

Cancún, mayo, 1978.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## GEOMÁTICA APLICADA:

ESTUDIO DE LA COBERTURA DE  
MANGLAR EN EL SISTEMA LAGUNAR  
NICHUPTÉ- BOJÓRQUEZ, CANCÚN,  
QUINTANA ROO, MÉXICO, EN LOS  
AÑOS 2004 y 2010.

TESIS PROFESIONAL

PARA OPTAR

AL TÍTULO DE

INGENIERO GEOMÁTICO

PRESENTA

**LUIS BRUNO GARDUÑO CASTRO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

México, D.F.

Noviembre de 2013





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/107/13

Señor  
LUIS BRUNO GARDUÑO CASTRO  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ERIK MÁRQUEZ GARCÍA, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO GEOMÁTICO.

**"GEOMÁTICA APLICADA: ESTUDIO DE LA COBERTURA DE MANGLAR EN EL SISTEMA LAGUNAR NICHUPTÉ-BOJÓRQUEZ, CANCÚN, QUINTANA ROO, MÉXICO, EN LOS AÑOS 2004 Y 2010"**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. METODOLOGÍA
- III. RESULTADOS
- IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- LISTA DE REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 3 de octubre del 2013.  
EL PRESIDENTE

M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH\*gar.

## Sinodales de Examen Profesional

Dr. Artemio Gallegos García

Ing. Erik Márquez García

Ing. Bartolo Lara Andrade

M.C. Ranulfo Rodríguez Sobreya

M.I. Roberto Ascencio Villagómez

When you grow up you tend to get told the world is the way it is and you're life is just to live your life inside the world. Try not to bash into the walls too much. Try to have a nice family, have fun, save a little money.

That's a very limited life. Life can be much broader once you discover one simple fact:

Everything around you that you call life was made up by people that were no smarter than you and you can change it, you can influence it, you can build your own things that other people can use.

Once you learn that, you'll never be the same again.

*Steve Jobs*

Como Ingeniero Geomático, es necesario entender la importancia de los problemas y las repercusiones de las soluciones que sean planteadas.

Este entendimiento es necesario, para al aportar nuevos puntos de vista, así como nuevas interrogantes, en el desarrollo de soluciones integrales a las problemáticas que se presentan en el ámbito profesional.

*Luis Bruno Garduño Castro*

# Resumen

El manglar es considerado como una zona crítica de transición, entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, con gran importancia para los ecosistemas adyacentes y para las actividades humanas que están estrechamente ligadas a ellos.

En este proyecto, se estudió la cobertura de manglar en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez ubicado en Cancún, Quintana Roo, México entre los años 2004 y 2010. Con la finalidad de conocer de la manera más precisa y confiable su extensión, así como, conocer si ha experimentado un aumento o disminución en ella.

Durante la realización del proyecto se afrontaron limitantes económicas, que llevaron a analizar y comparar diferentes métodos, con el fin de elegir uno que diera confianza y certeza en los resultados que se buscaban obtener.

La aplicación durante este proyecto de la ingeniería geomática, represento una herramienta versátil por las técnicas y ciencias que la integran. Además ejemplifica la importancia que juegan los profesionales de esta área para la realización de proyectos, no solo de este tipo, sino los que tienen que ver con el desarrollo y aplicación de geo-información.

## Palabras clave:

Geomática, Manglar, Humedales Costeros, Sedimentos, Servicios ecosistémicos, Zonas Críticas de Transición, Percepción Remota, Fotogrametría, Sistemas de Información Geográfica, Imágenes multiespectrales, Imágenes pancromáticas, Geoinformación.

Dedicatoria, Agradecimientos

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Manglar	2
1.1.1	<i>Importancia de los servicios ecosistémicos en suelos y sedimentos</i>	4
1.1.2	<i>Zonas críticas de transición</i>	4
1.2	Trabajos previos	5
1.3	Caso de estudio	6
1.3.1	<i>Ubicación de la zona de estudio</i>	6
1.3.2	<i>Características de la zona de estudio</i>	6
1.4	Objetivo general del proyecto	8
1.5	Objetivos específicos	8
1.6	Formación del Ingeniero Geomático, algunos conceptos	9
1.6.1	<i>Geomática</i>	9
1.6.2	<i>Geodesia</i>	10
1.6.3	<i>Cartografía</i>	11
1.6.4	<i>Fotogrametría</i>	12
1.6.5	<i>Percepción Remota</i>	15
1.6.6	<i>Sistemas de Información Geográfica</i>	16
<b>2</b>	<b>Metodología</b>	<b>17</b>
2.1	Método	21
<b>3</b>	<b>Resultados</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Análisis de los resultados</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>Lista de referencias</b>	<b>45</b>

Contenido

*Son la fuente de mi inspiración,  
la luz que ilumina mi camino,  
la fuerza que me impulsa a seguir adelante,  
a ustedes atesoro en mi corazón,*

María del Carmen Castro Parra

Bruno Rogelio Garduño Flores

Hugo Alberto Garduño Castro

*Gracias.*

Dedicatoria

Raymundo Lecuanda Camacho

*Su contribución durante la elaboración de esta obra es invaluable.*

*Con sus comentarios, puntos de vista e incontables charlas, me ha puesto en el sendero de la investigación científica, por lo cual le estaré siempre agradecido.*

Erik Márquez García

*Me ha brindado la oportunidad de aprender y desarrollarme de manera profesional, impulsando el proceso creativo durante la realización de proyectos, dejándome asumir las responsabilidades y repercusiones que las decisiones tomadas conllevan.*

*Esta oportunidad la brinda a todos sus alumnos, por lo que me siento honrado de haberlo conocido y contar con su amistad.*

*Gracias.*

*Gracias a todas las personas que han formado parte de mi vida, sin ustedes no sería quien soy.*

# Agradecimientos

El término Geomática nace en Francia, fue utilizado por primera vez en la Universidad de Laval (Canadá) en 1986, siendo la primera universidad que ofreció la carrera de Ingeniería Geomática a nivel mundial.

La Geomática combina coherentemente conocimientos y tecnologías necesarias para la obtención, producción y procesamiento de datos digitales, acerca de recursos y fenómenos, los cuales cuentan con una posición geográfica (también son llamados "datos espaciales", "geoespaciales" o "datos geográficos").

Hoy en día, la Geomática se ha aplicado a diversos campos como:

- Educación.
- *Marketing* y economía.
- Inteligencia militar.
- Criminalística.
- Análisis electoral.
- Ordenamiento territorial.
- Transporte.
- Manejo de catástrofes naturales.
- Recursos naturales.
- Turismo.
- Geofísica.
- Ciencias de la atmósfera.
- Exploración, manejo y monitoreo de los ambientes marinos y costeros.

Entre otras.

Ayudando a expertos y profesionales en el análisis de los distintos tipos de datos geoespaciales y a hacer frente a situaciones complejas.

En la Conferencia Mundial Geoespacial 2012 en la ciudad de Quebec, el Ministro de Recursos Naturales de Canadá, dijo que la geomática es estratégica para el desarrollo económico de Canadá.

*“La geomática es una herramienta esencial para la evaluación de proyectos desde una perspectiva, ambiental, de impacto social y de crecimiento económico.”*

Como parte de la explotación, manejo y monitoreo de ambientes marinos y costeros, este trabajo se centra en el estudio de la cobertura de manglar, el cual es considerado como una zona crítica de transición entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, con gran importancia para los ecosistemas adyacentes y de gran valor económico para las actividades humanas.

Conocer los factores que afectan la salud del manglar y monitorear su extensión, es de suma importancia, para generar políticas y medidas que ayuden a preservarlo y a regenerarlo en los lugares donde se ha visto disminuida su extensión.

A continuación se profundizará sobre el manglar y algunos otros aspectos que ayudaran a comprender la importancia que este ecosistema representa.

## Manglar

El manglar es la comunidad de plantas más notoria o conspicua en los humedales costeros de las zonas tropicales y se encuentran en una amplia banda alrededor del mundo, entre las latitudes 25° norte y 25° sur.

La palabra manglar es un término que se usa de manera indiscriminada para un grupo diverso de más de un centenar de especies de plantas tolerantes a condiciones salobres, treinta y cinco de las cuales son consideradas como

### Diferentes especies de manglar

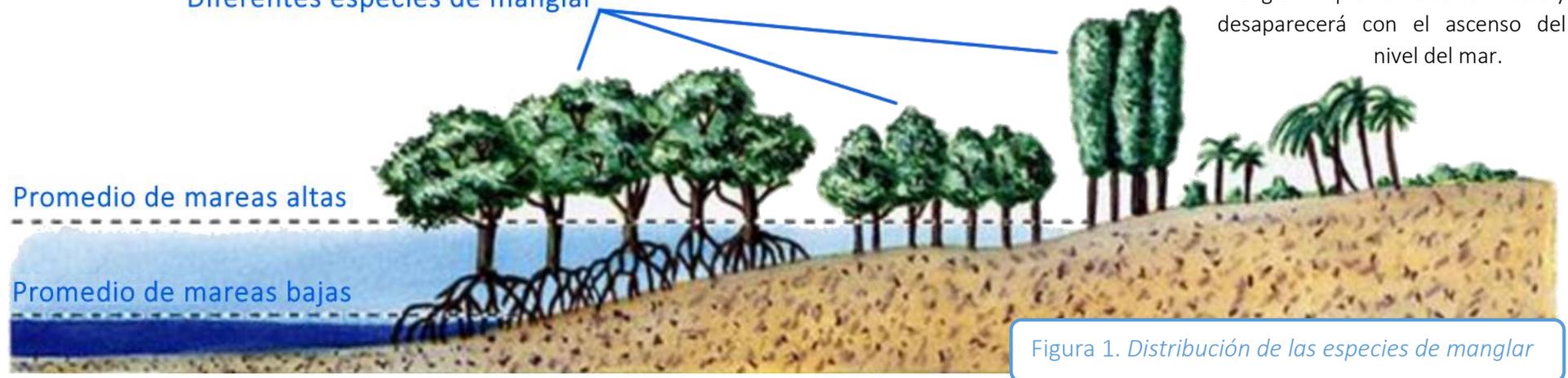


Figura 1. Distribución de las especies de manglar

verdadero manglar. El término se utiliza para referirse tanto a plantas individuales como a la comunidad vegetal y al ecosistema.

En un bosque de manglar, las especies individuales suelen cubrir zonas en bandas paralelas a la costa. La ubicación de cada especie está controlada además por su tolerancia a factores tales como la salinidad, frecuencia de inundaciones de marea y energía de las olas (Figura 1. *Distribución de las especies de manglar*).

En el hemisferio sur, más de una docena de especies pueden coexistir en un único manglar, cada especie va a vivir cerca de su límite de tolerancia a la salinidad. Los cambios menores en el nivel del mar o en las tasas de sedimentación, podrían resultar en la muerte relativamente rápida de una especie y en algunos casos la sustitución por otra. Por lo tanto, la distribución de las especies de manglar será un indicador sensible al ascenso en el nivel del mar y a las condiciones hidrodinámicas costeras. A medida que los océanos se calientan, el rango del manglar es probable que se expanda tanto al norte como al sur, cuando nuevas colonias se establezcan a partir de propágulos (*estructura de un organismo, producido asexualmente, capaz de desarrollarse separada para dar lugar a un nuevo organismo idéntico al que le formó*) flotantes.

El manglar está experimentando la destrucción directa e indirecta, como resultado de las actividades humanas. También tiene la capacidad de migrar hacia tierra en respuesta al aumento del nivel del mar, pero esta vía es a menudo bloqueada por el desarrollo costero y en consecuencia, el área de manglar simplemente se contraerá y desaparecerá con el ascenso del nivel del mar.

En el desarrollo del proyecto MAP (*Mangrove Action Project*), un grupo ambientalista con interés global en la protección del manglar y la investigación, estimó que casi la mitad del manglar del mundo se ha perdido en las últimas décadas.

El manglar desempeña muchas funciones que son valiosas para la sociedad. Ellos son criaderos cruciales para un gran número de especies marinas, incluyendo la mayoría de los peces comerciales que se encuentran en la zona cercana a la costa.

Es el hogar de miles de especies de aves, insectos, mamíferos, reptiles, peces, crustáceos e invertebrados. Protegen a las poblaciones frágiles de especies carismáticas, como los tigres en Bangladesh y jaguares en Brasil y Colombia, mientras buscan a sus presas durante la marea baja.

La existencia de manglar alrededor de Homestead, Florida, protegió a la comunidad del ataque directo de las olas ocasionadas por huracán Andrew en 1995.

El área de Ranong de Tailandia fue relativamente poco afectada por el enorme tsunami asiático del 26 de diciembre de 2004, a causa de la protección otorgada por una banda saludable de manglar en la costa.



Figura 2. *Rhizophora mangle*



Figura 3. *Avicennia germinans*

Se considera que la cifra de muertos por el tsunami probablemente habría sido mucho menor si la amplia eliminación del manglar y la extracción de arena de las playas no hubieran ocurrido en toda la región afectada.

Hasta el momento, los humanos han hecho mucho más daño al manglar que el atribuido al aumento en el nivel del mar en este mismo periodo (Pilkey, 2009).

En México predominan cuatro especies de mangle (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*). Estas especies se pueden encontrar formando asociaciones vegetales o en bosques monoespecíficos.

El mangle rojo (Figura 2. *Rhizophora mangle*) puede crecer tan alto como 24.4 m con las raíces clásicas entrelazadas y propágulos (“árboles bebé”) de 15 cm con forma de lápiz, esta especie ocupa la posición más hacia los canales a lo largo del borde del manglar.

El mangle negro (Figura 3. *Avicennia germinans*) crece a una altura ligeramente menor que el mangle rojo y en condiciones ideales puede crecer tan alto como 20 m. Los sistemas de raíces son largos y horizontales con neumatóforos verticales, proyecciones utilizadas en la respiración que sobresalen fuera de la columna de agua.



Figura 4. *Laguncularia racemosa*

El mangle blanco (Figura 4. *Laguncularia racemosa*) puede crecer hasta 15.3 m de altura, y no tiene raíces visibles (Pilkey, 2009).

El mangle botón (Figura 5. *Conocarpus erectus*) Es una forma densa de arbusto multi-troncal de entre 1 y 4 m de altura, pero puede crecer hasta convertirse en un árbol de hasta 20 m de altura o más.

En México el manglar ha sido afectado principalmente por la tala o remoción que se ha llevado a cabo para abrir paso a las actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas y turísticas.

## Importancia de los servicios ecosistémicos en suelos y sedimentos

Gran parte de la vida tal y como se conoce, está apoyada por los suelos y los sedimentos juntos, forman un hábitat sub-superficial interconectado que está repleto de millones de especies que proporcionan servicios esenciales para los ecosistemas que contribuyen al bienestar humano, tales como el ciclo de nutrientes, la estabilización del suelo y la purificación del agua.

