

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

## **APLICACIÓN DE TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA PARA EL ANALISIS DE DEFORESTACIÓN Y DETERIORO DE SELVAS TROPICALES EN LA REGIÓN UXPANAPA, VERACRUZ**

HERNÁNDEZ GÓMEZ IRVING, U.<sup>1</sup>, ELLIS EDWARD, A.<sup>2</sup>, GALLO GÓMEZ, CÉSAR A.<sup>3</sup>

Centro de Investigaciones Tropicales CITRO, Universidad Veracruzana.

Interior de la Exhacienda Lucas Martín, calle Araucarias s/n,

Colonia Periodistas, 91019 Xalapa, Veracruz, México;

[lurielxal@gmail.com](mailto:lurielxal@gmail.com), [eellis@uv.mx](mailto:eellis@uv.mx), [rased0429@hotmail.com](mailto:rased0429@hotmail.com)

### **RESUMEN**

Las selvas de la región Uxpanapa destacan por ser de los últimos remanentes en el Sureste de México. Adicionalmente, se reconocen mundialmente por su importancia para la biodiversidad de la región Neotropical Mesoamericana. Sin embargo, particularmente desde los últimos 50 años, la región ha sufrido una fuerte deforestación que ha transformado el paisaje notablemente. Este artículo presenta los procesos de deforestación y deterioro de las selvas en la región Uxpanapa, en el estado de Veracruz, México, mediante el uso de teledetección y SIG, las cuales dan pauta para dar seguimiento en los procesos de cambios en la ocupación del suelo. Además de la rapidez, precisión y continuidad que se puede llegar a tener en estudios similares, las técnicas permiten monitorear las áreas con amenazas ecológicas, y apoyan en la evaluación de los factores históricos y socioeconómicos asociados a dicho deterioro ambiental. Mediante estas técnicas de teledetección de imágenes satelitales multiespectrales y los Sistemas de Información Geográfica se obtuvo los usos del suelo y los cambios suscitados de 1976 al 2009 teniendo como resultado una tasa de deforestación de 2,02% anual. Adicionalmente, se integró un análisis paisajístico sobre la fragmentación de la selva, en la región de Uxpanapa, en donde se obtuvo como resultado que la vegetación selvática en 1975 predominaba con un 75% del paisaje, mientras que para el año 2009 esta clase solo ocupaba el 37%. Los fragmentos de selva aumentaron de 393 con una superficie promedio de 996 ha en 1976 a 732 fragmentos de 266 ha promedio para el 2009. La fragmentación de selvas y el cambio de la matriz predominante de selva en 1976 a potreros en 2009 demuestran el deterioro severo de las selvas en la región de Uxpanapa, Veracruz.

Palabras clave: Selvas tropicales, deforestación, fragmentación, percepción remota

## APPLYING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR ANALYZING TROPICAL FOREST DEFORESTATION AND DEGRADATION IN THE UXPANAPA REGION, VERACRUZ

### ABSTRACT

The forests of Uxpanapa region stand out as the last remnants in southern Mexico. Additionally, they are recognized worldwide for their importance in biodiversity of the Mesoamerican Neotropical region. Particularly, in the last 50 years, the region has undergone severe deforestation that has changed the landscape dramatically. This paper presents the process of deforestation and degradation of tropical forests in the Uxpanapa region of the state of Veracruz, México using remote sensing and GIS techniques, which sets the guidelines to be used in detecting land use and land cover change. Besides the speed, accuracy and continuity that these techniques offer for similar studies, they allow for monitoring of potential ecological threats, as well as support in evaluating the historical and socioeconomic factors associated with such environmental degradation. Applying remote sensing of multispectral satellite images and GIS, we obtained land use and land cover data and assessed changes arising from 1976 to 2009. Results indicate a high annual deforestation rate of 2.02% in the region from 1976 to 2009. Additionally, landscape analysis on forest fragmentation in the region of Uxpanapa demonstrated that in 1976 the forest vegetation dominated 75% of the landscape, while in 2009 this class occupied only 37%. Forest fragments increased from 393 with an average of 996 ha in 1976 to 732, averaging 266 ha for 2009. The change in the predominant matrix from forest to pastures between 1976 and 2009, together with forest fragmentation process, show the severe deterioration of tropical forest in the Uxpanapa region of Veracruz.

Keywords: Tropical forest, deforestation, fragmentation, remote sensing.

### 1. Introducción

Las selvas tropicales brindan productos de valor económico y cultural, además de una variedad de servicios ambientales, como la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, estas selvas se están destruyendo a un ritmo acelerado debido a las estrategias y programas gubernamentales de desarrollo socioeconómico (Masera, 1996; Velázquez *et al.*, 2003). La región Uxpanapa en Veracruz es un caso ejemplar de la deforestación de selvas en México. A partir de la década de 1970, el deterioro de las selvas del Uxpanapa se vuelve notable con la implementación de programas de colonización y reubicación de poblados indígenas debido al desarrollo de presas hidroeléctricas en sus territorios originales ([Éric \*et al.\*, 2000](#); [Ewell \*et al.\*, 1980](#); [Velázquez \*et al.\*, 2003, 2000](#)). El proceso de deforestación y degradación en la década de 1970 fue dirigida hacia las selvas conservadas las cuales contenían árboles de hasta 30 m de altura ([Ewell \*et al.\*, 1980](#); [Gómez-Pompa, 1979](#)). La deforestación y transformación del paisaje en la región se caracterizó por la expansión de superficies para la ganadería extensiva, pero también para la agricultura como plantaciones de hule entre 1975 y 1977 y cítricos desde 1983 ([Éric \*et al.\*, 2000](#)), siendo estas las causas inmediatas después de la deforestación para la ocupación del suelo en el Sur del Estado de Veracruz. Estas causas concuerdan con estudios a nivel global sobre los factores principales de deforestación en los trópicos ([Geist, H. J. y Lambin, 2001](#))

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

La pérdida de selvas tropicales tiene implicaciones negativas en relación a los servicios ecológicos y la conservación de biodiversidad que proporcionan estos ecosistemas (Masera 1996; Velázquez *et al.*, 2003; Porter-Bolland *et al.*, 2007). Actualmente, la deforestación y degradación de bosques y selvas se reconoce entre las principales fuentes de gases de efecto invernadero afectando al cambio climático global, ocasionando importantes iniciativas y financiamiento mundial enfocados a reducir las emisiones por estas causas (Angelsen *et al.*, 2009; Onu-Redd, 2010). El impacto de deforestación y fragmentación de selvas tropicales también se asocia con el deterioro y pérdida de hábitat de muchas especies de flora y fauna (Fahrig, 2003; Ochoa, 2000). El proceso de fragmentación incluye los fenómenos de pérdida y reducción de hábitat, la división y aislamiento de cada una de las clases con remanentes de vegetación selvática, la reducción en los tamaños de los fragmentos y el incremento en los efectos de borde en las zonas con vegetación conservada (Fahrig, 2003c; Villavicencio *et al.*, 2006). Estos fenómenos pueden afectar negativamente a las poblaciones, movimientos y disponibilidad de hábitat de mamíferos, aves y otras especies (Fahrig, 2003b; Kelt Da *et al.*, 2001). Varios estudios han demostrado el proceso de fragmentación en las selvas tropicales como en Los Tuxtlas, Veracruz, cerca de la región Uxpanapa, en donde se demuestra la reducción en calidad de hábitat y la afectación a la población del mono aullador (*Alouatta palliata mexicana*) y el mono araña (*Ateles geoffroyi vellerosus*) (Arrollo-Rodríguez *et al.*, 2006; Asensio *et al.*, 2009; Villordo-Galvan *et al.*, 2010).

A pesar de la deforestación y deterioro de selvas tropicales en el Valle de Uxpanapa, la región aún se reconoce por su importancia para la biodiversidad a nivel mundial y nacional (Ellis *et al.*, 2011; Secaira *et al.*, 2007). Esto se debe a que todavía contiene relictos extensos de selva mediana y alta subperennifolia que albergan una gran biodiversidad de flora y fauna, muchas amenazadas o en peligro de extinción (NOM-059-SEMARNAT, 2010). Las selvas del Uxpanapa figuran como *Hot Spot* o área prioritaria para la conservación de biodiversidad dentro de la Región Mesoamericana (Conservation International) y Ecorregión Selva Zoque, Maya y Olmeca (The Nature Conservancy) (Ellis *et al.*, 2011; Mittermeier, 1992; Secaira *et al.*, 2007).

Aunque se reconoce que la deforestación y deterioro de selvas ha sido severa en la región Uxpanapa, ningún estudio hasta la fecha ha evaluado o cuantificado la pérdida y deterioro de las selvas y los procesos de cambio en la usos del suelo que han ocurrido en los últimos 40 años. En este trabajo presentamos los procesos de deforestación y deterioro de las selvas en la región Uxpanapa y describimos el contexto histórico y socioeconómico asociado a estos procesos. Este estudio aplica métodos de percepción remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar la ocupación del suelo y los cambios producidos en el periodo de 1976 a 2009. Además, utilizamos SIG aplicando modelos de ecología de paisaje para explorar los patrones en el proceso de deforestación y fragmentación de selvas y sus implicaciones en el deterioro de este hábitat, particularmente para especies de fauna amenazadas.

La importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en este tipo de estudios es mucho mayor que la de elaborar un mapa, la verdadera importancia radica en dar a conocer desde cierta manera holística la pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo que existen a través del tiempo y el espacio, tratando de dar a conocer una aproximación de lo existente, con la interacción de los factores físicos, naturales y humanos (Pineda *et al.*, 2009). Para los estudios del territorio y del paisaje la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

convertido en una herramienta imprescindible y excepcional (Labrandero Sanz et al., 1998), debido al aumento en la utilización de este tipo de herramientas básicas pero de gran ayuda para este tipo de estudios, con las cuales se pueden realizar análisis y cuantificaciones de las coberturas y los cambios de usos del suelo, así como también de determinar áreas potencialmente recuperables para mantener la biodiversidad paisajística, biológica y cultural, todo esto con la ayuda de los SIG y la Ecología del Paisaje (Varga et al., 2005).

En este contexto, Dos Santos (1994) muestra el gran interés de la percepción remota para el seguimiento de los procesos de deforestación y de cambios en los usos del suelo producidos en la Amazonía Brasileira. Laurente Cajacuri (2011) utiliza imágenes Landsat 5-TM y SIG para el seguimiento del proceso de deforestación de la microcuenca del río Supte, en Tingo María (Perú), en la década de los 1990's y 2005, con resultados demostró una alta tasa de deforestación de los bosques y grandes extensiones de suelos degradados.

## 2. Zona de estudio

La región de Uxpanapa esta localizada al sur del estado de Veracruz, al sureste de México ([figura 1](#)). La zona de estudio ocupa 521.822 ha de la parte alta y media de la Cuenca Hidrológica del Río Coatzacoalcos. Su ubicación geográfica ha sido de gran importancia tanto económica como política. Esta región pertenece a las provincias fisiográficas de la Llanura Costera del Golfo Sur y la Cordillera Centroamericana (INEGI, 2008). El relieve de la zona de estudio es muy diverso, abarcando desde planicies y lomeríos suaves, hasta abruptas pendientes de roca caliza que presentan procesos kársticos. También existe un gran mosaico climático, desde los climas cálidos húmedos en las partes bajas, hasta los semicálidos húmedos en las partes más altas de la región. La temperatura media anual oscila entre los 24°C y 26°C, y se alcanzan precipitaciones de hasta 3.000 mm anuales en las partes de mayor altitud (INEGI, 2008) y con mayor concentración de vegetación. Las intensas lluvias y los escurrimientos dan origen a una red hidrológica muy compleja la cual forma parte de la Cuenca del río Coatzacoalcos (INEGI, 2008). En cuanto a suelos, podemos encontrar una gran diversidad, destacando Luvisoles, Nitosoles, Acrisoles y Regosoles y, en menor cantidad, Rendzinas y Gleysoles. La mayoría de estos suelos son importantes para las actividades agrícolas, pero también son altamente erosionables cuando carecen de cobertura de vegetación natural. Los tipos de vegetación natural predominantes en la región son las selvas medianas y altas subperennifolias (INEGI, 2008; SEMARNAT, 2001).

## 3. Metodología

Para este trabajo se elaboraron datos temporales de la ocupación del suelo en el área de estudio obtenido de las imágenes multiespectrales SPOT 5 (Abril 2009) con una resolución de 10 m por píxel, LANDSAT 7 ETM+ (Abril 2000) con una resolución de 30 m por píxel, LANDSAT 5 TM (Marzo 1990) con una resolución de 30 m por píxel y LANDSAT 2 MSS (Marzo 1976) con una resolución de 60 m por píxel. Estas imágenes fueron clasificadas de manera independiente aplicando técnicas de percepción remota mediante el método de "clasificación supervisada" (con el algoritmo de máxima probabilidad), utilizando el módulo Image Analysis (Leica) con el software de SIG ArcGis 9.2 (ESRI) (Beck, 2003; James Storey et al., 2005).

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

A las imágenes LANDSAT y SPOT se les realizaron previamente los procesos de corrección geométrica la cual se realizó con la localización de 38 puntos de control de posición conocida obtenidas por GPS, mayormente en intersecciones de carreteras y caminos y otros rasgos topográficos que son detectados fácilmente en las imágenes a corregir comenzando por la imagen (SPOT), ya corregida la primera imagen (SPOT) se utilizó ésta como base para la corrección de las otras imágenes 2000 (22) 1990 (29), 1976 (34), por lo tanto las correcciones posteriores fueron más fáciles de elaborar debido a los elementos coincidentes, lo que aseguró una buena superposición de todas las imágenes (Chuvieco, 2002), los errores obtenidos en este análisis oscilan entre 8,73 y 34,6 metros, es importante mencionar que se modificó el tamaño de píxel para las imágenes LANDSAT ya que estas no tienen un tamaño de 10 m por píxel, por lo que se ajustaron las 3 imágenes a 10 m por píxel. El siguiente proceso fue el de la corrección atmosférica que sirvió para eliminar el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por parte de los gases y partículas en suspensión de la atmósfera, se realizó mediante el cálculo de reflectividad, con el proceso de corrección atmosférica absoluta que convierte el valor digital (DN) obtenido por el sensor remoto para cada píxel a valores de reflectividad de la superficie ("scaled surface reflectance"), para este proceso se utilizó el método de transmisividad de la atmósfera descendente (COST), utilizando valores como: distancia a la tierra, irradiancia propuestas por Chávez, este proceso se elaboró con la herramienta CALRAD del software ERDAS IMAGINE 9.1. (Chávez, 1996).

Se realizó un recorrido de campo en la zona durante Julio del 2010 para la recolección de puntos de muestreo mediante el geoposicionamiento de la ocupación del suelo (usos de suelo y tipo de vegetación) con un GPS Garmin 60 Csx, en donde se obtuvieron un total de 275 puntos correspondientes a 77 de acahual (vegetación secundaria), 68 de potreros, 38 de selva, 28 de cítrico, 26 de selva quemada, 17 de plantaciones de hule, 12 de agua y 9 sin vegetación aparente. El esquema de muestreo de campo se basa en recorridos de transecto mayormente en caminos secundarios y terracerías extendidos por toda la región de estudio. En cada transecto se hacía una parada cada 2 o 3 km, tomando datos de la ocupación del suelo localizada entre 30 y 50 m de cada lado del camino para evitar los efectos de borde frecuentemente observados a la orilla de caminos. Debido a que los fragmentos de selvas frecuentemente se localizaban en áreas más lejanas y menos accesibles del camino, se caminaron a estos fragmentos de selvas localizadas durante los transectos de muestreo. Estos puntos obtenidos en campo sirvieron de apoyo para determinar y elaborar las firmas espectrales para dirigir la clasificación supervisada, ocupándose entre 10 y 20 puntos por categoría, dependiendo de la categoría, su variabilidad en firmas espectrales y el año de la imagen clasificada. En ese sentido, para las imágenes anteriores al 2009 se ocuparon los puntos de referencia en los cuales se observaba la misma ocupación del suelo que en el año 2009 tanto en su interpretación visual como en su patrón de firma espectral, por lo tanto a cada imagen se le realizaron sus propias firmas de entrenamiento. Consecuentemente, menos puntos y categorías se emplean para la clasificación supervisada de la imagen del 1976 comparada a la clasificación del 2009. Adicionalmente, como apoyo para realizar y verificar las clasificaciones se utilizaron las cartas temáticas de vegetación y usos del suelo (ocupación de suelo) realizadas por INEGI y CONABIO.

Las clases obtenidas en las diferentes imágenes temporales son: 1) selva, vegetación secundaria, agua y deforestado (que incluye mayormente potreros y urbano juntos) en la imagen de 1976; 2) selva, vegetación secundaria, agua, , plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis*), cítricos,

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

potrero y urbano para la imagen LANDSAT TM del 1990, 3) selva, vegetación secundaria, agua, plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis*), cítricos, potrero, urbano y vegetación de selva quemada (esta clase es parte de la recuperación natural de la selva que se quemó en 1998 antes mencionada) para la LANDSAT ETM+ del 2000; y 4) selva, vegetación secundaria, agua, plantaciones de hule y cítrico, potrero, urbano, vegetación de selva quemada y sin vegetación aparente para la imagen SPOT del 2009, la resolución de esta última imagen permitió obtener resultados más puntuales y precisos como el suelo desnudo (roca caliza) esta era mayormente apreciable y localizada a la orilla de los ríos y en las laderas pronunciadas de la zona, lo cual no se pudo obtener con las otras imágenes por el tipo de resolución que dan las imágenes.

