborados en el capítulo II. Estos mapas tienen una superficie territorial de 2´471,870.43 ha y se componen por un total de 25 categorías de uso de suelo y vegetación (Tabla 1), la descripción de cada una se ubica en las Tablas 2 y 3 del capítulo II. Debido a las especificaciones del programa TerrSet® en donde se llevo a cabo este análisis, se verifico que los fondos de ambos mapas presentaran un valor de 0 y existiera similitud en sus dimensiones espaciales y numero de categorías (Eastman 2012).

Tabla 1. Coberturas naturales y antrópicas en el Estado de Tabasco, México.

Tipo de coberturas	Coberturas
Naturales	Tintal y bosque de galería, selva baja, selva mediana, selva alta, acahual, manglar, vegetación hidrófita flotante, popal-tular, dunas costeras, cuerpos de agua y tasistal.
Antrópicas	Pastizal, cultivos, cultivos de palma, plantación de coco, plantación de plátano, plantación de hule, plantación de cacao, plantación de eucalipto, plantación de cítricos, plantación de caña, plantación de piña, asentamientos humanos, infraestructura petrolera y sin vegetación.

Análisis de cambio de uso de suelo

Matriz de cambio

El porcentaje de cambios se estimó con herramienta “CROSSTAB” o Tabla cruzada en el programa TerrSet®. En la matriz (Tabla 2) las columnas muestran la proporción (área) de las categorías del primer tiempo (t1) y en las filas la

proporción (superficie) del segundo tiempo (t_2). En la fila diagonal principal se indican las zonas que presentan estabilidad o persistencia (P_{ij}) por categoría o bien la proporción que se conservó entre ambos tiempos (P_{ij}) (Vidal Sierra 2013).

En esta matriz se considera como pérdida a la diferencia existente entre la fila del tiempo 1 y la persistencia ($L_{ij}=P_{j+} - P_{ij}$) mientras que las ganancias es la diferencia entre la columna del total de tiempo 2 y la persistencia ($G_{ij}= P_{+j}-P_{ij}$) (Pontius, Shusas, y McEachern 2004; Pineda et al. 2009).

Tabla 2. Matriz de pérdida.

	Tiempo 2 Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total, tiempo 1	Perdidas
Tiempo 1 Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
Total, de tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente Pontius, Shusas, y McEachern (2004)

Determinación de transiciones

El mapa de cambios por categoría se obtuvo por medio del módulo "LAND CHANGE MODELER" el cual es una herramienta que permite determinar de una manera rápida la reconversión entre coberturas y la modelación de escenarios futuros (Eastman 2012). Para este proceso se utilizó el panel "CHANGE MAPS" el cual tiene la capacidad de elaborar mapas de cambio, en donde se obtienen cada una de las transiciones entre coberturas. Se descartaron todos los cambios menores de 300 ha ya que se consideraron poco significativos (Vidal Sierra 2013).

Índice de concordancia de Kappa (KIA)

Tomando como insumo los datos obtenidos de la tabulación cruzada o "Cross Tab" se realizó el análisis de índice de concordancia Kappa (KIA). Este índice maneja un intervalo de -0.1 a 1.0 sin embargo se acorta a valores que van de 0 a

1 debido a la existencia de una correlación mínima que se produce al azar entre los datos clasificados y de referencia, produciendo que los valores de K esperados resulten positivos (Berlanga et al. 2010). Cuando los valores sean aproximados a uno quiere decir que entre las coberturas no se presentaron cambios y cuando el valor resultante es cercano a cero significa que los cambios son altamente significativos (Vidal Sierra 2013).

Tasa de cambio

Para calcular la tasa de cambio por cobertura se utilizó la fórmula recomendada por "Food and Agriculture Organization of the United Nations" (FAO 1996) en donde:

$$S_n = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde

- S_n Tasa de cambio
- S₁ Superficie (cobertura/ uso de suelo) en la fecha 1
- S₂ Superficie (cobertura/ uso de suelo) en la fecha 2
- n Número de años transcurridos entre las dos fechas

Transformación del paisaje

El proceso de transformación de cada cobertura se estimó en el programa TerrSet® en el panel "LANDSCAPE CHANGE PROCESS ANALYSIS" ubicado en el módulo "HABITAT AND BIODIVERSITY MODELER". Para estimar los cambios del paisaje entre los dos mapas (2003 y 2016) el programa utiliza un procedimiento tipo árbol de decisión, en donde se realiza una comparación del número de parches por coberturas en los dos periodos y la modificación a nivel de área y perímetros (Eastman, 2016). Como resultado de este proceso se obtuvo un archivo en formato TXT ("textfile") en donde por categoría se indica el tipo de proceso de transformación a los que estuvieron sujetos. Para la interpretación de

estos procesos se tomaron en cuenta las definiciones de Bogaert, Ceulemans, y Salvador-Van Eysenrode (2004) (Figura 1).

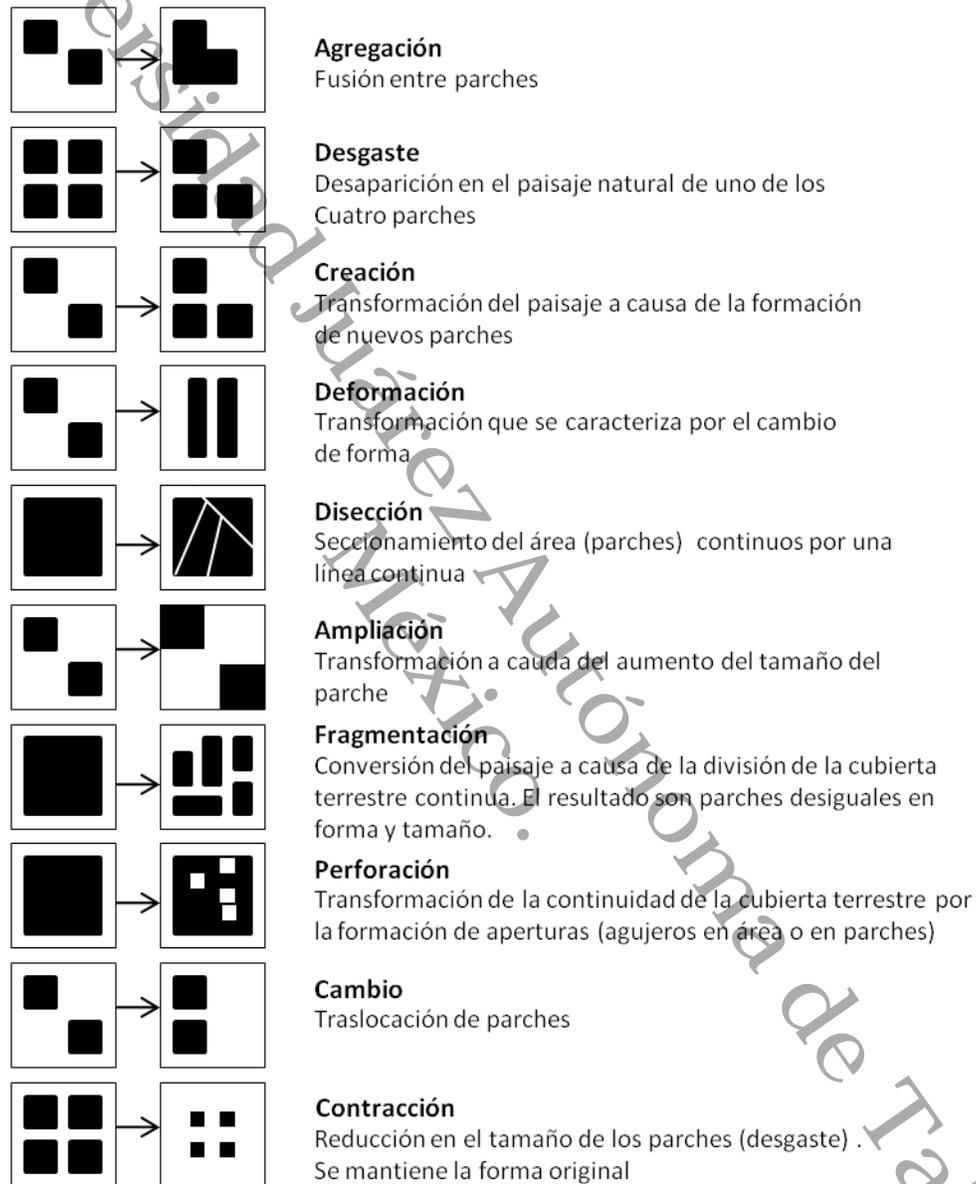


Figura 1. Procesos espaciales de transformación. Fuente Bogaert, Ceulemans, y Salvador-Van Eysenrode (2004).

Conectividad de paisaje

Para realizar la comparación de la estructura del paisaje y conectividad en los mapas del 2003 y 2016 se utilizó la metodología propuesta por (Correa, Mendoza,

y López 2014). El estudio se estableció a nivel del paisaje por medio del análisis de siete índices obtenidos del programa Fragstats 4.2.1. Estos índices pertenecen a métricas de composición como son: tamaño promedio del fragmento (MPS), porcentaje de cobertura (PLAND), densidad del fragmento (PD) e índice del fragmento más grande (LPI); las métricas para estimar la conectividad y el aislamiento fueron: cohesión (COHESION), el índice de proximidad (MPI) y conectancia (CONNECT) (Tabla 3). Esta última métrica se estima a partir de un radio de búsqueda, el cual para el presente trabajo fue establecido en 1,400 m, que están relacionados aproximadamente con el rango de dispersión promedio para *Tamandua mexicana* (Desirée Brown 2011) la cual se encuentra en la categoría de riesgo peligro de extinción en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Tabla 3. Índices del paisaje de composición, conectividad y proximidad.

Índice	Descripción	Unidad	Referencias
Porcentaje del paisaje (PLAND)	<p>Porcentaje ocupado por un tipo de cobertura en el total del paisaje. Es la métrica más elemental en el estudio de los patrones de paisaje. Los cambios del porcentaje en el tiempo dan información acerca del incremento y el decrecimiento de las áreas de cierto tipo de cobertura.</p> <p>Interpretación: PLAND se aproxima a 0 cuando el tipo de cobertura disminuye su área y se acerca a 100 cuando domina el total del paisaje.</p>	Porcentaje (%)	Turner (1990)
Tamaño Promedio del Fragmento (MPS)	<p>El tamaño promedio del fragmento (MPS) es el promedio aritmético del tamaño de cada fragmento de cierto tipo de cobertura, este índice mide qué tan dividido se encuentra un tipo de cobertura.</p> <p>Interpretación: Si el fragmento ocupa el total del paisaje, el área del paisaje será el valor máximo del MPS.</p>	Hectáreas (HA)	Forman y Gordon, (1981) Gergel y Turner (2002)
Índice de fragmento	Porcentaje que ocupa el fragmento más grande en el total del tipo de	Porcentaje (%)	Forman (1995); With y King (1999), Saura

Índice	Descripción	Unidad	Referencias
más grande (LPI)	<p>coberturas si se calcula en el nivel de clase.</p> <p>Interpretación: LPI se aproxima a 0 cuando el área de fragmento más grande de la clase correspondiente es muy pequeña y es igual a 100 cuando el total del paisaje consiste de un solo fragmento que ocupa el 100% del área del mismo.</p>		y Martínez-Millan (2001).
Densidad de Fragmentos (PD)	<p>Número de fragmentos de un tipo de cobertura en 100 hectáreas.</p> <p>Interpretación: El valor mínimo de NP ocurre cuando el total del paisaje es dominado por un solo fragmento que ocupa toda el área del mismo.</p>	Ninguna	Franklin y Forman, (1987); Saura y Martínez-Millán (2001)
Índice de proximidad media (MPI)	<p>Caracteriza el grado de aislamiento espacial de los fragmentos, tomando en cuenta todos los fragmentos más próximos que se encuentran dentro de un radio de búsqueda especificado.</p> <p>Interpretación: Rango >0, sin límites; Altos valores de proximidad indican que fragmentos vecinos, del mismo tipo de cobertura, están menos aislados, grandes y agregados. Bajos valores indican que los fragmentos se encuentran aislados y pueden tener tamaños pequeños.</p>	Ninguna	Gustafson y Parker (1994); Hargis et al. (1998)
Conectancia (CONNECT)	<p>Mide el grado de conexión física entre los fragmentos que conforman un paisaje, siendo un indicador directo de conectividad espacial. Es definido por el número de enlaces funcionales entre fragmentos del mismo tipo donde cada fragmento está conectado o no, basado en un criterio de distancia.</p> <p>Interpretación: Rango de 0 a 100; CONNECT es igual a 0 cuando la clase consiste de un solo</p>	Porcentaje (%)	McGarrigal et al. (2002); Kindlmann y Burel (2008)

Índice	Descripción	Unidad	Referencias
	fragmento o ninguno de los fragmentos está conectado, y es igual a 100 cuando todos los fragmentos de la clase están conectados.		
Índice de Cohesión (COHESION)	Mide el grado de agregación y la dominancia de las coberturas que conforman un paisaje determinado. En este sentido, es un indicador de la conectividad física de un paisaje o de un tipo de cobertura. Interpretación: Rango de 0 a 100; el valor de COHESION se incrementa a medida que la agregación y la agrupación de las coberturas aumentan.	Ninguna	Schumaker (1996); Gustafson (1998)

Fuente Correa, Mendoza, y López (2014)

Resultados

Análisis de Cambio

Se analizaron un total de 25 coberturas de origen natural y antrópico durante un periodo de trece años (2003-2016) (Tabla 16). Por medio del análisis de pérdidas y ganancias se obtuvo que las coberturas naturales que presentaron mayores pérdidas fueron el popal-tular y acahual, esta última también muestra el valor más alto de ganancia. Para el resto de las coberturas naturales el porcentaje de pérdida se ubicó por debajo del porcentaje de ganancias. En el caso de las coberturas antrópicas, el pastizal ostento porcentajes de pérdidas y ganancias semejantes. Se presentó una tendencia muy marcada de pérdida en las plantaciones de coco, plátano, cacao, eucalipto y las zonas sin vegetación. Por el contrario, el resto de las coberturas antrópicas incrementó su superficie (Tabla 4).

Tabla 4. Pérdidas y ganancias de las coberturas naturales y antrópicas del estado de Tabasco en el periodo 2003-2016.

Tipo de cobertura	Coberturas	Pérdida		Ganancia	
		(ha)	%	(ha)	%
Natural	Tintal y bosque de galería	6,322	0.26	1,330	0.05
	Selva baja	8,415	0.34	1,817	0.07
	Selva mediana	9,481	0.38	6,055	0.24
	Selva alta	42,147	1.71	11,193	0.45
	Acahual	110,010	4.45	180,771	7.31
	Manglar	6,702	0.27	9,705	0.39
	Vegetación Hidrófita flotante	9,242	0.37	9,837	0.40
	Popal-tular	92,434	3.74	35,598	1.44
	Dunas costeras	39	0.002	193	0.01
	Cuerpo de agua	30,069	1.22	18,468	0.75
	Tasistal	1,882	0.08	731	0.03
	Antrópica	Pastizal	275,862	11.16	281,885
Cultivos		26,433	1.07	26,942	1.09
Cultivo de palmas		1,483	0.06	12,491	0.51
Plantación de coco		7,504	0.30	5,648	0.23
Plantación de plátano		7,433	0.30	4,714	0.19
Plantación de hule		5,463	0.22	6,387	0.26
Plantación de cacao		30,654	1.24	26,836	1.09
Plantación de eucalipto		10,135	0.41	3,737	0.15
Plantación de cítrico		8,269	0.33	14,176	0.57
Plantación de caña		15,562	0.63	39,275	1.59
Plantación de piña		718	0.03	2,944	0.12
Asentamientos humanos		4,416	0.18	14,505	0.59
Infraestructura petrolera		115	0.005	368	0.01
Zonas sin vegetación		6,457	0.26	1,645	0.07
Total		717,247	29.02	717,251	29.02

En el análisis de persistencia se obtuvo que el 70.98% de las superficies mantuvo su cobertura original del año 2003 (Figura 2). El manglar fue la cobertura con mayor persistencia durante el periodo evaluado. Coberturas naturales como: popal-tular, dunas costeras, cuerpo de agua y tasistal, mantuvieron una persistencia entre un rango del 70% a 80%. El resto presentó una persistencia por debajo del 60%. La cobertura natural con menor persistencia fue la vegetación hidrófita flotante (10.26%) (Tabla 5).

En el caso de la vegetación antrópica las coberturas como infraestructura petrolera, pastizal y los asentamientos mantuvieron el mayor porcentaje de persistencia (88.63% y 77.79% respectivamente). El porcentaje de persistencia para las plantaciones de plátano, cacao y caña se ubicó entre el 50 a 64%. El

resto de las coberturas antrópicas mantuvo una persistencia por debajo del 50% (Tabla 5).

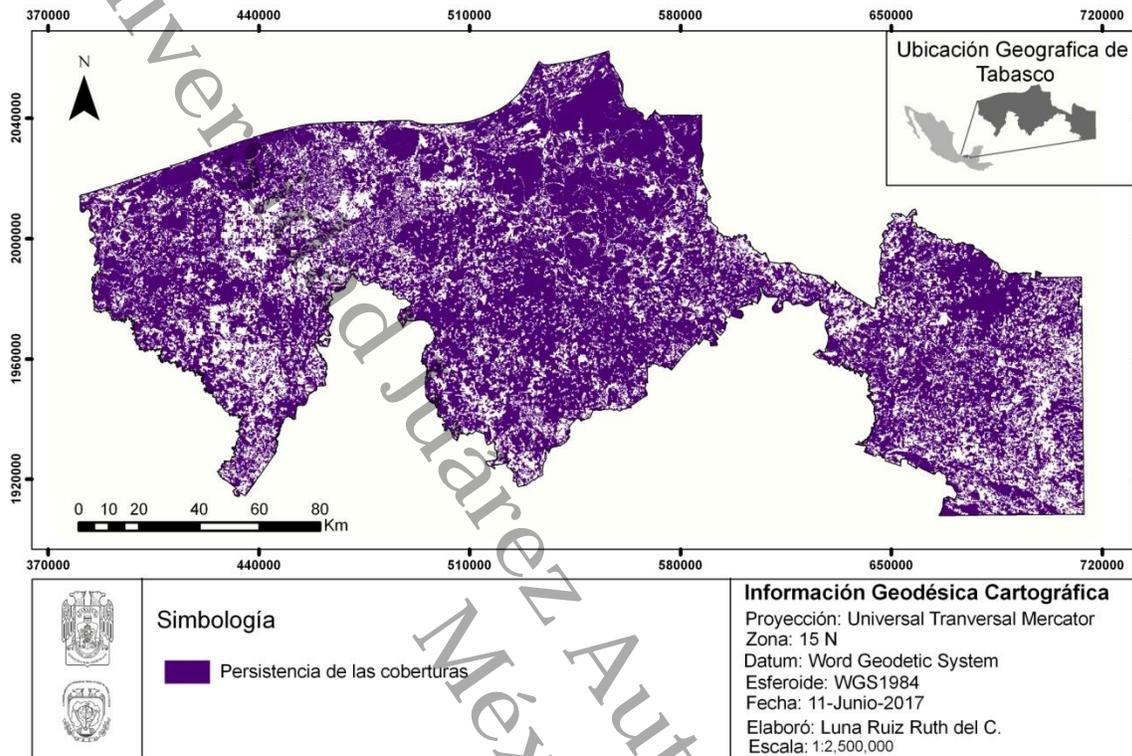


Figura 2. Mapa de persistencia.

Tabla 5. Persistencia por coberturas naturales y antrópicas.

Tipo de cobertura	Coberturas	Persistencia (ha)	Porcentaje (%)
Natural	Tintal y bosque de galería	2,627.91	29.36
	Selva baja	16,078.41	65.64
	Selva mediana	11,865.51	55.59
	Selva alta	47,689.02	53.08
	Acahual	66,709.71	37.75
	Manglar	35,820.99	84.24
	Vegetación Hidrófita flotante	1,053.63	10.23
	Popal-tular	293,915.34	76.08
	Dunas costeras	106.65	73.28
	Cuerpo de agua	113,260.14	79.02
	Tasistal	6,996.78	78.80
Antrópica	Pastizal	1,057,119.57	79.30
	Cultivos	4,278.15	13.93
	Cultivo de palmas	622.80	29.58
	Plantación de coco	5,857.20	43.84
	Plantación de plátano	8,291.34	52.73
	Plantación de hule	176.67	3.13
	Plantación de cacao	32,597.73	51.54
	Plantación de eucalipto	3,313.89	24.64
Plantación de cítrico	2,830.41	25.50	

Tipo de cobertura	Coberturas	Persistencia (ha)	Porcentaje (%)
	Plantación de caña	26,731.71	63.21
	Plantación de piña	104.85	12.74
	Asentamientos humanos	15,471.09	77.79
	Infraestructura petrolera	900.27	88.63
	Zonas sin vegetación	202.68	3.04

Concordancia y porcentaje de cambio

El índice de Kappa (KIA) global para los cambios que se presentaron entre el 2003 y 2016 fue de 80.33%, indicando una fuerza de concordancia considerable. Las coberturas que presentaron concordancias casi perfectas fueron: infraestructura petrolera (88.63%) y manglar (84.12%). Las coberturas de tipo antrópico como plantación de hule y zonas sin vegetación exhibieron los índices de KIA más bajos indicando que en estas coberturas la concordancia entre pixeles es leve (Tabla 6).

Tabla 6. Índice de concordancia de Kappa (KIA).

Tipo de cobertura	Coberturas	KIA
Natural	Tintal y bosque de galería	0.2932
	Selva baja	0.6554
	Selva mediana	0.5546
	Selva alta	0.5264
	Acahual	0.3518
	Manglar	0.8412
	Vegetación Hidrófita flotante	0.1008
	Popal-tular	0.7474
	Dunas costeras	0.7328
	Cuerpo de agua	0.7857
	Tasistal	0.7877
	Antrópica	Pastizal
Cultivos		0.1350
Cultivo de palmas		0.2943
Plantación de coco		0.4373
Plantación de plátano		0.5263
Plantación de hule		0.0303
Plantación de cacao		0.5107
Plantación de eucalipto		0.2456
Plantación de cítrico		0.2530
Plantación de caña		0.6281
Plantación de piña		0.1269
Asentamientos humanos		0.7769
Infraestructura petrolera		0.8863
Zonas sin vegetación		0.0301

La tasa de cambio anual para la vegetación natural fue de -2.27% y 1.31% para las coberturas antrópicas. En la vegetación natural el proceso de deforestación ha

afectado a los tres tipos de selvas y especialmente el tintal y bosque de galería. En las coberturas antrópicas se observa una fuerte tendencia de pérdida en las coberturas de zonas sin vegetación y la plantación de eucalipto y manera más leve en las plantaciones de coco plátano y cacao. Los cultivos y plantaciones restantes, así como en los asentamientos humanos y la infraestructura petrolera presentan un incremento, siendo este más rápido en la plantación de piña (10.60%) y el cultivo de palma (15.11%) (Tabla 7).

Tabla 7. Porcentaje de tasa anual de cambios para los mapas de coberturas naturales y antrópicas del estado de Tabasco.

Tipo de cobertura	Coberturas	2003 (ha)	2016 (ha)	Tasa anual de cambios (%)
Natural	Tintal y bosque de galería	8,949.78	3,957.48	-6.08
	Selva baja	24,493.86	17,895.15	-2.39
	Selva mediana	21,346.02	17,920.26	-1.34
	Selva alta	89,835.84	58,882.23	-3.20
	Achual	176,719.32	247,480.29	2.62
	Manglar	42,523.47	45,525.60	0.53
	Vegetación Hidrofita flotante	10,296.00	10,890.18	0.43
	Popal-tular	386,349.03	329,513.40	-1.22
	Dunas costeras	145.53	299.34	5.70
	Cuerpo de agua	143,329.23	131,727.87	-0.65
	Tasistal	8,879.04	7,727.31	-1.06
Antrópica	Pastizal	1,332,981.63	1,339,004.52	0.03
	Cultivos	30,711.51	31,220.46	0.13
	Cultivo de palmas	2,105.55	13,114.26	15.11
	Plantación de coco	13,360.95	11,505.06	-1.14
	Plantación de plátano	15,724.17	13,005.54	-1.45
	Plantación de hule	5,639.40	6,563.97	1.17
	Plantación de cacao	63,252.18	59,433.30	-0.48
	Plantación de eucalipto	13,449.15	7,050.96	-4.85
	Plantación de cítrico	11,099.52	17,006.04	3.34
	Plantación de caña	42,293.43	66,006.63	3.48
	Plantación de piña	823.23	3,048.93	10.60
	Asentamientos humanos	19,887.21	29,975.76	3.21
	Infraestructura petrolera	1,015.74	1,268.28	1.72
Zonas sin vegetación	6,659.64	1,847.61	-9.39	

Determinación de transiciones

Se encontraron un total de 121 transiciones. En la figura 3 se pueden observar las quince transiciones más relevantes, cuyos cambios fueron mayores a 10,000 ha. Estas se presentan de manera homogénea en gran parte del territorio tabasqueño, y se observa en menor medida en el noroeste, donde se ubica la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC). La transición de mayor impacto fue la conversión de pastizal hacia acahual, la cual involucra un total de 122,357.79 ha.

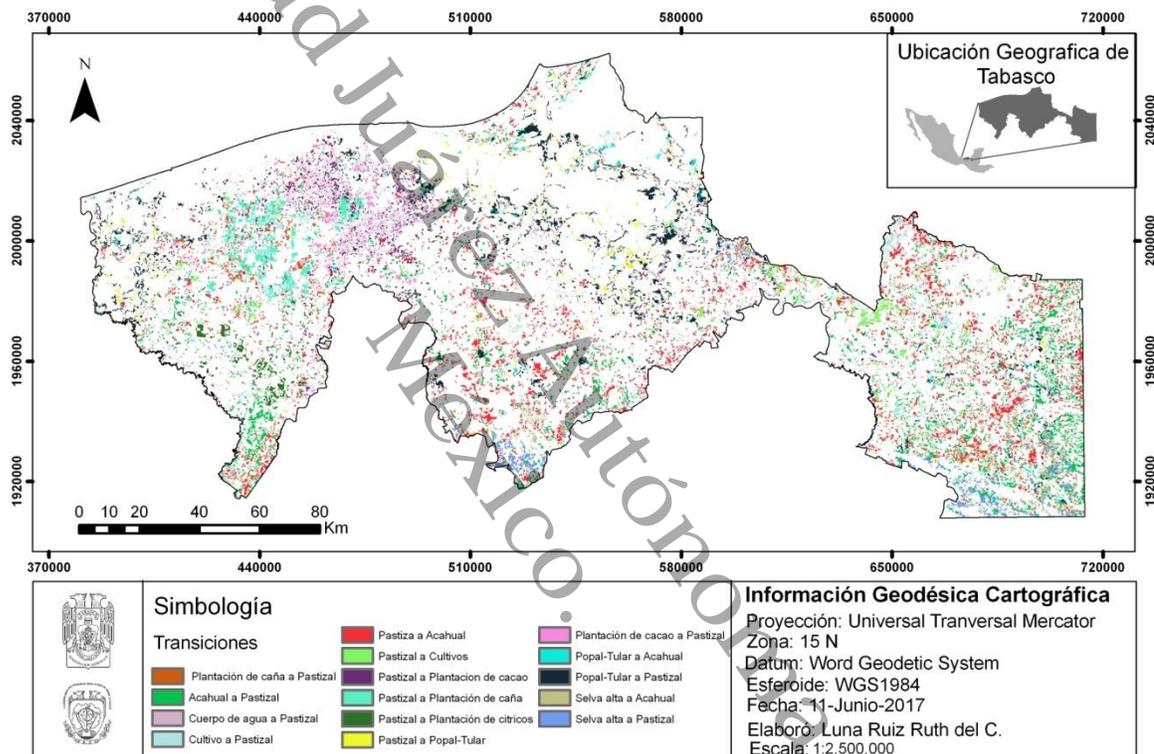


Figura 3. Principales transiciones entre coberturas naturales y antropicas.

Procesos de transformación del paisaje

Se ubicaron un total de cuatro procesos de transformación a los que están sujetos las coberturas naturales y antropicas (Tabla 8). El 54.5% de las coberturas naturales presentaron el proceso de “desgaste”, lo que significa que a nivel de parches han sufrido pérdidas. Aunque el 27.7% incrementaron su número de parches (“Creación”). El manglar presentó el proceso de “Agregación”, indicando que hubo fusión entre parches. En la cobertura de cuerpos de agua, los parches sufrieron segmentaciones continuas lineales (“Dissección”).

En el caso de las coberturas antrópicas el 46.15% presentaron un incremento en su número de parches (“creación”). Mientras que las plantaciones de coco, plátano, eucalipto y las zonas sin vegetación presentaron pérdidas (“Desgaste”). En los pastizales y las plantaciones de hule y caña presentaron fusiones (“Agregación”). Únicamente en la plantación de cacao se ubicó en el proceso de “Disección “.

Tabla 8. Procesos de transformación para las coberturas naturales y antrópicas del estado de Tabasco.

Tipo de cobertura	Coberturas	Proceso de transformación	Parches	
			T1	T2
Natural	Tintal y bosque de galería	Desgaste	172	55
	Selva baja	Desgaste	83	40
	Selva mediana	Desgaste	182	112
	Selva alta	Desgaste	367	243
	Acahual	Creación	2043	2758
	Manglar	Agregación	128	103
	Vegetación Hidrófita flotante	Creación	153	162
	Popal-tular	Desgaste	824	300
	Dunas costeras	Creación	4	8
	Cuerpo de agua	Disección	586	622
	Tasistal	Desgaste	26	4
Antrópica	Pastizal	Agregación	820	817
	Cultivos	Creación	536	541
	Cultivo de palmas	Creación	68	311
	Plantación de coco	Desgaste	113	97
	Plantación de plátano	Desgaste	103	27
	Plantación de hule	Agregación	181	76
	Plantación de cacao	Disección	452	473
	Plantación de eucalipto	Desgaste	110	76
	Plantación de cítrico	Creación	133	135
	Plantación de caña	Agregación	233	108
	Plantación de piña	Creación	21	56
	Asentamientos humanos	Creación	173	240
	Infraestructura petrolera	Creación	3	8
	Zonas sin vegetación	Desgaste	123	36

*Datos obtenidos en el módulo “LANDSCAPE CHANGE PROCESS ANALYSIS”

Métricas de composición

Las métricas de composición por coberturas natural y antrópica se observan en la Tabla 9. Según el índice de porcentaje de paisaje (PLAND) se encontró que, tanto en el año 2003 como en el 2016, el pastizal presentó dominancia en el paisaje.

Las coberturas naturales con mayor ocupación fueron acahual y popal-tular, las cuales incrementaron para el año 2016. El resto de las coberturas a excepción de la vegetación hidrófita flotante y cuerpo de agua, presentaron una disminución en su porcentaje de ocupación entre los periodos analizados. Para las coberturas de tipo antrópica y plantación de cacao presentó uno de los porcentajes más altos de paisaje (PLAND: 2.56), para el 2016 el porcentaje de ocupación de esta categoría disminuye e incrementan los porcentajes de PLAND para las plantaciones de hule, cítricos, caña, piña y los asentamientos humanos.

Para el año 2003 el valor más alto de tamaño promedio de parche para la vegetación natural se ubicó en la cobertura popal-tular con 472.31 ha. Los valores más bajos se observaron en el tinal y bosque de galería (MPS: 52.34) y dunas costeras (MPS: 36.41) cuya densidad de fragmentos (PD) también resultaron sumamente bajos, lo que indica que se encuentran representadas por pequeños fragmentos de escasos tamaños. En el segundo periodo analizado (2016), el tasistal presenta el tamaño promedio más alto de las coberturas naturales (MPS: 1,931.83), superando por 803.36 ha al popal-tular.

Con respecto a los resultados del índice de fragmento más grande (LPI) para el año 2003, el popal-tular fue la cobertura que presentó mayor tamaño en sus parches (LPI: 4.60) seguido por la selva alta (LPI:1.56). Los valores más pequeños se obtuvieron en la cobertura de dunas costeras. En el análisis de año 2016 se observó un comportamiento similar, sin embargo, los valores muestran que el popal-tular (LPI: 3.27) y selva alta (LPI: 0.73) presentaron reducciones.

La densidad más alta de parches/ha se encontró en el acahual (PD: 0.082), popal-tular (PD: 0.033), cuerpos de agua (PD:0.024) y selva alta (PD: 0.015). El resto de las coberturas naturales presentaron valores por debajo de los 0.007 parches/ha. Para el año 2016 la mayor densidad se ubicó en el acahual (PD:0.111) y las densidades más bajas se ubicaron en las dunas costeras y tasistal.

En cuanto a las coberturas de origen antrópico para los años evaluados presentaron valores altos en las métricas de MPS, LPI, PD y MP esto se debe

principalmente a la dominancia que presenta en el área de estudio y la cual se mantuvo en ambos periodos. Las coberturas antrópicas generalmente mantuvieron un tamaño promedio de fragmento por debajo de las 400 ha, los valores más bajos se ubicaron en las plantaciones de hule (MPS:31.16) y cultivo de palma (MPS: 30.96). Para el año 2016, las plantaciones de caña y plátano cuentan con los valores más altos de MPS (MPS: 622.70 y MPS:481.69 respectivamente). En cuanto el índice de fragmento más grande (LPI) para el 2003, la plantación de caña presenta el porcentaje más elevado (LPI:0.70), para el 2016 este aumenta en un 33% (LPI: 2.12) y se observa un incremento notable en los porcentajes de ocupación de todas las categorías antrópicas. Las coberturas de cultivos y plantación de cacao en el año 2003 presentaron un mayor número de parches/ha de acuerdo con el índice de PD (PD:0.022 y PD:0.018), para el 2016, todas las categorías antrópicas presentaron un incremento en este índice, principalmente en cultivos (PD: 0.022), cultivos de palmas (PD: 0.013) y plantación de cacao (PD:0.019).

Tabla 9. Métricas de composición por clase de las coberturas de uso de suelo y vegetación del año 2003 y 2016.

Tipo de cobertura	Coberturas	PLAND		MPS		LPI		PD	
		2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016
Natural	Tintal y bosque de galería	0.36	0.16	52.34	73.29	0.03	0.02	0.007	0.002
	Selva baja	0.99	0.72	295.11	483.65	0.17	0.19	0.003	0.002
	Selva mediana	0.86	0.73	117.29	162.91	0.09	0.19	0.007	0.005
	Selva alta	3.63	2.38	248.17	245.34	1.56	0.73	0.015	0.010
	Acahual	7.15	10.01	87.14	90.42	0.35	0.23	0.082	0.111
	Manglar	1.72	1.84	332.21	450.75	0.30	0.36	0.005	0.004
	Vegetación Hidrófita flotante	0.42	0.44	67.29	67.22	0.03	0.09	0.006	0.007
	Popal-tular	15.63	13.33	472.31	1128.47	4.60	3.27	0.033	0.012
	Dunas costeras	0.01	0.01	36.41	37.43	0.00	0.00	0.000	0.000
	Cuerpo de agua	5.80	5.33	245.86	213.15	0.74	0.68	0.024	0.025
	Tasistal	0.36	0.31	341.50	1931.83	0.32	0.30	0.001	0.000
Antrópica	Pastizal	53.93	54.17	1672.68	1673.76	16.44	16.71	0.032	0.032
	Cultivos	1.24	1.26	57.51	57.82	0.06	0.24	0.022	0.022
	Cultivo de palmas	0.09	0.53	30.96	42.17	0.00	0.02	0.003	0.013
	Plantación de coco	0.54	0.47	118.30	119.85	0.06	0.09	0.005	0.004
	Plantación de plátano	0.64	0.53	154.16	481.69	0.29	0.37	0.004	0.001
	Plantación de hule	0.23	0.27	31.16	88.70	0.01	0.06	0.007	0.003
	Plantación de cacao	2.56	2.40	141.19	126.99	0.21	0.33	0.018	0.019
	Plantación de eucalipto	0.54	0.29	123.39	92.78	0.07	0.02	0.004	0.003
	Plantación de cítrico	0.45	0.69	84.09	128.83	0.09	0.14	0.005	0.005
	Plantación de caña	1.71	2.67	183.09	622.70	0.70	2.12	0.009	0.004
	Plantación de piña	0.03	0.12	39.20	54.45	0.00	0.01	0.001	0.002
	Asentamientos humanos	0.80	1.21	116.98	127.02	0.14	0.24	0.007	0.010
	Infraestructura petrolera	0.04	0.05	338.58	158.54	0.03	0.03	0.000	0.000
Zonas sin vegetación	0.27	0.07	54.14	54.34	0.02	0.01	0.005	0.001	

*Métricas: PLAND: Porcentaje del paisaje (%); MPS: Tamaño promedio del fragmento (ha); LPI: Índice de fragmento más grande (%); PD: Densidad de fragmentos

Métricas de conectividad y aislamiento

Con respecto a el índice de proximidad media, para el año 2003 se presentaron valores altos en el popal-tular (MPI: 3,539.90), manglar (MPS: 926.61) y selva alta (MPS:887.23). Para el año 2016 estas coberturas siguieron presentado los valores más altos del índice de proximidad, pero se observó un notable incremento el popal- tular (MPI: 6,246.16) y selva alta (MPI: 1,053.04). En el caso del manglar, se observó una leve reducción del 2.4 % por lo que se considera que, en ambos periodos en esta clase, la vecindad entre parches se mantuvo. Para las coberturas antrópicas el índice de proximidad media en ambos periodos exhibe mayor aislamiento. Esto se da entre parches de las coberturas de plantaciones de hule y piña, siendo nula en las infraestructuras petroleras. Se observan incrementos de la proximidad en las coberturas de plantación de cacao y caña.

En ambos periodos se ubicaron valores bajos de conectancia (CONNECT), cuyo índice maneja valores que van de 1 a 100 % (Tabla 10). En el año 2003 las coberturas que presentaron mayor conectividad fueron: dunas costeras (CONNECT: 16.67), manglar (CONNECT: 2.45) y tasistal (CONNECT: 2.15). El resto de las coberturas naturales para este periodo mantiene un porcentaje de conectancia por debajo del 2%.

Para el periodo 2016 la cobertura con mayor conectividad fue tasistal (CONNECT: 66.67). Se observan incrementos notables para las coberturas de selva baja (CONNECT: 5.11), manglar (CONNECT: 3.33) y tinal y bosque de galería (CONNECT: 2.81). El resto de las coberturas a excepción del acahual y los cuerpos de agua, aumentaron levemente su conectividad. La cobertura de acahual, presento una ligera pérdida de conectividad del 27%, y su valor de COHESION se redujo, indicando menor agregación entre sus parches. En cuanto a la cobertura de cuerpos de agua no se observan cambios, manteniendo la conectividad del año 2003.

Tabla 10. Métricas de conectividad y aislamiento por clase de las coberturas de uso de suelo y vegetación del año 2003 y 2016.

Tipo de cobertura	Coberturas	MPI		CONNECT		COHESION	
		2003	2016	2003	2016	2003	2016
Natural	Tintal y bosque de galería	37.78	31.65	0.99	2.87	96.81	97.38
	Selva baja	233.47	200.47	1.94	5.11	98.97	99.18
	Selva mediana	53.16	47.21	1.10	1.27	98.10	98.77
	Selva alta	887.23	1,053.04	0.69	0.90	99.53	99.39
	Acahual	156.92	128.07	0.15	0.11	98.20	98.11
	Manglar	926.61	904.04	2.45	3.33	99.24	99.38
	Vegetación Hidrófita flotante	23.75	93.49	0.77	0.92	97.08	97.66
	Popal-tular	3,539.90	6,246.16	0.27	0.75	99.77	99.82
	Dunas costeras	0.27	1.93	16.67	7.14	95.17	95.41
	Cuerpo de agua	541.98	497.93	0.45	0.45	99.31	99.16
	Tasistal	91.36	701.04	2.15	66.67	99.48	99.65
Antrópica	Pastizal	70,507.85	87,378.79	0.46	0.44	99.94	99.95
	Cultivos	45.78	60.16	0.27	0.23	97.04	97.59
	Cultivo de palmas	1.66	8.51	0.92	0.30	94.93	95.89
	Plantación de coco	128.61	115.67	1.86	1.62	98.23	98.36
	Plantación de plátano	20.53	152.69	1.65	3.42	98.97	99.53
	Plantación de hule	3.68	70.07	0.48	1.33	94.96	97.67
	Plantación de cacao	505.85	571.63	0.75	0.87	98.83	98.81
	Plantación de eucalipto	82.59	45.51	1.92	2.53	98.18	97.50
	Plantación de cítrico	185.29	274.04	1.65	1.72	98.17	98.66
	Plantación de caña	1,311.05	8,088.57	1.08	2.16	99.39	99.82
	Plantación de piña	2.69	18.92	5.24	3.38	95.46	96.43
	Asentamientos humanos	245.82	224.88	0.52	0.32	98.24	98.70
	Infraestructura petrolera	0.00	0.00	0.00	0.00	98.68	98.44
Zonas sin vegetación	13.80	5.00	0.49	1.07	96.73	96.58	

Métricas: MPI: Índice de proximidad media; CONNECT: Conectividad (%); COHESION: Índice de Cohesión

Discusión

Tabasco, desde su etapa de desarrollo agrícola, ha sido transformado rápidamente por las actividades humanas. Dentro de este marco, en 1950 el incremento de las actividades agropecuarias causó un fuerte recambio de uso de suelo. Para 1970 el 55.42% de la superficie del Estado eran pastizales (Tudela 1989). Siguiendo esta tendencia para 2003 y 2016 la dominancia de pastizales se mantiene con cambios apenas perceptibles.

La dominancia de pastizales se debe al impulso del desarrollo de actividades productivas como el fomento ganadero. Estas prácticas se dirigen a incrementar la ganadería extensivas (Isaac-Márquez et al. 2008b). En esta perspectiva del 2006 al 2015, el número de cabezas de ganado se incrementó en un 112% (SIAP 2016). Cabe considerar, por otra parte, que el coeficiente de agostadero del año 2014 fue de 0.80 ha por unidad animal por año (SAGARPA y COTECOCA 2014). Es por ello que en el 2015 para mantener a la población de ganado bovino fueron necesarias 1'275,181 ha. Esto representa el 95% del área de pastizales que se reporta para el 2016. Si este incremento se mantiene, se presentarán disminuciones de la vegetación natural por las exigencias de este sector productivo.

Las selvas, en la región de Balancán y Tenosique, son las que tienen la mayor tasa de pérdida anual debido a su reconversión hacia praderas y tierras de cultivo (Isaac Márquez et al. 2005a). Esta pérdida es a consecuencia de la transformación hacia pastizal. Siendo una de las 15 transiciones más significativas para en el Estado.

Originalmente las selvas ocupaban el 60% del territorio tabasqueño, pero tienen una tendencia a la disminución y perturbación. Como consecuencia de la intervención humana en los años ochenta se redujeron a un 6% (Tudela 1989). A nivel nacional para el período de 1993-2000 la tasa de cambio es de -2.06. En Tabasco en el período 2003-2016, las tasas oscilan entre -1.34 para selva

mediana, selva baja -2.39 y para selva alta -3.50. Por lo que las selvas altas son las más amenazadas.

La transición de selva alta hacia pastizal y acahual implican más de las 10,000 ha. Estas modificaciones han sido reportadas por Salazar Conde et al. (2004) como comunes en las selvas de la sierra Madrigal, la cual presenta tasas de cambio de -4.1 a -11.6% sobrepasando a las reportadas en el presente trabajo.

La selva baja ha sido afectada por actividades de extracción. En el periodo de 1990-2000 Guerra y Ochoa (2005) reportan que debido a estas actividades en la RBPC la tasa anual de cambio para esta cobertura fue de -34.03 a -39.41. Sin embargo, su deforestación es menor que la selva alta debido a sus restricciones hídricas y edáficas, las cuales según reporta Díaz Gallegos et al. (2001) limitan las prácticas agrícolas.

El acahual se origina principalmente por el desmonte y quema de selvas (Zavala Cruz et al. 2011) o por el abandono de cultivos y pastizales. Esta cobertura presento una baja persistencia, pero obtuvo ganancias debido al incremento en su número de parches, esta dinámica ya había sido reportada por Berlanga et al. (2010). En cuanto a la conectividad, no se observaron mejorías debido a la separación entre sus parches. A pesar de ello, se considera que su incremento es positivo, puesto que, durante el proceso de transición entre área perturbada y mejor conservada, se obtienen beneficios al presentarse la retención del suelos y agua, operar como nicho para la fauna y en la formación de bancos de semillas (Palma López et al. 2011)

El popal-tular se ubica principalmente en la RBPC, que a pesar de ser un área protegida presenta alteraciones como consecuencia de las actividades realizadas por las comunidades que ahí habitan (Barbas Macías, Rangel Mendoza, y Ramos Reyes 2006). El desplazamiento de esta cobertura se ha visto vinculado con especies invasoras de pasto, como lo es el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*) (Casasola Barceló 2010; Rosa 2016). Esta es una especie introducida que se puede encontrar en los humedales de agua dulce (López Portillo y Ezcurra

2002) y en Tabasco es identificada como una especie común en la RBPC (Novelo 2006). En el estado de Veracruz se ha reportado como una especie agresiva que causa cambios físicos en el medio, inhiben el establecimiento y germinación de las especies nativas y provoca la interrupción de la sucesión natural de este ecosistema (Casasola Barceló 2010).

La pérdida de los humedales también se vincula a actividades productivas y de extracción como el relleno y drenado, urbanización, infraestructura carretera, explotación del manto freático y expansión ganadera (Estrada, Barba, y Ramos 2013). Otro factor que altera la cadena trófica y los procesos ecológicos en las coberturas naturales son los incendios (Barba Macías et al. 2014). Guerra y Ochoa (2005) los señala como uno de los principales causantes de la transformación de uso de suelo en la RBPC. Se originan por actividades con fines agrícolas o cacería (de tipo furtiva o comercial) perjudicando principalmente a las comunidades de flora (como *Acoelorrhaphe wrightii* y *Sabal mexicana*) y fauna, como el caso de quelonios como (*Trachemys scripta* y *Staurotypus triporcatus*) (Rosa Velazquez 2016).

En Tabasco entre 1979 a 1998 la secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SERMARNAT) reporta una pérdida total de 41,202 ha por incendios (Guerra y Ochoa 2005). Entre el 2003 a 2016 según datos del Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales de la Comisión Nacional Forestal en el estado se han reportado un total de 387 incendios, afectando 31,394.31 ha de las cuales el 65% se presentó en zonas con vegetación arbustiva, matorrales y renuevo, por lo que anualmente en estas zonas se está perdiendo aproximadamente más de 2,000 ha anuales (CONAFOR 2016).

Dentro de las coberturas naturales el manglar fue el único en presentar el proceso de agregación, por lo que se ven mejorías en la conectividad y se presenta una tasa de cambio anual positiva (0.53%). Es posible que la tasa de cambio no sea constante a través del tiempo, según resultados de Valderrama, Cruz, y Ressler (2017) en los manglares tabasqueños se presentan tasas de cambio variables,

reportando incrementos entre en los periodos 1970/1980-2005 y 2010-2015 (0.22% y 0.36% respectivamente) y pérdida para 2005-2010 (-0.17%).