Los sedimentos en agua dulce, sedimentos marinos y sedimentos en suelos cubren la superficie de la Tierra, ellos así como su biota son recursos naturales de los que los seres humanos dependen por los muchos bienes y servicios que están tan estrechamente ligados a la base económica de las sociedades. Estos hábitats sub-superficiales son posiblemente los más diversos en el planeta, llenos de un conjunto complejo de especies. (Holling, 2001).

La profusión de organismos y la composición de los conjuntos bióticos son esenciales para el mantenimiento de los hábitats de superficie y sub-superficiales, para el funcionamiento del ecosistema, así como para la prestación de servicios de los ecosistemas que son cruciales para el bienestar humano (Wall, et al., 2001a).

## Zonas críticas de transición

Los límites entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, en particular las interfaces entre los suelos, sedimentos de agua dulce y sedimentos marinos, se conocen como "zonas críticas de transición" (Wall, et al., 2001b).

Figura 5. *Conocarpus erectus*



Las zonas críticas de transición están estrechamente relacionadas con los ecosistemas adyacentes, se caracterizan por un flujo rápido de materiales y organismos (Wall, et al., 2001b).

Los estuarios y humedales costeros, ambos, con vegetación (manglares, marismas y praderas de pastos marinos) y sin vegetación (llanuras de mareas y playas arenosas) son las zonas críticas de transición que unen la tierra, con los hábitats de agua dulce y con el mar (Levin, et al., 2001).

Estas áreas proporcionan servicios esenciales para los ecosistemas, incluyendo:

- Protección costera y ribereña así como del litoral.
- Mejorar la calidad del agua y regular los flujos hidrológicos.
- Ayudan en la descomposición, reciclaje y producción de nutrientes, así como en la regulación de los flujos de nutrientes.
- Proporcionan el hábitat y el alimento para los animales residentes y migratorios.
- Proporcionan recursos pesqueros.
- También tienen un atractivo estético y ofrecen oportunidades de recreación para las poblaciones humanas. (Ewel, et al., 2001).

Las zonas críticas de transición son puntos de entrada de materia orgánica, de descomposición y de ciclos de nutrientes que son responsables de contribuciones globales, proporcionalmente mucho más grandes de lo que se podría esperar debido a su pequeña cobertura (Meybeck, 1982; Alongi, 1998).

Las plantas vasculares contribuyen a prácticamente todos los servicios de los ecosistemas. La contribución de estas comunidades de plantas para la producción del estuario puede ser mayor que lo sugerido por su modesta extensión (Heymans and Baird, 1995).

Las estructuras de las plantas sobre tierra (por ejemplo, tallos y hojas de plantas de pantano o las raíces del manglar) atrapan y retienen sedimentos y proporcionan sustrato, refugio y alimento para la biota de los estuarios y lagunas costeras (Thayer, et al., 1987. Covi and Kneib, 1995).

Las raíces de plantas ayudan a estabilizar los sedimentos y promueven la integridad estructural de los canales de marea, y regulan la actividad biológica en los sedimentos mediante el transporte de oxígeno de la zona de las raíces y desintoxicando sedimentos (Lee, et al., 1999).

## Trabajos previos

A nivel mundial, México se ubica entre los países con mayor superficie de manglar, aunque hay discrepancia entre las estimaciones reportadas. El área obtenida de la cobertura de manglar varía mucho debido a los métodos y materiales ocupados por ejemplo:

Con base en fotografías aéreas y estudios de campo, se obtuvo una extensión de 1, 420,000 ha (Flores, et al., 1971).

Manglar en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez



Con ayuda de imágenes de satélite se obtuvieron extensiones de 660,000 ha (Flores, et al., 1992), 530,000 ha (SARH, 1992) y 932,800 ha (Spalding, et al., 1997) respectivamente.

De acuerdo con la FAO, en México, en el año 2000 el manglar ocupaba 440,000 ha (FAO, 2003), cifra que contrasta con lo que reportó SEMARNAT para la misma fecha, cerca de 890,000 ha (SEMARNAT, 2003).

En estudios de percepción remota, otras coberturas anegadizas pueden ser confundidas con manglar, por lo que es necesario un extenso trabajo de campo para estimar el valor real.

Debido a que en la actualidad no se cuenta con estimaciones confiables de la cobertura de manglar existente en México la CONABIO inició desde hace varios años un programa de monitoreo del manglar de México.

## Caso de estudio

Para generar medidas y políticas que ayuden a preservar y regenerar al manglar, se necesita tener como base un monitoreo constante y para este es preciso conocer a ciencia cierta la extensión que ocupa el manglar, lo cual, hoy en día no se conoce.

Este es el principal problema que se necesita resolver, para llegar a ello, se debe empezar con objetivos particulares, como es el caso de este proyecto, el cual se enfoca en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez.

Como primer paso para resolver esta problemática es necesario saber de la manera más precisa, actual y confiable que tanto ha cambiado la cobertura de manglar en el sistema lagunar, en un periodo definido de tiempo, para poder determinar si se ha perdido o ganado extensión de la cobertura de manglar.

Para ello se decidió realizar este comparativo entre la cobertura de manglar de los años 2004 y 2010.

## Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio está ubicada en el noreste de la península de Yucatán, en el estado de Quintana Roo sobre la costa del Caribe mexicano, Cancún.

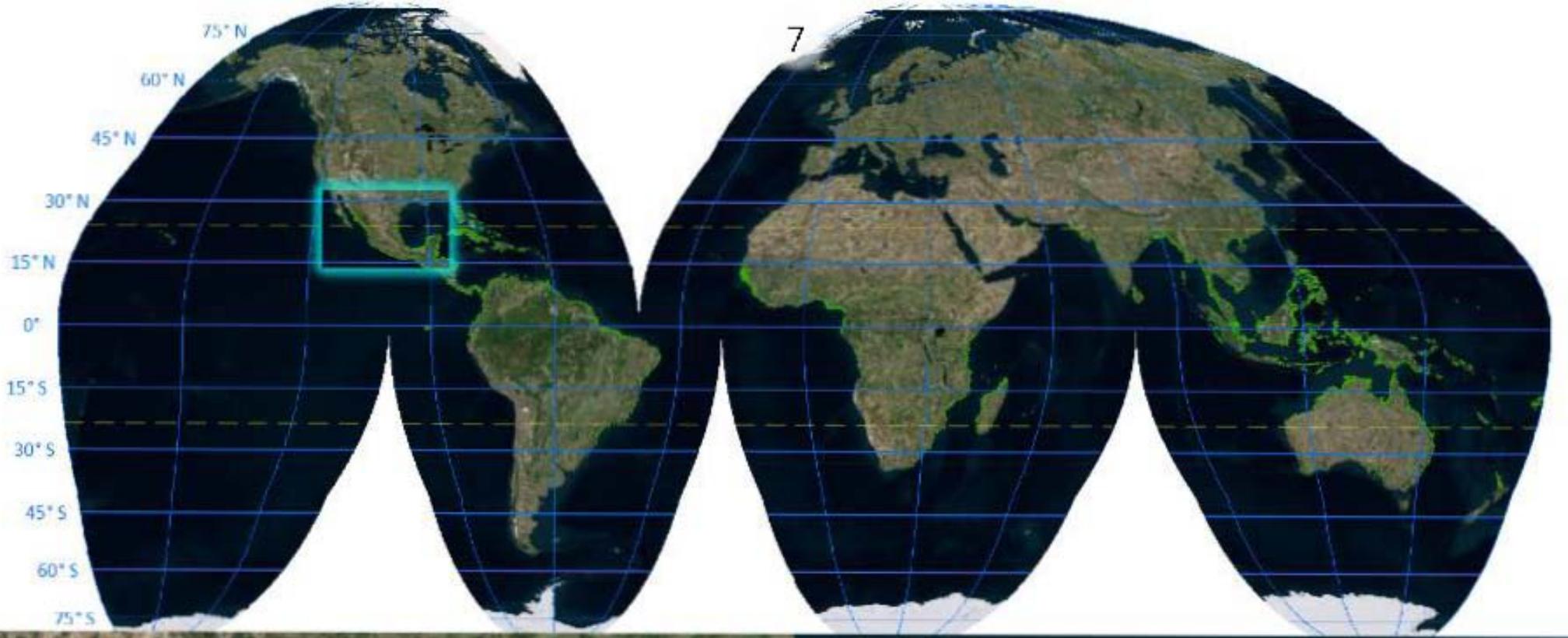
El sistema comprende principalmente las lagunas de Nichupté y Bojórquez, adicionalmente existen otras dos pequeñas, Somosaya y río Inglés, que se caracterizan por sus numerosos cenotes sumergidos, mismos que aportan cantidades considerables de agua dulce al sistema. Estos se ubican en la orilla occidental de las zonas central y sur del ecosistema. El sistema cuenta con una extensión de 11,000 hectáreas.

## Características de la zona de estudio

La península de Yucatán tiene características hidrogeológicas únicas, que incluyen: bajo relieve, falta de ríos, suelos cársticos altamente permeables, y la sustancial descarga submarina de aguas subterráneas. Los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán experimentan tres estaciones bien definidas: secas (marzo a mayo), lluvias (junio a octubre), y "nortes" (noviembre a febrero), que está dominada por frentes fríos. Además, la temporada de huracanes (de agosto a septiembre) tiene una fuerte influencia en las lagunas costeras. Los huracanes no son muy comunes en Cancún, desde 1968 solo cuatro han tocado tierra: Inez (1968), Gilberto (1988), Roxanne (1995) y Wilma (2005).

El clima de la región basado en el sistema propuesto por W. Köppen y modificado por Enriqueta García lo clasifica como:  $Aw0(x')$  *cálido subhúmedo*.

A pesar de que las lagunas Nichupté y Bojórquez son parte de un sistema de lagunas interconectadas, sus condiciones ambientales son apreciablemente diferentes. Nichupté se comunica con el mar Caribe por dos entradas artificiales pequeñas (Punta Cancún y Punta Nizuc), recibe aportes de agua dulce de los manantiales y de las escorrentías superficiales del manglar circundante.





Bojórquez por su parte, está conectada a Nichupté por dos canales artificiales. Originalmente, estuvo completamente rodeado por manglares, pero ahora la mayoría de esta vegetación ha sido reemplazada por edificaciones turísticas. Debido a lo limitado de su relación con la laguna Nichupté, los cambios en la descarga submarina de aguas subterráneas y las entradas de aguas residuales han provocado cambios en la salinidad a través del tiempo. Varios estudios realizados en lagunas de Nichupté y Bojórquez han reportado signos de eutrofización (*ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes*) (Herrera-Silveira and Morales-Ojeda, 2010).

## Objetivo general del proyecto

- El propósito de esta tesis es contrastar la extensión de la cobertura de manglar presente en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez entre los años 2004 y 2010.

## Objetivos específicos

- Describir un método económicamente asequible que asegure precisión, confianza y certeza en los resultados.

De existir diferencia entre las extensiones de manglar para estos años.

- Calcular la diferencia de superficie entre ambas coberturas de manglar.

Para la realización de este proyecto es importante señalar que una limitante muy importante es el factor económico considerando que no hubo presupuesto para la adquisición de imágenes satelitales, fotografías aéreas o para salidas de campo.

Así que el enfoque de esta tesis es también, el hacer hincapié en que como ingenieros, al enfrentar las diferentes problemáticas que sean planteadas se encontraran con limitantes de diversa índole, pero es importante no perder de vista los alcances y objetivos a los que se tienen que llegar, para idear una solución óptima que cubra las necesidades de los proyectos, en la vida profesional.

## Geomática

Se define como un acercamiento integral, sistémico, multidisciplinar de técnicas e instrumentos adecuados para recopilar, almacenar, integrar, modelar, analizar, recuperar a voluntad, transformar, mostrar y distribuir información espacialmente georreferenciada de diferentes fuentes con características bien definidas de precisión y continuidad de forma digital.

Las técnicas y disciplinas que constituyen a la Geomática son:

- Geodesia.
- Cartografía.
- Topografía.
- Fotogrametría.
- Informática.
- Percepción Remota.
- Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS).
  - GPS.
  - GLONASS.
  - COMPASS.
  - GALILEO.
- Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Sistemas de Soporte de Decisiones.
- WebGIS.

(Gomasasca, 2009).

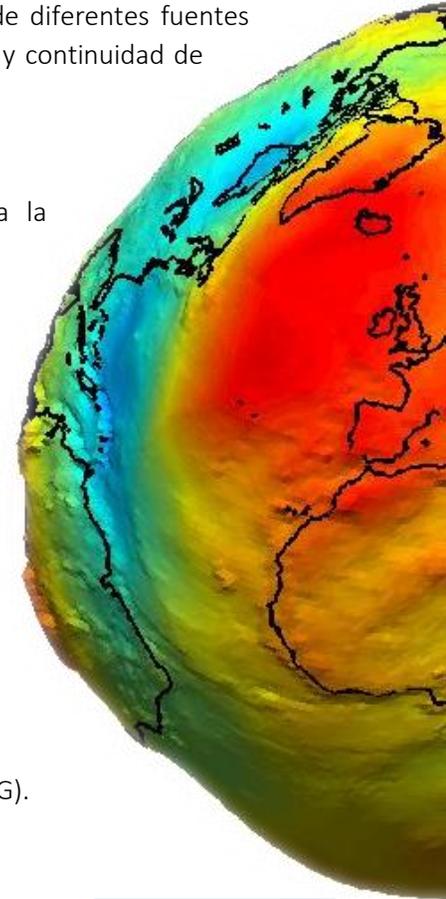


Figura 6. *Geoide*

Formación del  
Ingeniero Geomático,  
algunos conceptos

En este capítulo se abordarán algunos conceptos de Geodesia, Cartografía, Fotogrametría, Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica que son fundamentales para la comprensión de este trabajo.

# Geodesia

Es la ciencia que define la forma y dimensiones de la Tierra a través de sus dos ramas:

**Gravimetría**, para la determinación de la gravedad de la Tierra y sus anomalías, la gravedad de la Tierra determina la forma de la Tierra, y el geoide es la superficie equipotencial del campo gravitatorio.

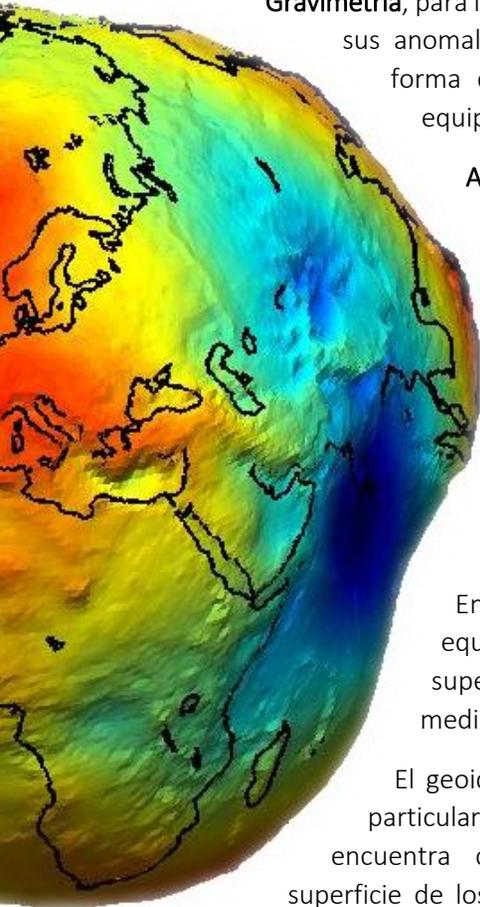
**Astronomía de posición**, para determinar la posición de los puntos en el globo a través de la observación de las estrellas y los satélites artificiales, en referencia a las leyes de la mecánica celeste.

El conocimiento correcto del campo gravitatorio de la Tierra define inequívocamente la superficie de referencia de la Tierra: el geoide (Figura 6. *Geoide*).

Entre todas las posibles superficies equipotenciales, la que ha sido elegida como superficie de referencia es definida por el nivel medio del mar.

El geoide es una superficie continua y lisa que es particularmente adecuado como referencia. Se encuentra con buena aproximación basada en la superficie de los océanos, calculada usando los puntos de observaciones, de mareógrafos.

La medición de la parte emergida del planeta requiere el uso de gravímetros (*instrumentos que pueden medir el campo gravitatorio*).



La posición altimétrica de los puntos que se encuentran en la litosfera se refiere al geoide como superficie equipotencial, la cual tiene más sentido físico que consistencia geométrica. Por lo tanto el geoide es una superficie irregular, teórica, que responde a consideraciones físicas, no matemáticas.

La necesidad de representar a la tierra por una forma la cual permita el posicionamiento de cada punto a través de procesos matemáticos, es la razón de que exista, **el elipsoide de rotación**, que es la superficie geométrica que se aproxima mejor el geoide, y ha sido definido como la superficie de referencia de la Tierra (*La idea de la geometría esférica fue abandonada, debido a que la superficie terrestre se caracteriza por achatamiento polar*).

El elipsoide geocéntrico geodésico WGS84, cuya última revisión se realizó en el 2004, fue finalmente definida a través de los sistemas de medición modernos y todavía está en curso.

Los **sistemas de coordenadas** describen la posición de un punto en relación con la superficie de referencia, se definen en el punto de referencia elegido. El conocimiento de estos sistemas es fundamental para todos los procedimientos de georreferenciación de datos y para la transformación de un sistema de referencia a otro.

Un **sistema de referencia** es el conjunto de medidas y reglas para la colocación de los puntos de la superficie terrestre en el espacio, de acuerdo con un sistema de coordenadas establecido.

Un **datum planimétrico** es el modelo matemático de la Tierra, definido por un conjunto de normas y medidas, que se utilizan para calcular las coordenadas geográficas de los puntos.

**El sistema de referencia geodésico o geográfico**, es un sistema de referencia particular para el posicionamiento de los puntos de la superficie de la Tierra, basado en unidades angulares.

La posición de un punto en el espacio se determina a través de latitud y longitud (Figura 7. *Longitud ( $\lambda$ ) y Latitud ( $\phi$ ) de un punto P sobre el elipsoide*).

Medidas angulares y a través de la altura elipsoidal, de esta manera, problemas planimétricos y altimétricos están separados (Gomasasca, 2009).

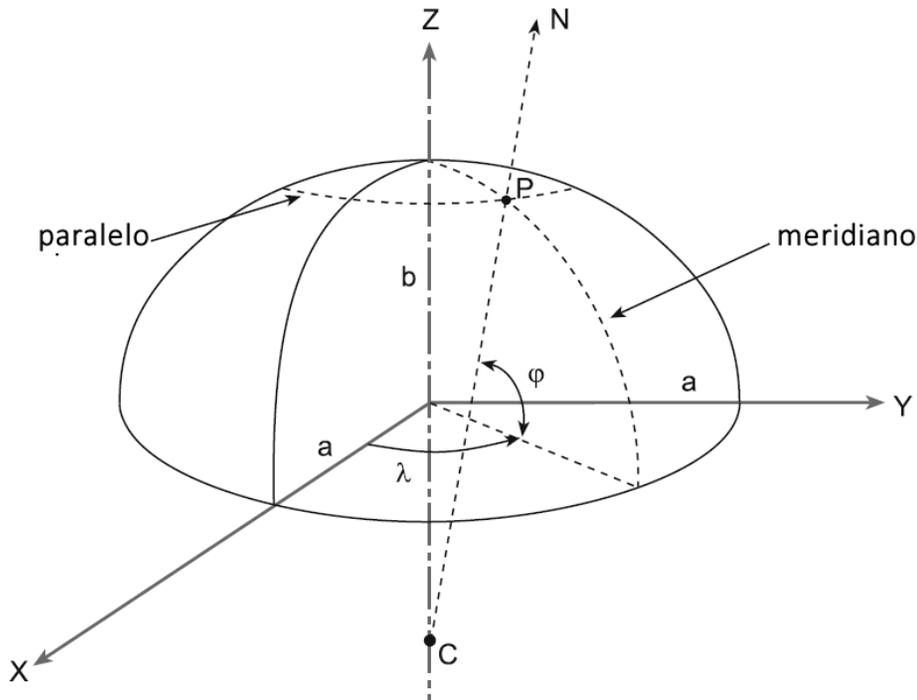


Figura 7. Longitud ( $\lambda$ ) y Latitud ( $\phi$ ) de un punto P sobre el elipsoide

*Longitud ( $\lambda$ ):* Se mide en grados teniendo valores de  $\lambda: \pm 180^\circ$  con respecto al meridiano de fundamental de Greenwich ( $\lambda: 0^\circ$ ).

*Latitud ( $\phi$ ):* Se mide en grados con respecto al ecuador. Teniendo valores de  $\phi: +90^\circ$  en el Polo Norte y  $\phi: -90^\circ$  en el Polo Sur, con  $\phi: 0^\circ$  en el ecuador.

## Cartografía

Parte de disciplinas como Geometría, Diseño, Física, Geografía, Ingeniería y Estadística, tiene que ver con la concepción, producción, distribución y estudio de mapas, por lo general se presentan con restituciones de fotogrametría aérea o imágenes de satélite, ofreciendo una representación del territorio a una escala de reducción definida, incluyendo detalles planimétricos, formas y atributos altimétricos.

La cartografía se puede definir como la representación de la superficie de la Tierra basada en normas específicas.

*Un mapa es una imagen simbolizada de una realidad geográfica, que representa ciertas propiedades o características, resultando del esfuerzo creativo de las decisiones de su autor y es diseñado para usarse cuando las relaciones espaciales son de relevancia primordial.*

### Proyección Cartográfica

Para fines de representación cartográfica, es necesario proyectar los puntos reconocidos en el elipsoide en el mapa plano a través de transformaciones analíticas apropiadas.

Como no es posible proyectar o desarrollar una superficie esférica sobre un plano sin alterar el tamaño de la figura y forma, toda representación plana de la Tierra presenta necesariamente distorsión.

Es factible mantener algunas características inalteradas en detrimento de otras. De acuerdo con las propiedades que se mantienen sin cambios, se definen diferentes tipos de proyecciones planas:

- equivalente: mapas que mantienen inalterada la relación entre las áreas de las superficies representadas. En estos mapas, áreas iguales en el mapa corresponden a áreas iguales en la realidad.
- conforme o isogónica: mapas que mantienen inalterados los ángulos entre dos direcciones en la realidad y en el mapa. En los mapas isogónicas, el ángulo entre dos direcciones en realidad es el mismo que en el mapa.
- equidistante: representaciones a lo largo de una dirección particular, tales como el ecuador o un meridiano, a lo largo de la que el factor de escala se mantiene constante.
- Afiláptica: mapas que se presentan todas las alteraciones descritas anteriormente, pero tratando de mantenerlos lo más pequeña posible de tamaño.

## Proyección Universal Transversal de Mercador (UTM)

La proyección UTM se basa en la proyección de Gauss que es de tipo conforme. El meridiano central transformado y ecuador son líneas rectas que se convierten en los ejes del sistema de referencia plana y se llaman Este y Norte. Los meridianos y paralelos transformados son familias de curvas perpendiculares, simétricas con respecto a los ejes Este y Norte.

Con el fin de limitar las distorsiones lineales, es necesario para representar un área que se subdivida en bandas de longitud, llamadas zonas.

En el sistema UTM, la Tierra está dividida en 60 zonas, cada una con una amplitud de  $6^\circ$ , numeradas del 1 al 60 de Oeste a Este, partiendo del antimeridiano de Greenwich.

El área que se puede representar en una zona, es una pequeña porción de la superficie de la Tierra y por lo tanto es necesario para unir más zonas, en caso de que un área más amplia necesite ser representada. Este sistema de representación se llama policilíndrica.

Entre dos zonas adyacentes, siempre hay una zona de solapamiento, en el que las coordenadas de las dos zonas se puede expresar.

Cada zona se divide en 20 bandas horizontales marcadas por letras y cada una con una amplitud de  $8^\circ$  (Páginas 13 y 14, Figura 8. *Representación de las 60 zonas y 20 bandas de la proyección UTM*).

Cada zona tiene su propio sistema de referencia plana, que es independiente como el cambio del meridiano central de una zona a otra (Gomasca, 2009).

## Fotogrametría (Analógica, Analítica, Digital)

La Fotogrametría se define como el proceso de generar información métrica acerca de un objeto a través de mediciones realizadas sobre fotografías (Figura 9. *Fotografías aéreas, obtenidas a partir de un vuelo fotogramétrico*), dejando a la foto-interpretación (mediante

análisis visual humano) la tarea de obtener información cualitativa (la experiencia humana es un factor determinante).

Con la introducción de tecnologías para la adquisición de imágenes desde el espacio en una amplia región del espectro electromagnético, el significado de Fotogrametría y foto-interpretación se ha extendido comprendiendo percepción remota, moviéndose de la foto interpretación clásica hacia el uso de imágenes digitales procesadas en adición a la interpretación humana y aplicando análisis por computadora tanto a las imágenes de satélite como a las fotografías aéreas.

Una definición suficiente y ampliamente aceptada de Fotogrametría y percepción remota es la siguiente:

*Arte, ciencia y tecnología para obtener información válida acerca de objetos físicos y del ambiente, a través de procesos de recolección, medición e interpretación de imágenes (fotografías o digitales) y representación análoga o digital de los modelos de energía electromagnética derivada de sistemas de medición (cámaras fotográficas o sistemas de escaneo), sin tener contacto con los objetos (Gomasca, 2009).*

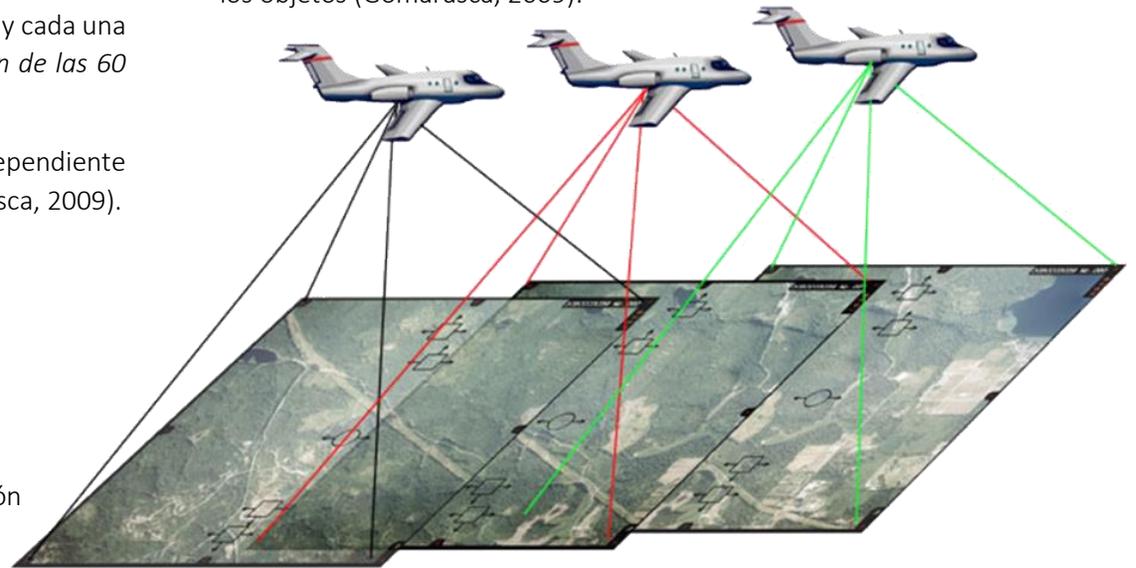
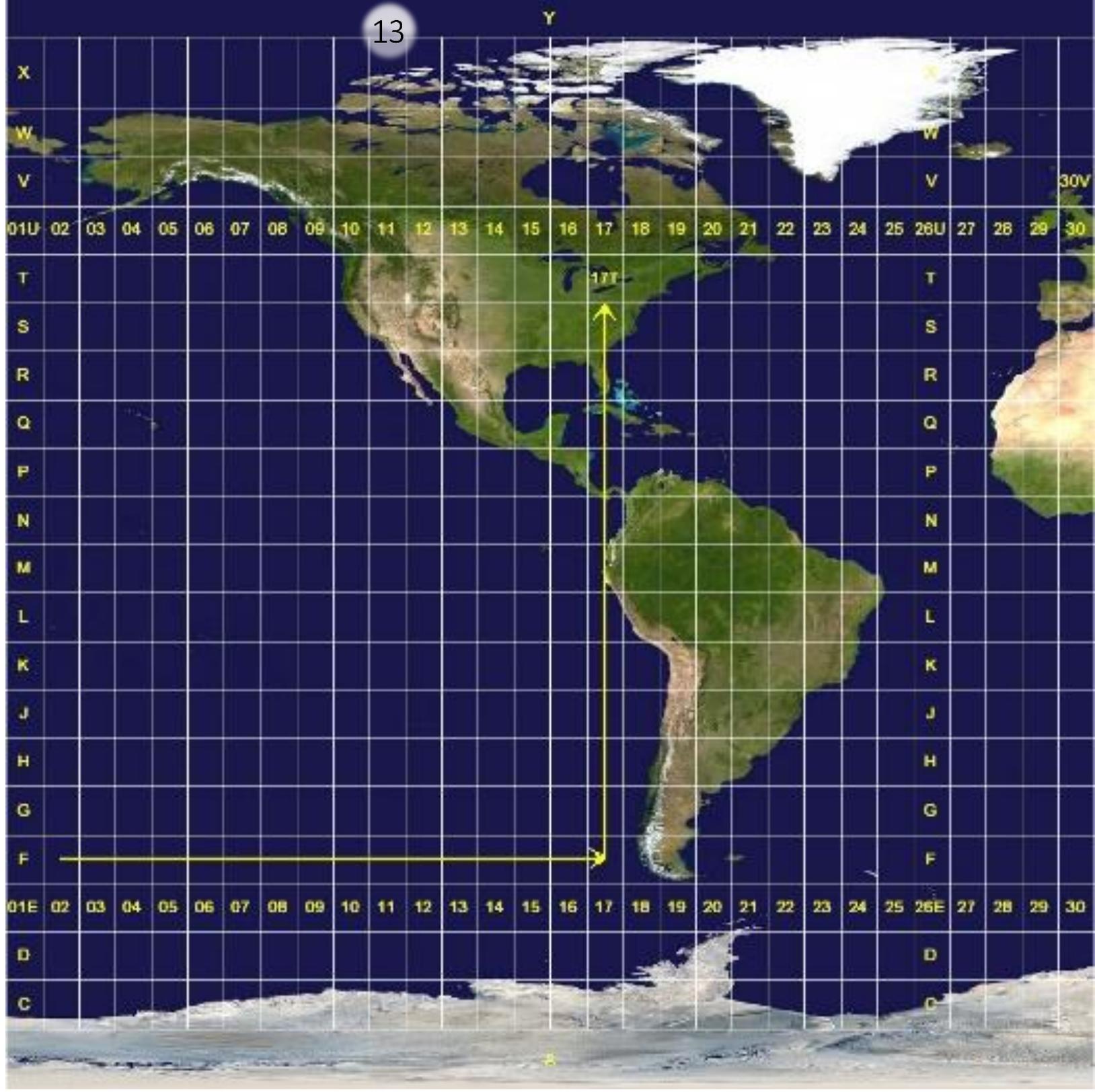


Figura 9. *Fotografías aéreas, obtenidas a partir de un vuelo fotogramétrico*

Figura 8.

Representación de las  
60 zonas y 20 bandas  
de la proyección UTM)





Indican tanto la adquisición a distancia de información cualitativa y cuantitativa concerniente a cualquier sitio y medio ambiente en combinación de métodos y técnicas para su posterior interpretación.

La Percepción Remota no recolecta información directa del ambiente, así que la información electromagnética debe ser convertida en estimaciones de variables químicas, biológicas y físicas a través de la creación de modelos multidisciplinarios apropiados.

El éxito o fracaso de estimar alteraciones en el ambiente depende entonces del desarrollo y uso de modelos y algoritmos para extraer patrones ambientales del continuo de información recolectada por los sensores y en su comparación con datos de referencia de la superficie.

Los sensores obtienen mediciones remotas, observando el comportamiento espectral de los objetos en los intervalos electro-magnéticos del visible, infrarrojo y microondas; dichas mediciones son usadas para indirectamente determinar la estructura y distribución espacial de un elemento.

De este hecho, la percepción remota permite un análisis cuantitativo y descriptivo de las imágenes y bajo determinadas circunstancias un análisis cuantitativo automático (Gomasca, 2009).

- Resolución espacial o geométrica, está relacionada con el tamaño sobre la tierra del pixel de la imagen de satélite, esta puede variar desde centímetros hasta varios kilómetros.
- Resolución espectral, se relaciona con el número de bandas espectrales (capas de información) contenidas en una imagen de satélite.
- Resolución radiométrica, se refiere al número de niveles digitales utilizados para expresar los datos recogidos por el sensor (generalmente se expresa como un número de niveles o un número de bits, por ejemplo 8 bits o 256 niveles).
- Resolución temporal, el período entre dos siguientes adquisiciones de una misma zona.

## Percepción Remota

*Remote Sensing (Inglés),*

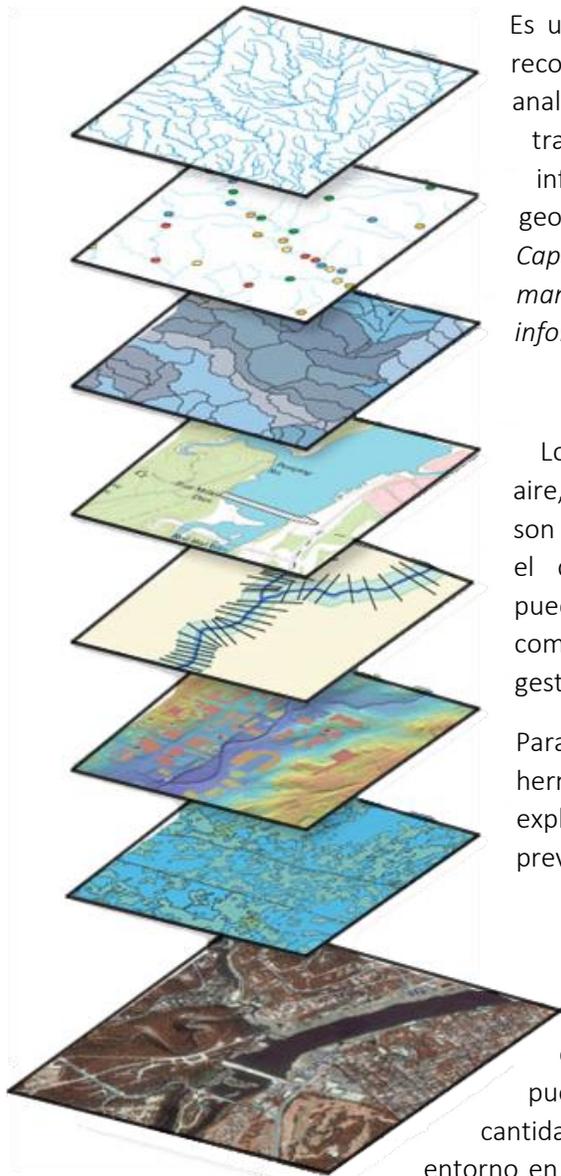
*Téledétection (Francés),*

*Fernerkundung (Alemán),*

*Sensoriamento Remoto (Portugués),*

*Telerilevamento (Italiano).*

## Sistemas de Información Geográfica



Es una herramienta que permite recopilar, almacenar, integrar, analizar, recuperar a voluntad, transformar, mostrar y distribuir información espacialmente georreferenciada (Figura 10. *Capas temáticas de información, manera en la que se organiza la información en un SIG*)

Los temas relacionados con el aire, el agua, el suelo y el subsuelo son parte de un sistema único en el que las acciones humanas pueden generar situaciones complejas que requieren una gestión eficiente.

Para ello son necesarias herramientas y servicios para la explotación, planificación, prevención y protección.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están dirigidos a este objetivo: se puede procesar una gran cantidad de datos que describen el entorno en un modo avanzado tanto en

situaciones ordinarias como extraordinarias. El uso de esta herramienta permite generar escenarios útiles para aquellos que toman decisiones sobre la gestión de la tierra. (Figura 11. *Mapas impresos obtenidos, con ayuda de SIG*, Figura 12. *Mapas dinámicos obtenidos, con ayuda de SIG*) (Gomarasca, 2009).



Figura 11. *Mapas impresos obtenidos, con ayuda de SIG*



Figura 12. *Mapas dinámicos obtenidos, con ayuda de SIG*

Figura 10. *Capas temáticas de información, manera en la que se organiza la información en un SIG*

El contrastar la extensión de la cobertura de manglar del año 2004 con la del 2010 en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez, para encontrar cambios, no es tarea fácil, primero hay que obtener dichas coberturas, para ello, se diseñó a partir de dos métodos, uno que diera certidumbre sobre la extensión de la cobertura de manglar en los diferentes años, una vez generadas estas superficies son comparadas para entonces tener la seguridad de afirmar o negar cambios en la extensión de la cobertura de manglar en la zona.

Se plantearon dos diferentes enfoques, cada uno con diferentes métodos y recursos, cada cual con sus respectivos pros y contras, los cuales se analizaron, para llegar a una óptima solución. Un factor determinante fue el económico, ya que este delimitó la mayor parte de los insumos con los que se contaba, dejando en claro cuales estaban fuera de alcance.

Por un lado el estudio se puede hacer con **percepción remota**, mediante un análisis de imágenes multiespectrales, dependiendo de la respuesta espectral obtenida de la cobertura de manglar en la zona, se puede tener una idea de su firma espectral, con la cual posteriormente se realiza una clasificación supervisada de las imágenes, con la finalidad de discriminar la cobertura de manglar existente, para obtener la extensión de manglar para cada año y proceder a contrastarlas.

Las imágenes multiespectrales que se consiguieron, Landsat-7 (obtenidas gratuitamente del Global Land Cover Facility de la Universidad de Maryland) tienen una resolución espacial de 30 metros (Figura 13. *Imagen Landsat, de la zona de estudio*), el tamaño de pixel en esta imagen satelital es de una resolución espacial media, lo que no hace viable su empleo considerando los alcances del proyecto en la zona de estudio.

Con un pixel tan grande se pierde mucho detalle el cual es de suma importancia, ya que se desea conocer de la manera más precisa la extensión de manglar, por lo cual los resultados obtenidos a partir de ellas, no darían mayor precisión, certidumbre y confianza en los resultados que se buscan obtener.

Figura 13. Imagen Landsat, de la zona de estudio



El obtener imágenes multispectrales de alta resolución espacial, que aseguraran mayor confianza y certidumbre en los resultados, implican un costo; realizar el estudio con Percepción Remota se veía complicado por no disponer con los medios económicos necesarios.

Durante la búsqueda bibliográfica realizada en esta investigación, se encontró que la *Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad* (CONABIO), había realizado un estudio, para determinar el uso de suelo en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez, e incluye en una de sus capas de información, la cobertura de manglar, dicho estudio fue realizado para el año 2004, utilizando técnicas fotogramétricas.

Para llevar a cabo el estudio de uso de suelo, CONABIO realizo un vuelo fotogramétrico, de donde obtuvo fotos aéreas de la zona, estas fotos fueron reveladas, para posteriormente ser digitalizadas con una resolución de 1,500 DPI.

Una vez teniendo los archivos digitales de las fotografías aéreas, estas se georreferenciaron, para seguir con el proceso de fotointerpretación el cual CONABIO indica que se realizó directamente de la pantalla, generando información acerca de las coberturas de los diferentes usos de suelo para el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez.

Por otro lado realizar el estudio apoyándose en la **fotogrametría** similar al efectuado por CONABIO, se tenían dos opciones para llevarlo a cabo, comprar una serie de fotografías aéreas recientes y trabajar a partir de ellas o realizar el proyecto fotogramétrico con todo y vuelo, ambas opciones implicaban una cierta inversión económica, la cual no se podía cubrir, por tal motivo realizar el estudio con base en la fotogrametría se veía también complicado.



Figura 14. Ejemplo de la diferencia entre resoluciones, imagen continua a diferentes resoluciones, en la parte superior se observa la zona hotelera y el Boulevard Kukulcan, en la parte inferior el manglar, a la izquierda imagen Landsat a cada 15 m, a la derecha imagen pancromática a cada 30 cm

La pregunta persistía:

### ¿Qué método se podría emplear, que diera confianza en los resultados y fuera económicamente viable?

Por una parte se debe tomar en cuenta que para realizar el estudio, se necesita contar con imágenes de la más alta resolución espacial que se lograra disponer y por otra parte el factor económico limita bastante los insumos que se tendrían a disposición, así que se buscaron imágenes de satélite con la mejor resolución espacial posible y que fueran económicamente asequibles.

Después de analizar varias opciones (Tabla 1. *Comparativo entre métodos*), fue claro el hecho de que las imágenes pancromáticas siempre tienen mejor resolución espacial que las imágenes multiespectrales, esto es un factor que llama mucho la atención ya que el nivel de detalle que se observa en las imágenes pancromáticas de la superficie terrestre en algunos casos es mejor que la obtenida a partir de fotografías aéreas.

Esto fue un factor determinante, ya que se tuvo acceso a imágenes pancromáticas con muy alta resolución espacial, submétrica a cada 30 cm, lo cual comparando con la resolución que se tiene de las imágenes multiespectrales de Landsat a cada 30 metros, es un dramático incremento en la densidad de los píxeles disponibles para la misma cantidad espacio, con esto en mente se empezó a plantear una solución al proyecto (Figura 14. Ejemplo de la *diferencia entre resoluciones, imagen continua a diferentes resoluciones, en la parte superior se observa la zona hotelera y el Boulevard Kukulcan, en la parte inferior el manglar, a la izquierda imagen Landsat a cada 15 m, a la derecha imagen pancromática a cada 30 cm*).

Expresándolo en términos numéricos se destaca que:

Un pixel a 30 m por lado cubre una superficie de 900 m<sup>2</sup>.

Un pixel a 30 cm por lado cubre una superficie de 900 cm<sup>2</sup>, esto es .09 m<sup>2</sup>.

Lo que significa que, donde se tenía un pixel para trabajar ahora se cuenta con **10,000**.

Esto resolvía el problema de la resolución espacial, sin embargo las imágenes pancromáticas no contienen la misma información espectral que contienen las multiespectrales, por lo que no se puede analizar las imágenes para obtener firmas espectrales y mucho menos efectuar una clasificación a partir de ellas.

Una imagen pancromática almacena en cada pixel un valor que está asociado a un cierto color, lo cual es equivalente a la información que se obtiene después de haber digitalizado una fotografía aérea.

Bajo este contexto el método a aplicar fue claro, se haría una fotointerpretación a partir de las imágenes pancromáticas de satélite. Las imágenes más recientes que se consiguieron son de noviembre del 2010 propiedad de Bing.

**Tabla 1. Comparativo entre métodos**

	Percepción Remota		Fotogrametría
Material	Imágenes multiespectrales	Imágenes pancromáticas	Fotografías aéreas
Resolución Espacial	30 m	15 m	_____
Resolución Temporal	16 días	16 días	_____
Escala	1:113,336	1:56,668	_____
Costo	Si*	Si*	_____
Resolución Espacial	1.36 m	0.298 m	0.5 m
Resolución Temporal	1 día	1 día	_____
Escala	1:5,138	1:1,128	1:1,888
Costo	Si	Si*	Si

\* Se pueden obtener de manera gratuita en internet

Figura 15. Mosaico de imágenes de la zona de estudio, proyectadas en un sistema de coordenadas UTM, con una retícula a cada 2 km



## Método

Las imágenes de satélite tienen un sistema de referencia bien definido, por lo que se procedió a proyectarlas, con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), al sistema de coordenadas UTM, correspondiente a la zona 16 norte, ya que es donde se ubica la zona de estudio (Figura 15. *Mosaico de imágenes de la zona de estudio, proyectadas en un sistema de coordenadas UTM, con una retícula a cada 2 km*).

Esto se realizó con el fin de cumplir los alcances del proyecto, que es el contrastar la extensión de la cobertura de manglar presente y calcular la diferencia de superficie entre ambas coberturas, para esto fue necesario generar polígonos cuyas coordenadas están dentro de un sistema métrico.

Una vez proyectadas las imágenes, se empezó a trabajar en ellas, primero se procedió con la identificación del manglar.

La identificación no solo del manglar, sino de cualquier elemento en forma directa de la pantalla, es un proceso que se debe llevar con mucho cuidado y seriedad.

Se generaron polígonos que contienen la cobertura de manglar, en algunos casos estos polígonos representan extensiones de algunas hectáreas y en otros casos polígonos pequeños del orden de metros cuadrados.

Para la delimitación de estos polígonos se consideró que el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez se encuentra principalmente compuesto por mangle rojo (*Rhizophora mangle*) al interior de las lagunas y mangle botón (*Conocarpus erectus*) en los límites de estas, estos factores fueron determinantes en la identificación de la cobertura de manglar en el sistema lagunar.

Además de ello se tomaron en cuenta para el reconocimiento, identificación y análisis del manglar en las imágenes satelitales los siguientes criterios fotogramétricos:



Figura 16. *Comparativo de imágenes, imagen a la izquierda original, a la derecha misma imagen con la cobertura de manglar digitalizada*

El **contexto geográfico**: el manglar al ser una especie que vive en una zona de transición entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, se encuentra en algunos bajos, isletas y espigones al interior de la laguna ya que las profundidades son someras y en la franja de tierra directamente enfrente de la laguna, factor con el que se delimita la zona en donde buscarlo: márgenes de la laguna ribereña de la isla de barrera.

Su **forma**: el manglar se distingue en las imágenes con una forma arbórea típica de la región y arbustiva en estado de desarrollo.

Su **tono y color**: de las imágenes fueron muy importantes para diferenciar el manglar. En la parte acuática se diferencia de rocas sumergidas así como del fondo de la laguna. Mientras que en la parte terrestre se diferencia de otros tipos de vegetación.

La **textura**: se aprecia de tipo rugosa y gruesa, dependiendo de la densidad de manglar se observa espaciada en su interior.

Los **patrones de distribución**: que se encontraron fueron irregulares con una clara asociación a los patrones de drenaje en las bocas de la laguna y canales de mareas primarios y secundarios bien definidos.

Tomando en cuenta estos factores se procedió a la digitalización de la cobertura de manglar (Figura 16. *Comparativo de imágenes, imagen a la izquierda original, a la derecha misma imagen con la cobertura de manglar digitalizada*). En la figura 16 así como las páginas 23 y 24, muestran el resultado de la fotointerpretación, por un lado a la izquierda se muestra la imagen de una zona donde se puede apreciar cobertura de manglar, por otro lado a la derecha se aprecia en la imagen la misma zona pero con la cobertura de manglar ya digitalizada, tomando en cuenta los factores antes mencionados. Un hecho en el que hay que hacer hincapié es que es un estudio muy particular, donde se requiere delimitar la cobertura de manglar a detalle, por lo que se trabajó minuciosamente cada parte del sistema lagunar.



24



Se cuidó cada etapa de la interpretación de la cobertura de manglar ya que, es un proceso que depende mucho de la experiencia y seriedad de la persona encargada del proceso de digitalización.

Se puede resumir el método para la delimitación de la cobertura de manglar en los siguientes puntos:

1. Ubicar la zona de estudio.
2. Buscar un servicio de mapas en línea, que contenga la información necesaria para la realización del proyecto (*tipo de datos que contiene, época, resoluciones, sistema de coordenadas, etc.*), en este caso se ocupó el servicio de Bing.
3. Con ayuda de un SIG conectarse a dicho servicio, ubicar la zona a estudiar. Verificar el sistema de coordenadas y proyección en la que se va a trabajar, que dependen de la zona de estudio.
4. Con base en los parámetros fotogramétricos particulares para la zona de estudio (*contexto geográfico, forma, tono, color, textura y patrones de distribución*). Proceder con la delimitación de la cobertura, en este caso el manglar.

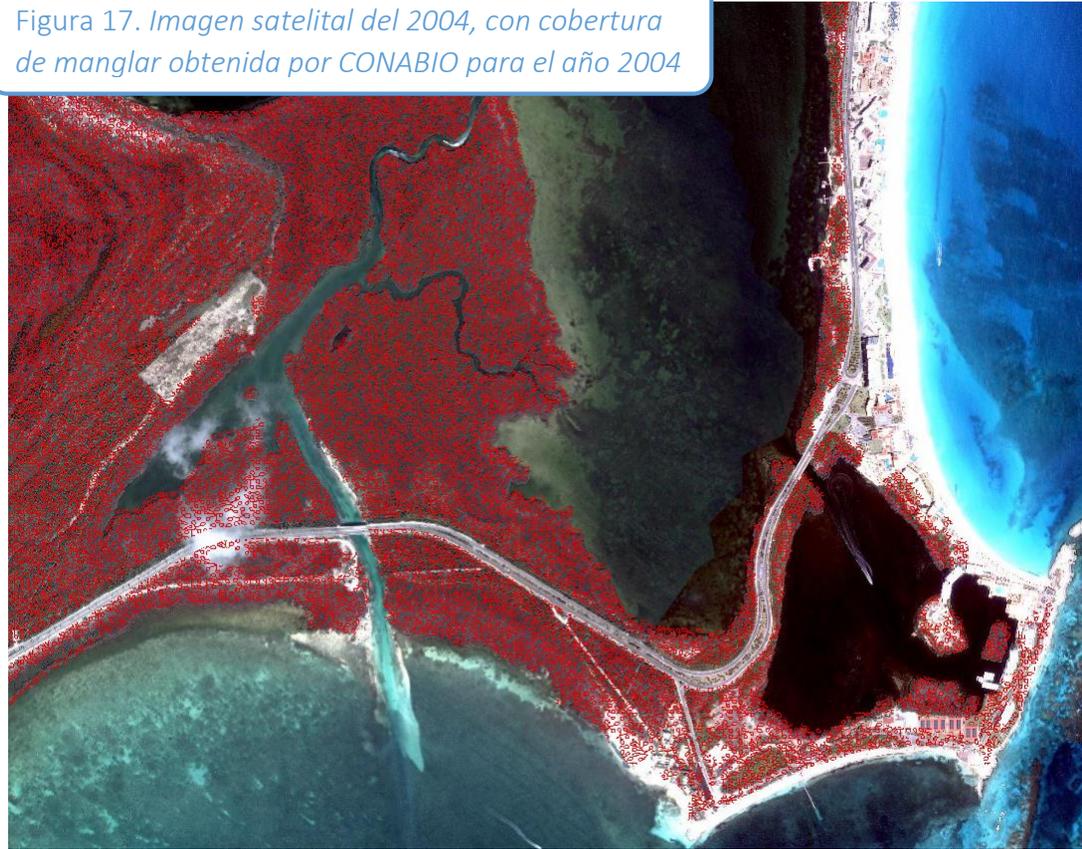
Una vez que se concluyó la interpretación de la totalidad de la cobertura de manglar en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez para las imágenes de noviembre del 2010. Prosigue el contrastar la extensión de la cobertura de manglar presente en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez entre los años 2004 y 2010.

Antes de poder contrastar las superficies es necesario, primero determinar si ambas superficies (*la superficie que se acababa de generar y la obtenida por parte de CONABIO para el año 2004*), son compatibles entre sí respecto de la escala y superficie.

Determinar la compatibilidad entre capas de información en un sistema de información geográfica, es indispensable para saber si se puede o no realizar operaciones entre dichas capas que arrojen resultados e información válida.

Ambas superficies fueron sobrepuestas, la del 2004 sobre la del 2010 y viceversa para detectar similitudes y discrepancias.

Figura 17. Imagen satelital del 2004, con cobertura de manglar obtenida por CONABIO para el año 2004



Se analizó a detalle cada uno de los parches de manglar, se encontraron zonas donde ha cambiado la distribución del manglar, pero también donde los parches de manglar han mantenido su forma, estas zonas en particular son las que ayudaron a determinar la compatibilidad de las superficies y a corroborar a su vez la certidumbre de la fointerpretación obtenida.

Después de una inspección detenida se confirmó que ambas superficies son compatibles entre sí.

Adicionalmente se logró conseguir imágenes pancromáticas de satélite del año 2004 (propiedad de Bing) con las que se comparó la superficie de manglar obtenida por parte de CONABIO, se encontró que la cobertura de manglar empata casi (véase la sección, análisis de los resultados) en su totalidad con la observada en las imágenes satelitales.

Figura 18. Imagen satelital del 2010 con cobertura de manglar digitalizada a partir de ella



(Figura 17. Imagen satelital del 2004, con cobertura de manglar obtenida por CONABIO para el año 2004. Figura 18. Imagen satelital del 2010 con cobertura de manglar digitalizada a partir de ella).

Una vez determinado que ambas superficies son compatibles entre sí el siguiente paso es contrastar la extensión de la cobertura de manglar presente en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez entre los años 2004 y 2010 para calcular la diferencia de superficie entre ambas coberturas de manglar, para ello primero, se acotó la zona de estudio con la siguiente extensión.

Coordenadas UTM extremas:

- Norte 2, 341,809.707600 m
- Este 527,391.706400 m
- Oeste 515,055.483800 m
- Sur 2, 323,480.861200 m

Con base en esta extensión se delimitó la superficie de CONABIO del 2004 así como la generada para el 2010, teniendo ambas la misma delimitación se puede empezar a comparar las extensiones de la cobertura de manglar.

Con ayuda de un SIG se calcularon las áreas que componen la superficie de manglar tanto para el año 2004 como para el 2010, en el caso el año 2010, la digitalización se manejó desde un principio en una proyección UTM, en la cual sus unidades son métricas lo que facilitó el cálculo del área.

Para el cálculo del área para la superficie de manglar del año 2004, se tuvo primero que proyectar la superficie ya que se encontraba en un sistema de coordenadas geográfico, una vez proyectada la superficie en un sistema de coordenadas UTM, se pudo calcular su área.

Las figuras 17 y 18 como en las páginas 27 y 28, se muestra la cobertura de manglar para los años 2004 y 2010 respectivamente, en estas imágenes se puede apreciar como ambas superficies tienen una forma muy similar, lo que se espera cuando son compatibles entre sí, y permite a su vez valorar las diferencias en la distribución del manglar entre ambas épocas.

Se puede resumir el método para la comparación de ambas coberturas de manglar en los siguientes puntos:

1. En el SIG se cargan ambas capas vectoriales de información (*las coberturas de manglar correspondientes para cada año*).
2. Se sobreponen ambas coberturas, dependiendo del método utilizado para generar las coberturas, a un cierto acercamiento (*zoom*) se empezaran a ver rastros de píxeles (*orillas o márgenes en la cobertura muy cuadrados y rectos*), la capa que los presente primero será la que tenga menos resolución espacial, en este caso ambas superficies presentaban buen número de vértices a una escala de 1:1,128 lo que aseguraba su compatibilidad.
3. Para calcular las áreas, las superficies deben tener el mismo sistema de coordenadas y proyección, además deben estar contenidas en la misma extensión, esto asegurará su correcta comparación.

Los resultados obtenidos a partir de este estudio se detallan a continuación.



27

TP

Copyright © 2000 by ESRI



Recordando el objetivo general del proyecto y los objetivos específicos:

- Contrastar la extensión de la cobertura de manglar presente en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez entre los años 2004 y 2010.
- Describir un método económicamente asequible que asegure precisión, confianza y certeza en los resultados.

De existir diferencia entre las extensiones de manglar para estos años.

- Calcular la diferencia de superficie entre ambas coberturas de manglar.

Se puede contestar que: Se cumplió con contrastar la extensión de la cobertura de manglar, entre los años 2004 y 2010.

El método empleado para calcular la cobertura de manglar cumplió con el objetivo planteado, resulto ser económicamente viable ya que las imágenes con las que se trabajaron son parte de servicios de mapas en línea, que se encuentran disponibles de manera gratuita en internet, los cuales al tener una buena resolución espacial otorgan confianza en los resultados obtenidos a partir de ellos.

Los resultados obtenidos muestran que si ha habido cambios en la extensión del manglar, esto se observa de manera visual y fue comprobado con el cálculo de las áreas de cobertura para cada año.

El total del área de la cobertura de manglar obtenida por la CONABIO **para el año 2004**, acotada a la zona de interés fue de **2,935.37 hectáreas**.

El total del área de la cobertura de manglar generada a partir de las imágenes de satélite **para el año 2010 que propone esta investigación**, acotada a la zona de interés fue de **1,657.15 hectáreas**.

Con lo que se puede asegurar no solo que ha cambiado la extensión en la cobertura de manglar en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez, si no que:

**Se han perdido 1,278.22 hectáreas en un periodo de 6 años.**  
Lo que significa **una reducción del 43.54%** de la cobertura de manglar en la zona de estudio.

Cuando la cobertura de manglar reportada por la CONABIO se comparó con las imágenes pancromáticas de satélite (propiedad de Bing) correspondientes al año 2004, se encontró que en su mayor parte empatan perfectamente, sin embargo hay zonas en las cuales la CONABIO reporta existencia de manglar y no lo hay, en su lugar se encontró existencia de desarrollos urbanos que están en construcción, muchos de los cuales aún en la imagen del 2010 siguen en obra.

Un factor importante que hay que tomar en cuenta es la fecha en la que realizó el vuelo fotogramétrico, la fecha cuando fue concluida la digitalización de él y la fecha en la que se publicó la información.

La cartografía de la que se dispuso se encuentra como: "Cambio de uso del suelo 1991 - 2004, Sistema Lagunar Nichupté - Bojórquez" extraído del proyecto BQ006 "Diagnóstico ambiental del ecosistema de manglar en el sistema lagunar Nichupté Bojórquez, Cancún, Quintana Roo. México" (Zetina, 2008).

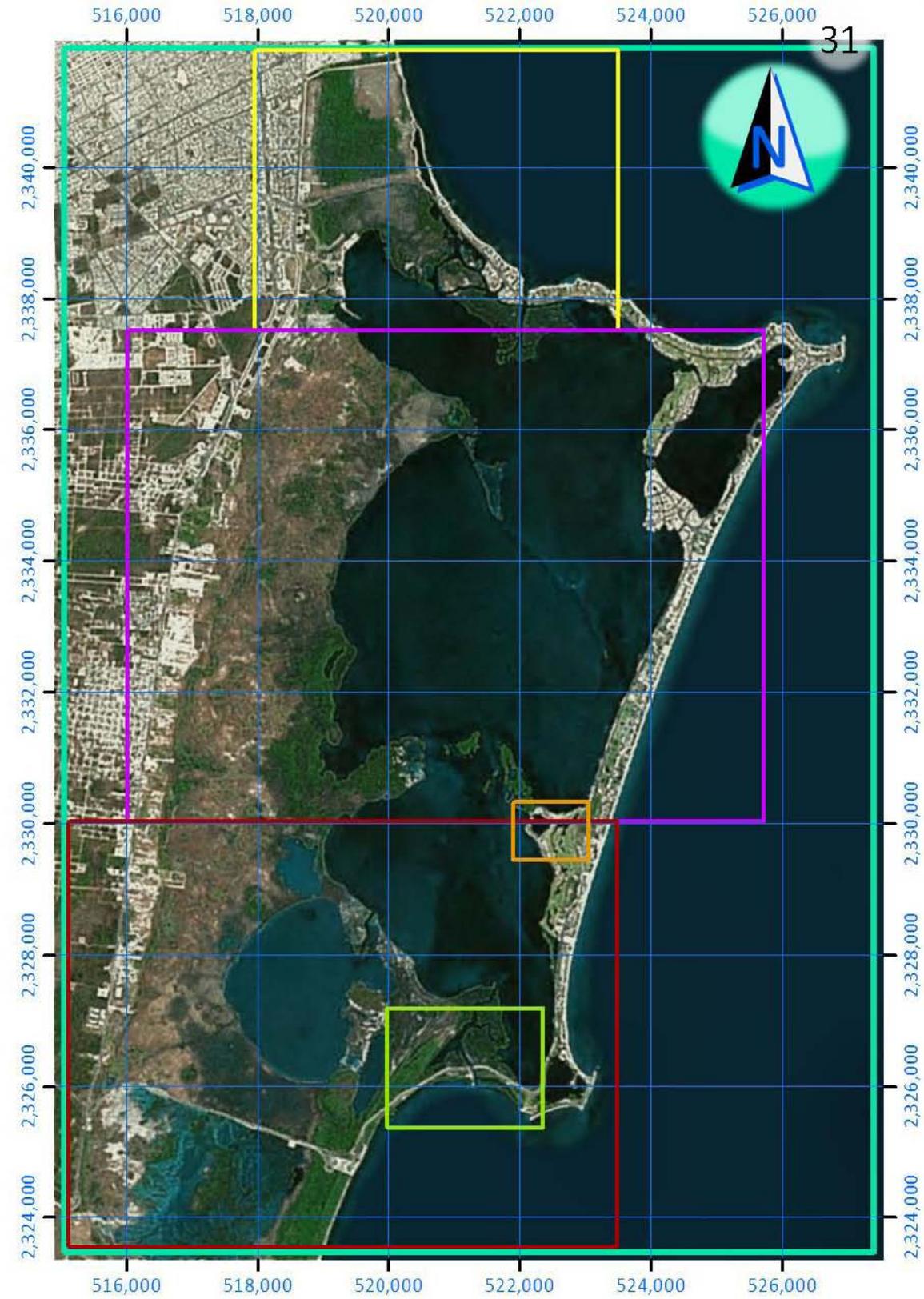
El proyecto "Diagnóstico ambiental del ecosistema de manglar en el sistema lagunar Nichupté Bojórquez, Cancún, Quintana Roo. México" a cargo de la Dra. Claudia Maricusa Agraz Hernández empezó el 30 de enero del 2004 y concluyó el 25 de septiembre del 2008, la fecha de publicación de la cartografía fue el 2 de agosto del 2007 y su metadato estuvo disponible desde el 13 de octubre del año 2008.

La cobertura obtenida de manglar por parte de CONABIO es válida para el 2004, aunque no se proporcionan datos sobre la fecha de los vuelos. Las imágenes pancromáticas obtenidas por parte de Bing para el año 2004, son parte de una composición de imágenes satelitales de finales del mismo año.

Esta es la razón del porque en algunos mapas e imágenes presentados en este trabajo, la cobertura de manglar obtenida por parte de la CONABIO no empata en su totalidad con las imágenes de satélite ocupadas como fondo para el año 2004.

Como se mencionó anteriormente, uno de los factores que han contribuido con la deforestación del manglar es la actividad humana, un factor visible a través de la realización de este proyecto en específico es, la construcción de desarrollos turísticos y residenciales.

## Análisis de los resultados



## Croquis de localización de mapas

-  Zona de estudio
-  Zona a
-  Zona b
-  Zona c
-  Zona d
-  Zona e

Proyección UTM, Zona 16N  
 Cuadrícula a cada 2,000 m  
 Imagen Bing Maps Aerial, 2010

Los cuales se llevan a cabo sin importar el impacto que estos desarrollos tienen en el medio ambiente.

Adicionalmente se encontró que las riberas del interior del sistema lagunar Nichupté – Bojórquez, la cobertura de manglar ha sufrido una degradación extensa. El método realizado durante este proyecto, no permite diferenciar las causas de esta degradación, sin embargo existe y es observable.

Como parte de un proyecto de Ingeniería Geomática, expresar los resultados solo de forma numérica no haría sentido, por lo cual se prepararon cinco mapas que engloban la mayor parte del sistema lagunar, con la finalidad de que el lector compare por sí mismo el cambio en la forma y extensión de la cobertura de manglar encontradas en el sistema lagunar.

En estos cinco mapas comparativos de la cobertura de manglar, entre los años 2004 y 2010, se dividen en tres generales, zonas a, b y d, y en dos particulares, zonas c y e, en ellos se observa:

- Del lado izquierdo la cobertura de manglar obtenida por parte de CONABIO para el año 2004, sobrepuesta a las imágenes de satélite obtenidas por parte de Bing para el año 2004.
- Del lado derecho, la cobertura de manglar obtenida a partir del método anteriormente descrito para el año 2010, sobrepuesta a las imágenes de satélite obtenidas por parte de Bing para el año 2010.

En la tabla 2 se detallan las escalas y el tipo de degradación que se puede observar en cada mapa (Tabla 2. *Mapas y sus características*).

En el caso en que su cambio es debido a construcciones, se enlista en la tabla como: Actividad Humana.

En el caso donde no es posible identificar su causa aunque la degradación es observable, se enlista en la tabla como: Otros Factores.

En la página 31, se presenta un croquis de localización de cada mapa.

Tabla 2. Mapas y sus características		
Mapa	Escala	Tipo de degradación observada
a	1:18,500	Actividad Humana
b	1:35,500	Otros Factores
c	1:4,500	Actividad Humana
d	1:29,000	Actividad Humana y Otros Factores
e	1:7,500	Actividad Humana



33



**Zona a, 2004**

 Cubierta de manglar, 2004

Proyección UTM, Zona 16N  
Cuadrícula a cada 1,500 m  
Imagen Bing Maps Aerial, 2004

519,000

520,500

522,000

2,341,500

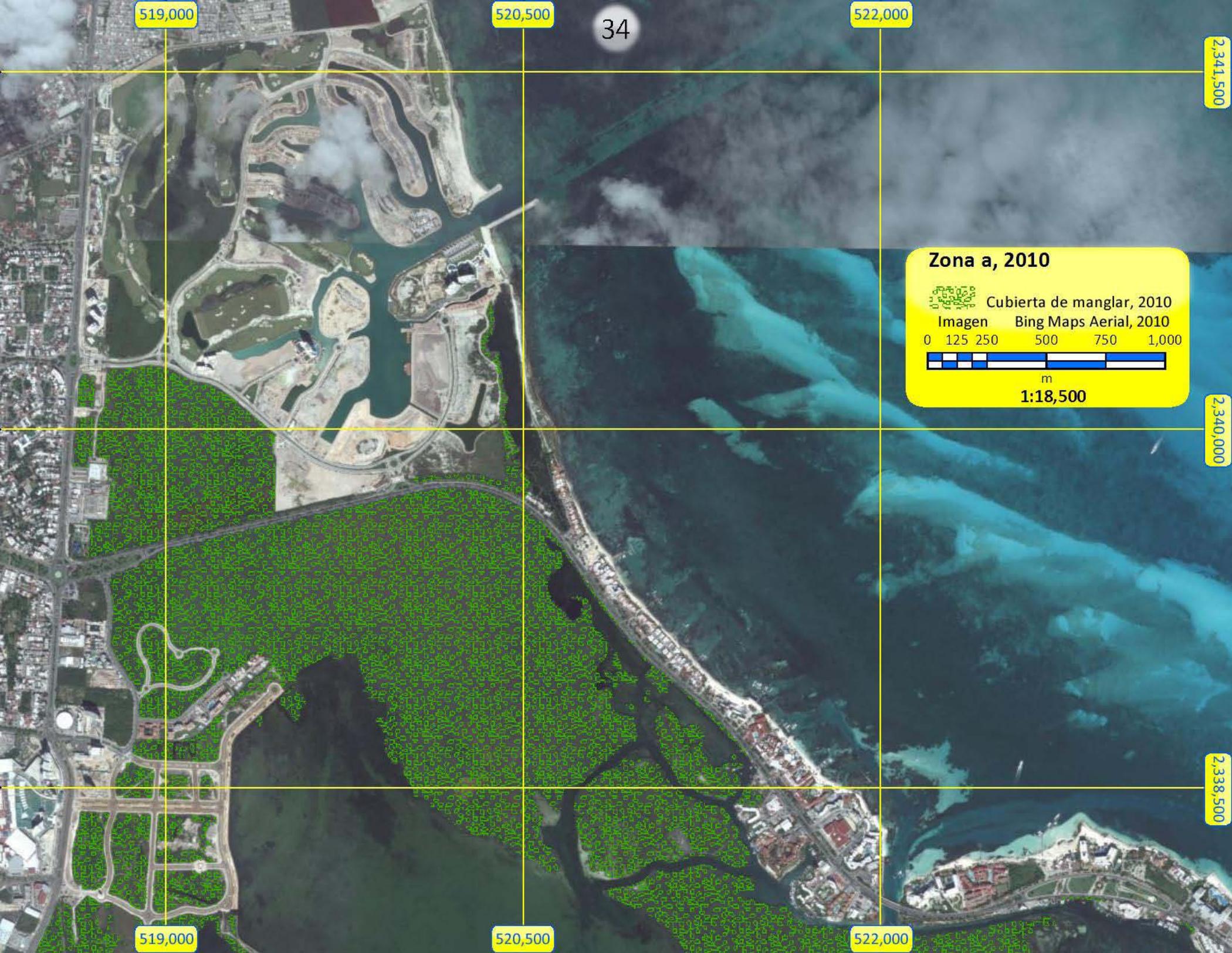
2,340,000

2,338,500

519,000

520,500

522,000



519,000

520,500

522,000

34

2,341,500

**Zona a, 2010**

 Cubierta de manglar, 2010

Imagen Bing Maps Aerial, 2010

0 125 250 500 750 1,000



m

**1:18,500**

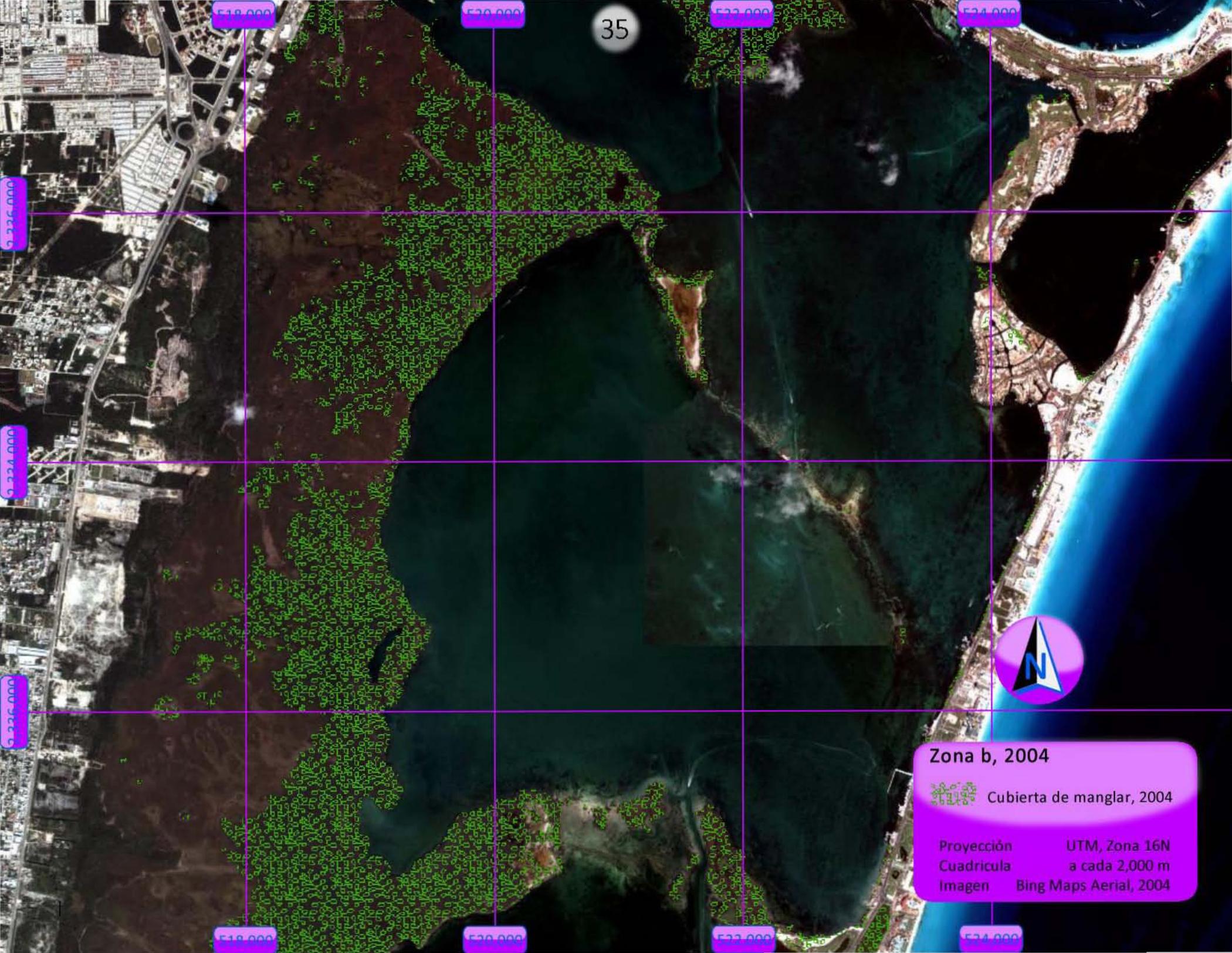
2,340,000

2,338,500

519,000

520,500

522,000



35

518.000

520.000

522.000

524.000

9.322.000

9.324.000

9.326.000

518.000

520.000

522.000

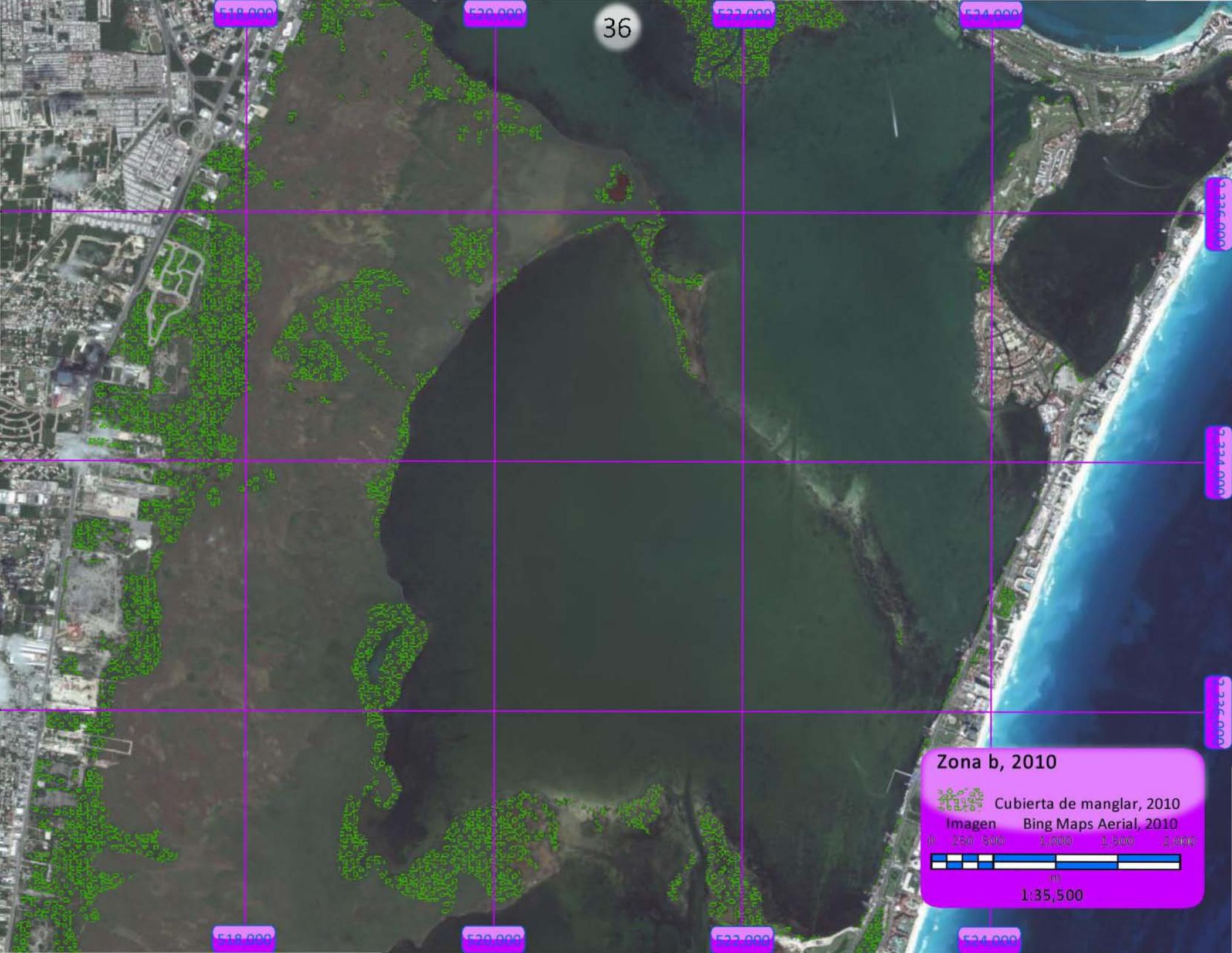
524.000



**Zona b, 2004**

 Cubierta de manglar, 2004

Proyección UTM, Zona 16N  
Cuadrícula a cada 2,000 m  
Imagen Bing Maps Aerial, 2004



36

518,000

520,000

522,000

524,000

9,226,000

9,228,000

9,230,000

518,000

520,000

522,000

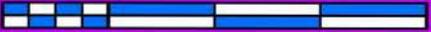
524,000

**Zona b, 2010**

 Cubierta de manglar, 2010

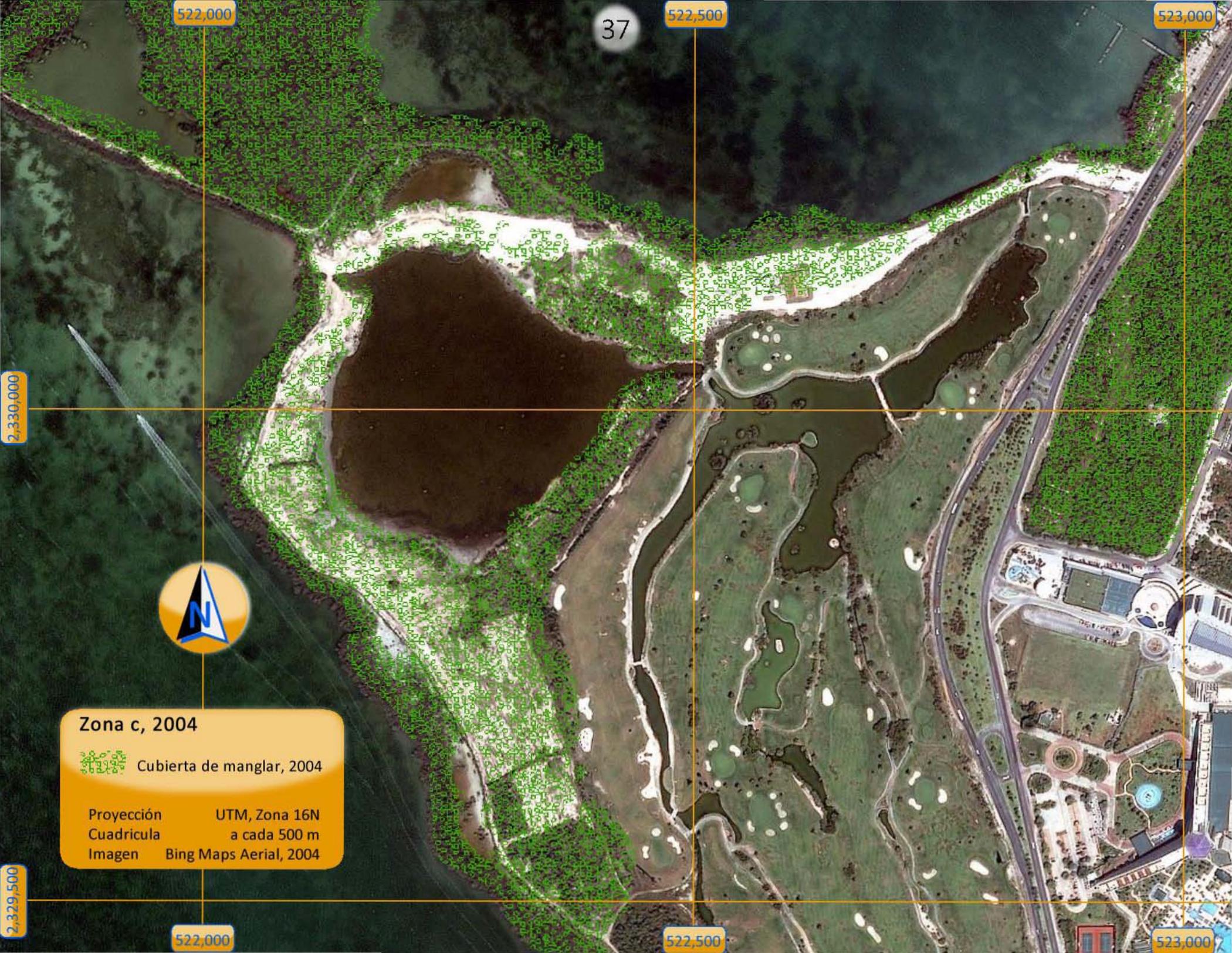
Imagen Bing Maps Aerial, 2010

0 250 500 1,000 1,500 2,000



m)

1:35,500



37

522,000

522,500

523,000

2,330,000



**Zona c, 2004**

 Cubierta de manglar, 2004

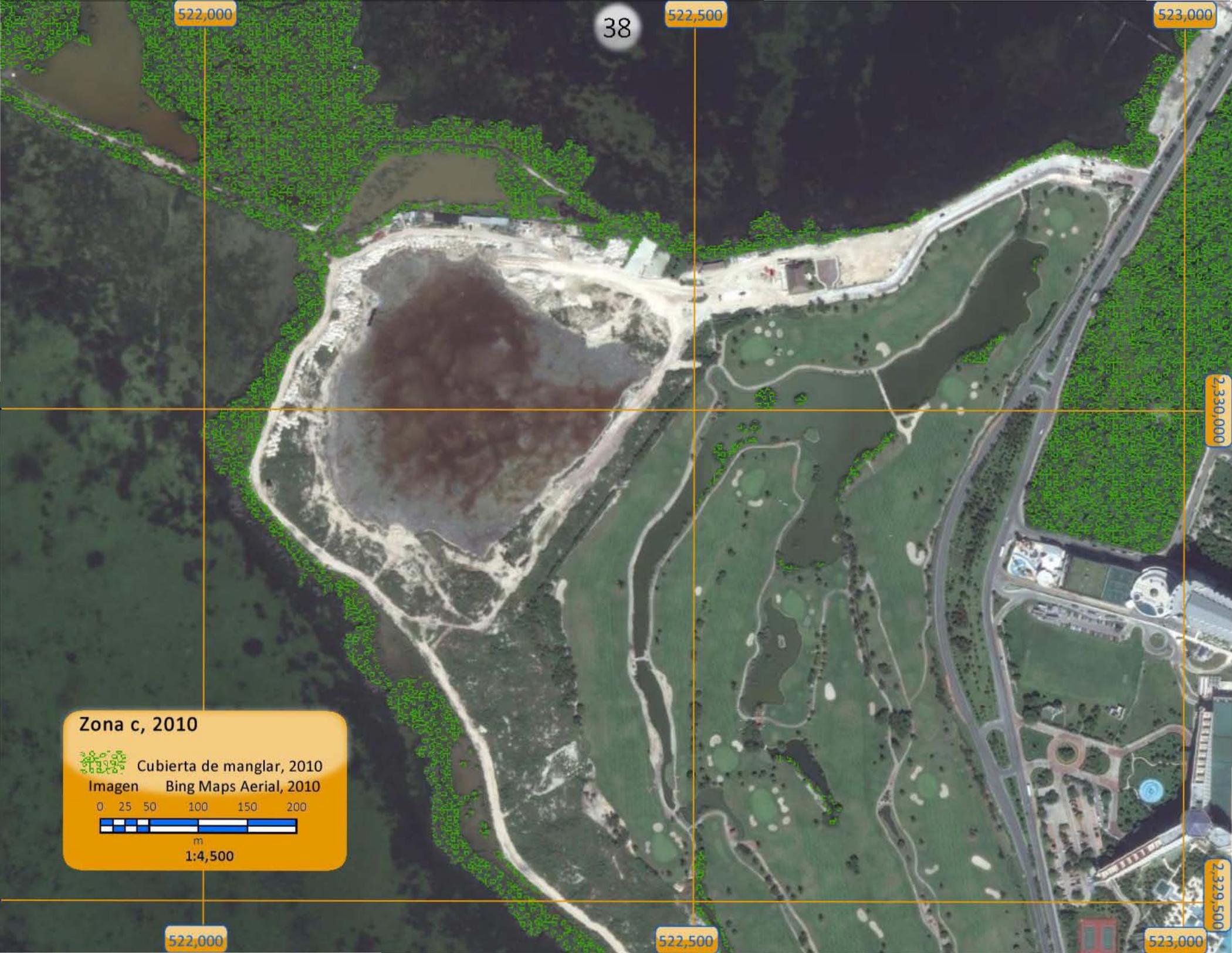
Proyección      UTM, Zona 16N  
 Cuadrícula      a cada 500 m  
 Imagen          Bing Maps Aerial, 2004

2,329,500

522,000

522,500

523,000



522,000

38

522,500

523,000

2,330,000

2,329,500

522,000

522,500

523,000

**Zona c, 2010**

 Cubierta de manglar, 2010

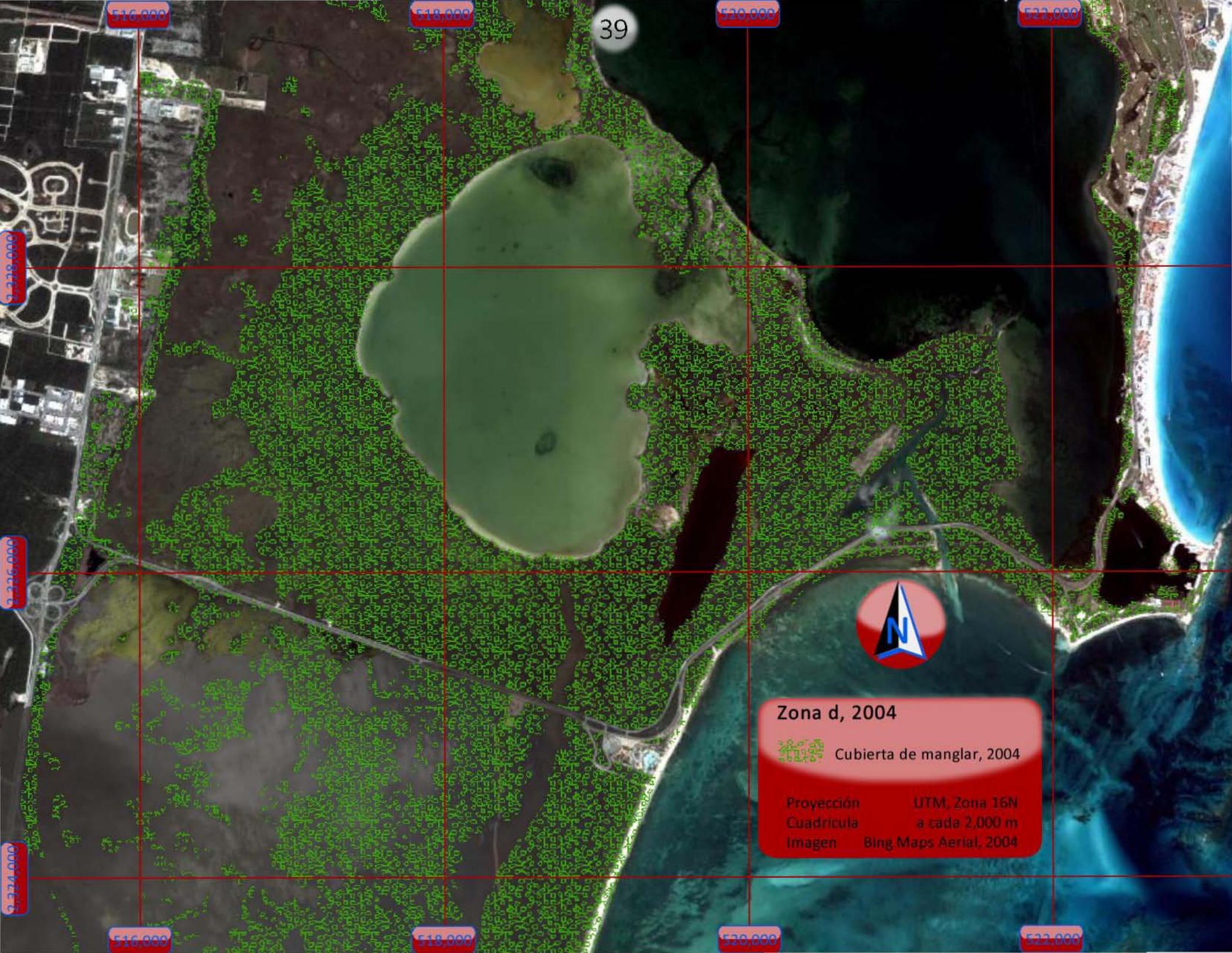
Imagen Bing Maps Aerial, 2010

0 25 50 100 150 200



m

1:4,500



39

516,000

518,000

520,000

522,000

9,228,000

9,226,000

9,224,000

516,000

518,000

520,000

522,000



### Zona d, 2004

 Cubierta de manglar, 2004

Proyección UTM, Zona 16N  
Cuadrícula a cada 2,000 m  
Imagen Bing Maps Aerial, 2004



40

**Zona d, 2010**

 Cubierta de manglar, 2010  
Imagen Bing Maps Aerial, 2010

0 250 500 750 1,000



1:29,000

516,000

518,000

520,000

522,000

516,000

518,000

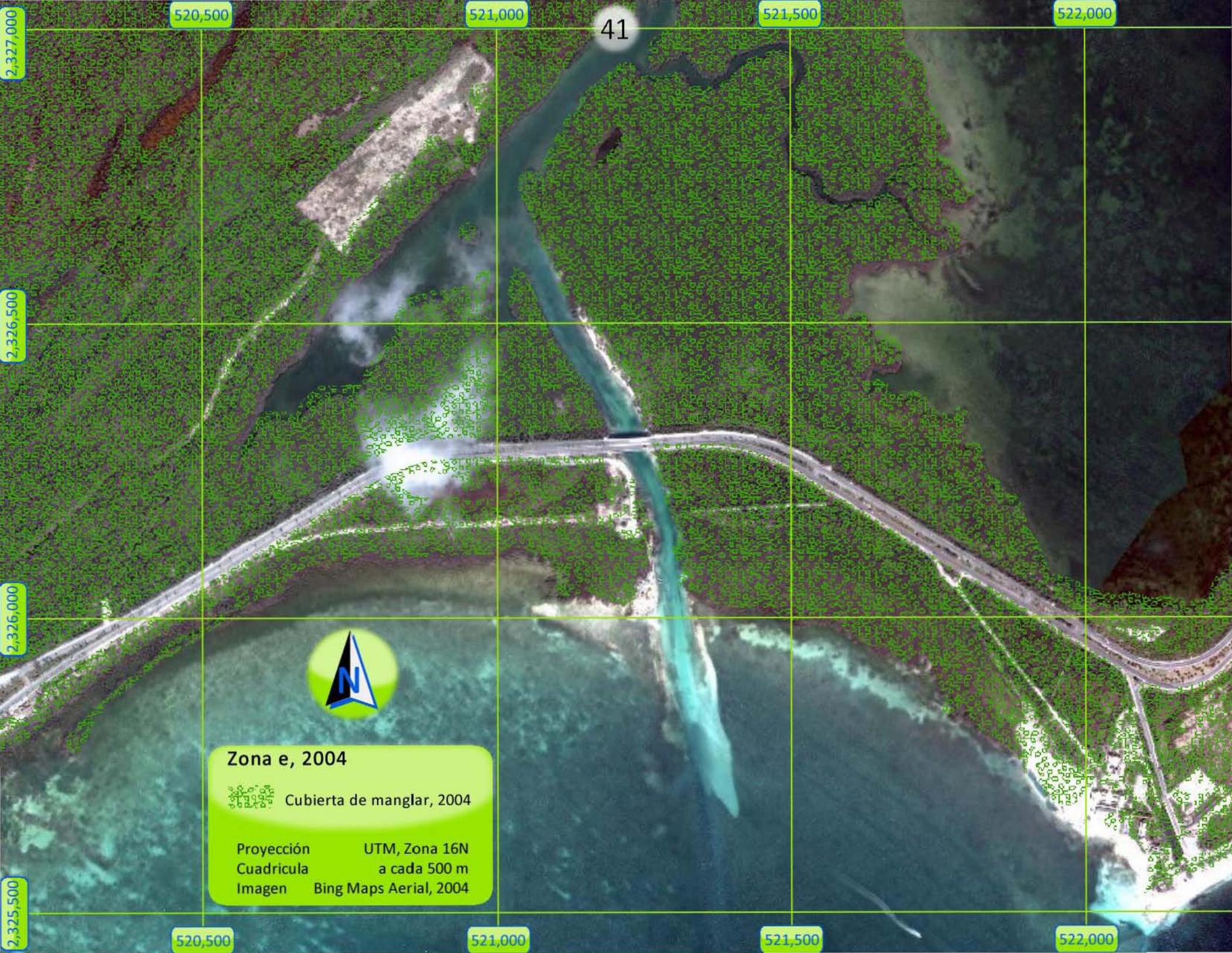
520,000

522,000

9,218,000

9,226,000

9,234,000



41

520,500

521,000

521,500

522,000

2,327,000

2,326,500

2,326,000

2,325,500

520,500

521,000

521,500

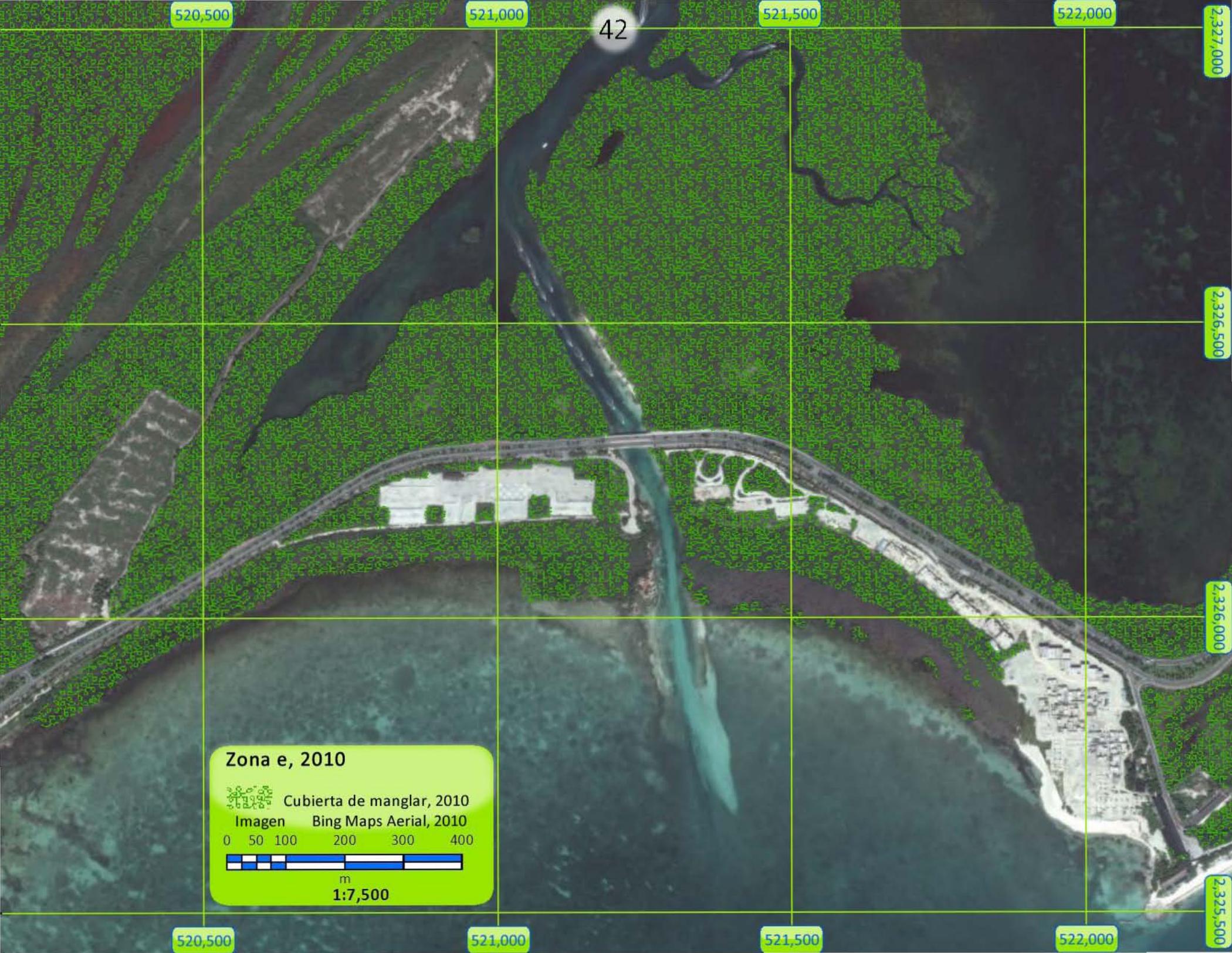
522,000



**Zona e, 2004**

 Cubierta de manglar, 2004

Proyección      UTM, Zona 16N  
Cuadrícula      a cada 500 m  
Imagen      Bing Maps Aerial, 2004



520,500

521,000

521,500

522,000

2,327,000

42

2,326,500

2,326,000

**Zona e, 2010**

 Cubierta de manglar, 2010

Imagen Bing Maps Aerial, 2010

0 50 100 200 300 400



m

1:7,500

520,500

521,000

521,500

522,000

2,325,500

El proyecto se basó en elegir y escribir un método que facilitara comparar la extensión de la cobertura de manglar de un año con otro para encontrar cambios, los objetivos planteados, como se comentó en la sección de resultados, fueron alcanzados.

La cifra derivada de este estudio es de 1,278.22 hectáreas de manglar perdidas en un periodo de 6 años. Lo que significa una reducción del 43.54% de la cobertura de manglar en la zona.

El método anteriormente descrito, es factible aplicarlo a otras zonas de estudio, siempre y cuando se tomen parámetros particulares para determinar la cobertura de manglar, quedando así no limitado a la zona de estudio de este proyecto.

Los factores cuyas consecuencias son observables a través de este proyecto, son importantes pero no fueron objeto de esta investigación, como se dijo anteriormente, no es posible conocer su causa a partir de la información generada con este proyecto. Sin embargo para conocer sus causas, es necesario un estudio multidisciplinario, se necesitan visitas de campo para tomar muestras georreferenciadas (*tomando en cuenta la posición geográfica*) de agua y sedimentos, estas deben ser analizadas, en conjunto con imágenes multiespectrales de alta resolución espacial, para identificar las posibles causas que han contribuido con la degradación de la cobertura de manglar en al sistema lagunar.

Es importante realizar más proyectos de este tipo, que contribuyan a determinar la extensión real que ocupa el manglar en el país, con la información generada a partir de estos estudios, el monitoreo de esta cobertura es un paso obligado para generar medidas y políticas que ayuden a preservar y regenerar al manglar, tanto a niveles locales como regionales.

A partir del monitoreo de la cobertura de manglar, se pueden generar sistemas de alerta temprana, donde al observar la existencia de degradación en una zona, se pueden realizar estudios multidisciplinarios que determinen las causas de la degradación y así tomar las medidas necesarias para mitigar sus efectos y recuperar la cobertura de manglar.

Es importante reiterar que la realización de este proyecto, se llevó a cabo utilizando contenidos e información que se encuentran disponibles de manera libre en internet.

## Conclusiones

Hoy en día la cantidad de información a la que se puede acceder de esta manera es muy extensa y cada día aumenta, con lo que se convierte en una herramienta muy importante, su uso, mantenimiento y mejora, es responsabilidad de aquellos quienes trabajan con geoinformación.

Es necesario que el profesional de geoinformación, contribuya enriqueciendo la diversidad de la información disponible, desarrollando nuevos contenidos, métodos, así como servicios en línea, disponibles de manera libre.

Parte fundamental de la información generada, es el correcto uso e implementación de los metadatos contenidos en ella, ya que al ser esta información la base de futuras investigaciones, es necesario conocer a detalle las características de los procesos con los se generó la información, lo que ayudara a resolver problemas de compatibilidad entre diversas fuentes de información.

En un proyecto llegar a una óptima solución, no implica que esta sea la más económica, la más fácil o rápida de poner en marcha, es llegar a una solución integral que garantice el desarrollo sostenible del proyecto, para ello afrontarlo desde un enfoque multidisciplinario es vital, hacer esto bajo un contexto geoespacial, brinda varias ventajas, ya que se analizan las componentes del problema así como sus posibles soluciones como parte de un sistema global, donde todo está conectado, esto amplía el panorama sobre las repercusiones que los proyectos pueden tener sobre el medio ambiente.

El profesional de ingeniería geomática, genera una amplia gama de información y en algunos casos esta es compleja de explicar. Para plasmar esta información, de manera que sea fácil de asimilar para quienes harán uso de ella, hay que enfocarse en las necesidades del usuario, así como la experiencia que van a tener al leer, ver y entender los resultados e información que se generen.

Por lo que el diseño de productos y servicios, es una parte vital del profesional.

Las técnicas empleadas durante la realización de este trabajo son solo algunas de las que los profesionales de la geomática son capaces de utilizar, estas técnicas en conjunto con conocimientos propios de otras disciplinas logran hacer frente a problemáticas complejas. Con la finalidad de ampliar el conocimiento que se tiene sobre el planeta, contribuir con un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y sobre todo influir en la toma de decisiones responsables en la administración ambiental.

La ingeniería geomática, como se ha visto a lo largo de este trabajo, es una pieza clave al desarrollar proyectos, ya que facilita la integración de conocimientos, ella misma es el resultado de la integración de varias técnicas y ciencias, lo que la convierte en una herramienta versátil, hoy en día su aplicación es fundamental en diversos campos de estudio y en el futuro será más requerida, a medida que se desarrollen nuevas técnicas para obtener, procesar y representar información.

*Por mi raza hablara el espíritu.*

Manglar en el sistema lagunar Nichupté - Bojórquez



Alongi D.M. 1998. Coastal ecosystem processes. Boca Raton: CRC. 419 p.

Bing Maps Aerial. Microsoft Bing Maps Services.

Covi M.P., Kneib R.T. 1995. Intertidal distribution, population dynamics and production of the amphipod *Uthlorchestia spartinophila* in a Georgia, USA, salt marsh. *Marine Biology*, 121: 447–455 p.

Ewel K.C., Cressa C., Kneib R.T., Lake P.S., Levin L.A., Palmer M.A., Snelgrove P.V.R., Wall D.H. 2001. Managing Critical Transition Zones. *Ecosystems*, 4: 452-460 p.

Flores M.G., Jiménez J., Madrigal X., Moncayo F., Takaki F. 1971. Memorias del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México.

Flores V.F., González F.F., Segura Z.D., Ramírez P. 1992. Mangrove ecosystems of the Pacific Coast of Mexico: distribution, structure, litterfall and detritus dynamics. *Academic Press*, 269-288 p.

García E. 1998. Climas (clasificación de Köppen, modificado por García). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Gomarasca M.A. 2009. Basics of Geomatics. Springer, 598 p.

Herrera-Silveira J.A., Morales-Ojeda S.M. 2010. Subtropical Karstic Coastal Lagoon Assessment, Southeast Mexico The Yucatan Peninsula Case. *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*, 307-333 p.

Heymans J.J., Baird D. 1995. Energy flow in the Kromme Estuarine ecosystem, St. Francis Bay, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41: 39–59 p.

Holling C.S. 2001. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4: 390-405 p.

Lee R.W., Kraus D.W., Doeller J.E. 1999. Oxidation of sulfide by *Spartina alterniflora* roots. *Limnology and Oceanography*, 44: 1155–1159 p.

Levin L.A., Boesch D.F., Covich A., Dahm C., Erséus C., Ewel K.C., Kneib R.T., