

Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México

Vegetation change cover in the coastal region of Bahia de Banderas, Mexico

*Morales-Hernández, Julio Cesar, * Carrillo-González, Fátima Maciel, * Farfán-Molina, Luis Manuel, ** Cornejo-López, Víctor Manuel****

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57709

Resumen

Históricamente se han presentado eventos naturales intensos y adversos, como ciclones tropicales e incendios forestales, que han propiciado variaciones importantes en la cobertura de vegetación natural. Además, en las últimas décadas las actividades humanas se han convertido en el principal desencadenador de la transformación de los ecosistemas, modificándolos o destruyéndolos con el fin de desarrollo de actividades económicas desmedidas con respecto a la capacidad de los sistemas y recursos naturales. Esto se ha intensificado en los últimos años en la región de Bahía de Banderas, la cual aumenta su vulnerabilidad ante fenómenos naturales intensos. Para realizar un análisis de series de tiempo y observar el cambio de cobertura de vegetación en la zona de estudio, se realizó una clasificación supervisada mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). En el cual se identificaron las superficies de vegetación en 3 municipios costeros (Bahía de Banderas, Nay.; Puerto Vallarta y Cabo Corrientes, Jal.), las cuales se compararon con las reportadas en el Inventario Forestal Nacional 2003. Se obtuvieron 3 coberturas vegetales: Selva Baja Caducifolia, Selva Mediana Caducifolia y Zonas de Bosques; más 2 usos de suelo: Suelos Urbanos y Zonas Agrícolas. En los resultados se observa que existe un proceso de cambio y reposición de coberturas y usos del suelo, en donde el mayor crecimiento se está dando en los usos relacionados con agricultura, incluyendo procesos dinámicos como la conversión a vegetación secundaria, a expensas de las áreas de bosques y selvas, observándose la mayor tasa de deforestación en fechas recientes.

Palabras clave: cobertura vegetal, deforestación, Bahía de Banderas.

Abstract

Historically there have been adverse natural events such as tropical cyclones and forest fires, which have led to important changes in the coverage of natural vegetation. Moreover, in recent decades human activities have become the main trigger of the transformation of ecosystems, modifying or destroying them with the development of excessive in relation to the capacity of natural systems and resources economic activities. This has intensified in recent years in the region of Banderas Bay, which increases their vulnerability to severe natural phenomena. For analysis of time series and observe the change of vegetation cover in the study area, a supervised classification was performed by using a Geographic Information System (GIS). In which the surfaces of vegetation in 3 coastal municipalities were identified, which were compared with those reported in the national forest inventory 2003. 3 mulches were obtained: Deciduous Forest, Deciduous Forest Medium and forest areas; plus 2 land uses: Urban Soil and agricultural areas. The results shows that there is a process of change and replacement of coverage and land use, where the greatest growth is occurring in applications related to agriculture, including dynamic processes such as conversion to secondary growth, at the expense of areas of forests, with the greatest rate of deforestation in recent times.

Key words: vegetal coverage, deforestation, Banderas Bay.

Recibido: mayo 16 de 2015

Aprobado: abril 12 de 2016

* Centro de Estudios Meteorológicos de la Costa CEMCO, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Email. cesarbemarena@gmail.com

** Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, CICESE, Unidad La Paz, Unidad de Meteorología. Email. farfan@cicese.com.mx

*** Centro Universitario de la Costa, Unidad de Meteorología. Email. vicmancor@hotmail.com

Introducción

En las últimas décadas se ha producido a nivel internacional y nacional un acercamiento a la problemática ambiental y la importancia de la conservación de la naturaleza para la preservación de la vida en la Tierra. La relación naturaleza-sociedad tiene un especial interés para la ciencia geográfica, debido a que constituye una función integradora del espacio, donde se combinan un conjunto de componentes, a través de los cuales se pueden establecer los equilibrios existentes entre el hombre y la naturaleza.

En consecuencia, es importante tener una visión correcta de la capacidad y el uso que se le está dando a un espacio y si es el más apropiado. En los últimos años, el estudio de las causas, los procesos y las consecuencias del cambio del uso y cobertura de la tierra, son uno de los principales temas de investigación, cuando se abordan problemas relacionados con el cambio climático global.

Las modificaciones ambientales pueden ocurrir de manera natural, como en un proceso de sucesión, variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, o pueden ser de tipo antropogénicos, entre los que destacan los factores demográficos, sociales económicos y políticos. Estos cambios modifican un lugar con diferente intensidad de acuerdo con el caso, pero la intervención humana es la que ha producido mayores transformaciones sobre la superficie terrestre. Las consecuencias generales se ven reflejadas en cambios de cobertura vegetal y uso del suelo que traen consigo efectos que empobrecen el acervo biológico y cultural (Lambin, *et al.*, 2001).

Es un tema que en los últimos años ha despertado el interés de investigadores de diversas disciplinas y tomadores de decisiones que buscan entender sus causas y evidenciar sus efectos.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007) señala que algunas actividades antropogénicas generan un forzamiento radiactivo, positivo o negativo, ocasionando alteraciones o la disminución en la temperatura del aire. Así, las variaciones en la cobertura del suelo se constituyen en uno de los forzamientos naturales y antropogénicos que operan a diferentes escalas y que inciden en cambios en el clima regional y mundial (Brovkin *et al.*, 2006), siendo uno de los principales impulsores de la pérdida de diversidad biológica.

