



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**“Estimación de Cambios Espaciotemporales en el
Ecosistema de Manglar de Jácome Perteneciente al Sitio
Ramsar 1602”**

TESIS

Que para obtener el título de:

**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS
MARINOS Y COSTEROS**

P R E S E N T A:

Mario Abraham Salas Aquino

Director:

Dr. Ascención Capistrán Barradas

Co-Director:

Dr. José Luís Alanís Méndez

Tuxpan, Veracruz

Julio 2018



Universidad Veracruzana

**H. CONSEJO ACADÉMICO
MAESTRIA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD VERACRUZANA
TUXPAN, VERACRUZ
PRESENTE**

En el presente trabajo de intervención: “Estimación de cambios espaciotemporales en el ecosistemas de manglar de Jácome perteneciente al sitio Ramsar 1602”, realizado por el C. Mario Abraham Salas Aquino, bajo la dirección del Dr. Ascención Capistrán Barradas y asesoría del Consejo Particular del Dr. José Luis Alanís Méndez, ha sido revisado y aprobado como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

Atentamente

Tuxpan, de Rodríguez Cano, Veracruz, Junio 2018.

DR. ASCENCIÓN CAPISTRÁN BARRADAS
DIRECTOR

DR. JOSÉ LUÍS ALANÍS MÉNDEZ
CODIRECTOR

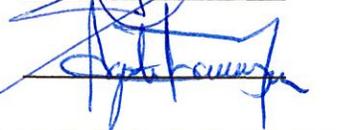


Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
MAESTRIA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

Revisión del trabajo de intervención del alumno: Mario Abraham Salas Aquino

JURADO EXAMINADOR

NOMBRE	FECHA	DICTAMEN	FIRMA
DRA. LILIANA CUERVO LÓPEZ	18 junio 2018	<u>Aceptado</u>	
MTRO. AGUSTÍN DE JESÚS BASAÑEZ MUÑOZ	18 junio 2018	<u>ACEPTADO</u>	

En la presente revisión se acordó que el trabajo de intervención denominado **“Estimación de cambios espaciotemporales en el ecosistemas de manglar de Jácome perteneciente al sitio Ramsar 1602”**, que presenta el sustentante para obtener el Título de Maestro, ha sido concluido por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	5
III. HIPÓTESIS	8
IV. OBJETIVO GENERAL	9
V.I OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
V. ÁREA DE ESTUDIO	10
VI. MATERIALES Y MÉTODO	14
VI.1 SELECCIÓN DE LAS IMÁGENES	17
VI.2 PREPROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES	17
VI.3 ANÁLISIS DIGITAL	18
VI.4 ANÁLISIS VECTORIAL	18
VI.5 ESTIMACIÓN DE EXACTITUD	19
VI.6 DETECCIÓN DE LOS PROCESOS DE CAMBIOS	21
VII. RESULTADOS	25
VII.1 INTERPRETACIÓN DE LA MATRIZ DE CONFUSIÓN 2000 Y 2011	25
VII.2 INTERPRETACIÓN DE LA DETECCIÓN DE LOS PROCESOS DE CAMBIOS	33
VIII. DISCUSIÓN	44
IX. CONCLUSIÓN	47
X. APLICACIÓN PRÁCTICA	49

XI. RECOMENDACIONES	53
XII. BIBLIOGRAFÍA	55

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio	10
Figura 2. Previsualización del área de la imagen satelital de 13-08-2000	16
Figura 3. Previsualización del área de la imagen satelital de 24-05-2011	16
Figura 4. Mapa de uso de suelo y vegetación Manglar de Jácome año 2000	38
Figura 5. Mapa de uso de suelo y vegetación Manglar de Jácome año 2011	39
Figura 6. Poligonal del área de estudio	43

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características principales de imágenes utilizadas	15
Cuadro 2. Matriz de Confusión o de errores/2000	26
Cuadro 3. Matriz de confusión o de errores/2011	27
Cuadro 4. Matriz de Confusión o de errores/2000 en porcentaje	28
Cuadro 5. Matriz de Confusión o de errores/2011 en porcentaje	28
Cuadro 6. Fiabilidad del Productor y del usuario/2000	30
Cuadro 7. Fiabilidad del Productor y del usuario/2011	30
Cuadro 8. Error por exceso y por defecto/2000	32

Cuadro 9. Error por exceso y por defecto/2011	32
Cuadro 10. Matriz de detección de cambios en pixeles.	34
Cuadro 11. Matriz de detección de cambios en porcentajes.	35
Cuadro 12. Matriz de detección de cambios en m ²	36
Cuadro 13. Coordenadas de construcción del área de estudio	40

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros, impartida en la Facultad de Ciencias Biológicas Agropecuarias de la Universidad Veracruzana. A mi director de tesis Dr. Ascensión Capistrán Barradas y codirector Dr. José Luis Alanís Méndez por su apoyo, conocimiento y orientación en este trabajo de tesis que lo hicieron más enriquecedor. A los miembros de la comisión lectora Dra. Liliana Cuervo López y Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz por su tiempo dedicado a la revisión de este trabajo. Gracias a mis compañeros y amigos del posgrado que me brindaron su amistad, en especial a Lily, Giovanna y Yancel. A mis maestros de posgrado que hicieron un enorme esfuerzo y espacio para compartir sus conocimientos y experiencia. Gracias especiales a mi sobrina Isis y a mis Hermanas Chanel y Flora.

RESUMEN

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) emplea en el Sistema de Monitoreo de Manglares de México (SMMM) una metodología que le permitió realizar estimación de cambios espaciotemporales que ocurren en los ecosistemas de manglar. Con ella se generaron mapas utilizando la interpretación de imágenes de satélite SPOT-5 con 10 metros de resolución espacial. Se identificó como principal limitante de esta metodología, que la distinción entre los tipos de coberturas es difícil, siendo necesario el trabajo de campo para confirmar los resultados al 100 % de las superficies de humedales monitoreadas. Con la realización de este trabajo se propone un protocolo más efectivo, rápido, fácil de replicar y actualizar para estimar los cambios espaciotemporales en cobertura en el bosque de manglar en Jácome del sitio Ramsar 1602 basado en el análisis de imágenes y su corroboración en campo. Por medio del programa ENVI versión 4.7 se implementó la técnica de clasificación subpixel con imágenes de satélite Landsat TM que abarcan Jácome del sitio Ramsar 1602, correspondientes a los años 2000 y 2011, generando la Matriz de detección de cambios, que permite la cuantificación de pérdidas o ganancias de la cobertura de manglar. Dichas estimaciones fueron corroboradas en campo a través de la verificación de 100 coordenadas X Y, lo que denotó la eficacia de las imágenes procesadas. Con estos puntos verificados se elaboró un

polígono de la zona de estudio. Finalmente, se obtuvo dos mapas de distribución y extensión de los manglares de Jácome, el análisis de coberturas circundantes a manglar y el cálculo de índices que permitió monitorear la cobertura de manglar y sus tendencias espacio-temporales. En los dos mapas temáticos resultantes dominaron las coberturas de origen manglar y otros humedales mostrando una tendencia creciente, ocupando en conjunto, el 65% del área de estudio en 2011, aproximadamente. En la matriz ponderada por área, la exactitud del productor aumenta de 87.73% a 94.98%; a pesar de los errores de confusión presentados para la clase *Manglar*, un valor de más del 85% de exactitud es considerado un muy buen nivel de exactitud para un mapa generado a través de técnicas de percepción remota.

Palabras clave: *cambios espaciotemporales, cobertura, mapas de representación espacial.*

I. INTRODUCCIÓN

La conservación de los componentes y funciones de los ecosistemas, que juegan un papel esencial en la regulación ambiental y en la provisión de recursos naturales, es fundamental para el sostenimiento a largo plazo de la sociedad. Ante los procesos de degradación ambiental y agotamiento de los recursos naturales, el manejo de ecosistemas ha sido planteado como una alternativa que utiliza la investigación ecológica y el monitoreo para adaptar el manejo a cambios en sistemas socioecológicos complejos (Christensen *et al.* 1996).

El manejo de ecosistemas se define como la toma de decisiones guiada por metas explícitas, ejecutado mediante políticas, protocolos y prácticas específicas y adaptable a través de monitoreo e investigación científica (Christensen y Bower, 1996). Se resalta la importancia de que las decisiones humanas se basen en nuestro mejor entendimiento de los procesos ecológicos (Jardel *et al.*, 2008). Para esto, es indispensable la vinculación entre la investigación científica y los distintos actores involucrados en las decisiones que se toman sobre los ecosistemas.

A pesar de la importancia de los manglares, la extensión de éstos a nivel global y nacional se ha reducido notablemente debido a los impactos naturales y antrópicos a los que están sujetos. En México se estima que se han perdido 87,789 ha durante el periodo 1981-2010, y se estima que en la actualidad cubren

764,486 ha, las cuales se ubicaban aproximadamente en un 50 % en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013).

En México se han realizado estudios sobre el bosque de manglar desde hace más de 30 años, atendiendo a diversos aspectos de estos ecosistemas costeros así como su asociación con la población que ejerce influencia directa e indirecta sobre dichas áreas; para identificar sus usos y poder desarrollar planes de conservación. Entre ellos se ubican los que a través de la percepción remota realizan la estimación de cambios de usos de suelo así como la obtención de datos estadísticos (matrices de detección de cambios), desarrollándose a diferentes escalas de estudio.

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 2010, elaboró el mapa de humedales potenciales a finales del 2005, cruzando las cartas de uso del suelo y vegetación, de edafología, topografía, climas y fisiografía, producidas en la década de los 70 y 80 por INEGI (2005); este trabajo consideró que México tiene aproximadamente 128,123.91 km² de humedales potenciales, lo cual representa el 6.52% del territorio total del país, incluyendo los manglares.

El proyecto “Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM)” trabajó en la obtención del mapa de distribución de los manglares de México del año 2005 y 2010, a nivel nacional y con escala 1:50,000. La tarea fundamental de este proyecto fue la estimación de la cobertura de manglar y medir sus cambios

espaciotemporales ocurridos desde la década del 70 hasta la actualidad. Para esto el equipo involucrado empleó como insumos de trabajo imágenes multiespectrales del satélite SPOT-5, escenas del satélite Landsat-7 ETM, ortofotos digitales del INEGI, modelos digitales del terreno, fotografías aéreas panorámicas (oblicuas) y fotografías aéreas verticales ambas de alta resolución. Además de algunos datos *in situ* colectados por investigadores de instituciones gubernamentales y especialistas en manglares que trabajan en la SMMM.

Se necesita estimar la cobertura de manglar y medir sus cambios espaciotemporales empleando el análisis imágenes satelitales y no caer en los errores antes mencionados, por lo que este trabajo buscó implementar un protocolo que empleó la técnica de clasificación subpixel para obtener un porcentaje de confiabilidad en el proceso de identificación de zonas de manglar, con el empleo de la percepción remota en campo y así estimar cambios espaciotemporales confiables, corroborando con verificación en el área de investigación los resultados.

Los trabajos del SMMM se han basado en la obtención de resultados en la década 70-80 y el 2005, quedando un lapso de casi 25 años sin estimaciones. Dicho análisis, que se realizó a nivel de sitio Ramsar, complementa los estudios del SMMM relacionados a características de la estructura de la comunidad de manglar. Se espera que las contribuciones que brinde esta investigación puedan ser utilizadas en los análisis espaciotemporales a nivel estatal y nacional para

cualquier periodo requerido y para otras áreas de bosques no tan solo de manglar, sino también para el manejo, restauración y conservación de estos ecosistemas.

II. ANTECEDENTES

Los manglares constituyen ambientes costeros altamente productivos, dinámicos y de protección, pese a esto se presentan altas tasas de pérdida de cobertura en las últimas décadas, fenómeno que viene produciéndose en todo el mundo, particularmente por el desarrollo de actividades antrópicas (Parks y Bonifaz, 1994; Mackey y Smail, 1995; Spalding *et al.*, 2010). Las pérdidas, generalmente irreparables, tienen como característica común la ignorancia del valor que representan los manglares. Las decisiones que favorecen su conversión se dan porque el valor de los mismos es ignorado o es considerado inferior al valor de otros usos del suelo, lo cual resulta en la conversión de estas áreas en alternativas no sustentables (Saenger, Hergerl y Davie, 1983; Field, 1999).

En general, México ha perdido el 62.1% de sus humedales. En el Golfo de México, las pérdidas de humedales estimadas para Tabasco, Tamaulipas y Veracruz en 60%, 47% y 58% corresponden a 912,942 ha, 436,728 ha y 408,884 ha, respectivamente. El análisis realizado para obtener estas cifras presenta limitaciones debido a las fuentes utilizadas. La principal es la escala de estas fuentes, la cual no ha permitido tomar en cuenta pequeños humedales, tanto en zonas costeras como tierra adentro, que abarcan pocas hectáreas (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012). En la opinión de los autores, ello refleja que hay que revisar la delimitación de los humedales potenciales y revisar también los atributos

del mapa de uso del suelo y vegetación. Otro problema que hace que existan diferencias entre las áreas potenciales presentadas en los resultados de Landgrave y Moreno-Casasola (2012) y los totales que presenta INEGI (2005) tienen que ver con el material cartográfico de INEGI (2007) (escala 1:250,000), ya que las tres capas utilizadas tienen diferente borde costero. Las manipulaciones realizadas para calcular los porcentajes implican “cortes” en las capas, además de cierto grado de generalización de la propia línea costera que presentan los mapas a esta escala.

Internacionalmente el predominio de estudios en manglares se han realizado en la identificación de su cobertura y sus cambios a través del tiempo; dentro de estos estudios se encuentran los de Green, *et al.*, (1998); Gao (1998); Dewalt, Vergne y Hardin (1996); Benfield, Mair y Guzmán (2005); Giri *et al.* (2010) y Spalding *et al.*, (2010). Para México en esta misma temática destacan los trabajos realizados por Ramírez-García, *et al.*, (1998); Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, (2002); Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, (2006) y recientemente de CONABIO para mapear la cobertura de manglar a nivel nacional (Rodríguez-Zúñiga, 2013).

Entre los estudios de manglares con percepción remota que emplean imágenes Landsat TM destacan: los de mapeo e inventarios de manglares (Long y Skewes, 1996; Kovacs *et al.*, 2001), los de evaluación de la extensión y estructura del bosque de manglar (De la Lanza-Espino *et al.*, 1993; De la Lanza-Espino *et al.*, 1996; Ramírez-García *et al.*, 1998), las estimaciones de parámetros biofísicos y

aplicación de índices de vegetación (Green *et al.*, 1997; Ramsey III y Jensen, 1996) y la identificación de bordes de manglar por clasificación de imágenes (Syed *et al.*, 2001). Asimismo, los datos provenientes de imágenes de satélite pueden ser útiles para estimar índices o métricas del paisaje, las cuales combinadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con capas de cartografía (clima, suelos, precipitación, etc.) y datos complementarios, pueden proveer estimados cuantitativos de la condición y tendencias de cambio en hábitats costeros y estuarinos (Klemas, 2001).

Se evaluó la pérdida de humedales en México mediante la cartografía disponible y los modelos digitales de elevación, estimándose que más de la mitad de los estados que actualmente tienen humedales, han perdido cuando menos el 50% de éstos (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012).

Para la región Ramsar 1602, no se han realizado estudios a detalle donde se haya utilizado insumos de percepción remota para el estudio de cambios espaciotemporales en cobertura de manglar. Por tal razón este trabajo buscó implementar un protocolo que empleó la técnica de clasificación subpixel que contribuyó en la clasificación de imágenes de baja resolución espacial para obtener resultados confiables en el proceso de identificación de zonas de manglar y así estimar cambios espaciotemporales, la cual aún no ha sido empleada por la CONABIO ni el INEGI en la estimación de zonas de manglares.

III. HIPÓTESIS

La fiabilidad global y el estimado del coeficiente Kappa, calculados en imágenes de baja resolución espacial por el protocolo de subpixel, la matriz de detección de cambios y con apoyo de verificación en campo, permite estimar cambios espaciotemporales en el bosque de manglar.

IV. OBJETIVO GENERAL

Estimar los cambios espaciotemporales en cobertura del manglar asociado al estero de Jácome, sitio Ramsar 1602 a través de análisis de imágenes satelitales y su corroboración en campo.

IV.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el área de manglar a través del análisis de imágenes satelitales.
2. Cuantificar los cambios espaciotemporales en el ecosistema de manglar.
3. Corroborar la eficacia de los mapas generados mediante la evaluación y verificación en campo.
4. Obtener mapas de cambios de cobertura en espacio y tiempo para el periodo 2000 y 2011.

V. ÁREA DE ESTUDIO

El Sistema estuarino "Estero de Tumilco" se localiza en latitud Norte $20^{\circ} 54'$ a $20^{\circ} 56' 30''$ y la longitud Oeste $97^{\circ} 21' 15''$ a $97^{\circ} 18''$. El centro aproximado se ubica en: $97^{\circ} 19' 48''$ E y $20^{\circ} 55' 48''$ N. Ambos sistemas ubicados a 0 msnm con un área total de 6,870 hectáreas (Cuervo, 2010). El centro aproximado del área de estudio Jácome se localiza en Latitud $20^{\circ} 57' 14.48''$ N y Longitud $97^{\circ} 18' 49.91''$ O. El sitio Ramsar 1602 forma parte de la Región Terrestre Prioritaria (RTP-103) para la Conservación de México (Figura 1).

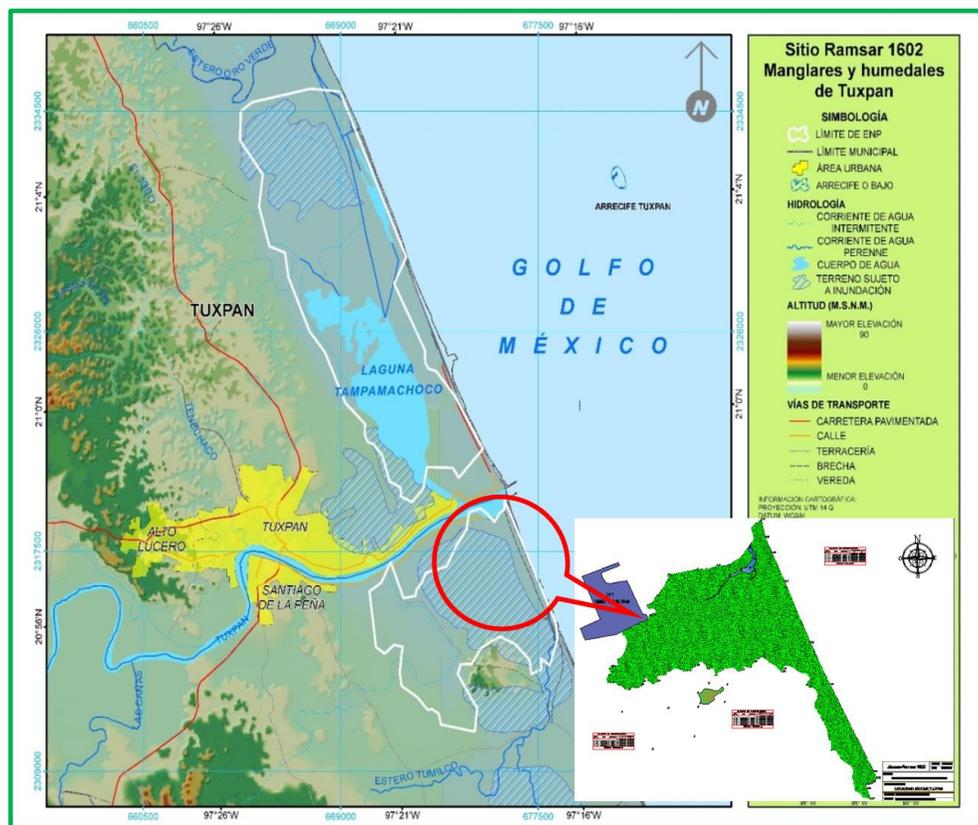


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

El área de estudio presenta un clima cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual (Cuervo, 2010).

Los vientos predominantes provienen del norte y se presentan de octubre a febrero, con una velocidad máxima de 80 km/h. De junio a septiembre se pueden presentar tormentas tropicales o huracanes con rachas de vientos de más de 129 km/h. De marzo a junio se presentan vientos del sur conocidos como “suradas”; son vientos secos y calientes que disminuyen la humedad (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

El sitio está compuesto por los ecosistemas de selva alta mediana y perennifolia y manglares, en los que se encuentran las especies de mangle *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* las que se encuentran bajo la categoría de amenazadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Dada la importancia del sitio ocupado por el manglar, este presenta diferentes niveles de prioridad como: Región Terrestre Prioritaria, Área de Importancia para la conservación de las aves, sitio RAMSAR, análisis de vacíos y omisiones en conservación de biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas (GAP-marino y costero), Zona de reproducción y alimentación de delfines y de reproducción de tortugas y como corredor biológico de aves (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

El manglar del estero de Jácome, limita al norte con el Río Tupan, al este con la Playa sur, al sur con los humedales de Cuatro Ciénegas, al noroeste con propiedades portuarias de la Administración Portuaria de Tuxpan. Los dueños de estas áreas localizadas en Jácome son personas físicas, empresas portuarias y ejidos.

En el área de manglar así como en la zona de influencia existen las localidades del ejido Jácome y Benito Juárez. Esta población dedica mayoritariamente sus actividades económicas a la pesca artesanal (principalmente de lisa), agricultura y ganadería.

La población utiliza en mayor medida el manglar para obtener carbón de su madera o en tareas de la construcción, esto ocasiona que sobre dichas zonas se generen impactos directos como la deforestación, la transformación en áreas agrícolas; lo que produce el aumento de la tasa de sedimentación y alteraciones en la flora y la fauna de la zona. Todo esto sucede bajo acciones que se realizan como son la desecación de humedales, rellenos de zonas inundables, construcción de carreteras y crecimiento de asentamientos humanos (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

En los últimos años se ha presentado un desarrollo muy importante de las actividades navales, actualmente se realiza la construcción del segundo puerto en Tuxpan, que dotará de infraestructura portuaria a PEMEX y CFE.

VI. MATERIALES Y MÉTODO

A continuación se mencionan los pasos que se siguieron en la clasificación de imágenes de baja resolución espacial para estimar cambios espaciotemporales:

1. Seleccionar las imágenes landsat.
2. Procesar las imágenes.
3. Análisis digital.
4. Análisis vectorial.
5. Estimación de exactitud.
6. Detección de los procesos de cambios.

VI.1 SELECCIONAR LAS IMÁGENES LANDSAT.

Para seleccionar las imágenes Landsat que se emplearon en la detección de manglares, se llevó a cabo una búsqueda en el catálogo de la aplicación del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS (Figura 2 y 3) por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), agencia científica del Departamento del Interior de los Estados Unidos, la cual controla el Centro Nacional de Información Sísmica (*National Earthquake Information Center*) en Golden, Colorado.

A continuación se enuncian algunas de las características principales de las imágenes empleadas en esta investigación (Cuadro 1):

Cuadro 1. Características principales de imágenes utilizadas

Satélite:	L-5
Sensor:	TM- multispectral
de bandas:	1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7
Rango espectral:	0.45 - 2.35 μm
Tamaño de la escena:	185 x 185 km.
Resolución espacial del píxel:	30 metros
Fecha de adquisición:	1990-04-16 y 1996-01-11

Como datos de apoyo se contó con los polígonos generados por el INEGI (2005) en el mapa digital de Uso del Suelo y Vegetación y las bases de datos de otras instituciones nacionales como CONABIO 2011.

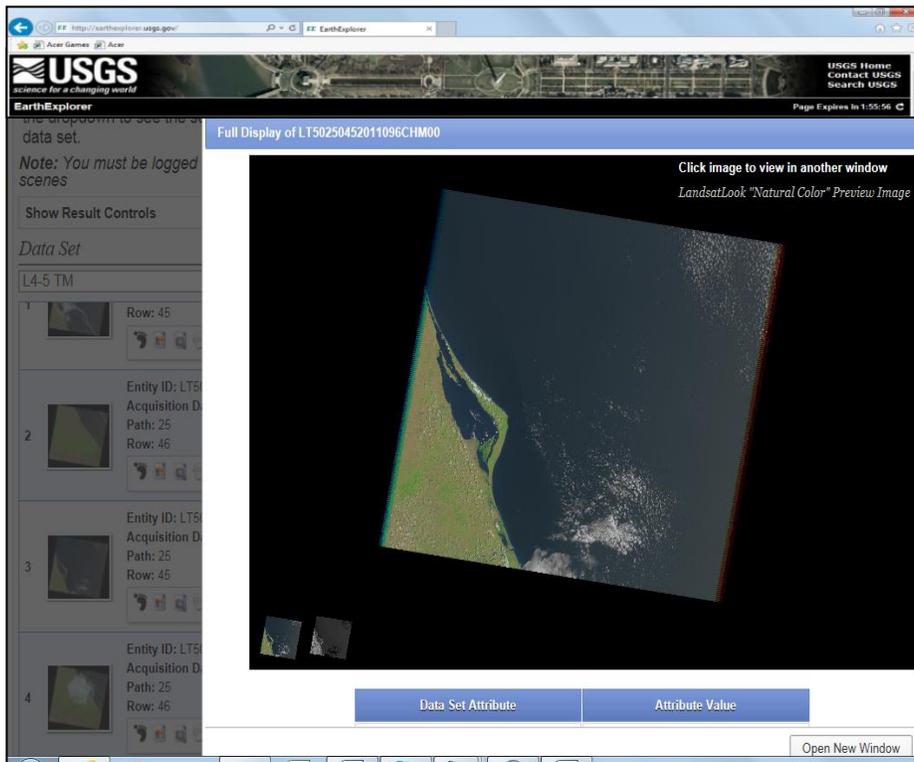


Figura 2. Previsualización del área de la imagen satelital de 13-08-2000.

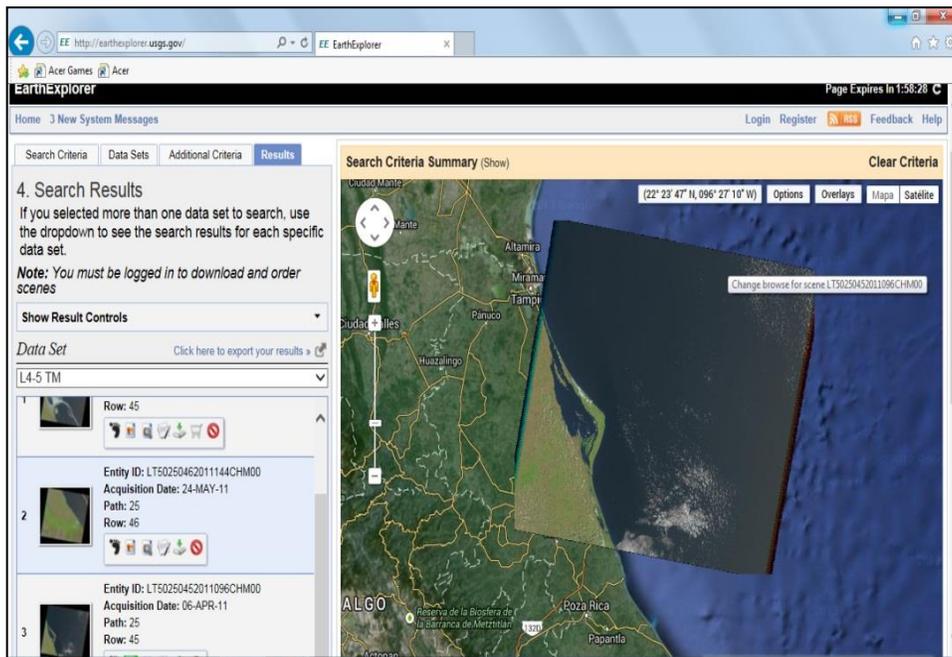


Figura 1. Previsualización del área de la imagen satelital de 24-05-2011.

VI.2 PREPROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Se procesaron las imágenes para eliminar anomalías que se detecten en los niveles digitales de los píxeles que la componen, para así disponer los datos en la forma más cercana a una adquisición idónea para su posterior interpretación.

La radiometría de las imágenes de satélite en estudios multitemporales se ve influenciada por diversos factores como: estación del año y sensor o la atmósfera. Con la corrección radiométrica se redujeron los errores radiométricos al convertir los niveles digitales a parámetros físicos (radiancia) pudiendo así poner en relación las imágenes adquiridas en distintas fechas (Acosta-Velásquez y Rodríguez-Zúñiga, 2007).

Teniendo en cuenta que la energía que registra el sensor se encuentra influenciada por la atmósfera fue necesario llevar a cabo una corrección atmosférica a las imágenes para rectificar alteraciones de la sensibilidad del sensor y la influencia de la atmósfera, lo que facilitó la clasificación y comparación de los datos.

VI.3 ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Las clasificaciones digitales son consideradas como alternativa para indicar una valoración ordinal entre los píxeles que componen una imagen determinada. Estas permiten realizar caracterizaciones particulares válidas para una determinada imagen y un territorio en concreto.

Para realizar la clasificación subpixel se realizó previamente una extracción de endmember o píxeles puros, operación que se realizó con la herramienta Ángulo Máximo Secuencial de Cono Convexo (SMACC) del programa ENVI. Esta encuentra los espectros de los endmembers y su abundancia a lo largo de una imagen y está diseñada para utilizarse con datos hiperespectrales previamente calibrados en radianza.

VI.4 ANÁLISIS VECTORIAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

En esta etapa del estudio se desarrollaron actividades de transformación de los resultados de la clasificación a formato vectorial, verificación y corrección de los resultados de la clasificación empleando las bases de datos cartográficas.

Los mapas resultantes de la clasificación de imágenes se almacenaron en formato raster; para luego transformarse a formato vectorial, conservando todos los píxeles

clasificados como manglar en la proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator.

Para hacer coincidir los datos de la investigación con los del Sistema Monitoreo de Manglares en México, se trabajó a la escala de 1:50,000, donde 4 mm² representan 10,000 m² (una hectárea). Para realizar estos procedimientos se empleó el software ArcGIS 10.2.

Se utilizaron bases de datos cartográficas de uso del suelo y tipos de vegetación como fuentes de información de apoyo (Series de INEGI 2005, CONABIO 2009, entre otras), para así verificar y corregir los resultados de la clasificación de las imágenes de satélite.

VI.5 ESTIMACIÓN DE EXACTITUD

La exactitud de los mapas obtenidos se evaluó con la matriz de confusión o matriz de errores, que se construyó con datos de referencia extraídos de bases de datos de las imágenes procesadas.

La matriz de confusión es el cruce entre los datos resultantes de los datos de referencia con el resultado de la clasificación en esos datos en esos mismo pixeles u objetos empleados para la evaluación.

Los datos de referencias se organizaron en columnas y las clases temáticas resultantes de la clasificación en filas. Para interpretar las clases en la matriz de confusión, se analizó lo siguiente:

El porcentaje de acierto el cual viene dado por la relación entre los pixeles bien clasificados, es la llamada fiabilidad del productor que nos está indicando el porcentaje de pixeles pertenecientes a una clase que han sido bien clasificados. La relación entre el número de pixeles bien clasificados y el total, proporciona la fiabilidad del usuario, que es la probabilidad de que un pixel clasificado dentro de una clase pertenezca realmente a dicha clase.

Además de las probabilidades del productor y de usuario, es importante analizar para cada clase los llamados errores por defecto y por exceso.

El error por defecto es el complementario hasta 100 de la fiabilidad del productor, es decir la suma de todos los pixeles que siendo de manglar se han clasificado en otras clases.

El error por exceso es aquel error complementario de la fiabilidad del usuario hasta el 100 %, sería el correspondiente a aquellos pixeles que se han clasificado como manglar cuando en realidad son de otras clases.

El último índice que nos indica la fiabilidad de la clasificación es la fiabilidad global, entendida como la relación entre todos los píxeles bien clasificados y por tanto están en la diagonal de la matriz de confusión respecto al total de píxeles correspondientes a las muestras de evaluación.

Se esperó obtener un estimador del coeficiente de Kappa (K') mayor a 0.8, el cual resulta un nivel de exactitud satisfactorio para el proceso de clasificación, de acuerdo a la clasificación de Landis y Koch:

kappa	Grado de acuerdo
< 0,00	sin acuerdo
>0,00 - 0,20	insignificante
0,21 - 0,40	discreto
>0,41 - 0,60	moderado
0,61 - 0,80	sustancial
0,81 - 1,00	casi perfecto

VI.6 DETECCIÓN DE LOS PROCESOS DE CAMBIOS EN LOS MANGLARES

En esta etapa se sobrepusieron los mapas temáticos resultantes para generar matrices de detección de cambios. Las matrices contienen información del cambio de cada clase a otra, lo que sirvió para realizar el cálculo del cambio en conjunto y por clases en las fechas evaluadas.

Los datos de la matriz de detección de cambios, nos sirven para el cálculo de dos indicadores de cambio: la estabilidad de localización y la residencia. La estabilidad de localización es el porcentaje de una clase que permanece como la misma clase en la misma ubicación al inicio y final del periodo de cambio, y tiene un intervalo de 0 a 100 (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2012). El límite inferior denota la pérdida total de esa clase dentro del paisaje, en tanto que el límite superior implicaría que la clase no presentó pérdida.

La estabilidad de localización (EL) se obtuvo:

$$EL \text{ (por clase)} = [(cobertura \text{ año inicial} - \text{pérdida cobertura del año inicial})] \times 100 / \text{cobertura año inicial.}$$

La “pérdida cobertura del año inicial”, se refiere a la suma de la superficie de cada clase, que cambia a otra cobertura entre el inicio y el final del periodo de estudio.

La estabilidad de residencia (ER) es el porcentaje de cambio en cada clase dentro del área de estudio durante el periodo de seguimiento Rodríguez-Zúñiga *et al.*, (2012). Los valores de cero de una clase dada, indicarán que no hay cambio neto en el área total de cobertura en el periodo de seguimiento. Los valores positivos, en cambio, indicarán un incremento en la cobertura de una clase dada en relación con el año inicial.

La fórmula para calcular la estabilidad de residencia (ER) es:

ER (por clase) = [(cobertura año final – cobertura año inicial)] X 100/ cobertura año inicial.

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1}$$

Con los datos de cobertura inicial y final de cada clase se estableció la tasa de cambio (r) de cada una de las coberturas empleando la fórmula propuesta por Puyravaud (2003), la cual expresa el porcentaje de área de bosque disminuida por año (%/año):

Dónde:

r = Cambio de cobertura, reemplazo de la cobertura por cualquier otra.

A₁ = Área de la cobertura en el momento inicial expresada en ha.

A₂ = Área de la cobertura al final de periodo analizado en ha.

t₁ = Fecha de la primera evaluación

t₂ = Fecha de la segunda evaluación

ln = Logaritmo natural

Si r es negativo el área está disminuyendo, pero si r es positivo el área está aumentando Puyravaud (2003).

La fórmula se recomienda porque determina la tasa de cambio anual como un indicador de la deforestación en lugar de porcentuales basados en las diferentes áreas de cambio; además permite comparar con otros resultados de diferentes

estudios al independizarse de la superficie de bosque analizada y los períodos de tiempo considerado (Puyravaud, 2003).

De esta manera se obtuvieron las tasas de transformación para el periodo estudiado por cada categoría y se ponderó de acuerdo con su superficie relativa en el total del área de estudio.

VII. RESULTADOS

VII.1 Interpretación de la matriz de confusión 2000 y 2011 para el área de Jácome.

Los datos de referencia se organizaron en columnas y las clases temáticas resultantes de la clasificación en filas (Cuadro 2 y 3 en píxeles y Cuadro 4 y 5 en %). A continuación se interpreta la primera de las clases, en concreto la correspondiente a la cobertura de manglar para los años 2010 y 2011. Cabe mencionar, que en la redacción de este trabajo y en lo sucesivo, con la finalidad de facilitar la lectura, se ha designado la información para el año 2000 con el supraíndice¹, en contraste con la información para el año 2011 con el supraíndice².

De los 15,398 píxeles¹ y 16,000 píxeles² considerados como datos de referencia de la clase Manglar, se han clasificado como manglar 13,509 píxeles¹ y 15,198 píxeles². Sin embargo, de esta lectura valores no coincidentes corresponden a: cuerpo de agua 5 píxeles¹ y 19 píxeles², como desarrollo antrópico 0 píxeles¹ y 39 píxeles², otros humedales 896 píxeles¹ y 19 píxeles², otra vegetación 487 píxeles¹ y 649 píxeles² y para sin vegetación 499 píxeles¹ y 76 píxeles²; considerándose estos últimos valores como errores.

Cuadro 2.- Matriz de Confusión o de errores\2000 en pixeles

D A T O S D E R E F E R E N C I A								
CLASES (Píxeles)	Cuerpos de agua	Desarrollo Antrópico	Otra vegetación	Otros Humedales	Sin Vegetación	Manglar	Total	F. Usuario %
Sin clasificación	115	13	8	43	1	2	182	63.18681319
Cuerpos de agua	12553	13	18	36	25	5	12650	99.23320158
Desarrollo Antrópico	2	711	0	0	0	0	713	99.71949509
Otra vegetación	60	528	909	3433	13	487	5430	16.74033149
Otros Humedales	38	175	85	13751	9	896	14954	91.95532968
Sin Vegetación	507	282	110	305	317	499	2020	15.69306931
Manglar	0	0	235	178	0	13,509	13,922	97.0334722
Total	13275	1722	1365	17746	365	15398	49871	
F. Productor %	94.56120527	41.28919861	66.59340659	77.48788459	86.84931507	87.73217301	41750	

Fiabilidad del Productor: Porcentaje de pixeles pertenecientes a una clase que han sido correctamente clasificados

Fiabilidad del Usuario: Probabilidad de que un pixel clasificado dentro de una clase pertenezca realmente a dicha clase

Fiabilidad Global: $41750 / 49871 * 100 = 83.71598725$

Precisión total = $(41750/49871) = 83.7160\%$

Coefficiente Kappa = 0.78

Los resultados obtenidos con la matriz de confusión muestran una Fiabilidad global superior al 83% de los mapas generados siguiendo la metodología planteada.

Mientras que los valores de coeficiente kappa son superiores a 0.78, con lo que se puede afirmar que la concordancia de los resultados entre la clasificación y los resultados de la CONABIO es considerable.

Cuadro 3.- Matriz de confusión o de errores/2011 en pixeles

D A T O S D E R E F E R E N C I A

CLASES (Píxeles)	Manglar	Cuerpos de agua	Desarrollo Antrópico	Otra vegetación	Otros Humedales	Sin Vegetación	Total	F. Usuario %
Unclassified	0	115	26	8	26	1	176	0
Manglar	15.198	47	0	430	137	0	15,812	96.11687326
Cuerpos de agua	19	11397	3	12	0	3	11434	99.67640371
Desarrollo Antrópico	39	39	2084	21	0	52	2235	93.24384787
Otra vegetación	649	28	308	823	2408	4	4220	19.50236967
Otros Humedales	19	0	0	23	14192	0	14234	99.70493185
Sin Vegetación	76	1641	93	23	0	305	2138	14.26566885
Total	16000	13267	2514	1340	16763	365	50249	
F. Productor %	94.9875	85.90487676	82.89578361	61.41791045	84.66264988	83.56164384	43999	

Fiabilidad del Productor: Porcentaje de píxeles pertenecientes a una clase que han sido correctamente clasificados

Fiabilidad del Usuario: Probabilidad de que un píxel clasificado dentro de una clase pertenezca realmente a dicha clase

Fiabilidad Global: $43999 / 50249 * 100 = 87.56194153$

Precisión total = $(43999/50249) = 87.5 \%$

Coefficiente Kappa = 0.8320

Los resultados obtenidos con la matriz de confusión muestran una Fiabilidad global superior al 87% de los mapas generados siguiendo el procedimiento planteado.

Los valores de coeficiente kappa son superiores a 0.83, por lo que la concordancia de los resultados entre la clasificación y los resultados de la CONABIO es considerable.

Cuadro 4.- Matriz de Confusión o de errores\2000 en porcentaje							
D A T O S D E R E F E R E N C I A							
CLASES (%)	Cuerpos de agua	Desarrollo Antrópico	Otra vegetación	Otros Humedales	Sin Vegetación	Manglar	Total
Sin clasificación	0.87	0.75	0.59	0.24	0.27	0.01	0.36
Cuerpos de agua	94.56	0.75	1.32	0.2	6.85	0.03	25.37
Desarrollo Antrópico	0.02	41.29	0	0	0	0	1.43
Otra vegetación	0.45	30.66	66.59	19.35	3.56	3.16	10.89
Otros Humedales	0.29	10.16	6.23	77.49	2.47	5.82	29.99
Sin Vegetación	3.82	16.38	8.06	1.72	86.85	3.24	4.05
Manglar	0	0	17.22	1	0	87.73	27.92
Total	100.01	99.99	100.01	100	100	99.99	100.01

Cuadro 5.- Matriz de Confusión o de errores \2011 en porcentaje							
D A T O S D E R E F E R E N C I A							
CLASES (%)	Manglar	Cuerpos de agua	Desarrollo Antrópico	Otra vegetación	Otros Humedales	Sin Vegetación	Total
Sin clasificación	0	0.87	1.03	0.6	0.16	0.27	0.35
Manglar	94.99	0.35	0	32.09	0.82	0	31.47
Cuerpos de agua	0.12	85.9	0.12	0.9	0	0.82	22.75
Desarrollo Antrópico	0.24	0.29	82.9	1.57	0	14.25	4.45
Otra vegetación	4.06	0.21	12.25	61.42	14.36	1.1	8.4
Otros Humedales	0.12	0	0	1.72	84.66	0	28.33
Sin Vegetación	0.47	12.37	3.7	1.72	0	83.56	4.25
Total	100	100	100	100	100	100	100

Respecto a la fiabilidad del productor, el porcentaje de acierto fue de 13,509 píxeles¹ y 15,198 píxeles² bien clasificados, frente al total de la clase 15,398 píxeles¹ y 16,000 píxeles², (Cuadro 6 y 7).

Si se analiza la matriz por filas y siguiendo con la clase manglar se aprecia que se han clasificado como manglar un total de 13,922 píxeles¹ y 15,812 píxeles², de todos ellos 13,509 píxeles¹ y 15,198 píxeles² son correctamente clasificados y pertenecen realmente a la clase manglar. Por el contrario, se han clasificado 0 píxeles¹ y 47 píxeles² como manglar cuando en realidad son cuerpos de agua; 235 píxeles¹ y 430 píxeles² como manglar cuando en realidad son otra vegetación; 178 píxeles¹ y 137 píxeles² como manglar cuando en realidad son otros humedales; para las coberturas de desarrollo antrópico y sin vegetación no hubo cambio (Cuadro 2 y 3).

La relación entre el número de píxeles bien clasificados 13,509 píxeles¹ y 15,198 píxeles² y el total 13,922 píxeles¹ y 15,812 píxeles² para la clase de manglar, permitió determinar la fiabilidad del usuario: para la clase manglar (97.03%¹ y 96.12%², otros humedales (91.86%¹ y 99.70%²), otra vegetación (16.74%¹ y 19.50%²), desarrollo antrópico (99.72%¹ y 93.24%²), cuerpos de agua (99.23%¹ y 99.68%²) y sin vegetación (15.69%¹ y 14.27%²), que corresponde a la probabilidad de que un píxel clasificado dentro de una clase pertenezca realmente a dicha clase (Cuadro 6 y 7).

Cuadro 6.- Fiabilidad del Productor y del usuario/2000				
CLASES	Fiabilidad Productor (%)	Fiabilidad Usuario (%)	Fiabilidad Productor (Píxeles)	Fiabilidad Usuario (Píxeles)
Cuerpos de agua	94.56	99.23	12553/13275	12553/12650
Desarrollo Antrópico	41.29	99.72	711/1722	711/713
Otra vegetación	66.59	16.74	909/1365	909/5430
Otros Humedales	77.49	91.96	13751/17746	13751/14954
Sin Vegetación	86.85	15.69	317/365	317/2020
Manglar	87.73	97.03	13,509/15,398	13,509/13,922

Cuadro 7.- Fiabilidad del Productor y del usuario/2011				
CLASES	Fiabilidad Productor (%)	Fiabilidad Usuario (%)	Fiabilidad Productor (Píxeles)	Fiabilidad Usuario (Píxeles)
Manglar	94.99	96.12	15,198/16,000	15,198/15,812
Cuerpos de agua	85.9	99.68	11397/13267	11397/11434
Desarrollo Antrópico	82.9	93.24	2084/2514	2084/2235
Otra vegetación	61.42	19.5	823/1340	823/4220
Otros Humedales	84.66	99.7	14192/16763	14192/14234
Sin Vegetación	83.56	14.27	305/365	305/2138

Además de las fiabilidades del productor y de usuario, es importante analizar para cada clase los llamados errores por defecto y por exceso. El error por defecto es el complementario hasta 100 de la fiabilidad del productor, que en este trabajo y para manglar resultó ser de 87.73% para 2000 y 94.99% para 2011. Resultando, un error por defecto de 12.27% para 2000 y 5.1% para 2011 (Cuadro 8 y 9).

El error por exceso es aquel error complementario de la fiabilidad del usuario (97.03% para 2000 y 96.12% para 2011) hasta el 100 %, estimándose un error por exceso de 2.97% para 2000 y 3.88% para 2011 (Cuadro 8 y 9).

El último índice que nos indica la relación entre todos los pixeles bien clasificados, fue la fiabilidad global, que en este trabajo se determinó en un 83.72 % para el año 2000 (Cuadro 2) y 87.56% para el 2011 (Cuadro 3); a fiabilidad global obtenida arriba del 80%, indica que ambas imágenes fueron adecuadamente procesadas.

Se obtuvo un estimado del coeficiente de Kappa (K'), que de acuerdo a la escala de valoración de Landis y Koch, el resultado para el año 2000 fue de 0.78, interpretado como sustancial y para el año 2011 de 0.83 casi perfecto; lo cual resultó un nivel de exactitud satisfactorio para el proceso de clasificación realizado.

Cuadro 8.- Error por exceso y por defecto\2000				
CLASES	Error por exceso (%)	Error por defecto (%)	Error por exceso (Píxeles)	Error por defecto (Píxeles)
Cuerpos de agua	0.77	5.44	97/12650	722/13275
Desarrollo Antrópico	0.28	58.71	2/713	1011/1722
Otra vegetación	83.26	33.41	4521/5430	456/1365
Otros Humedales	8.04	22.51	1203/14954	3995/17746
Sin Vegetación	84.31	13.15	1703/2020	48/365
Manglar	2.97	12.27	413/13922	1889/15398

Cuadro 9.- Error por exceso y por defecto/2011				
CLASES	Error por exceso (%)	Error por defecto (%)	Error por exceso (Píxeles)	Error por defecto (Píxeles)
Manglar	3.88	5.01	614/15812	802/16000
Cuerpos de agua	0.32	14.1	37/11434	1870/13267
Desarrollo Antrópico	6.76	17.1	151/2235	430/2514
Otra vegetación	80.5	38.58	3397/4220	517/1340
Otros Humedales	0.3	15.34	42/14234	2571/16763
Sin Vegetación	85.73	16.44	1833/2138	60/365

VII.2 Interpretación de la detección de los procesos de cambios en los manglares.

Los mapas temáticos resultantes generaron las matrices de detección de cambios de cada clase a otra (Cuadro 10, 11 y 12), con lo que se obtuvo el cálculo del cambio en conjunto y por clases en las fechas evaluadas:

La estabilidad de localización (EL) estimada en este trabajo fue de 98.22%, lo que denota que la clase *Manglar* implica cambio nulo (cuadro 12).

En cuanto a la estabilidad de residencia (ER) calculada fue de 0.101033421. En este caso el valor de $ER=0.10$ toma valores positivos (Cuadro 12), de manera que la clase *Manglar* para el 2011 aumentó con respecto al año inicial (2000) (Ramsey *et al.*, 2001). El análisis indica que el manglar presentó un aumento global de poco menos de 42 ha en un periodo de 11 años.

Con los datos de cobertura inicial y final se estableció para la clase *Manglar* un valor de $r=0.159$, lo que indica que esta clase va en aumento (Cuadro 12).

Cuadro 10.- Matriz de detección de cambios en píxeles.

		Estado Inicial 2000								
Estado final 2011	Coberturas (píxeles)	Cuerpos de agua 1379 puntos	Manglar 706 puntos	Otra vegetación 251 puntos	Otros Humedales 884 puntos	Sin Vegetación 43 puntos	Desarrollo Antrópico 76 puntos	Sin clasificación	Row Total	Class Total
	Sin Clasificar	0	0	0	0	0	0	5871	5871	5871
	Cuerpos de agua 1481 puntos	2595	1	12	17	21	0	0	2646	2646
	Manglar 2319 puntos	4	3032	165	221	136	0	0	3558	3558
	Otra vegetacion 588 puntos	2	40	1876	787	140	2	0	2847	2847
	Otros Humedales 993 puntos	0	12	499	2752	10	0	0	3273	3273
	Sin Vegetación 91 puntos	290	0	11	18	184	1	0	504	504
	Desarrollo Antrópico 138 puntos	7	1	194	86	134	155	0	577	577
	Class Total	2898	3086	2757	3881	625	158	5871	0	0
	Cambios de clase	303	54	881	1129	441	3	0	0	0
Diferencia de imagen	-252	472	90	-608	-121	419	0	0	0	

Cuadro 11.- Matriz de detección de cambios en porcentajes.

		Estado Inicial 2000							Row Total	Class Total
Estado final 2011	Coberturas (porcentajes)	Cuerpos de agua	Manglar	Otra vegetación	Otros Humedales	Sin Vegetación	Desarrollo Antrópico	Sin clasificación		
	Sin Clasificar	0	0	0	0	0	0	100	100	100
	Cuerpos de agua	89.545	0.032	0.435	0.438	3.36	0	0	100	100
	Manglar	0.138	98.25	5.985	5.694	21.76	0	0	100	100
	Otra vegetación	0.069	1.296	68.045	20.278	22.4	1.266	0	100	100
	Otros Humedales	0	0.389	18.099	70.91	1.6	0	0	100	100
	Sin Vegetación	10.007	0	0.399	0.464	29.44	0.633	0	100	100
	Desarrollo Antrópico	0.242	0.032	7.037	2.216	21.44	98.101	0	100	100
	Class Total	100	100	100	100	100	100	100	0	0
	Cambios de clase	10.455	1.75	31.955	29.09	70.56	1.899	0	0	0
Diferencia de imagen	-8.696	15.295	3.264	-15.666	-19.36	265.19	0	0	0	

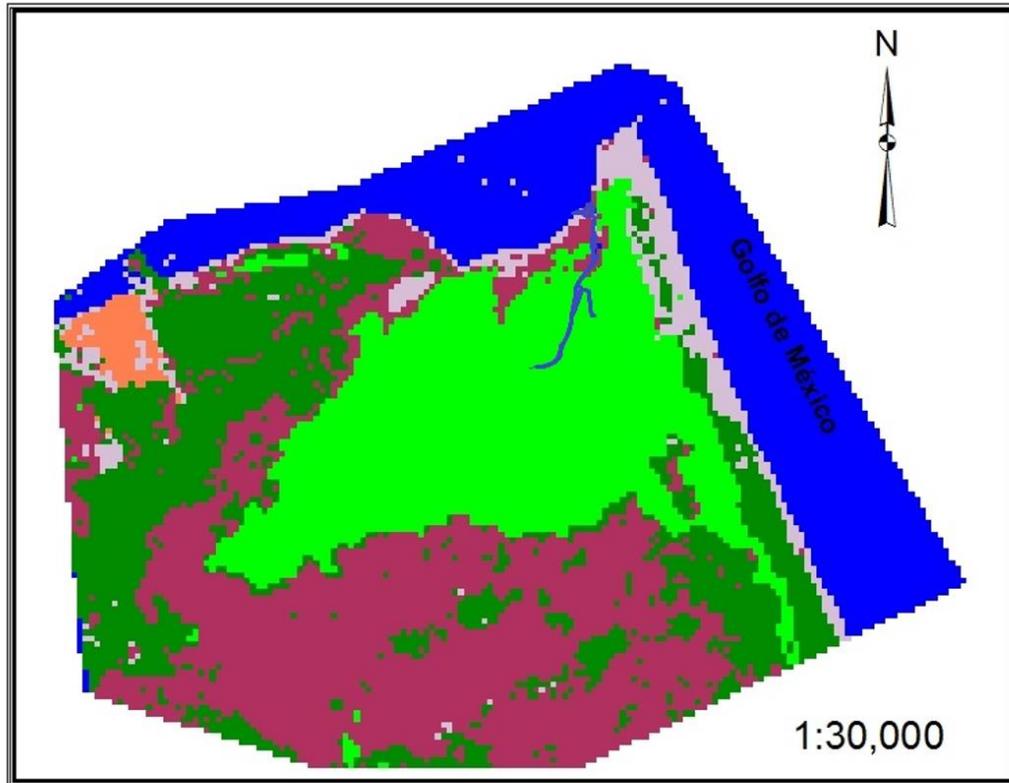
Cuadro 12.- Matriz de detección de cambios en m².

		Estado Inicial 2000								
Estado final 2011	Coberturas (área en m ²)	Cuerpos de agua	Manglar	Otra vegetación	Otros Humedales	Sin Vegetación	Desarrollo Antrópico	Sin clasificación	Class Total	
	Sin Clasificar	0	0	0	0	0	0	0	5,283,900	5,283,900
	Cuerpos de agua	2,335,500	900	10,800	15,300	18,900	0	0	2,381,400	
	Manglar	3,600	2,728,800	148,500	198,900	122,400	0	0	3,202,200	
	Otra vegetación	1,800	36,000	1,688,400	708,300	126,000	1,800	0	2,562,300	
	Otros Humedales	0	10,800	449,100	2,476,800	9,000	0	0	2,945,700	
	Sin Vegetación	261,000	0	9,900	16,200	165,600	900	0	453,600	
	Desarrollo Antrópico	6,300	900	174,600	77,400	120,600	139,500	0	519,300	
	Class Total	2,608,200	2,777,400	2,481,300	3,492,900	562,500	142,200	5,283,900	0	
	Cambios de clase	272,700	48,600	792,900	1,016,100	396,900	2,700	0	0	
	Diferencia de imagen	-226,800	424,800	81,000	-547,200	-108,900	377,100	0	0	
	Estabilidad de localización	88	98	53	59	-140	98	100	0	
	Estabilidad de residencia	12	2	47	41	240	2	0	0	
	R	0.994	0.159	3.465	3.094	11.005	0.173	0	0	

En la figura 4 y 5 se muestran los mapas temáticos resultantes de cada imagen del área de estudio para los dos periodos de estudio, en las que se pueden observar las coberturas de cambio.

Finalmente, en campo se realizó la validación de 100 puntos de coordenadas X Y (Cuadro 13) mediante el uso del GPS, considerándose como válidos aquellos puntos que pertenecieran a la misma clase tanto en los mapas de coberturas generados, como en el muestreo. El número de puntos de prueba por clase se asignó siguiendo un criterio al azar y en la periferia, evitándose la selección de puntos cercanos a colindancias entre clases; una vez realizada la verificación en campo se procedió a elaborar la poligonal del área de estudio (Figura 6).

MAPA DE USO DE SUELO Y VEGETACION, MANGLAR DE JÁCOME (2000)



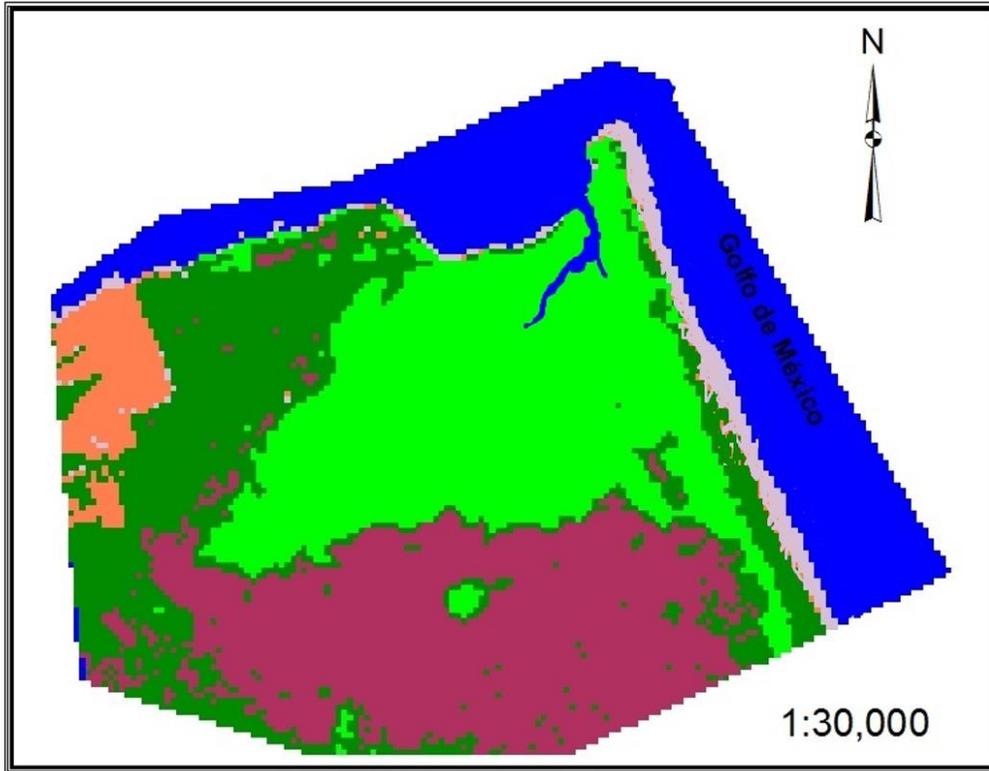
Autor: Mario Abraham S. Aquino
Fecha elaboración: 13 Julio 2016
Elaborado por el autor a partir de clasificación supervisada en imagen Lansat de fecha 13 agosto 2000

Sistema de coordenadas planas
Proyección
Cónica Con forme de Lambert
Datum WGS 1984



Figura 4. Mapa de uso de suelo y vegetación Manglar de Jácome año 2000.

MAPA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN, MANGLAR DE JÁCOME (2011)



Autor: Mario Abraham S. Aquino
Fecha elaboración: 13 Julio 2016
Elaborado por el autor a partir de clasificación supervisada en imagen Lansat de fecha 24 mayo 2011

Sistema de coordenadas planas
Proyección
Cónica Con forme de Lambert
Datum WGS 1984

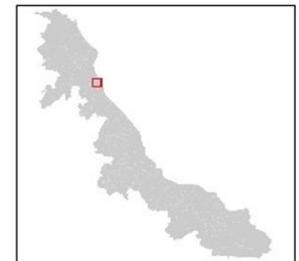


Figura 5. Mapa de uso de suelo y vegetación Manglar de Jácome año 2011.

Cuadro 13. Cuadro de construcción del área de estudio

N°	X	Y	N°	X	Y	N°	X	Y
1	675288.0073	2318722.506	25	674326.6702	2317948.948	49	673943.5497	2317341.634
2	675170.4814	2318726.161	26	674295.667	2317924.955	50	673923.268	2317309.022
3	674755.9482	2318647.291	27	674218.7261	2317899.154	51	673936.4717	2317281.96
4	674762.5767	2318588.13	28	674171.9527	2317879.726	52	673953.2564	2317257.096
5	674729.7231	2318528.278	29	674130.4021	2317851.042	53	673909.7803	2317220.035
6	674687.9174	2318449.773	30	674113.4057	2317837.558	54	673888.4509	2317167.032
7	674659.7271	2318418.138	31	674112.6066	2317801.887	55	673901.121	2317125.585
8	674632.9906	2318377.481	32	674137.2894	2317792.3	56	673949.8414	2317119.12
9	674599.4877	2318352.761	33	674175.0934	2317720.509	57	673976.4683	2317138.514
10	674569.8617	2318313.926	34	674179.4429	2317682.321	58	674005.7075	2317129.143
11	674549.8072	2318268.334	35	674167.8299	2317635.238	59	674051.8464	2317086.388
12	674514.9793	2318236.31	36	674176.1154	2317600.179	60	674096.1506	2317091.639
13	674480.2094	2318217.208	37	674157.1752	2317592.04	61	674107.6004	2317069.508
14	674455.597	2318208.085	38	674154.614	2317567.946	62	674144.4324	2317039.263
15	674479.9907	2318174.983	39	674129.3844	2317519.605	63	674188	2317021.598
16	674547.5985	2318179.029	40	674103.0177	2317479.255	64	674235.3521	2317054.419
17	674590.8372	2318147.728	41	674075.3528	2317460.668	65	674290.4607	2317052.093
18	674583.3003	2318108.02	42	674037.9834	2317441.95	66	674320.1002	2317057.724
19	674524.6846	2318078.866	43	674043.5542	2317409.5	67	674357.1527	2317076.124
20	674491.4603	2318061.925	44	674058.8895	2317390.884	68	674375.1956	2317089.313
21	674478.8449	2318022.036	45	674065.8588	2317364.975	69	674399.4674	2317134.831
22	674457.7542	2318000.57	46	674039.5042	2317350.182	70	674425.0109	2317195.986
23	674419.6302	2317981.236	47	673991.4654	2317339.329	71	674458.8762	2317201.035
24	674367.6426	2317972.515	48	673961.3587	2317349.074	72	674467.7256	2317171.271

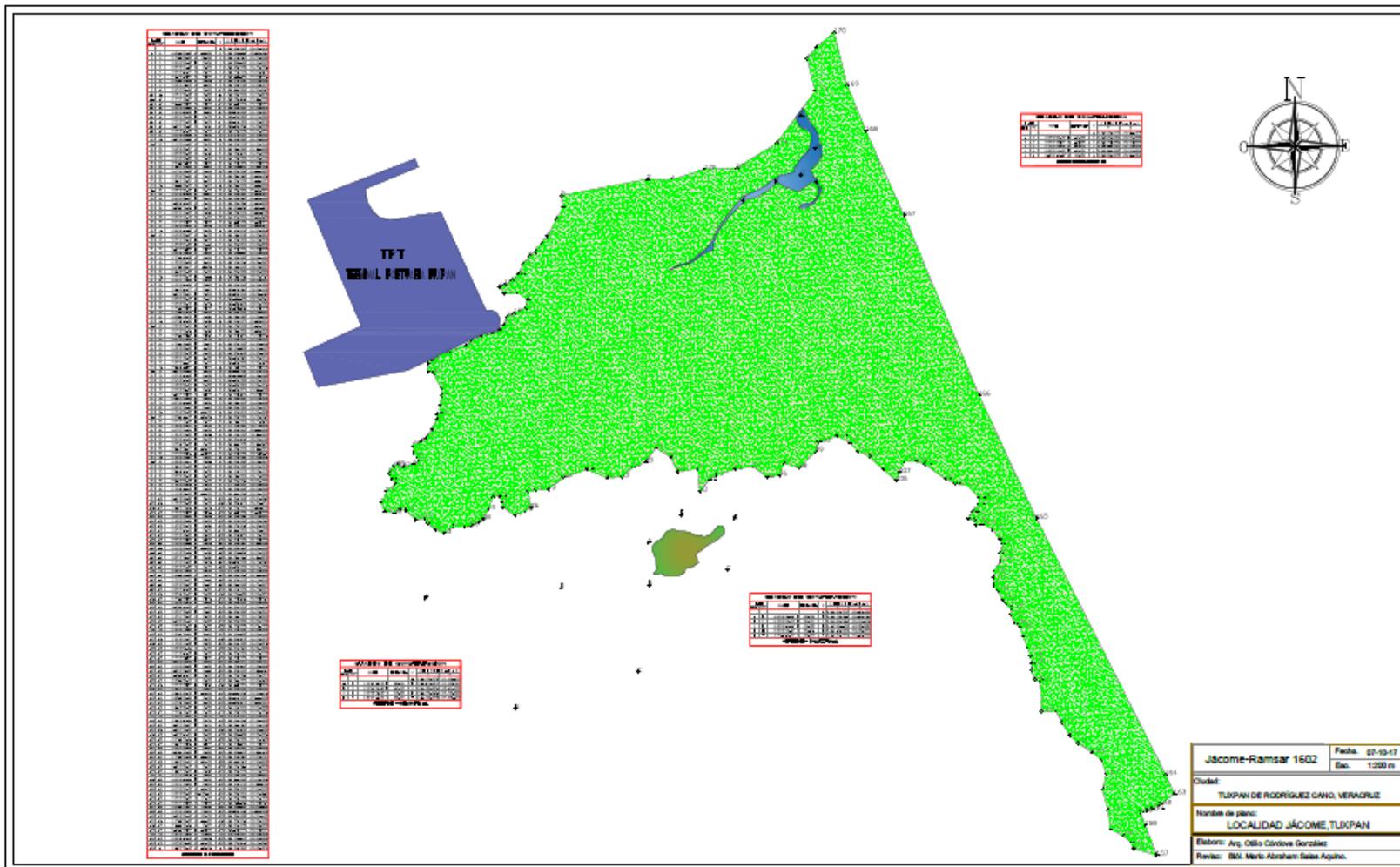
Continuación. Cuadro de construcción del área de estudio

N°	X	Y	N°	X	Y	N°	X	Y
73	674471.0485	2317147.13	97	675826.5456	2317358.692	121	676834.5844	2317040.119
74	674529.7834	2317105.705	98	675902.5505	2317335.966	122	676866.4914	2316993.21
75	674581.4071	2317132.002	99	675981.002	2317414.485	123	676885.5089	2316968.899
76	674610.156	2317142.524	100	675994.891	2317460.461	124	676872.1821	2316926.075
77	674592.3566	2317222.312	101	676087.1874	2317488.418	125	676873.9044	2316885.929
78	674634.7032	2317228.923	102	676145.1502	2317456.789	126	676845.8682	2316841.779
79	674690.6285	2317231.491	103	676187.054	2317416.096	127	676839.7702	2316808.697
80	674765.4097	2317288.703	104	676236.9803	2317392.408	128	676841.7005	2316769.825
81	674876.3998	2317327.897	105	676309.9313	2317327.604	129	676858.7879	2316743.45
82	674975.4419	2317288.257	106	676368.26	2317275.343	130	676886.0436	2316700.156
83	675044.8136	2317291.202	107	676383.1832	2317311.996	131	676899.3873	2316682.218
84	675101.9679	2317340.989	108	676406.985	2317365.619	132	676924.8571	2316660.423
85	675161.3359	2317365.034	109	676468.0446	2317365.746	133	676921.563	2316627.791
86	675211.298	2317434.43	110	676510.4495	2317352.021	134	676942.4739	2316587.686
87	675282.4763	2317386.61	111	676606.265	2317282.542	135	676967.5964	2316566.278
88	675313.3165	2317317.444	112	676655.9592	2317259.183	136	676982.7357	2316521.898
89	675412.9827	2317332.264	113	676714.8043	2317251.741	137	677005.3655	2316472.216
90	675421.6119	2317223.01	114	676769.3313	2317192.261	138	677017.1314	2316429.695
91	675469.3041	2317279.979	115	676767.7642	2317158.557	139	677025.2947	2316395.038
92	675501.0247	2317299.432	116	676741.3786	2317125.766	140	677020.5103	2316361.73
93	675592.7879	2317329.709	117	676717.2195	2317088.936	141	677037.8506	2316314.387
94	675678.4273	2317342.475	118	676743.8749	2317083.944	142	677065.5352	2316305.28
95	675747.8883	2317291.294	119	676756.8647	2317061.263	143	677069.1371	2316161.987
96	675806.7203	2317300.553	120	676793.6367	2317064.207	144	677141.6302	2316164.305

Continuación Cuadro de construcción del área de estudio

N°	X	Y	N°	X	Y
145	677168.4864	2316108.915	69	676132.9258	2319176.454
146	677207.2888	2316045.963	170	676070.1487	2319432.628
147	677246.7821	2316008.29	171	675985.4082	2319359.637
148	677317.6555	2315964.782	172	675939.5225	2319307.38
149	677361.2995	2315930.072	173	675979.6567	2319149.844
150	677384.4328	2315861.431	174	675792.7975	2318897.665
151	677366.1892	2315783.21	175	675599.2202	2318779.141
152	677392.6391	2315688.184	176	675445.2812	2318773.714
153	677404.4152	2315595.995			
154	677458.5624	2315567.165			
155	677503.2395	2315533.657			
156	677512.4175	2315502.167			
157	677627.4784	2315469.882			
158	677569.8395	2315613.701			
159	677548.2245	2315676.421			
160	677576.9633	2315686.065			
161	677608.8957	2315696.78			
162	677642.7821	2315714.693			
163	677711.1786	2315764.548			
164	677668.5749	2315858.027			
165	677044.8116	2317092.567			
166	676767.7996	2317685.079			
167	676406.7017	2318551.183			
168	676223.1169	2318958.106			

Figura 6. Poligonal del área de estudio. En los archivos electrónicos DWG y PDF, se puede observar la poligonal y cuadro de construcción con una resolución exacta.



VIII. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, se puede desprender que los tratamientos de las imágenes Landsat TM de baja resolución espacial procesadas con el programa ENVI Classic versión 4.7, indica que ambas imágenes fueron adecuadamente procesadas, por lo que el protocolo propuesto es eficiente. Lo anterior se comprueba con el resultado de la fiabilidad global obtenida por encima del 80% de píxeles adecuadamente clasificados y del coeficiente Kappa con valoración *de sustancial* para el año 2000 y *casi perfecto* para el año 2011. La lectura de ambas imágenes, con un 98.22% de estabilidad de localización indica que la cobertura manglar ha presentado un cambio casi nulo, aunado al valor de $r=0.159$, que expresa que esta clase de cobertura vegetal va en aumento. Valores que se corroboran en la matriz de detección de cambios.

El trabajo realizado con este protocolo es parecido a los realizados por De la Lanza, *et al*, y Soto-Galera, *et al*, en la Laguna de Términos, Campeche, cuyo procesamiento a través de imágenes Landsat, dio como resultado la distribución y abundancia de especies, donde identificaron el cambio de uso de suelo en un período de 27 años, entre 1974 y 2001.

El INEGI en 2010, elaboró el mapa de humedales potenciales al 2005. Este trabajo fue el resultado de cruzar las cartas de uso del suelo y vegetación, producidas en la década de los 70 y 80, así como las de humedad del suelo,

hidrología superficial, pendientes y elevación. A este respecto, Landgrave y Moreno-Casasola (2012) comentan que aunado a la limitación en los datos presentados en ese trabajo a causa de las fuentes utilizadas y dado que los resultados no fueron validados en campo, sino a través del cálculo indirecto a partir de diversos mapas, estos valores estiman la superficie de humedales que se han perdido en el país y enfatizan además, la problemática que propicia la pérdida de ecosistemas en las distintas ecorregiones. Los dos mapas obtenidos durante ese protocolo subpixel se realizaron con cartografía actual, hubo cruce de información estadística y fue validado en campo con Gps y estación total, los que nos dio mapas y datos reales.

Por otra parte, el Informe final SNIB-CONABIO “Sistema de Monitoreo de los Manglares de México” obtuvo el Mapa de distribución de los manglares de México del año 2005 y 2010, a nivel nacional, e identificó como principal limitante la baja resolución espectral de las imágenes SPOT, aspecto que impidió una mejor diferenciación entre los tipos de manglares sin trabajo de campo, incidiendo esto en la estimación de la cobertura y cambio espaciotemporal en los bosques de mangle. La utilización de imágenes Lansat TM para el trabajo realizado en Jácome, proporciona una mejor resolución en los mapas temáticos generados (85% de exactitud en la matriz ponderada) es considerado por los estándares de la Subdirección de Percepción Remota de la CONABIO, y por casi cualquier estándar internacional, un muy buen nivel de exactitud para un mapa generado a través de técnicas de percepción remota.

Antes de este trabajo, dada la importancia sistémica del ecosistema ubicado en Jácome no se contaba con una poligonal definida. Si bien una limitante fue el acceso al área dado que está bajo resguardo de la Secretaría de Marina, las visitas a campo permitieron la validación in situ de las coordenadas X Y que se obtuvieron a partir de los mapas temáticos.

IX. CONCLUSIÓN

El protocolo empleado en este trabajo para analizar la dinámica de cambio de uso del suelo depende del conocimiento, capacitación y habilidad del analista sobre los métodos de detección de cambios existentes y de los datos de las imágenes utilizadas, así como de las características del área de estudio. Por otra parte, la selección de la técnica dependerá del aspecto a evaluar, de la calidad y cantidad de información a generar y sobre todo del costo de implementación. Por consiguiente, ningún método es aplicable para todos los casos de estudio, pero sí es necesario el empleo de uno o varios de ellos para que los investigadores y tomadores de decisiones puedan conocer el alcance de los cambios registrados, los riesgos que ello implica y, de ser posible identificar los agentes que causan el cambio con fines de seguimiento del ordenamiento territorial.

La importancia de realizar estimaciones espaciotemporales de los ecosistemas de manglar utilizando imágenes satelitales, reside en que, se puede determinar de una forma rápida y confiable el estado y las tendencias de cambio, siendo posible emprender acciones y advertir o corregir los cambios que provocan o se pueden causar en estos y otros ecosistemas. La principal limitante de la implementación de este tipo de herramientas radica en dos aspectos: los costos de su puesta en marcha y la falta de profesionales capacitados para su desarrollo. Si el enfoque está orientado a evaluar lo que ha pasado con cada clase de vegetación o uso de

suelo, el método ideal es la matriz de cambios construida con mapas temáticos elaborados previamente, ya sea con clasificación supervisada o digitalización en monitor. De manera que los resultados de esta investigación demuestra posible obtener resultados adecuados y necesarios a partir de herramientas alternas de similar aplicación y menores costos, tal como si se estuvieran obteniendo de programas más costosos.

X. APLICACIÓN PRÁCTICA

El manejo de ecosistemas marinos y costeros es un proceso dinámico de ordenamiento territorial costero, de ahí la importancia de utilizar herramientas de sensoramiento y sistemas de información geográfica, para dimensionar los alcances de los procesos, monitorear en el tiempo la evolución de los impactos de las actividades humanas en la zona costera y proyectar las actividades e impactos en el tiempo.

Una ventaja en la aplicación de este protocolo utilizando imágenes del satélite Landsat TM, con una resolución espacial de 30 metros, (cada pixel representa una superficie en la realidad de 30 x 30 metros) es que su implementación requiere menos equipo y mano de obra, favoreciendo la prontitud con que es posible realizar estimaciones en el cambio de la cobertura vegetal en plazos mayores a 10 años.

Las estimaciones que se pueden obtener con este protocolo, son una herramienta de utilidad en los instrumentos de la política ambiental, tales como el ordenamiento territorial, particularmente en la obtención de cartografía en amplias coberturas para la delimitación del uso de suelo y la caracterización vegetación, específicamente en zonas de difícil acceso. Además, permite georreferenciar rutas, ríos y manchas urbanas. Otra aplicación es la identificación y delimitación

de praderas de pastos marinos, como se hace en la unidad ambiental costera de La Alta Guajira, Colombia.

En nuestro país existen instrumentos de regulación y normatividad sobre los mares y costas, tanto de carácter federal, estatal y municipal; a continuación los Instrumentos de gestión ambiental en los que se puede aplicar este protocolo:

Federales

- Reglamento para el uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar.
- Ley General de Asentamientos Humanos
- Ley General de Protección Civil
- Ley General de Turismo

Estatales

- Leyes Ambientales y de regulación de recursos naturales de los Estados con litoral.
- Leyes de Regulación de los Asentamientos Humanos de los Estados con litoral.
- Leyes de Promoción y desarrollo económico y turístico de los Estados con litoral.

- Reglamentos de las leyes ambientales, de regulación de los recursos naturales y de los asentamientos humanos, y de promoción y desarrollo económico y turístico.
- Reglamentos y Bandos Municipales aplicables.

Instrumentos de planeación, concertación e información.

- Ordenamiento Ecológico del Territorio (SEMARNAT)
- Ordenamiento Territorial (SEDESOL)
- Ordenamiento Turístico (SECTUR)
- Programa de Desarrollo Urbano (SEDESOL)
- Planes de Desarrollo Rural Sustentable para la Atención de Subcuencas y Microcuencas (SAGARPA)
- Atlas de Peligros o de Riesgos (SEDESOL)
- Sistema de Consulta Geográfica de los Atlas de Peligros y Riesgos en Zonas Costeras y Municipios de Atención Prioritaria (SEDESOL)
- Programa de Rescate de Espacios Públicos (SEDESOL)
- Programa Carretero y sus cien proyectos estratégicos
- Programa Nacional Hídrico
- Programas Estatales y Municipales de Desarrollo de los 17 estados costeros.

Finalmente, en los Instrumentos de fomento y financieros:

- Programa de Atención a Contingencias Meteorológicas (SAGARPA)

- Programa Pro Árbol (CONAFOR-SEMARNAT)
- Programa de Mecanismos Locales de Pago por Servicios Ambientales a través de fondos concurrentes (CONAFOR-SEMARNAT)
- Fondo de Atención a Desastres Naturales (SEGOB)
- Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (SEGOB)

XI. RECOMENDACIONES

Aunado a los estudios espaciotemporales se debe empezar a explorar la idea de hacer estimaciones de los volúmenes de carbono con la posibilidad de que estas y otras áreas sean expuestas en el mercado internacional de créditos de carbono, generando así ingresos para su conservación. Los mapas efectuados con este estudio son la base para la estimación de estos volúmenes de carbono.

Incluir encuestas a las comunidades dentro del área estudiada y obtener datos sobre los tamaños de las parcelas y sus cultivos para tener control del área agrícola dentro de Jácome.

Mantener la relación con las autoridades municipales y ejidales con fines académicos y promover futuros estudios que aprovechen los recursos disponibles de cada parte, de esta manera colaborar con el manejo de este sitio Ramsar.

Solo en la medida que más trabajos de este tipo sean documentados y difundidos se podrá ampliar la base de profesionales capacitados para poder realizar estas tareas. Con este trabajo se demuestra que no es necesario utilizar las herramientas tradicionales para desarrollar tareas inherentes al manejo e ecosistemas marinos y costeros y a la vez desarrollar capacidades de trabajo e investigación en profesionales afines, estos objetivos se pueden alcanzar con

métodos más económicos, con sus limitantes, pero prestando un servicio importante al ciclo del manejo de ecosistemas marinos y costeros, soportando la toma de decisiones y el monitoreo del comportamiento de las actividades humanas que se desarrollan en un territorio.

XII. BIBLIOGRAFÍA

Acosta Velásquez, J. M., y Rodríguez Zúñiga, T. 2007. Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo: Primera Etapa. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DQ056. México D. F. 70 pp.

Benfield, S. L., Guzmán, H. M. y Mair, J. M. 2005. Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama. *Journal of Environmental Management*. 76(3): 263-276.

Berlanga-Robles, C. A. y Ruiz-Luna, A. 2002. Land use mapping and change detection in the coastal zone of Northwest Mexico using remote sensing techniques. *Journal of Coastal Research*. 3(18): 514:522.

Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., Bocco, G. y Vekerdy, Z. 2011. Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*. 54(7): 535-543.

Berlanga-Robles, C. y Ruiz-Luna, A. 2006. Evaluación de cambios en el paisaje y sus efectos sobre los humedales costeros del sistema estuarino de San Blas, Nayarit (México) por medio de análisis de imágenes Landsat. *Ciencias Marinas*. 32(3): 523-538.

Christensen, C. M., y Bower, J. L. 1996. Customer power, strategic investment, and the failure of leading firms. *Strategic management journal*. 1(1): 197-218.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. Geoportal del Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad. [Actualizado al 21 de Junio de 2015]. Página electrónica (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>).

Cuervo López, L. 2010. Percepción y conocimiento ambiental del sitio Ramsar 1602: Manglares y Humedales de Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. 200 pp.

De la Lanza-Espino, G., Ramírez, G. P., Thomas, Y. F. y Alcántara, A. R. 1993. La vegetación de manglar en la laguna de Términos, Campeche, evaluación preliminar a través de imágenes Landsat. *Hidrobiológica*. 3(1-2): 29-39.

De la Lanza-Espino, G., Sánchez, S. N., Sorani, V. y Bojórquez, T. 1996. Características geológicas, hidrológicas y del manglar en la planicie costera de Nayarit, México. *Investigaciones Geográficas Boletín* 32(1): 33-54.

Dewalt, B. E., Vergne, P. y Hardin, M. 1996. Shrimp aquaculture development and the environment: People, mangroves and fisheries on the Gulf of Fonseca, Honduras. *World Development*. 7(24): 1193-1208.

Field, C. 1999. Charter for mangroves. *Mangrove Ecosystems in Tropical America*. Union International for Conservation of Nature. Costa Rica. 1(1): 2-14.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2005. An analytical and comparative review of country studies on agricultural knowledge and information systems for rural development (AKIS-RD). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 119 pp.

Gao, J. 1998. A hybrid method toward accurate mapping of mangroves in a marginal habitat from SPOT multiespectral data. *International Journal of Remote Sensing*. 10(1): 1887-1899.

Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. y Duke, N. 2010. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*. 20(1): 154-159.

Green, E. P., Clark, C. D., Mumby, P. J., Edwards, A. J. y Ellis, A. C. 1998. Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*. 19(5): 935-956.

Green, E. P., Mumby P. J., Edwards, A. J., Clark, C. D. y Ellis, A. C. 1997. Estimating leaf area index of mangrove from satellite data. *Aquatic Botany*. 58(1): 11-19.

INEGI 2005. Humedales potenciales. Escala 1:250000. [Actualizado al 28 de Noviembre de 2016]. Página electrónica (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/humedales/datosvec.aspx>).

INEGI. 2007. Carta del uso del suelo y vegetación, serie IV, escala 1:250000. [Actualizado al 5 de Diciembre de 2016]. Página electrónica (<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>).

INEGI. 2010. Humedales Potenciales. [Actualizado al 18 Marzo 2016]. Página electrónica (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/humedaes/default.aspx>).

Jardel, E.J., M. Maass, A. Castillo, R. García-Barrios, L. Porter, J. Sosa y A. Burgos. 2008. Manejo de ecosistemas e investigación a largo plazo. *Ciencia y Desarrollo* 34(215): 31-37.

Klemas, V. V. 2001. Remote sensing of landscape-level coastal environmental indicators. *Environmental Management*. 27(1): 47-57.

Kovacs, J. M., Wang, J. y Blanco-Correa, M. 2001. Mapping disturbance in a mangrove forest using multi-date Landsat TM imagery. *Environmental Management*. 27(1): 763-776.

Landgrave, R. y Moreno-Casasola, P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental* 2012. 4 (1): 19-35.

Landis J.R., Koch G.G. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33:159-174.

Lara-Domínguez, A. L., López-Portillo, J., Ávila-Ángeles, A. y Vázquez-Lule, A.D. Caracterización del sitio de manglar Tuxpan, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F. 2-18 pp.

Long, B. G. y Skewes, T. D. 1996. A technique for mapping mangroves with Landsat TM satellite data and Geographic Information System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 43(3): 373-381.

Mackey, A. P. y Smail, G. 1995. Spatial and temporal variation in litter fall of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in the Brisbane River, Queensland, Australia. *Aquatic Botany*. 52(1): 133-142.

Parks, P. J. y Bonifaz, M. 1994. Nonsustainable use of and mariculture in Ecuador. *Marine Resources Economics*. 91(1): 1-18.

Peterson, G., Allen, C. R. y Holling, C. S. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems*. 1(1): 6-18.

Puyravaud, J. P. 200). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1): 593-596.

Ramírez-García, P., López-Blanco, J. y 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(1): 217-229.

Ramsey III, E. W. y Jensen. J. R. 1996. Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 62(8): 939-948.

Rodríguez-Zúñiga, M.T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez- Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Fueyo-Mac Donald, L. y Galindo-Leal, C. 2013. Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.

Saenger, P., Hergerl, E. J., y Davie, J. D. 1983. Global Status of mangroves ecosystems by the Working Group on Mangrove Ecosystem of the IUCN Commission on Ecology in cooperation with the United Nations Environment Programme and the World Wildlife Fund. Commission on Ecology Papers No. 3. Gland, Switzerland: IUCN.92 pp.

Soto-Galera, E., Piera, J. y López, P. 2005. Spatial and temporal land cover changes in Terminos Lagoon Reserve, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 2(58):565-575.

Spalding, M., Kainuma, M. y Collins, L. 2010. World Atlas of mangroves. Earthscan, London. 319 pp.

Syed, Md. A., Hussin, Y. A. y Weir, M. 2001. Detecting fragmented mangroves in the Sundarbans, Bangladesh using optical and radar satellite images. 22nd Conference of Remote Sensing. Singapore, 2-9 noviembre 2001. Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing, National University of Singapore, Singapore Institute of Surveyors and Valuers, Asian Association on Remote Sensing. 9 pp.

USGS Global Visualization Viewer: About Browse Images. 2015. [Actualizado al 28 de Febrero de 2015]. Página electrónica (http://www.purdue.edu/indianaview/glovis_8_3/web/mainpage/AboutBrowse.shtml)