La variabilidad de la cobertura de manglar se debe a factores naturales y antrópicos. El incremento y agregación se relaciona a la capacidad de regeneración, el cual Hoyos, Urrego, y Lema (2013) asocia a factores como la distancia entre ríos, lagos interiores y costa, herbivoría y especialmente a la disponibilidad de luz y tasa de entrada de sedimentos. Para Tabasco Hernandez et al. (2016), considera que las ganancias se relacionan con el incremento de la salinidad en los suelos causados por las mareas y la capacidad de acomodación, mientras que el riesgo de transformación se lo vincula a la percepción económica de los agrosistemas coco-pasto-ganado debido a la relación de pérdida-ganancia.

En el país la región Sur Sureste presenta una gran productividad, en donde los productos se orientan al autoconsumo y especialmente a la demanda nacional e internacional (SAGARPA 2011). Por tanto, en el Estado los cambios de uso de suelo entre los campesinos de la región son en gran parte determinados por las políticas productivas y el mercado (Issac-Márquez et al. 2008)

Un ejemplo de ello es la dinámica de la cobertura de cacao, la cual desde la época prehispánica es de importancia económica para Tabasco. Este cultivo a pesar de presentar pérdidas mantuvo gran parte de su superficie debido a su incremento en nuevas áreas, comportamiento que ya había sido reportado en el Estado por (Ramos-Reyes et al. 2004). A pesar de ello, la tendencia de esta cobertura es disminuir en consecuencia de la disección sus parches y factores como enfermedades, mal manejo o su abandono para dar lugar a otros productos que presentan mejores incentivos económicos como lo es la caña de azúcar y la palma de aceite (Zequeira Larios 2014). Estas plantaciones presentan una alta demanda en el mercado nacional e internacional y se ven favorecidas por financiamientos nacionales.

Las infraestructuras antrópicas como lo son los asentamientos humanos e instalaciones petroleras presentan incrementos durante el periodo evaluado. Esto

se debe a que el estudio se realizó en una de las etapas de gran actividad petrolera del Estado. Este sector secundario (industrial) ocupó el primer lugar de importancia, permitiendo la modernización y promoviendo el crecimiento poblacional (Pérez Sánchez et al. 2015). A pesar de los beneficios para la sociedad, ambientalmente el incremento de estas coberturas resulta negativo, ya que influye negativamente sobre la fauna silvestre (Baños 2009). Además, el incremento de infraestructura petrolera en el territorio tabasqueño afecta principalmente en las zonas bajas (López Portillo y Ezcurra 2002) donde se ubican los humedales, alterando sus características y funciones ecológicas (Pacheco Figueroa 2014).

De acuerdo con el índice específico de Kappa (KIA) la vegetación hidrófita flotante fue la cobertura natural con mayores cambios (KIA: 0.1008). Para el Estado, Vidal (2013) ya había reportado esta incidencia (0.1221) y lo vincula a la construcción de carreteras, drenajes, asentamientos humanos e infraestructuras contra inundaciones. Mientras que Rosa (2016) menciona que los cambios de esta cobertura en la RBPC se relacionan con las actividades agropecuarias. Esta cobertura sufre una transformación similar, ya que su cambio a es popal-tular, y estos son invadidos por gramíneas. La transformación por gramíneas permite el uso para actividades agropecuarias. Posteriormente este tipo de terrenos derivan en uso urbano. Este tipo de transformaciones desencadenan una serie de patrones de pérdida permanente de la cobertura natural.

El índice de conectividad presentó valores bajos en ambos periodos. A pesar de ello se pudo distinguir que la vegetación natural, exceptuando la cobertura de acahual y cuerpos de agua presentan incrementos. Lo que resulta favorable para el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) vulnerable en el territorio debido a la cacería con fines de aprovechamiento alimenticio (Hidalgo et al. 2016) y por la presencia de infraestructura humana (Pacheco Figueroa 2014).

En algunas coberturas antrópicas, la conectividad es favorable para el oso hormiguero. Esta especie tiene la capacidad de habitar en áreas transformadas a actividades agropecuarias, especialmente si se ubican cerca de zonas con

coberturas naturales (Ceballos y Oliva 2005). En Colombia Castano y Corrales (2015) ha reportado estas especies en zonas de pastizales, con presencia de cultivos de caña de azúcar, café, plátano, cacao, yuca, frutales y bosque secundarios. En México, esta especie ha sido ubicada en agrosistemas de cafetales (Manson et al. 2008; Tlapaya y Gallina 2010) integrados especialmente por estratos arbóreos como el jinicuil (*Inga finicuil*), cítricos (*Citrus spp.*), plátanos (*Musa sapientum*), aguacate (*Persea schiedeana*), mango (*Mangifera indica*) (Gallina, Mandujano, y Gonzalez-Romero 1996). En Tabasco Gordillo Chávez et al. (2015) reporta la presencia de esta especie en Chaschoc-Sejá, un humedal el cual presenta actividades productivas como el cultivo de arroz, palma de aceite y la ganadería. Lamentablemente debido a la poca información existente de esta especie, resulta difícil identificar el grado de permeabilidad dentro de los tipos de plantaciones y cultivo en el estado.

Conclusión

La mitad del territorio del estado está ocupado por pastizales. Esta cobertura es altamente dinámica ya que se encuentran en transiciones tanto de las coberturas naturales como antrópicas. Su estabilidad e incremento se vincula directamente con las actividades productivas, por lo que su subsistencia a través del tiempo resulta negativa para las coberturas naturales.

Las coberturas naturales como el manglar, el popal-tular y el acahual mostraron la mayor dinámica de cambios durante el tiempo analizado. El popal-tular se reduce debido a factores antropogénicos, sin embargo, mantiene gran parte de su superficie debido a que se ubica en una zona protegida. El manglar persiste por su resiliencia y la dinámica de transición entre coberturas antrópicas a manglar y viceversa.

El incremento de los acahuals es un factor tanto positivo como negativo en el estado. Por un lado, aunque existen incremento llevado a cabo por el desmonte y perturbación de la cobertura natural lo que resulta negativo para las especies de

flora y fauna en el estado, por otra parte, su incremento originando por el abandono de pastizales y zonas de cultivo resulta favorable, especialmente en la zona Centro del estado la cual es ocupada por pastizales o las zonas de la Chontalpa en donde la actividad principal es la agricultura. Sin embargo, su persistencia, no está garantizada ya que son talados para rehabilitar nuevamente como zonas de cultivos y plantaciones.

El incremento de asentamientos e infraestructura petrolera que se ha presentado para la zona resulta negativo por ser un gran factor de cambio. Aunque en el estudio los porcentajes de ocupación y de cambio son ligeros, el incremento de estas coberturas da lugar a la integración de otras amenazas en el Estado, como el incremento de carreteras y por consecuencia la integración de otros centros de desarrollo. En el caso de las infraestructuras petroleras las instalaciones de pozos devastan la vegetación y facilitan el acceso a zonas que antes era inaccesibles, provocando el desplazamiento de coberturas como el manglar y el popal-tular.

El aislamiento de las coberturas naturales es un impacto negativo para las especies. Este aislamiento de los parches favorece que sean eliminados del paisaje por ser de fácil acceso. Este proceso se acelera debido a que la matriz dominante es el pastizal. Por el contrario, en zonas donde la matriz dominante es natural, se presenta mayor persistencia. Este es el caso de algunos parches de selva inmersos en una matriz de popal-tular, que favorece su protección debido a que dificulta el acceso a las poblaciones humanas.

La disminución de coberturas como la selva alta es alarmante, pues indican que las zonas de protección están siendo altamente amenazadas. Las selvas están siendo presionadas por las actividades humanas, esto queda evidenciado en el trabajo ya que su principal transformación es hacia pastizales y acahuales. A pesar de que existen programas de reforestaciones en estas zonas, es necesario mantener un mayor control de las actividades productivas dentro de estas áreas y en los alrededores.

Debido a los requerimientos de las plantaciones, estas se ubican en zonas específicas del Estado y no representan una fuerte amenaza para la vegetación natural. Este es el caso de las plantaciones de cacao, cuyas transiciones principales implican a las coberturas de pastizal y plantación de caña. Cabe mencionar que en todas las plantaciones la transición principal involucra a la cobertura de pastizal. Por otro lado, la transformación de estas coberturas se relaciona con el crecimiento o reducción de los acahuales, que como se mencionó anteriormente, tiene efectos tanto negativos como positivos.

Por otra parte, las zonas con vegetación natural, y que son aptas para cultivos, como el caso de los pastizales son las que presentan la mayor dinámica de cambio. Sin embargo, debido a la demanda del mercado también se favorece el incremento de cierto tipo de plantaciones, como lo es la palma de aceite, la cual presenta una distribución mucho más extensa que el resto de las plantaciones. Por lo que a futuro puede ser un factor de cambio para las coberturas naturales, que aún no se ha determinado su impacto.

El aislamiento de los parches, la explotación de recursos, el incremento de las infraestructuras, y las actividades agrícolas y ganaderas están provocando el cambio de uso de suelo en Tabasco. Estos cambios están afectando especialmente a la vegetación natural, impactando negativamente la conectividad de los seres vivos. Para la especie de *Tamandúa mexicana* a pesar de que muestra una tolerancia hacia zonas perturbadas siendo reportada en sistemas vinculados a los cultivos, la disminución, alteración y fragmentación de su hábitat natural, aumentan el aislamiento de las poblaciones para esta especie.

Recomendaciones

Se recomienda que para futuras investigaciones se implementen más de dos capas de uso de suelo. Con el fin de poder reconocer con mayor claridad la dinámica de cambio que se va presentando entre diferentes periodos. Además, se considera necesario el seguimiento y revisión del cambio de uso de suelo en el Estado, ya que es vital para el mantenimiento de la conectividad. En Tabasco, se

ubican tres corredores biológicos, los cuales presentan tanto coberturas naturales como antrópicas. El análisis multitemporal ayuda a visualizar la dinámica de cambio de estas zonas e implementar acciones de mitigación y contribuir a la conservación de las especies, especialmente al mantenimiento de su conectividad.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Referencias

- Baños, Bojorges José Cruz. 2009. "Amenazando la biodiversidad : Urbanización y sus efectos en la avifauna". *Ciencia y Mar* 13 (39): 61–65.
- Barba Macías, Everardo, Francisco Valadez Cruz, M.A. Pinkus Rendón, y M.J. Pinkus Rendón. 2014. "Revisión de la problemática socioambiental de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco". *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, núm. 60: 50–57.
- Barbas Macías, E, J Rangel Mendoza, y R Ramos Reyes. 2006. "Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica". *Universidad y Ciencia* 22 (2): 11.
- Berlanga, Robles C., Campos R. García, Blanco J. López, y Luna A. Ruiz. 2010. "Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000) Land use and land cover change patterns in the north coast region of Nayarit (1973-2000)". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 72: 7–22.
- Bogaert, Jan, Reinhart Ceulemans, y David Salvador-Van Eysenrode. 2004. "Decision Tree Algorithm for Detection of Spatial Processes in Landscape Transformation". *Environmental Management* 33 (1): 62–73. doi:10.1007/s00267-003-0027-0.
- Casasola Barceló, P.M. 2010. "Proyecto : Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis* , POACEAE) en el sitio Ramsar No . 1336 La Mancha y El Llano". Mexico, D.F.
- Castano, John, y Juan David Corrales. 2015. "Mamíferos de la Cuenca del Río la Miel (caldas): Diversidad y uso Cultural". *Boletín Científico Centro de Museos* 14 (1): 56–75.
- Ceballos, Gerardo, y Giselle Oliva. 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. Mexico, D.F. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Comision Nacional Forestal (CONAFOR). 2016. "Incendios: Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales". <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>.
- Correa, Ayram Camilo A, Manuel E Mendoza, y Granados López. 2014. "Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo , Michoacán , México 1". *Rev. geogr. Norte Gd.* 23: 7–23. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000300002.
- Dávila, Rodríguez A., Zambrano E. A. Corona, Álvarez A. Pinedo, Rentería G. Jiménez, C. Pinedo, Álvarez, R. I. Rojas, Caldelas, y A Ranfla, González. 2016. "Marginación y cambio de cobertura y uso del suelo de la zona metropolitana de Chihuahua Investigación". *Investigación y ciencia* 24 (67): 38–45. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67413203005>.
- Desirée Brown, Danielle. 2011. "Activity patterns and space use of northern tamandua anteaters (*Tamandua mexicana*) on Barro Colorado Island, Panamá". *Animal Behavior*.
- Díaz Gallegos, J. R., G. García Gil, O. Castillo Acosta, y I. March Mifsut. 2001. "Uso del suelo y transformación de selvas en un ejido de la Reserva de biosfera Calakmul, Campeche, México". *Investigaciones geográficas* 44 (2): 39–53.

- Eastman, J Ronald. 2012. "IDRISI Selva Tutorial". Vol. 45.
- Estrada, Loreto. F., Macías. E. Barba, y Reyes. R. Ramos. 2013. "Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México". *Universidad y Ciencia* 29 (2): 141–51. <http://www.redalyc.org/pdf/154/15428946004.pdf>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), y European Commission Joint Research Centre (JRC). 2012. *Global forest land-use change 1990–2005*. FAO Forestry Paper No. 169. <http://www.fao.org/docrep/017/i3110e/i3110e.pdf>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1996. *Forest resources assessment 1990: survey of tropical forest cover and study of change processes*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gallina, S., S. Mandujano, y A. Gonzalez-Romero. 1996. "Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico". *Agroforestry Systems* 33: 13–27. doi:10.1007/BF00122886.
- Gibbs, HK, AS Ruesch, F Achard, y MK. 2010. "Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s". *Proceedings of the National Academy of Science USA* 107 (38): 16732–37. doi:10.1073/pnas.0910275107/-/DCSupplemental.www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0910275107.
- Gordillo Chávez, Elías José, Zayas Ena Edith Mata, Rodrigo Garcia Morales, Marco Antonio Garduza, García Claudia Villanueva, y Juan de Dios Valdez-Leal. 2015. "Mamíferos terrestres de un humedal en la cuenca del río Usumacinta, Tabasco, México". *Therya* 6 (3): 535–44. doi:10.12933/therya-15-259.
- Guerra, Verónica, y Susana Ochoa. 2005. "Identificación y variación de la vegetación y uso del suelo en la Reserva Pantanos de Centla, tabasco (1990-2000) mediante sensores remotos y sistemas de información geográfica". *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable* 1: 325–46.
- Hernandez, Melchor Gloria Isela, Rosado Octavio Ruiz, Sanchez Angel Sol, y Hernandez Juan Ignacio Valdez. 2016. "Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco * Changes in land use in coastal mangroves of Tabasco Resumen Introducción", 2757–67.
- Hidalgo, M.G.F, M.A.J Contreras, D.D Jimenez, L.R Juarez, P.S Oporto, y R Avila, F. 2016. "Mamíferos del estado de Tabasco". En *Riqueza y conservación de los mamíferos en México a nivel estatal*, editado por S.M Briones, M.G Hortelano, C.G Magaña, y E Sanchez, 441–72. Mexico, D.F.
- Hoyos, Rossalyn, Ligia Estela Urrego, y Álvaro Lema. 2013. "Respuesta de la regeneración natural de los manglares del Delta del río Turbo y la bahía El Uno (Golfo de Urabá-Colombia), a la variabilidad ambiental y climática intra-anual". *International Journal of Tropical Biology* 61 (September): 1445–61.
- Isaac-Márquez, R., B de Jong, A. Eastmond, S Ochoa-Gaona, S Hernández, y MD Kantún. 2005. "Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el oriente de Tabasco, México". *Universidad y Ciencia* 21 (42): 57–73.
- Issac-Márquez, Ricardo, Bernardus De Jong, Amarella Eastmond, Susana Ochoa-Gaona, Salvador Hernández, y Jorge L. Sandoval. 2008. "Programas

- gubernamentales y respuestas campesinas en el uso del suelo: el caso de la zona oriente de Tabasco, México". *Region y Sociedad*. El Colegio de Sonora XX (43): 97–129.
- López Portillo, Jorge, y Exequiel Ezcurra. 2002. "Los manglares de México: una revisión". *Madera* 8 (1): 27–51.
- Magaña, Alejandro Miguel Alberto. 2010. *Vegetación y flora del municipio de Paraiso*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Vol. 0. Villahermosa, Tabasco. doi:10.18387/polibotanica.42.3.
- Manson, Robert H., Vicente Hernández Ortiz, Sonia Gallina, y Klaus Mehlreter, eds. 2008. *Agroecosistemas cafeteros de Veracruz*. Biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMAR-NAT).
- Novelo, Renata Alejando. 2006. *Plantas Acuáticas de la Reserva de la Biosfera pantanos de Centla*. Mexico.
- Pacheco Figueroa, Coral Jazvel. 2014. "Medición del estado de conservación de los humedales de la planicie, Tabasqueña". Tesis de doctorado en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Palma López, David Jesús, N.C.J. Vázquez, Z.E.E. Mata, C.A. López, G.M.A. Morales, P.R. Chablé, H.J. Contreras, y D.Y. Palma-Cancino. 2011. *Zonificación de Ecosistemas y Agroecosistemas Susceptibles de Recibir Pagos por Servicios Ambientales en la Chontalpa, Tabasco*.
- Pérez Sánchez, B., A.B Vidal Fócil, J.A Morales Méndez, y L.A. Méndez Olán. 2015. "Economía Y Crecimiento Poblacional En Tabasco". *Hitos De Ciencias Economico Administrativas*, núm. 56: 9–20.
- Pineda, Jaimes Noel Bonfilio, Sendra Joaquín Bosque, Delgado Montserrat Gómez, y Rocha Wenceslao Plata. 2009. "Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación". *Investigaciones geográficas* 69 (69): 33–52. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Pontius, Robert G., Emily Shusas, y Menzie McEachern. 2004. "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101 (2–3): 251–68. doi:10.1016/j.agee.2003.09.008.
- Ramos-Reyes, Rodimiro, David Palma-Lopez, Carlos Ortiz-Solorio, Carlos Ortiz-García, y Gabriel Díaz-Padilla. 2004. "Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera". *Terra Latinoamericana* 22 (3): 278.
- Rosa Velazquez, Mayra Isabel. 2016. "Evaluando la eficacia de un área protegida costera ante el cambio del uso del suelo; la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, México". *El Colegio de la Frontera Sur*.
- Ruiz, V., R. Savé, y A. Herrera. 2013. "Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011". *Ecosistemas* 22 (3): 117–23. doi:10.7818/re.2014.22-3.00.
- Salazar Conde, Erika del Carmen, Joel Zavala Cruz, Ofelia Castillo Acosta, y Rafael Cámara Artigas. 2004. "Evaluación espacial y temporal de la

- vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México (1973-2003)". *Investigaciones geográficas*, núm. 54: 7–23. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112004000200002&lang=pt.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. "Región Sur Sureste, Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán". Mexico. <http://www.sagarpa.gob.mx/colaboracion/normatividad/Documentos/Monografías/Región Sur Sureste.pdf>.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), y Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 2014. "Coeficientes de agostadero por entidad (hectárea por unidad animal)". http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2016/archivos/02_agrigan/D2_AGRIGAN04_06.pdf.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. "Población ganadera | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera". <https://www.gob.mx/siap/poblacion-ganadera/>.
- Tepox, Alejandro Tochihuitl, Luis Alberto, Villarreal Manzo, Benito Ramírez, Edmundo Antonio, Gutiérrez Domínguez, y Margarita Tlapa. 2016. "Análisis de los cambios y la persistencia en los usos del suelo de 1958 a 2010 en el municipio de Cuautlancingo, Puebla, México". *Ambiente y Desarrollo XX* (39): 35–54. doi:10.11144/Javeriana.ayd20-39.acpu.
- Tlapaya, Liliana, y Sonia Gallina. 2010. "Cacería de mamíferos medianos en cafetales del Centro De Veracruz, México". *Acta Zoológica Mexicana* 26 (2): 259–77.
- Tudela, Fernando. 1989. La modernización forzada del trópico: el caso de Tabasco : proyecto integrado del Golfo. doi:10.1613/jair.301.
- Valderrama, L. H., M. I. Cruz, y R. Ressler. 2017. Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980–2015.
- Vidal Sierra, C.A. 2013. "Análisis espacio-temporal de los humedales naturales de una porción de la subcuenca del río Grijalva". Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Zavala Cruz, Joel, David Palma López, Carlos Fernández, Antonio López, y Edgar Shirma. 2011. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del Río Grijalva, Tabasco.
- Zequeira Larios, Carolina. 2014. "La producción de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en México: Tabasco, estudio de caso". Tesis doctoral en Ecología Tropical, Universidad Veracruzana.

CAPÍTULO IV. La transformación de la conectividad, por la pérdida de coberturas naturales y agrosistemas.

La conectividad en el paisaje permite el flujo dentro de los sistemas naturales, por lo que resulta indispensable para las especies. Sin embargo, debido a actividades antropogénicas la conectividad puede disminuir o perderse. Entre los principales causales se ubica la pérdida y recambio de uso de suelo y la fragmentación. En México gran parte de su vegetación natural se ha perdido debido a estos factores y son provocados por actividades agrícolas y ganaderas. En el estado de Tabasco debido a estas actividades se han presentado procesos de transformación desde la década de los 50's, lo que trajo en consecuencia la pérdida de hábitat y fragmentación por actividades agrícolas y ganaderas.

Estos procesos han cambiado a lo largo del tiempo en función de las principales actividades productivas del estado. Por ello es importante analizar cuáles son las tendencias actuales del cambio de uso de suelo en el estado de Tabasco. La descripción de estas tendencias facilita comprender los principales problemas que provocan el recambio de las coberturas y sus causas. Así como también se obtienen datos relevantes que ayudan a comprender la dinámica que se presenta en el paisaje. Para el estado el análisis de las transiciones puso al descubierto que el aislamiento de los parches, la explotación de recursos, el incremento de las infraestructuras y las actividades agrícolas y ganaderas son los principales factores de cambio.

La pérdida de vegetación natural en el estado se está presentando por las actividades antropogénicas. Este es el caso de las selvas, las cuales presentan una pérdida de número de parches, reduciendo su porcentaje de ocupación en el paisaje a través del tiempo, por lo que su tasa anual de cambio es negativa. En cuanto a su tamaño promedio del fragmento las selvas baja y mediana presentaron incrementos indicando que los parches más pequeños de esta

cobertura han desaparecido, para la selva alta el tamaño se ha mantenido. Sin embargo, en las tres selvas, disminuye la densidad de fragmentos.

La conectividad para estas coberturas se encuentra disminuida debido a la pérdida de parches. A pesar de que la selva alta mantiene un menor aislamiento espacial, no presenta mayor conectancia de enlaces funcionales entre fragmentos. Lo que nos indica que las selvas están perdiendo su conectividad a nivel general. La pérdida de selvas y su conectividad es un impacto negativo de gran relevancia, porque la principal causa de transformación es a pastizales originado principalmente por actividades productivas como la extracción de madera y la ganadería. La composición de la flora y la fauna de una cobertura de pastizal es contrastante con todo tipo de selvas. Este tipo de cobertura está dominada por especies generalistas, además de que hay gran cantidad de especies que interactúan con animales domésticos y favorecen la entrada de enfermedades. Las especies que no toleran coberturas sin vegetación arbórea son desplazadas, y muchas desaparecen del ecosistema.

El aislamiento de las coberturas de vegetación natural resulta negativo ya que favorece su reducción a causa del incremento del efecto de borde, especialmente en los parches de menor tamaño. Generándose pérdidas en las zonas de transición, por los cambios microclimáticos, intromisión de flora y fauna de hábitos generalistas y ocasionando desplazamiento de las especies locales. Como el caso del popal-tular, que en el cambio de un tiempo a otro presenta: una disminución en el aislamiento un incremento en el tamaño promedio del parche pero una disminución de su número de parches. El tamaño promedio de los parches de esta cobertura incremento debido a que desaparecieron los parches de tamaños pequeños que se encontraban aislados en el año 2003. Lo que sugiere que los parches de tamaños pequeños y aislados están en riesgo de desaparecer.

Las plantaciones de coco, plátano, cacao y eucalipto presentan mayor pérdida de superficie que ganancias. Al analizar el número de parches con plantaciones todos tienen una disminución relevante, a excepción del cacao, piña y cítricos que presentaron incrementos. El cacao y plátano incrementaron su conectividad; el

eucalipto presenta un incremento de la conectividad apenas perceptible, pero el coco disminuyó su conectividad. Las plantaciones de Cacao y Plátano se han mantenido en zonas cercanas, esto es debido a las prácticas agrícolas, que las concentran en sitios específicos para una mejor comercialización. Además de que son sitios que tienen características fisicoquímicas que favorecen la productividad de cada cultivo.

La reducción de la superficie de cultivos como el Cacao influye en la conectividad. En sitios donde predominan los cacaotales, como la zona de la Chontalpa, se forman enlaces potenciales o pequeños corredores para la fauna. Pero la disminución de estos fragmentos y, la concentración en sitios estratégicos disminuye la posibilidad de que puedan enlazar los parches de vegetación natural. Esta cobertura se está transformando específicamente hacia pastizales, asentamientos humanos y plantaciones de caña que no permiten la conectividad estructural. En menor magnitud hacia acahuals, cultivos y plantaciones de cítricos, que si pueden favorecer la conectividad estructural.

El incremento de las zonas de asentamientos e infraestructura petrolera son frente de colonización de las coberturas naturales. El porcentaje de ocupación de estas coberturas incremento su número y tamaño de parches. Los asentamientos humanos desplazaron principalmente al pastizal y las plantaciones de cacao, pero también perjudicó a coberturas naturales como el acahual y el popal-tular. El incremento de estas coberturas además de desplazar la vegetación, originan un incremento de actividades productivas en las zonas. Favorecen el establecimiento de infraestructuras de desarrollo como son las carreteras, las cuales fragmentan el paisaje impidiendo la conectividad para las especies e inclusive provocan mortalidad en las poblaciones.

Debido a la demanda creciente del mercado productivo, en el Estado se ven beneficiados cultivos y plantaciones que no favorecen a la biodiversidad y la conectividad. El cultivo de palma y las plantaciones de caña, piña y cítricos son los monocultivos que durante el tiempo transcurrido del periodo 2003 al 2016 tuvieron aumentos en su porcentaje de ocupación y presentando incrementos en

su número de parches. El incremento de las plantaciones de piña y cítricos producen degradación de los suelos, y al ser monocultivos no son favorables para el movimiento de las especies en el paisaje.

En el caso de las plantaciones de caña su número de parches exhibieron reducciones e incrementos en el tamaño promedio. Esto se debe a que esta cobertura presentó agregaciones en la zona donde se encuentra ubicada, desplazando principalmente a los pastizales, y desplazando a las plantaciones de cacao, las cuales como se mencionó anteriormente juegan un papel importante para la conectividad del estado.

En el caso del cultivo de palma, durante el periodo analizado esta cobertura triplicó su número de parches, incrementando su porcentaje de ocupación y densidad de fragmento. Su índice de proximidad media incremento drásticamente, esto se debe que este tipo de cultivo no se está concentrando en zonas específicas, por lo que sus parches se encuentran aislados. En el estado este cultivo se establece principalmente en los pastizales, pero también involucra el desmonte de los acahuales y la selva alta, afectado a la biodiversidad.

La conectividad espacial del estado esta favorecida por la persistencia e incremento de la cobertura de Manglar. A pesar de los factores de cambio que se están presentando en el uso de suelo de Tabasco, la cobertura de manglar mantuvo su persistencia. Esto se debe a que esta cobertura presenta una gran resiliencia, puede recuperar territorio que fue modificado y colonizar nuevas zonas como es el caso de zonas con presencia de pastizal, resultado favorable para la conectividad de los organismos. Este tipo de enlaces es factor relevante, especialmente en una zona tan vulnerable como lo es la costa, con una riqueza de especies y de gran importancia para aves migratorias

A nivel general Tabasco ha visto transformado negativamente su conectividad estructural y funcional, por la transformación de coberturas naturales a coberturas antrópicas y por la pérdida de agrosistemas que favorecen la biodiversidad.

Igualmente, el aislamiento de los parches ha disminuido considerablemente la viabilidad de los parches, ocasionando la pérdida de los mismos.

Tabasco, tiene altas posibilidades de recuperación, por medio de una ordenación del territorio adecuada, que intercale la producción de coberturas naturales con cultivos favorables a la biodiversidad, manteniendo así la heterogeneidad del paisaje y la conectividad en zonas antropizadas. Con lo que tendríamos un estado biodiverso y con oportunidades productivas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.