Teniendo ya las clasificaciones se realizó una segunda visita en marzo 2011 a la zona de estudio con la finalidad de corroborar las clasificaciones de ocupación del suelo resaltando la del 2009 por ser la imagen más actual. Para la clasificación del 2009 se realizó la prueba denominada Índice Kappa en donde se utilizó una muestra de 123 puntos de referencia geoposicionados los cuales se obtuvieron de la segunda visita donde se recorrieron una serie de nuevos transectos predeterminados en la región de estudio y siguiendo el mismo sistema de muestreo y colecta de puntos que se describió anteriormente. Debido a la poca accesibilidad y topografía de difícil acceso en la región de estudio, fue imposible tomar puntos de sitios escogidos aleatoriamente, sin embargo se escogieron transectos en donde se cubriría una buena muestra representativa de las categorías de ocupación del suelo en la región con la finalidad de tener proporción entre los puntos de muestreo y el área de estudio. Finalmente dichos puntos fueron ocupados en el análisis de certeza aplicando el método descrito por (Chuvienco, 1996), además el mismo análisis Kappa realizado en Arcview 3.2 con la extensión Kappa Analysis 2.1, dio como resultado una matriz de confusión, la cual muestra las clases en las que hubo un posible error o confusión en la clasificación y que se muestra en la [tabla 2](#). El Índice Kappa es un modelo estadístico que evalúa la correspondencia en una matriz entre las clases de ocupación del suelo derivada de la clasificación supervisada con la ocupación del suelo real, obtenido con puntos de muestreo *in situ* utilizando la fórmula:

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}$$

En donde  $r$  es el número de filas en la matriz;  $X_{ii}$  el número de observaciones en la fila  $i$  y columna  $i$ ; ( $X_{i+}$ ,  $X_{+i}$ ) son el total de marginal de fila  $i$  y columna  $i$ , respectivamente y  $N$  es el total de observaciones (Laurente Cajacuri, 2011).

Posteriormente, se calcularon las tasas anuales de deforestación o pérdida de selvas en base a su cobertura de selva para los periodos 1976-1990, 1990-2000, 2000-2009 y 1976-2009 empleando la fórmula:

$$dn = [S2/S1]^{1/n} - 1$$

Esta ecuación se ocupa como indicador estandarizado de la deforestación para el monitoreo ambiental en México, en donde  $dn$ = tasa de deforestación,  $S2$ = cobertura forestal del segundo

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

periodo,  $S_1$  = Cobertura forestal del primer periodo y  $n$  = número de años del periodo (Ellis *et al.*, 2008).

Para el análisis espacial de cambios en la ocupación del suelo se reclasificaron las clases en cada imagen para obtener imágenes temporales resultantes con dos categorías; 1) forestado (con cobertura arbórea conservada), para esta categoría se tomo únicamente la clase de selva, y 2) otros usos del suelo (sin cobertura arbórea conservada), que incluye, vegetación secundaria, potreros, plantaciones de hule y cítricos y urbano, pero excluye agua y sin vegetación aparente que por lo regular son rocas calizas sin vegetación, excluidos por ser usos de suelo que no son relacionados con impactos antropogénicos. Estos procesos se realizaron usando la extensión Spatial Analyst de ArcGIS 9.2 (ESRI). Posteriormente, usando la extensión Spatial Analyst, se combinaron las imágenes representando áreas forestadas y otros usos del suelo en cada año para obtener como resultado los análisis de cambios espacio-temporales de cobertura forestal o arbórea para los periodos 1976-1990, 1990-2000 y 2000-2009, obteniendo las categorías de: 1) selva sin cambios, 2) agrígan sin cambios (agrícola, ganadero y otros), 3) deforestado y 4) regenerado/reforestado, es importante mencionar que la suma de los resultados no de el 100% debido a las dos categorías que se excluyeron y mencionaron con anterioridad.

Finalmente, se realizó un análisis de los patrones de deforestación y fragmentación en la zona de estudio ([figura 1](#)) aplicando un programa que analiza patrones espacio-temporales y principalmente utilizado para estudios de ecología de paisaje, Fragstat 3.3, en donde de las múltiples clases métricas de paisaje, se analizaron tres para las clases de selva, vegetación secundaria y potrero, siendo estas las siguientes: Porcentaje en el paisaje, superficie en ha y número de fragmentos. Los resultados muestran las matrices predominantes en sus diferentes épocas así como la evolución en la fragmentación de la zona (Villavicencio *et al.*, 2006).

Para el análisis de paisaje se eliminaron los polígonos menores de 5 ha con la extensión Eliminate del software ArcGIS 9.2 con el propósito de no considerar polígonos de selva demasiado pequeños que muy probablemente no tengan las características y funciones ecológicas de un hábitat de selva conservada, además de que generarían un resultado sobrerrepresentado numéricamente. Más aún es la superficie mínima considerada como regla de operación por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para áreas forestales aptas para servicios ambientales hidrológicos (SEMARNAT, 2010).

#### 4. Resultados y discusión

En los resultados obtenidos de la corrección geométrica se encontró que la corrección de imagen a imagen fue menos laborioso el proceso, esto por la facilidad de encontrar los elementos y rasgos coincidentes con los puntos de control, sin embargo el proceso de corrección de puntos imagen a GPS, fue complicado debido a que es mas complicado localizar puntos exactos de GPS. Por lo tanto el error estimado para la imagen SPOT fue de 8,73 m con un error promedio cuadrático (RMS) de 9,62 (9,78 en X y 9,83 en Y), para la LANDSAT 2000, el error estimado es de 25.2 m, con un error promedio cuadrático de 29,62 (27,03 en X y 29,27 en Y), para la LANDSAT 1990, el error estimado es de 28.87 m, con un error promedio cuadrático de 34,62 (23,66 en X y 26,02 en Y), y para la LANDSAT 1976, el error estimado es de 29.2 m, con un error promedio cuadrático de 32,62 (24,03 en X y 25,27 en Y).

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

La conformación del paisaje actual que se obtuvo de la clasificación de la imagen SPOT 2009 en la región del Valle de Uxpanapa se puede apreciar en la [figura 2](#) y en la [tabla 1](#). La matriz de confusión ([tabla 2](#)) de la clasificación del 2009 ofrece una fiabilidad global de 83% y un Estadístico Kappa de 77%, en esta tabla se puede observar la correlación y exactitud en la clasificación entre las clases de vegetación y ocupación del suelo del 2009 y los puntos de muestreo en campo, aunque existe cierto grado de confusión entre las clases de selva y vegetación secundaria debido a que la vegetación secundaria tiene un grado de madurez mayor (14 a 18 años de crecimiento) por lo tanto hay un grado de dificultad para diferenciar la clase de selva conservada en las imágenes satelitales (Ellis y Porter, 2008, Bray *et al.*, 2004); y también las plantaciones de cítricos con vegetación secundaria, esta segunda podría corresponder a que algunos cítricos que han sido abandonados tienen características similares a la vegetación secundaria.

En la [figura 2](#) se observa el mapa de ocupación del suelo obtenido de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT de 1976, en el mapa se observa como la masa forestal de la clase de selvas cubrían alrededor del 72% de la zona de estudio, en esta época aun no había mucha fragmentación, sin embargo para esta fecha ya se habían reintroducido y acomodado diferentes pueblos procedentes de Oaxaca y Veracruz (Ewell *et al.*, 1980; Gómez-Pompa, 1979), esta introducción provocó que la zona comenzara a deforestarse y las selvas a deteriorarse, resultando en la ocupación de suelo de vegetación secundaria de 20% y las zonas deforestadas ocuparon un 6% de la región (31.422 ha), ya que las poblaciones iniciales necesitaban deforestar las selvas para crear caminos, construir sus casas y para tener espacios de producción agropecuaria.

Las selvas tropicales en la región del Uxpanapa en el 2009 ocupan 194.652 ha, aproximadamente el 37% de la superficie total. Esta clase ha disminuido considerablemente desde el 1976 al 2009 debido al incremento y expansión de potreros (ganadería extensiva), abarcando 217.333 ha en el 2009 (41% de la superficie total), teniendo una pérdida de vegetación selvática en este periodo de 185.000 ha. Los grandes fragmentos de selvas en el 2009 se localizan en las partes de mayor altitud, con pendientes fuertes de roca kárstica y de difícil acceso para los pobladores, en donde aun se registra la presencia de especies como el Tapir (*Tapirus bairdii*) y Jaguar (*Panthera onca*) y otras especies de monos, aves y reptiles (PRONATURA, 2007).

En esta fecha se nota claramente la matriz de predominancia, teniendo grandes extensiones de fragmentos de potreros para uso de la ganadería extensiva, aumentando a partir de 1987-1990, debido a que la plantación de cultivos de cítricos no tuvo la importancia económica que se esperaba, esto provocó el replanteamiento para cambiar los cultivos por el de ganadería extensiva siendo esta apoyada por medios económicos gubernamentales (PROGAN), provocando un aumento hasta el día de hoy, cambiando y modificando ocupaciones del suelo agrícolas y de vegetación secundaria por el de potreros, lo cual sigue creando fragmentación y deterioro del hábitat para especies importantes y en peligro de extinción ya antes mencionadas (De Teresa *et al.*, 2000, PRONATURA, 2007).

Por otro lado, destaca en la transformación del paisaje la vegetación secundaria que abarca un 19% de la superficie total (94.212 ha) en el 2009, significando gran cantidad de áreas de vegetación secundaria, siendo aún esto de gran importancia para el medio ambiente y para el aumento de superficie forestal, lo que puede generar pago por servicios ambientales en el futuro. Sin embargo en la [tabla 1](#) se observa como la vegetación secundaria abarcaba alrededor de 104.000

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

ha en 1976, demostrando que en la década de 1970 ya se encontraba presente los procesos de degradación y regeneración de selvas en la región.

En menor proporción se encuentran los cítricos y plantaciones de hule, que en el 2009 suman en su conjunto aproximadamente 6.000 ha, con el 1% de la superficie total ([tabla 1](#)). Estas clases se han mantenido casi homogéneas, prevaleciendo y teniendo un aumento mínimo en la zona. Las plantaciones de hule que comenzaron en 1975-1977 y las plantaciones de cítricos que comenzaron su auge en 1983 y se localizan en la parte central y al oeste del área de estudio, además de estar cerca de la carretera principal ya que esto facilita el transporte de la producción. Estas plantaciones son otra opción económica para los habitantes de la región aunque no se sabe con exactitud que tan redituable llegan a ser estos cultivos, es importante mencionar que para que las áreas salgan iguales en sus diferentes épocas se debe excluir de la suma la variable Deforestado (Agrop/Urbano/Sin Veg.) de la [tabla 1](#).

La tasa de deforestación anual de selvas en la región Uxpanapa en el periodo 1976-2009 es de 2,02%, una cifra mucho mayor a las tasas de deforestación registradas a nivel nacional desde los 1990s a la actualidad (FAO, 2010). Las zonas mayormente deforestadas y con selvas deterioradas se encuentran en las partes planas y a las orillas de los ríos o cerca de las vías de comunicación. Esta alta tasa anual y patrón espacial de deforestación refleja los programas de desarrollo económico y colonización que se puede remontar a la década de 1950 con la creación de la Comisión de Papaloapan (CP), creada desde el 1947 para fomentar el desarrollo económico de la región mediante proyectos agrícolas y ganaderos y por decreto presidencial con un programa de desmonte ([Szekely et al., 1988](#)). Adicionalmente la CP tenía encargado la construcción de presas y obras hidráulicas en la región, principalmente para prevenir desastres de inundación, la cual también involucraba la reubicación de poblaciones de campesinos Chinantecos-Mazatecos y Zoques que habían sido movidos de donde hoy es la presa Miguel Alemán (Temascal), construida de 1949 a 1962, y la de Cerro de Oro, construida de 1974 a 1989 ([De Teresa et al., 2000](#); [Ewell et al., 1980](#)). Mediante los programas de colonización y reubicación en la región Uxpanapa, la población aumentó de aproximadamente 15.000 personas en los 1970s a 47.893 y 54.353 habitantes en 1990 y 2005, respectivamente ([INEGI, 1991, 2001, 2006](#); [PRONATURA, 2007](#)).

Los resultados de cambios de ocupación de suelo demuestran que para el periodo 1976-1990, que coincide con la época de programas de desmonte, reubicación y colonización, la tasa anual de deforestación o pérdida de selvas fue de 1,58% ([Tabla 2](#)). Como se menciona arriba, la cifra excede la tasa anual de pérdida de selvas en México reportado entre 1976 y 2000 de aproximadamente 1% ([Velázquez et al., 2002](#); [Lund et al., 2002](#)). En este mismo periodo se observa que las primeras deforestaciones que propiciaron el deterioro de la zona comenzaron en las partes planas y cercanas a los ríos debido a que ahí se encontraban los suelos más fértiles y aptos para la agricultura y la ganadería extensiva ([Velasco, 2011](#)). Otras áreas deforestadas y degradadas se ubicaron en las orillas de las brechas y caminos que en 1975 se comenzaban a abrir para los primeros poblados que se asentaron. Los procesos de deforestación se observan en los Poblados numerados desde el uno hasta el catorce, los cuales se ubican en la parte central de la zona de estudio (ubicados de oeste a este), sitios en donde además se dieron procesos de regeneración ([figura 2](#)).

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

En los cambios ocurridos del 1976 al 1990 ([Figura 3](#)) se observan zonas extensas de deforestación en el extremo oeste del municipio de Choapas, así como en el extremo este en el municipio de Jesús Carranza, donde se dice que llegaron pobladores de Los Tuxtla ([Ewell et al., 1980](#)) ([figura 3](#)). En 1976, las selvas ocupaban 378.268 ha, casi un 73% de la zona de estudio, sin embargo, para 1990 más de 70.000 ha de selvas conservadas se desmontaron y la cobertura de selvas se redujo al 58% (302,465 ha), correspondiendo a unas 5000 ha deforestadas por año durante ese periodo de 14 años ([tabla 1](#)). La mayor parte de áreas deforestadas fueron convertidas a potreros, Las zonas de selvas que no fueron impactadas (sin cambio) por lo general se ubicaban en las partes altas y más inaccesibles con suelos pobres y pedregosos en donde el uso de suelo agrícola y ganadero no es apto económicamente ([figura 3](#)).

Los procesos de deforestación y regeneración en el segundo periodo analizado, que corresponde de 1990-2000, se pueden observar en la [figura 4](#). Los resultados muestran una tasa anual de deforestación o pérdida de selvas que prácticamente se duplica, llegando a 3,82% ([tabla 2](#)). Este resultado es alarmante, considerando que se esperaba una mayor tasa de deforestación en el primer periodo (1976-1990) debido a los programas de desmonte y colonización que se describen arriba. Sin embargo, se deforestan otros 100.000 ha de selvas en este periodo de tan solo 10 años ([tabla 1](#) y [tabla 2](#)). La deforestación antropogénica se debe principalmente a la expansión de potreros y áreas de plantación de cítricos ([tabla 1](#) y [tabla 2](#)). La década de los 1990s coincide con una crisis económica y políticas neoliberales para remediar la economía. Entre las políticas neoliberales del periodo destacan la Ley de Reforma Agraria del 1992 que permitió la parcialización y privatización de tierras ejidales, y programas como PROCAMPO que se describe como un subsidio a productores para compensar por los subsidios que recibían sus competidores extranjeros y no afectar los precios de productos agropecuarios (Ellis y Porter, 2008; Roy Chowdhury, 2010). El productor recibe un subsidio por las hectáreas de uso de suelo productivo, solo demostrando cuantas hectáreas tiene deforestadas. Estos programas tienen implicaciones para la deforestación y el cambio de cobertura y ocupación del suelo, aunque no se conocen bien a fondo (Astudillo, 1982; Hernández, 1976).

Por otro lado, hay que puntualizar que áreas extensas de selvas también se perdieron por incendios en el 1998, reflejando también la tasa alta en este periodo, siendo los incendios los que afectaron mayormente a las selvas altas y medianas. Las selvas perdidas por incendios ocurrieron al lado este del municipio de Uxpanapa, en un lugar llamado La Media Luna, y también al suroeste en la parte alta del municipio Uxpanapa. También se observa que en el periodo de 1990 al 2000 hay un incremento del 11,25% al 20,43% de superficie con vegetación secundaria ([tabla 1](#)) con una regeneración de 18.737 ha ([tabla 2](#)). Esto refleja un proceso o dinámica adicional en el paisaje de secundarización de la vegetación. En otras palabras, se ven patrones de regeneración de vegetación secundaria, principalmente asociados con actividades de manejo agropecuario, que coinciden con las características de sucesión temprana, más no tiene la misma estructura y composición de selvas conservadas. La regeneración de acahuales se observan mayormente al centro y oeste de la zona de estudio ([figura 4](#)).

Concluimos el análisis de los cambios de ocupación del suelo temporal con el periodo 2000 - 2009, en donde se pueden observar los procesos de deforestación como de regeneración en la [figura 5](#). El resultado de la tasa anual de deforestación en estos 9 años fue de 0,67 % ([tabla 2](#)). Al contrario de los periodos anteriores este periodo dio como resultado una tasa de deforestación

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

menor, pero que también fue influenciado por las alrededor de 30.000 ha que fueron regeneradas de las selvas quemadas en el 1998. En la [figura 5](#), se puede observar esta regeneración dentro y alrededor de los grandes macizos de selva que son de gran importancia para la fauna del lugar, y que además conducen a la conectividad entre los fragmentos. Los corredores biológicos y la conectividad que proporcionan son importantes para el flujo e incremento del ámbito hogareño de especies que ahí habitan (Hobbs, 1993; Bennet, 1998). Por otra parte, en el noreste de la zona que corresponde al municipio de las Choapas, se observa nuevamente un incremento de deforestación, convirtiéndose estos en potreros. Este proceso se debe a que la ganadería intensiva en esta zona ha sido una de las principales actividades económicas de la región, esto se demuestra con el aumento de 63.000 ha destinadas a usos predominantemente ganaderos ([tabla 2](#)).

Aunque en este periodo de 2000 al 2009 se observa una continuación de la expansión ganadera fuertemente asociado con programas institucionales del gobierno como PROCAMPO, también se destacan las medidas de conservación y desarrollo sustentable. Se implementa en el 2003 el programa de pagos por servicios ambientales (PSA) de CONAFOR con el propósito de fomentar e integrar la conservación de recursos naturales en zonas rurales dentro de las actividades productivas, y el programa de apoyo a la ganadería (PROGAN), para mejorar la producción e intensificación de la actividad ganadera (Shamara, 2004). Más aún desde el 2010 esta zona esta como propuesta para ser Área Natural Protegida por la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) publicado por Elsa Rodríguez (2010). En el 2007, se realizó una caracterización social y ambiental en la región del Valle de Uxpanapa, solicitado por el Gobierno del Estado de Veracruz y la CONANP, como línea base para la propuesta de una Reserva de la Biósfera para esta región en Veracruz ([PRONATURA, 2007](#)). No obstante, todos los proyectos que se han otorgado y aplicado en la zona no han logrado tener el funcionamiento y desarrollo adecuado, esto se debe a los malos manejos económicos, a las malas planeaciones y a la falta de integración adecuada del conocimiento científico en estos proyectos ([Shamara, 2004](#))

Este trabajo también evalúa el proceso de deterioro de las selvas mediante el análisis de los patrones y cambios espacio-temporales del paisaje. A continuación se describe la fragmentación de la composición dominante del paisaje (selva, vegetación secundaria y potreros) en la región de Uxpanapa, esto dará la pauta para la toma de decisiones sobre el manejo y conservación de la biodiversidad como un nuevo decreto de Área Natural Protegida. En la [figura 5](#) y [tabla 4](#), se puede observar como los fragmentos de selva han aumentado pasando de 393 fragmentos en 1976 a 732 en el 2009, mientras la fragmentación aumentaba su superficie disminuyó hasta un tercio. En 1976 la superficie de fragmentos tenía un promedio de 996 ha disminuyendo para el 2009 a un promedio de 368 ha. Mientras este fenómeno sucedía el aumento de la superficies de potrero y su porcentaje de ocupación en el paisaje de la región estaba en aumento, teniendo para 1976 fragmentos de 70,5 ha en promedio y aumentando casi 4 veces más su tamaño llegando a tener hasta un promedio 266.9 ha por fragmento de potrero ([figura 6](#)). El fenómeno de la deforestación y el aumento de potreros en la zona propiciaron el aumento de vegetación secundaria ocupando esta el 18,5% de la superficie total en 1976. La vegetación secundaria actualmente (2009) ocupa el 14% de la superficie, estas dinámicas de secundarización de vegetación están relacionadas con la constante actividad humana y con la interacción de las condiciones geográficas y ambientales de la región (relieve, suelo, incendios, clima, etc.).

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

Cabe destacar que en la [figura 4](#) se puede observar que los fragmentos conservados quedan localizados al sur y en las partes altas, inaccesibles y de roca kársticas, mientras que los cultivos y potreros se localizan al centro y norte de la imagen en las partes planas o de pendientes suaves. El proceso de reducción de hábitat de selvas tropicales, aumentó en número de fragmentos, reducción en el tamaño promedio del fragmento, y mayor efecto de borde, todos estos son síntomas del deterioro de selvas tropicales y del hábitat para muchas especies de fauna y flora. Más aún, la reciente reducción en número de fragmentos observados en el último periodo 2000-2009, ya es indicador del proceso de eliminación de fragmentos remanentes relacionado un proceso de deforestación y deterioro de selvas severo ([Zipperer, 1993](#)). Los patrones de deforestación y fragmentación observados en la región Uxpanapa tienen que haber tenido repercusiones en la pérdida de especies de flora y fauna, aunque estos impactos nunca se han investigado en la región.

En cuanto a corredores y forma de los fragmentos numéricamente no se muestran en los resultados, sin embargo no se hace a un lado esta evaluación y en la [figura 4](#) en color verde se pueden observar los macizos de vegetación selvática que aun cuentan con gran potencial para retener biodiversidad además de que están relativamente cercanos unos de los otros, esto da la pauta para pensar en una de las estrategias de reconfiguración del paisaje comenzando con corredores para así tener interconectividad entre los fragmentos grandes de selva.

El proceso de deforestación ([tabla 3](#)), como el de fragmentación, tiene fuertes implicaciones para la conservación de la biodiversidad en la región. El tamaño y conectividad de los fragmentos de vegetación determina la calidad de hábitat de algunas especies las cuales necesitan grandes extensiones para su sobrevivencia y reproducción ([Fahrig, 2003](#)). Los resultados de la fragmentación adicionalmente indican el efecto de borde en los fragmentos de aproximadamente 5 ha, dicho efecto de borde prácticamente reduce la superficie de hábitat y de cobertura forestal a un promedio de 4 ha, siendo un área muy reducida para muchas especies de fauna, particularmente mamíferos con ámbitos hogareños grandes como el jaguar, tapir o monos, los cuales necesitan grandes extensiones de hábitat disponible ([Crooks, 2002](#); [MacArthur y Wilson, 1967](#)).

De acuerdo con la teoría biogeográfica de islas, la cual menciona que las variables del paisaje como el tamaño y el aislamiento de hábitat o ecosistemas determinan el número de especies en las islas, entre más extenso, conservado y alejado de la civilización este un hábitat mayor será su diversidad de especies ([Crooks, 2002](#); [MacArthur et al., 1967](#); [PRONATURA, 2007](#)). Analizando y comparando los resultados obtenidos de la fragmentación en la región Uxpanapa, se puede asumir que en 1976, la zona hubiera contenido una mayor biodiversidad comparado a la situación actual. Este impacto de la deforestación y fragmentación de selvas en la reducción de la biodiversidad en la región también ha sido comentado en el estudio de PRONATURA (2007).

## 5. Conclusión

La tasa de deforestación histórica y actual para Uxpanapa es elevada y alarmante, en este trabajo se muestra el proceso de pérdida de vegetación selvática por el que ha pasado la zona, siendo las políticas sociales de desarrollo y reubicación desde los 1960s las principales causantes de esta pérdida.

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

Los sistemas de información geográfica son de gran ayuda para la toma de decisiones, ya que por medio del análisis de imágenes satelitales se puede monitorear y vigilar las áreas que están recibiendo apoyos por la conservación del medio ambiente. Aunado a esto el análisis de los cambios temporales-espaciales y el cálculo de las áreas y tasas, han ayudado a cartografiar y cuantificar la zona de estudio y con la metodología de este trabajo se pueden seguir realizando evaluaciones futuras para la ocupación del suelo y el análisis del paisaje de Uxpanapa, Veracruz.

El análisis del paisaje muestra resultados cuantitativos del paisaje sobre los procesos de deforestación y cambios en la ocupación del suelo, demostrando la situación del deterioro y pérdida de cobertura de vegetación selvática y hábitat para la vida silvestre, además de que aporta información esencial para la formulación de estrategias y políticas de conservación y desarrollo en la región Uxpanapa del estado de Veracruz.

Agradezco por el apoyo brindado para la elaboración de este texto al Proyecto que tiene por nombre: "Evaluación de la distribución, tamaño poblacional y vulnerabilidad de especies amenazadas para determinar áreas y estrategias de conservación prioritaria en la región Uxpanapa", financiado por CONACYT, coordinado por la investigadora Dra. M<sup>a</sup>. Cristina Mac Swiney G. del Centro de Investigaciones Tropicales, U. V.

## Bibliografía

Angelsen, A., Brown, S., Loisel, C., Peskett, L., Streck, C. (2009): *Reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD): an options assessment report*, Meridian Institute, Washington, DC, USA.

Arrollo-Rodríguez, V. y Mandujano, S. (2006): "The importance of tropical rain forest fragments to the conservation of plant species diversity in Los Tuxtlas, Mexico", *Biodiversity and Conservation*, 15, pp. 4159-4179.

Asensio, N., Arroyo-Rodriguez, V., Dunn, J.C. y Cristobal-Azkarate, J. (2009): "Conservation Value of Landscape Supplementation for Howler Monkeys Living in Forest Patches", *Biotropica*, 41, 6, pp. 768-773.

Astudillo, M. M. (1982): "El sector agrícola mexicano", *Problemas del Desarrollo*, N. 50, México.

Beck, R. A. (2003): "Scan Line Corrector-off Products Available", *Landsat Project News*, pp. 1-12.

Bennett, A. (1998): "Enlazando el Paisaje: El papel de los corredores biológicos y la conectividad en la conservación de la vida silvestre", IUCN, Gland, pp. 15-276.

Bocco, G., Mendoza, M. y Masera, O. (2001): "La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación", *Investigaciones Geográficas*, N. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-38.

Bray, D. B., Ellis, E. A., Armijo-Canto, N., Beck, C.T. (2004): "The institutional drivers of sustainable landscapes: a case study of the "Mayan Zone" in Quintana Roo", Mexico, *Land Use Policy*, 21, pp. 333-346.

Crooks, K. R. (2002): "Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation", *Conservation Biology*, 16, pp. 488 - 502.

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

Chavez, P. S. (1996): "Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 9, pp. 1025-1036.

Chuvieco, E. (2002): *Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona, Ariel Ciencia.

Chuvieco, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid, Ediciones Rialp.

De Teresa, A. P. y Hernández, G. (2000): *Los vaivenes de la Selva. El proceso de reconstrucción del territorio zoque de los Chimalapas*. Mexico, D.F., UAM.

Dos Santos, J. R. (1994): "Técnicas de percepción remota espacial para el monitoreo de la deforestación de la Amazonia Brasileira", *Second Euro-Latin American Space Days*, pp.103.

Ellis, E. A., Martínez-Bello, M. y Monroy-Ibarra, R. (2011): "Focos rojos para la conservación de la biodiversidad en el Estado de Veracruz", CONABIO. En prensa.

Ellis, E. A., y Porter-Bolland, L. (2008): "Is community-based forest management more effective than protected areas?, A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico", *Forest Ecology and Management*, N. 256, 11, PP. 1971 - 1983.

Ewell, P. T. y Poleman, T. (1980): *Uxpanapa: Reacomodo y desarrollo agrícola en el trópico mexicano*. Xalapa, Veracruz, INIREB.

Fahrig, L. (2003): "Effects of habitat fragmentation on biodiversity", *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, N. 34, pp. 487-515.

FAO. (2010): *FAO Strategy for Forests and Forestry*, Roma, Italia, en: <http://www.fao.org/docrep/012/al043e/al043e00.pdf>.

Geist, H. J. y Lambin, E. F. (2001): *What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence*. Belgica, LUCC Report Series N. 4.

Gómez-Pompa, A. (1979): "Antecedentes de las Investigaciones Botánico Ecológicas en la Región del Río Uxpanapa, Veracruz, México", *Biotica*, 4, pp. 127-133.

Hernández, G. I. (1976): "La agricultura mexicana actual", *Problemas del desarrollo*, N. 25, México, pp. 89-112.

Hobbs, R. (1993): "Can Revegetation Assist in the Conservation of Biodiversity in Agricultural Areas?" *Pacific Conservation Biology*, 1, pp. 389-391.

INEGI (1991): "XI Censo General de Población y Vivienda 1990". INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2001): "XII Censo General de Población y Vivienda 2000". INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2006): "II Censo de Población y Vivienda 2005". INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes.

Kelt, D. A. y Vuren. (2001): "The ecology and macroecology of mammalian home range area", *The American Naturalist*.

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

Labrandero, S. J. y Martínez, V. J. (1998): *Sistemas de Información Geográfica en la Planificación Ambiental de Áreas de Montaña*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Economía y Geografía, Madrid.

Laurente, C. M. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (informes)*, 11, pp. 1-15.

Leonard, E. y Velázquez, E. (2000): *El Sotavento Veracruzano. Proceso sociales y dinámicas territoriales*. México, Antropologías / CIESAS.

MacArthur, R. H. (1967): *The theory of island biogeography*. Princeton, New Jersey, Princeton University.

Mcarigal, K. y Marks, B. (1995): "Fragstat: Spatial Pattern Análisis Program for Quantifying Landscape Structure", *Agriculture General Technical Report*, Washington, DC, United States Department, pp 42-122.

Marquez, P. J., Parrilla, A. E. y Rodríguez D. V. (2002): "Metodología para la valoración de la calidad y fragilidad del paisaje mediante sistemas de información geográfica", COPT, documento interno.

Masera, O. R. (1996): "Deforestación y degradación forestal en México", *Documentos de trabajo*, N. 19. GIRA A. C., Pátzcuaro, México.

Mittermeier, R. (1992): "La importancia de la diversidad biológica de México", *México ante los retos de la biodiversidad*, Conabio, México, pp. 57-62.

Ochoa, J. (2000): "Efectos de la extracción de maderas sobre la diversidad de mamíferos pequeños en bosques de tierras bajas de la Guayana venezolana", *Biotropica*, 32, pp. 146-164.

ONU-REDD (2010): "El programa de colaboración de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques en los países en ONU-REDD desarrollo (REDD+), 2011-2015", *Estrategia del Programa ONU-REDD*.

Pineda, J. N., Bosque, S. J., Gómez, D. M. y Plata, R. W. (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*, Boletín del Instituto de Geografía, 69, pp. 33-52.

Porter-Bolland, L., Ellis, E. A. y Gholz, H. L. (2007): "Land use dynamics and landscape history in La Montaña, Campeche, Mexico", *Landscape and Urban Planning*, N. 82, pp. 198-207.

Rodríguez, E. (2010): *Uxpanapa será área natural protegida*, ed. Bocadelrio.com, 20-octubre-2010, en: <http://bocadelrio.com/noticias/uxpanapa-sera-area-natural-protegida/>

Roy, C. R. (2010): "Differentiation and concordance in smallholder land use strategies in Southern Mexico's conservation frontier", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 13, pp. 5780-5785.

Sandoval Mendoza, J. B. et al.(2007): *Evaluación del Estado de Conservación de los Ecosistemas Forestales de la Región denominada "Uxpanapa"*. Documento Inédito, Dirección General de Desarrollo Forestal del Gobierno del Estado de Veracruz, Veracruz, Mexico, pp. 220.

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

---

Secaira, F., Paíz, M. C. y Hernández, G. (2007): "Una visión para el futuro, una agenda para hoy, Plan Ecorregional de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca", *The Nature Conservancy-Pronatura Península de Yucatán, A.C.-USAID / Parks in Peril Program - CEPF-USFS-USFWS*.

SEMARNAT (2010): "Reglas de Operación del Programa ProArbol 2011", *Diario Oficial, Cuarta Sección*, México DF.

Shamara, A. R. (2004): *Desarrollo, población y uso de los recursos naturales en el Valle de Uxpanapa*. Tesis Licenciatura, Xalapa, Universidad Veracruzana.

Storey, J., Pasquale, S., y Schmidt, G. (2005): "LANDSAT 7 scan line corrector-off gap-filled product development", *Global Priorities in Land Remote Sensing*, 16, pp. 1-12.

Szekely, M. y Restrepo, I. (1988): "La colonización dirigida por la Comisión del Papaloapan en torno al Proyecto Cerro de Oro en frontera agrícola y colonización", *Centro de Ecodesarrollo*, México.

Varga, L. D. y Villa, S. J. (2005): "Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d'Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona)", *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 25, pp. 59-73.

Velasco, T. J. (2011): "Uxpanapa: Reflexión historiográfica y Proceso de cambio socioambiental", *OPUS*, N. 1, pp. 5-14.

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

Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz, G. J., Mayorga, S. R., Alcantara, P. C., Castro, R. y Palacio, J. L. (2002): "Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México", *Gaceta Ecológica*, 62, pp. 21 - 37.

Villavicencio, G. R., Luisa, S. P. A, Gallagos, R. A. y Ortega, C.C. (2006): *Análisis temporal de la fragmentación forestal y estructura del paisaje en espacios protegidos*, Guadalajara, Universidad de Guadalajara.

Villordo-Galvan, J. A., Rosas-Rosas, O. C., Clemente-Sanchez, F., Martinez-Montoya, J. F., Tarango-Arambula, L. A., Mendoza-Martinez, G., Bender, L. C. (2010): "The Jaguar (Panthera Onca) in San Luis Potosi, Mexico", *Southwestern Naturalist*, 55,3, pp. 394-402.

Zipperer, W.C. (1993): "Deforestation patterns and their effects on forest patches". *Landscape Ecology*, 8, 3, pp. 177-184.

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

## TABLAS

**Tabla 1. Superficies en hectáreas y porcentajes de ocupación del suelo en la región Uxpanapa, Veracruz para los años 1976, 1990, 2000 y 2009**

Clases	1976		1990		2000		2009	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Selva	378.268	72,54	302.465	57,99	204.715	39,24	192.652	36,93
Veg. Secundaria	104.583	20,04	58.688	11,25	106.604	20,43	94.212	18,06
Potrero	0	0	147.635	28,30	162.35	31,12	217.333	41,66
Cítrico	0	0	9.52	0,18	2.314	0,44	1.944	0,37
Hule	0	0	6.859	1,31	4.505	0,86	3.959	0,76
Urbano	0	0	6.95	0,13	1.038	0,20	1.851	0,35
Veg de selva quemada	0	0	0	0	35.344	6,77	6.043	1,16
Deforestado (Agrop/Urbano/Sin Veg)	31.442	6,03	156.141	29,9	205.551	39,39	231.13	44,74

**Tabla 2. Matriz de error o comprobación Kappa**

ID	Veg. secundaria	Cítrico	Hule	Potrero	Selva	Total	Fiabilidad del productor % (95% CI)
Veg. secundaria	54	4	1	1	3	63	70
Cítrico	0	18	0	0	0	18	69
Hule	0	0	17	0	0	17	89
Potrero	10	3	0	79	1	93	97
Selva	13	1	1	1	31	47	88
Total	77	26	19	81	35	238	0
Fiabilidad del usuario % (95% CI)	85	100	100	84	65		Fiabilidad global 83%, CI 90%, estadístico Kappa 77%

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

**Tabla 3. Cambios en la cobertura arbórea y tasas de deforestación o pérdida de selvas en la región Uxpanapa, Veracruz para los periodos 1976 a 1990, 1990 a 2000 y 2000 a 2009**

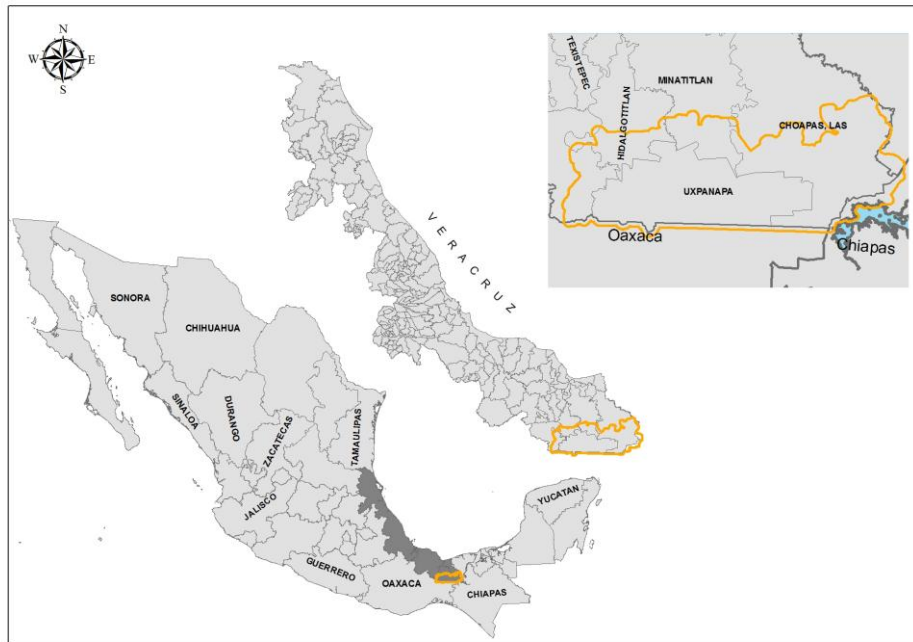
	CAMBIOS EN COBERTURA ARBÓREA					
	1976-1990		1990-2000		2000-2009	
	ha	%	ha	%	ha	%
Deforestado	107.116	20,58	116.323	22,32	63.07	12,10
Selvas sin cambio	270.668	52,01	185.944	35,67	141.627	27,16
Reforestado/Regenerado	31.293	6,01	18.737	3,59	50.821	9,75
Agrigan sin cambios	52.725	10,0	108	21,50	137.831	26,78
Tasa de deforestación de selvas	1,58		3,82		0,67	

**Tabla 4. Fragmentación del paisaje y de las (selvas) en el Uxpanapa, Veracruz**

	1976			1990			2000			2009		
	Superficie		No de fragmentos	Superficie		No de fragmentos	Superficie		No de fragmentos	Superficie		No de fragmentos
	ha	(%)		ha	(%)		ha	(%)		ha	(%)	
Selva	996.97	75,09	393	441.03	58,60	693	256.33	40,15	817	266.93	37,45	732
Vegetación secundaria	74.69	18,51	1293	55.79	10,64	995	80.73	18,77	1213	40.72	14,70	1883
Potrero	70.54	5,46	404	159.09	28,33	929	174.72	32,42	968	386.51	44,82	605

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

## FIGURAS



**Figura 1. Localización de la región Uxpanapa y área de estudio.**

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, nº 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

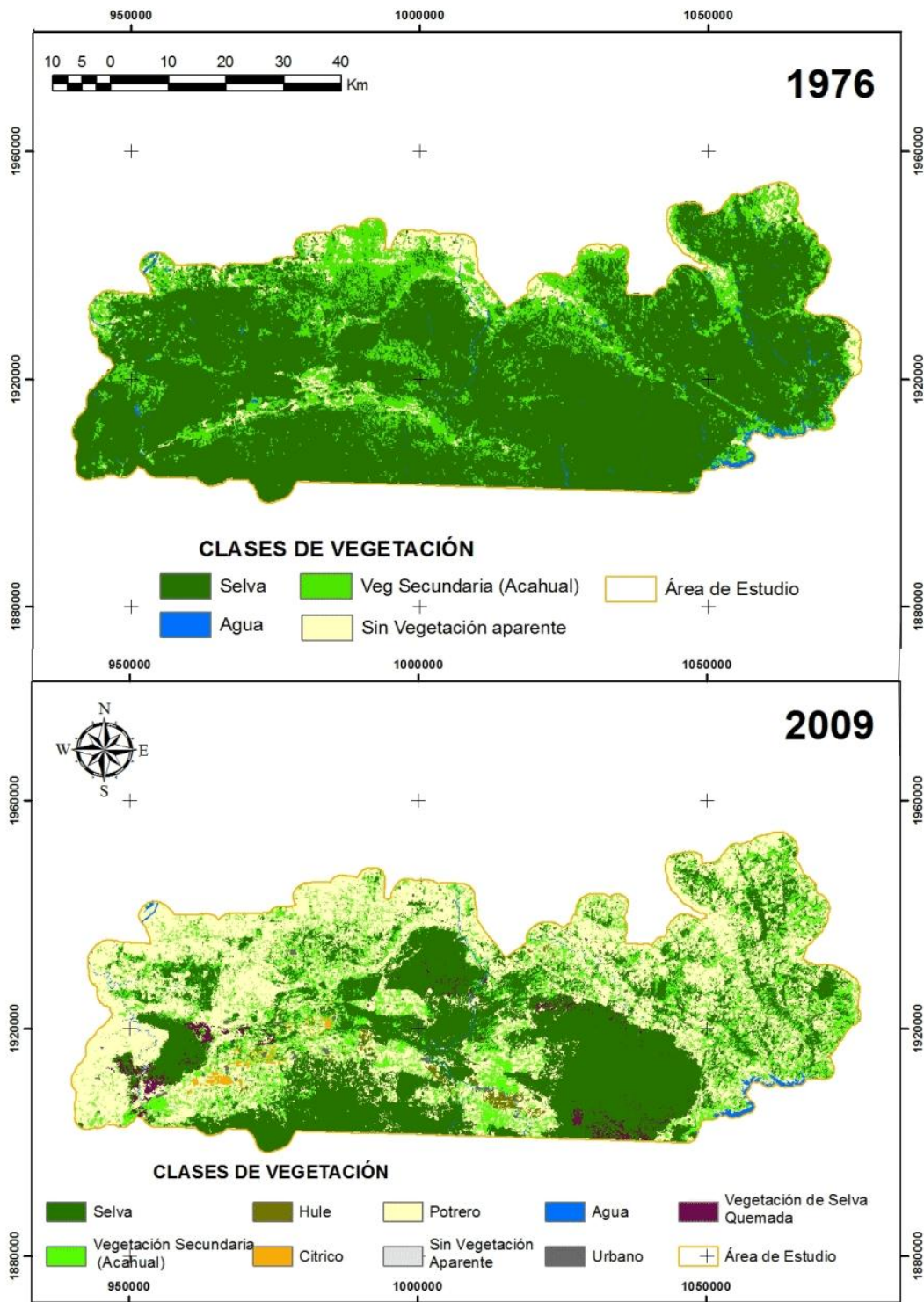
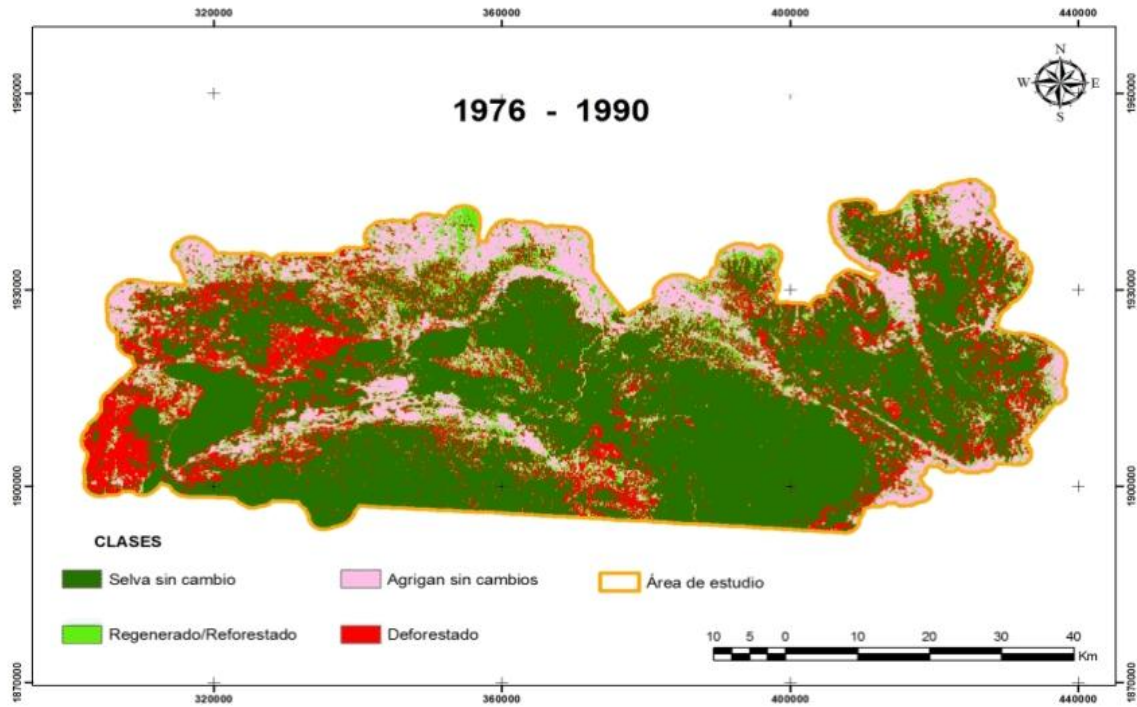


Figura 2. Ocupación del suelo de 1976 y 2009 en la región Uxpanapa, Veracruz.

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157



**Figura 3. Cambio en la ocupación del suelo de 1976 al 1990 en la región Uxpanapa, Veracruz.**

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157

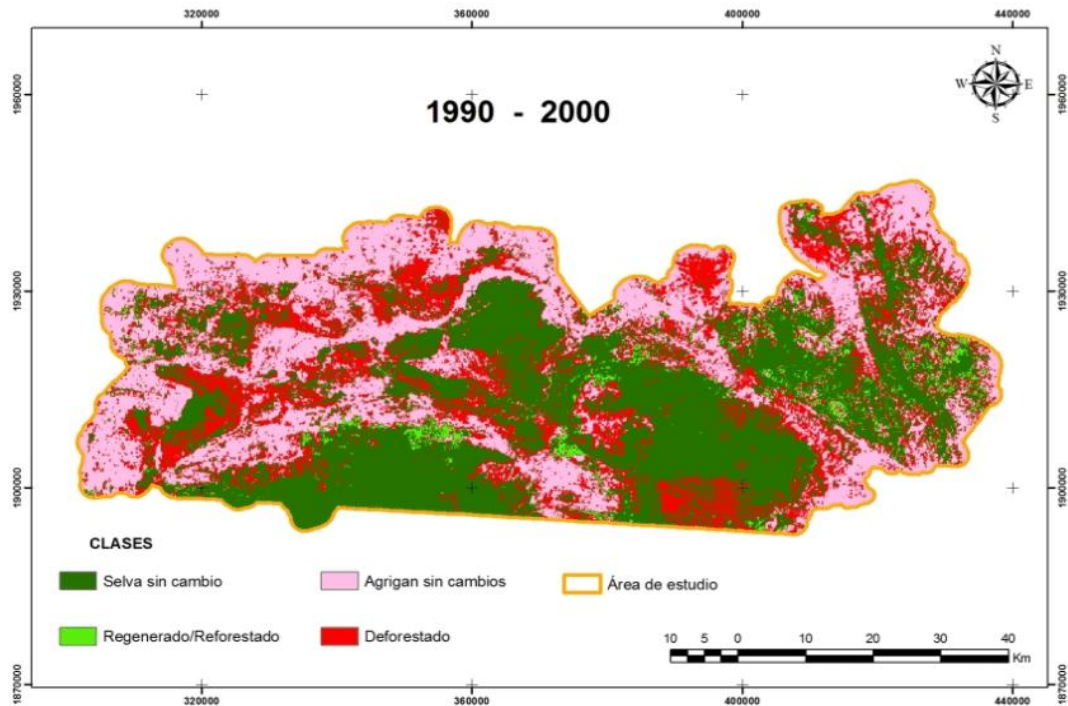
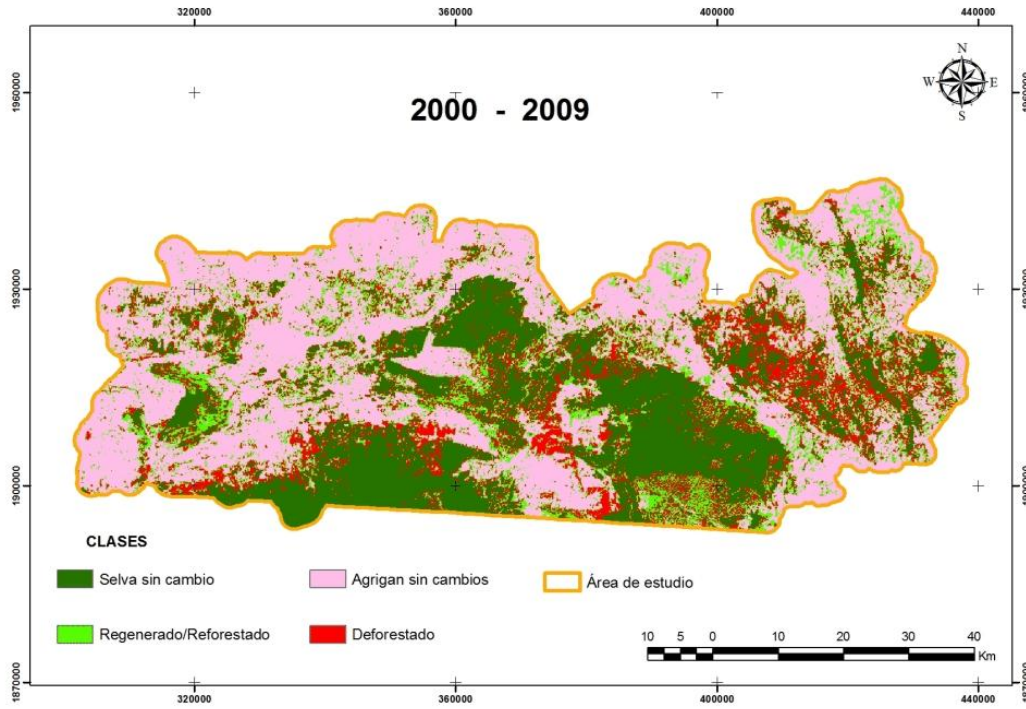


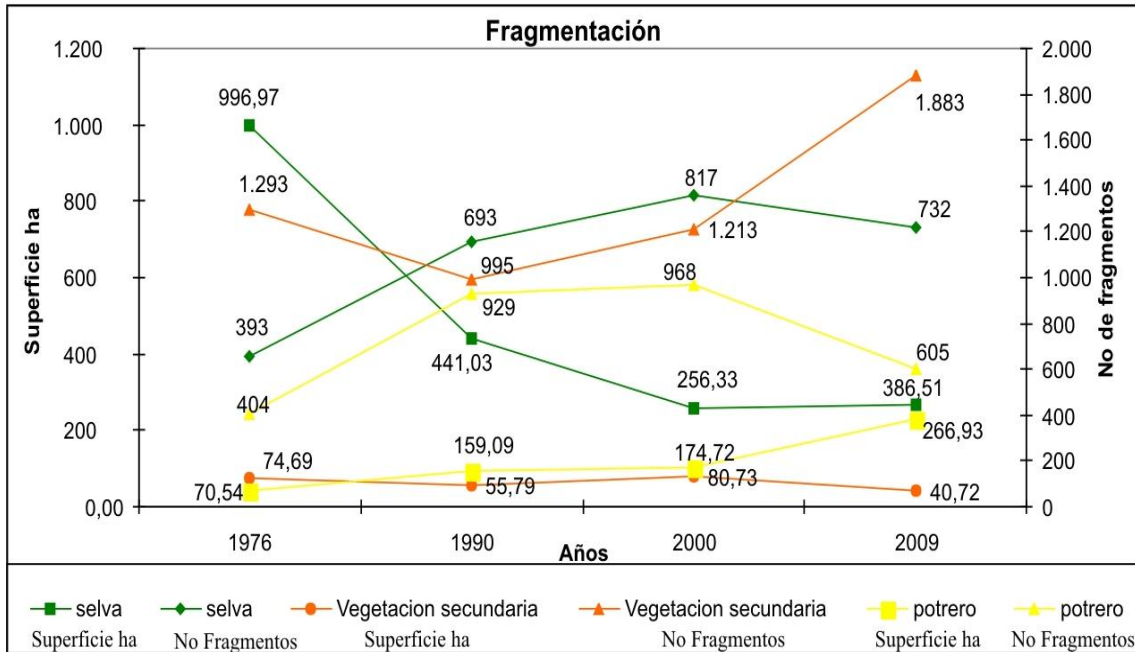
Figura 4. Cambio en la ocupación del suelo de 1990 al 2000 en la región Uxpanapa, Veracruz.

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157



**Figura 5. Cambio en la ocupación del suelo del 2000 al 2009 en la región Uxpanapa, Veracruz.**

Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C. A. (2013): "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, n° 13, p.1-24. ISSN: 1578-5157



**Figura 6. Fragmentación de selvas, vegetación secundaria y potreros.**