La cobertura del suelo se refiere al tipo de cubierta que se encuentra en la superficie terrestre, mientras que el uso es el conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos (Seingier *et al.*, 2009). La pérdida de la cobertura vegetal es uno de los eventos más impactantes a nivel global, pues no solo altera el ciclo hidrológico sino que produce serios problemas de erosión, salinización,

pérdida de productividad primaria y disminución de la capacidad de infiltración de agua para la recarga de acuíferos (Rosas *et al.*, 2006).

Estudios realizados en los últimos 25 años, proponen una relación estrecha entre la deforestación y el crecimiento demográfico. Sin embargo, se ha argumentado también que aún en áreas con poca población local, se experimentan altas tasas de deforestación e impacto del ecosistema. Se afirma igualmente que el desarrollo tecnológico ha favorecido que el impacto en el entorno inmediato de las poblaciones humanas rebase el nivel local, regional y alcance la escala global (Cincotta *et al.*, 2000).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una buena herramienta de evaluación y de toma de decisiones. En este tipo de estudios, pues su principal característica es la capacidad de manejar información espacial (Muñoz, 1996). En la actualidad los SIG pueden manejar información geográfica con un gran potencial para apoyar los estudios de conservación de la diversidad biológica.

La cartografía de los usos de la tierra constituye una de las aplicaciones clásicas de la teledetección. Mediante el análisis de fotos aéreas e imágenes espaciales de distintas fechas y utilizando diversas herramientas, como la implementación de técnicas para la detección de cambios, es posible establecer lo que ha variado en ellas y consecuentemente, poder realizar una representación cartográfica de este cambio acaecido en el territorio objeto de estudio (Chuvienco, 1985). A partir de la realización de estos tipos de análisis multitemporales, se pueden establecer para un territorio específico, por ejemplo; predicción, prevención, diagnóstico, monitoreo de ciertos elementos del medio natural así como la valoración cualitativa y cuantitativa del cambio producido en las diferentes clases de uso u ocupación del territorio.

Ante esta problemática y tomando en cuenta las consideraciones anteriores, el objetivo de este trabajo, fue establecer y analizar los patrones de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo de los tres municipios de Bahía de Banderas en el periodo 1979-2013, mediante el procesamiento de imágenes digitales Landsat haciendo uso de un SIG, utilizando el método de clasificación supervisada, para generar la cartografía digital que muestre dichas coberturas vegetales y usos de suelo.

Área de Estudio

En la figura 1, se observa la región de Bahía de Banderas, México, la cual incluye los municipios de Puerto Vallarta, Cabo Corrientes y Bahía de Banderas, estos se encuentran en la unión de los estados de Nayarit y Jalisco; forma parte de la Planicie Costera del Pacífico Mexicano (figura, 1). Es una zona de las de mayor presión de desarrollo socioeconómico, agropecuario,



Figura 1. Área de estudio de la región de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. Fuente: INEGI. Modificado: Morales, 2014.

turístico y urbano (CEDESTUR-CEEB-AEBB, 2001). Está conformada por subcuencas que la rodean y una parte de la cuenca del río Ameca, las cuales vierten sus aguas a la bahía. Al Sureste está rodeada de montañas con altura máxima de 1,500 m; al Norte existen lomas con elevaciones que van de 500 a 700 m. Entre estas fluye el río Ameca, que es el más grande de la región, generando un valle de alrededor de 10 km de ancho, el cual desemboca a unos 10 km al Norte de la ciudad de Puerto Vallarta. Está cubierto principalmente por bosque tropical subcaducifolio, que debido a las limitaciones de agua en el período de estiaje, la mitad del arbolado pierde sus hojas. Las dimensiones de los árboles son medianas y su altura oscila entre 20 y 30 m (Vera *et al.*, 2003). El clima de la región es cálido y cálido subhúmedo Aw1 y Aw2, de acuerdo con la clasificación de Köppen (García, 2004), lo que corresponde a los más húmedos de los subhúmedos. La temperatura media anual es de 27 °C, febrero el mes más frío con 21,4 °C y julio a octubre la temperatura más cálida con una media de 34 °C. La precipitación media anual en la zona es de 1200-1500 mm (CEDESTUR-CEEB-AEBB, 2001).

Materiales y métodos

Se adoptó un enfoque deductivo para el desarrollo de una metodología que involucra las particularidades físicas del terreno así como de la región de Bahía de Banderas, sin dejar de lado la combinación de los métodos de clasificación para un análisis más diverso de la región de estudio.

Para la verificación de coberturas se utilizó un SIG con capas vectoriales de la cobertura de vegetación y uso de suelo que cuantificó la distribución espacial del recurso forestal de Jalisco y Nayarit; usando datos del sensor Landsat y puntos de control, verificadas con las cartas topográficas del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) a escala 1:50 000. Como se observa en la figura 2, se realizó con el mapa base de cambio de uso de suelo, para verificar el tipo

de vegetación presente en el área de estudio se realizó una clasificación adicional obteniendo 3 tipos de cobertura vegetal y por otra parte 2 usos de suelo, los cuales se procesaron en un SIG (figura 2).

Adquisición y pre-procesamiento de las imágenes multiespectrales

Las cuatro imágenes Landsat obtenidas fueron de la época de estiaje (abril 1979, mayo 1990, mayo 2003 y mayo 2013), para disminuir la variabilidad que se presenta en las respuestas espectrales de la vegetación debido a cambios fenológicos (Lillesand and Kiefer, 1994). A partir de ellas se generó una imagen compuesta (mosaico) como se puede observar en la figura 3, del cual se extrajo el área de estudio mediante la digitalización del contorno. Luego se procedió a su clasificación, método basado en el uso de píxeles individuales, es el más utilizado debido a su facilidad de procesamiento, entre estos se destacan el supervisado y el no supervisado (Weng, 2009). Utilizan algoritmos que se basan en los valores espectrales de reflectancia y emitancia (Guntli, 2006), comprenden grupos de píxeles que representan una clase. En el presente estudio se seleccionó la técnica de clasificación supervisada, pues considera la información preexistente de la zona, mientras que en la clasificación no supervisada el usuario debe interpretar los resultados de la clasificación.

Clasificación supervisada

La técnica de clasificación supervisada se fundamenta en el previo conocimiento de las coberturas y de estadísticos que se relacionan a cada clase espectral de la imagen (Rojas and Ortiz, 2009). Para Lang *et al.*, (2008) consta de dos fases: entrenamiento y asignación. En la fase 1, el investigador realiza un reconocimiento general de las áreas a estudiar, determinando patrones de formas y colores relacionadas a una clase, entrenando el conjunto de píxeles a cada clase encontrada, desa-

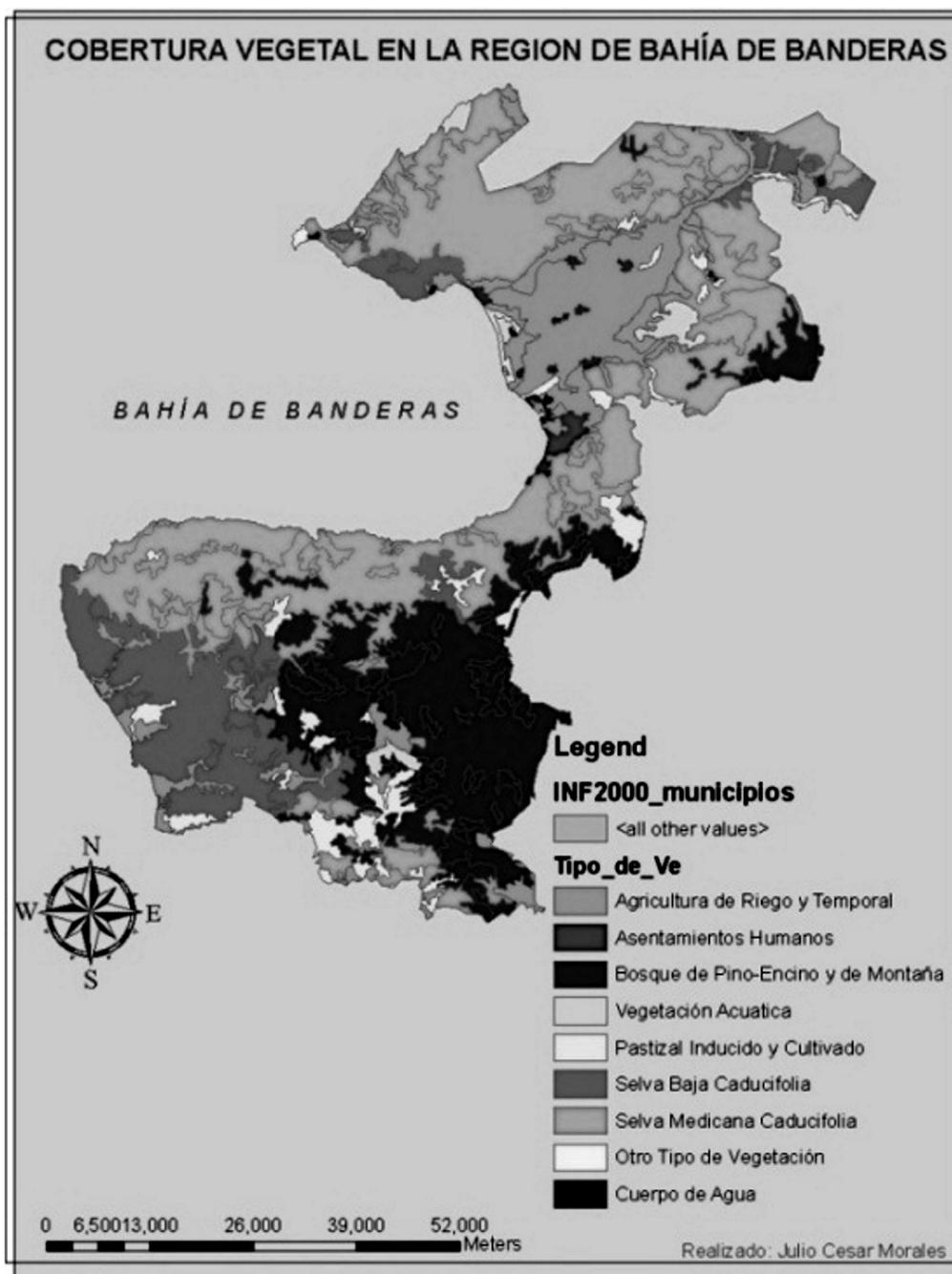


Figura 2. Mapa de cobertura vegetal de la región de Bahía de Banderas con información del Inventario Forestal Nacional 2000. Fuente: INEGI. Modificación propia.

rolla una descripción numérica de las características espectrales de las bandas que discriminan los grupos de píxeles que pertenecen a una misma clase mediante la generación de sus firmas espectrales (Arango *et al.*, 2005). En la fase 2, se asigna una lista de nombres a cada patrón observado, generando mediante algoritmos una clasificación general de la imagen.

El algoritmo de clasificación supervisada empleado fue el de Máxima Verosimilitud (*Maximum Likelihood Al-*

gorithm). Los algoritmos de clasificación automatizada pueden ser agrupados en dos categorías: paramétricos y no paramétricos. El algoritmo de máxima verosimilitud es de tipo paramétrico, el cual considera que los datos asumen una distribución normal o Gaussiana. Esto permite describir cada categoría a través de una función de probabilidad, a partir de su vector de las medias y la matriz varianza-covarianza (Chuvieco, 1990). Los clasificados de máxima verosimilitud es uno

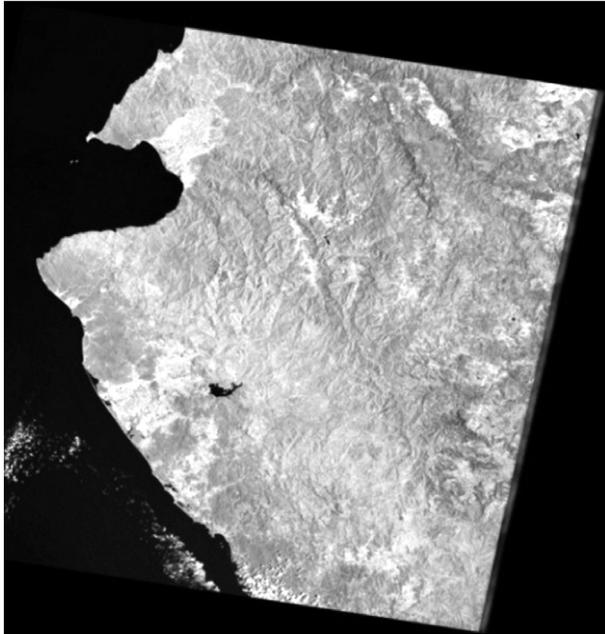


Figura 3. Imagen satelital de la región costa de Jalisco y Nayarit. Fuente: Landsat.

de los más precisos, ya que hace el uso de las teorías de las probabilidades para asignar los pixeles a los diferentes tipos de coberturas (clases) existentes en el área. Solo es necesario conocer la media y desviación típica de cada clase para calcular la probabilidad de que un determinado pixel pertenezca a una determinada clase. Una vez concluida la interpretación de las imágenes se somete cada nueva cobertura a un proceso de edición. Aplicamos un filtro de reducción de ruido para eliminar el efecto “pimienta” resultante de la interpretación en formato raster. Luego se convirtieron los archivos raster de la etapa anterior a archivos vector, los cuales garantizan la precisión en el cálculo de superficies, a los cuales se les somete a un proceso de suavizado y eliminación de polígonos islas. El criterio utilizado en el presente estudio para eliminar los polígonos islas fue de el de menos de 20 ha.

En forma general puede decirse que el objetivo de cualquier clasificación de la vegetación es simplificar la gran heterogeneidad existente en las comunidades vegetales, agrupándolas en clases lo más homogéneas posibles.

Precisión de la clasificación

Las clasificaciones no son 100 % precisas, sean del tipo que sean, siempre tienen cierto grado de confiabilidad que debemos tener presente en los resultados. A partir de los datos obtenidos en la fase de inspección, se construye una matriz cuadrada de N° filas por N° columnas. Las filas corresponden a las clases referenciales (verdad o verificación de campo); mientras que las columnas corresponden a las clases del mapa. En esta

matriz, la diagonal expresa el número de puntos de verificación donde concuerdan ambas fuentes (mapa y campo); mientras que los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la fiabilidad del mapa global. Los residuales en filas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa; mientras que los residuales en columnas implican categorías del mapa que no se ajustan a la realidad.

Para determinar la confiabilidad del mapa, se empleó la ecuación (1):

$$F_m = \frac{N \sum X_i}{\sum \sum X_{ij}} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

F_m es el porcentaje de exactitud global (confiabilidad del mapa). ζ

$\sum X_i$ es la sumatoria de los aciertos o acuerdos observados.

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

Índice de kappa (k)

Para analizar las relaciones múltiples entre las distintas categorías, se trabajan con técnicas de análisis categórico multivariante idóneas para el estudio global de matrices de confusión (Chuvieco, 1990). Uno de los índices más empleados en este sentido es el estadístico de Kappa (k), que mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y al que cabría esperar simplemente por azar. Intenta delimitar el grado de ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios. El test pretende evaluar si la clasificación ha discriminado las categorías de interés con precisión significativamente mayor a la que se hubiera obtenido con una asignación aleatoria (Chuvieco, 1990) tal y como se describe en la ecuación (2).

$$k = \frac{N \sum X_{ii} - \sum (X_{i*} * X_{*i})}{N^2 - \sum (X_{i*} * X_{*i})} \quad (2)$$

Donde:

N es igual al total de datos muestreados, X_{ii} indica el acuerdo observado y $(X_{i*} * X_{*i})$ es la concordancia esperada (producto de marginales). El valor obtenido representa el porcentaje en que la clasificación es mejor que la esperada por azar. Si el valor obtenido fuera 0.80, la clasificación del mapa es un 80% mejor que la esperada por azar. Se consideran tres clases de resultados: un valor k menor que 0.4 representa una concordancia pobre; un valor entre 0.4 y 0.8, una concordancia moderada y un valor mayor de 0.8, una fuerte concordancia.

Resultados

A partir de la edición de las 4 escenas multispectrales correspondientes a los años 1979, 1990, 2003 y 2013,

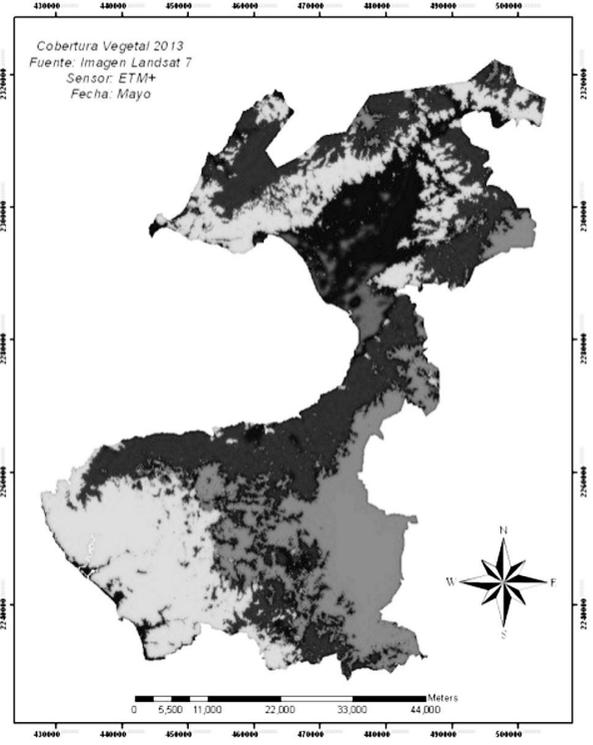
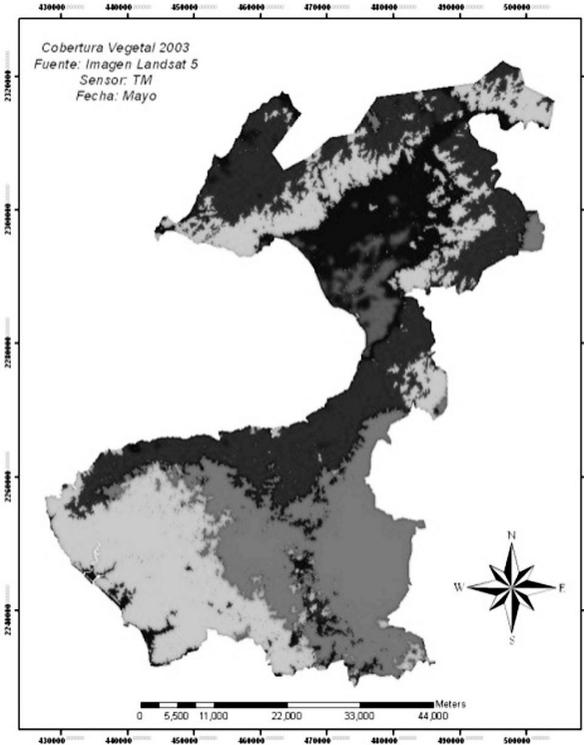
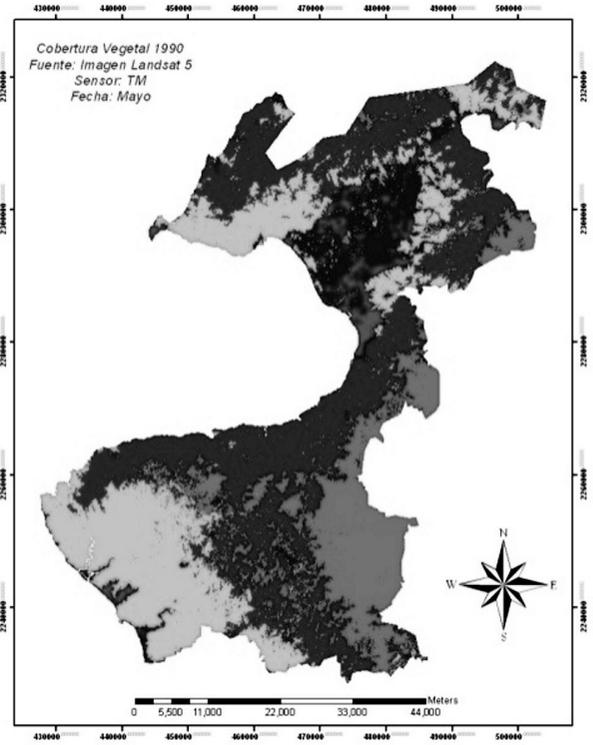
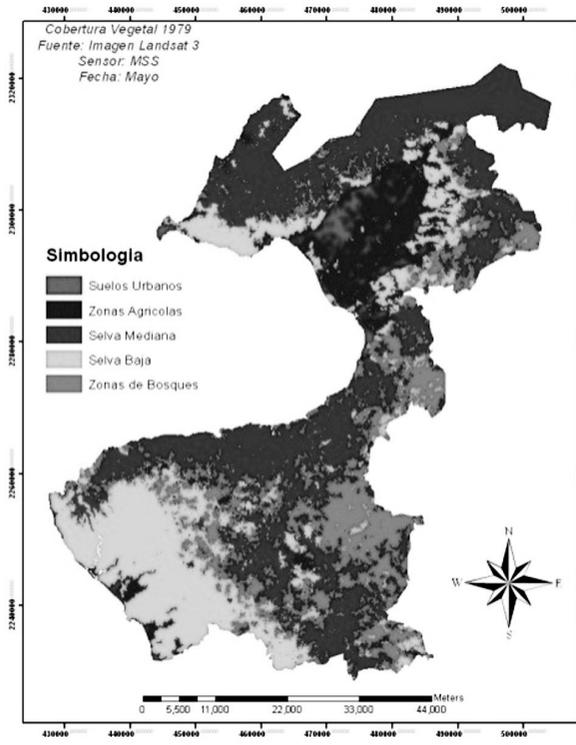


Figura 4. Mapas multitemporales de la cobertura vegetal de 1979-2013 en la región de Bahía de Banderas.

que cubren una extensión promedio de 304,916 ha y su posterior clasificación supervisada con el algoritmo de Máxima Verosimilitud y la adición de datos auxiliares; se obtuvieron los mapas temáticos con tres coberturas vegetales (Selva Mediana, Selva Baja, Zonas de Bosques) y dos usos de suelo (Agricultura y Suelos Urbanos), como se observa en la figura 4. A continuación se describe brevemente cada una de ellas.

Uso de suelo y cobertura vegetal de 1979

Las clases que presentaron la mayor extensión fueron las de cobertura vegetal; la selva mediana caducifolia con 41.63 %, selva baja 25.43 % y zonas de bosques 18.56 % (tabla 1 y 2). La selva mediana caducifolia es la que se encuentra presente en toda la región. Sin embargo, su principal distribución se da en el sur de la región y las zonas de bosques se localizan en la parte este y noreste de la zona de Puerto Vallarta. En la parte sur de la Bahía se encuentra la mayor concentración de selva baja de acuerdo a la distribución espacial que presenta la cobertura vegetal. Las zonas agrícolas y asentamientos humanos (ZA-ZU) con una cobertura conjunta de 13.72 %, se distribuyen principalmente en la región central de la bahía, concentrándose en los municipios de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas.

Uso de suelo y cobertura vegetal de 1990

La principal cobertura en 1990, fue la selva mediana abarcando 123,995 ha (tabla 1 y 2), equivalente al 40.67 % total del territorio, encontrándose espacialmente en toda la región. En contra parte, la cobertura

con menor superficie fue ZA-ZU con tan solo 41,929 ha, correspondiente a 13.75 % de la superficie del territorio. Los bosques se encuentran distribuidos principalmente al norte y este del municipio con una cobertura de 52,359 ha, 17.17 % del total de la superficie.

Uso de suelo y cobertura vegetal de 2003

La clase de selva mediana ahora ubicada principalmente al norte y sur de la región, presentó la mayor cobertura (30.52 %), cerca de 93,066 ha (tabla 1 y 2). La ZA-ZU presentó una extensión de 44,944 ha, encontrándose principalmente en el centro del municipio de Vallarta y Bahía de Banderas, situada por debajo de la selva baja de 91,290 ha con el 29.94 %. La cobertura de zonas de bosques presentó una extensión de 68,960 ha, el cual ocupa el 22.62 %, los cuales están ubicados principalmente en el sur-este y norte del territorio.

Uso de suelo y cobertura vegetal de 2013

La clase de selva mediana, ubicada principalmente al norte y sur de la región, presentó la mayor cobertura en el territorio, abarcando 33.90 %, cerca de 103,379 ha (tabla 1 y 2). La ZA-ZU presentó una extensión de 48,332 ha, recuperando extensión y encontrándose principalmente en el centro del municipio de Vallarta y Bahía de Banderas, situada por debajo de la selva baja 86,927 ha con el 28.51 %. La cobertura de zonas de bosques presentó una extensión de 64,292 ha, que cubre el 21.09 %, los cuales están ubicados principalmente en el sur-este y norte del territorio.

Tabla 1. Número de hectáreas de la cobertura vegetal y usos de suelo de la región de Bahía de Banderas.

Clases	1979	1990	2003	2013
Suelos Urbanos	9,224.2	14,665.0	12,287.5	12,032.4
Zonas Agrícolas	32,621.3	27,263.9	37,324.4	36,299.9
Selva Mediana	126,935.3	123,995.6	93,066.3	103,379.4
Selva Baja	77,527.6	84,649.8	91,290.6	86,926.8
Zonas de Bosques	56,578.9	52,359.0	68,960.0	64,291.8
Total Ha	304,866.4	304,923.3	304,931.8	304,943.3

Tabla 2. Porcentajes de la cobertura vegetal y los usos de suelo de la región de Bahía de Banderas.

Clases	1979	1990	2003	2013
ZU-ZA	13.72	13.75	16.27	15.85
Selva Mediana	41.63	40.67	30.52	33.90
Selva Baja	25.43	27.76	29.94	28.51
Zonas de Bosques	18.56	17.17	22.62	21.09
Total %	99.33	99.35	99.35	99.35

Es importante destacar que las imágenes corresponden a la época de secas, donde los niveles de inundación de la región se encuentran en su mínima expresión, por lo tanto los niveles de reflectancia de la vegetación son más evidentes. Durante éste período la mayoría de las tierras agropecuarias dedicadas a la agricultura se encuentran en descanso con la presencia de áreas con suelo desnudo. Por lo tanto, durante esta época del año la utilización del suelo se hace con un énfasis pecuario y algunas actividades de trashumancia (Salva-tierra, et al., 2011).

Para conocer el nivel de confiabilidad de la información incluida en los mapas de cobertura vegetal, se analizó las matrices de error, que permiten representar la exactitud de un mapa, en el sentido de que cada categoría esta descrita por medio de los errores de comisión y omisión.

La clasificación de 1973 fue la que presentó mayor error en cuanto a la definición de los campos de entrenamiento, la exactitud global estimada a partir de su matriz de error fue de 69 % e índice Kappa de 60 %, presentándose la menor exactitud para zonas agrícolas y selva baja. Para la clasificación de 1983 prácticamente se presentaron los menores porcentajes de exactitud en la zona agrícola. La clasificación de 1990 fue la que presentó mayor exactitud total, de 79 %, y un *k* de 74 %. La exactitud del mapa 2003 fue de 75 % y *k* de 70 %, y el mapa de 2011 presentó una exactitud total de 69 % y *k* de 61 %, por lo cual esta clasificación es menos confiable que las anteriores y finalmente el 2013, manifestó una exactitud del 75 % y *k* de 66 % (ver tablas 3, 4, 5, 6, 7,8).

Discusión

Un propósito en los análisis de clasificación por cambio de cobertura con el uso de técnicas de teledetección, es proporcionar información cuantificable y su exactitud de mapas de cobertura (Skirvin et al., 2004).

Esta técnica permite obtener resultados satisfactorios cuando los mapas presentan altos niveles de exactitud (Mas, 1999).

En diversos estudios se ha relacionado la expansión de los asentamientos humanos, ya que al incrementarse la población, se incrementa la infraestructura urbana y las modificaciones en la cobertura vegetal nativa, (López et al., 2001) luego que hay de esto respecto a tus resultados.

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los obtenidos por Berlanga (1999), Páez et al., (2000) y Ramírez et al., (1998), los cuales demuestran que la frontera agrícola y urbana ha avanzado sobre otras coberturas naturales, incidiendo principalmente en las coberturas de selvas y bosques.

El crecimiento de la frontera agrícola ha generado la mayor presión ambiental en esta región, sin embargo, la presencia de otros indicadores de transformación del paisaje, como el crecimiento de población y la construcción de infraestructura turística y urbana, determinados a partir del uso de la teledetección y la aplicación de los SIG, tiene también un impacto creciente que deberá considerarse en futuros planes de desarrollo a nivel estatal y regional, a fin de armonizar este desarrollo con las políticas vigentes de crecimiento sustentable.

El análisis espacial-cuantitativo realizado de los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo ocurridos de 1979 a 2013 en la región de Bahía de Banderas generó información valiosa para el monitoreo de los recursos naturales. Sin duda, estos cambios ya tienen implicaciones en el ciclo hidrológico, la biodiversidad, la erosión del suelo y el clima local, entre otros aspectos relevantes. Pero éstos podrán ser monitoreados mediante el desarrollo de modelos que cuantifiquen, expliquen y predigan escenarios a futuro, y sirvan como herramienta de planeación a mediano-largo plazo para los tomadores de decisiones.

Tabla 3. Matriz de error o confusión entre clases 1979.

Matriz de error para el año 1979						
Clase	Suelos Urbanos	Zonas Agrícolas	Selva Mediana	Selva Baja	Zona de Bosques	Total
Suelos Urbanos	46	5	0	0	0	51
Zonas Agrícolas	43	71	0	1	2	117
Selva Mediana	2	2	117	3	6	130
Selva Baja	6	25	9	44	2	86
Zona de Bosques	0	2	20	5	17	44
Total	97	105	146	53	27	428
Exactitud Global 295/428 = 69%						
Índice Kappa = 60%						

Tabla 4. Matriz de error o confusión entre clases 1990.

Matriz de error para el año1990						
Clase	Suelos Urbanos	Zonas Agrícolas	Selva Mediana	Selva Baja	Zona de Bosques	Total
Suelos Urbanos	86	4	2	5	0	97
Zonas Agrícolas	13	63	4	25	0	105
Selva Mediana	0	2	122	10	12	146
Selva Baja	0	0	5	48	0	53
Zona de Bosques	0	1	3	2	21	27
Total	99	70	136	90	33	428
Exactitud Global 340/428 = 79%						
Índice Kappa = 74%						

Tabla 5. Matriz de error o confusión entre clases 2003.

Matriz de error para el año2003						
Clase	Suelos Urbanos	Zonas Agrícolas	Selva Mediana	Selva Baja	Zona de Bosques	Total
Suelos Urbanos	66	19	1	8	3	97
Zonas Agrícolas	15	62	2	22	4	105
Selva Mediana	0	0	125	13	8	146
Selva Baja	0	0	3	47	3	53
Zona de Bosques	0	0	3	5	19	27
Total	81	81	134	95	37	428
Exactitud Global 319/428 = 75%						
Índice Kappa = 70%						

Tabla 6. Matriz de error o confusión entre clases 2013.

Matriz de error para el año 2013						
Clase	Suelos Urbanos	Zonas Agrícolas	Selva Mediana	Selva Baja	Zona de Bosques	Total
Suelos Urbanos	65	23	1	7	1	97
Zonas Agrícolas	6	71	4	22	2	105
Selva Mediana	0	1	113	16	16	146
Selva Baja	1	0	3	49	0	53
Zona de Bosques	1	0	4	3	19	27
Total	73	95	125	97	38	428
Exactitud Global 317/428 = 75%						
Índice Kappa = 66%						

Conclusiones

Considerando la complejidad de los diferentes elementos del paisaje distribuidos en la región costera de Bahía de Banderas, la decisión de agrupar estos elementos en 5 categorías principales, permitió identificar y medir de una manera factible los cambios que han tenido a través del tiempo.

En el periodo de 1979 a 1990, debido a las pocas actividades agrícolas y el no poseer una actividad forestal se mantuvo una cobertura vegetal equilibrada. Principalmente de la vegetación dispersa, ocupando las zonas de agricultura abandonadas para su trabajo.

En el periodo 1990 al 2013, los principales cambios originados por la actividad humana, son la conversión de selva baja caducifolia a áreas agrícolas, de selva baja caducifolia y áreas agrícolas a zonas urbanas y la recuperación de áreas agrícolas a áreas boscosas y selva baja caducifolia. Mientras que el principal cambio originado por los factores naturales, se dio entre los años 1990-2013, como resultado de los cambios en la cobertura vegetal riparia, provocado por el crecimiento de los arroyos durante el paso de diversos fenómenos hidrometeorológicos.

El grado de conservación del territorio se ha considerado como bueno, dado que gran parte de sus recursos naturales se encuentran en proceso de recuperación o en madurez por lo que deben de implementar políticas o acciones que mantengan estas condiciones. El seguimiento de las modificaciones en la cobertura vegetal en los años próximos nos ayudará a entender y observar la dinámica del cambio de uso de suelo en la región de Bahía de Banderas.

Referencias bibliográficas

- Arango, G.M; Branch, B.J; Botero, F.V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: Landsat - ETM+. *Revista Facultad de Agronomía*, 58 (1), 2611-2634.
- Berlanga-Robles, C.A. (1999). Evaluación de las condiciones actuales y del cambio en los paisajes de humedales de la costa sur de Sinaloa, México: una aproximación con el uso de datos provenientes de sensores remotos, (Doctoral dissertation, tesis, Facultad de Ciencias UNAM, México). Pp. 132.
- Brovkin, V; Claussen, M; Driesschaert, E; Fichet, T; Kicklighter, D; Loutre, M. F; Matthews, H.D; Ramankutty, N; Shaeffer, M; Sokolov, A. (2006). Biogeophysical effects of historical land cover changes simulated by six Earth system models of intermediate complexity. *Journal Climate Dynamics*. Pp.145-160
- CEDESTUR-CEEB-AEBB. (2001) Bahía de Banderas a Futuro: 2000-2005. Centro de estudios estratégicos para el desarrollo turístico sostenible. Asociación de empresarios de Bahía de Banderas, Puerto Vallarta.
- Chuvieco, E. (1985). Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, (5), 29-48.
- Chuvieco, E. (1990). Fundamentos de Teledetección Espacial. Colección Monografías y tratados GER. España. Ediciones RIALP. S.A. Primera Edición. Madrid. P. 449.
- Cincotta, R. P; Wisniewski, J; Engelman, R. (2000). Human population in the biodiversity hotspots. *Journal Nature*, (404), 990-992.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, serie libros, N°.6, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Guntli, D. (2006). Classification of land covers and lands use-an object-oriented approach in Western Tajikistan. Tesis, University of Zurich, Suiza, p.157.
- IPCC, (2007a). Summary for policymakers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor; H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.
- Lambin, E. F; Turner, B. (2001). The causes of land-use- cover change, *Global Environmental Change*. USA, p.184.
- Lang, R.; Shao, G.; Pijanowski, B.C.; Farnsworth, R. L. (2008). Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data - assisted labeling approach. *Computers and Geosciences*, 34(12), 1877-1885.
- Lillesand, T. M; Kiefer, R. W. (1994). Remote sensing and image interpretation, Wiley, New York. P. 750
- López, G. S; Pinilla, R. C; Lago, A. (2001). Utilización de Landsat-MSS para la cartografía de cultivos bajo plástico: Estudio de la fiabilidad de la clasificación. *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, pp: 65-69.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), 139-152.
- Muñoz Moreira, R. (1996). Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ambiente y Desarrollo*, 12(2), 80-86.
- Páez, B; Ruiz Luna P. A; Berlanga Robles, C. (2000). Evaluación de cambios de paisaje del sistema estuarino de San Blas, Nayarit y su área adyacente a la desembocadura del río Santiago con aplicación de percepción remota. *Boletín CIAD*. (9): 5-6.
- Ramírez García, P; López Blanco J; Ocaña D. (1998). Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management*, 105, 217-229.
- Rosas P, I; Carranza, O; Nava Y; Larque S, A. (2006). La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. Instituto Nacional de Ecología. Pp. 123-140.
- Rojas, E. G; Ortiz I. O. (2009). Identificación del cilindro nudoso en imágenes TC de trozas podadas de Pinus Radiata utilizando el Clasificador de Máxima Verosimilitud. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 11(2): 117-127.
- Salvatierra, H; Roveda, G; Aguilera E. (1997). Análisis Multitemporal de la Biosfera con Apoyo de Sensores Remotos y SIG. (Módulo de cobertura/uso de la tierra). CORPOICA - IGAC. Oficina de Investigación en Percepción Remota. CIAF. Bogotá, D. C., Colombia. 92 p.
- Seingier, G; Espejel, I; Ferman, J. L. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT. Investigación ambiental. *Ciencia y política pública*, 1(1), 54-69.
- Skirvin, S. M; Kepner, S. E; Marsh, S. E; Drake, J. K; Maingi, C. M; Edmons, C; Watts, J; Williams, D. R. (2004). Assessing the accuracy of satellite-derived land-cover classification using historical aerial photography, digital orthophoto quadrangles, and airborne video data, in Lunetta R. S. and J. G. Lyon (eds.), *Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment*, CRC Press, Boca Raton, pp. 115-131.
- Vera, C. G; Dorantes, L. J. (2003). Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en el Sur y Sureste de México. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/61S Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma. (Inédito). Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/j0606s/j0606s00.htm>.
- Weng, Q. (2009). Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications. McGraw-Hill, p.8-15.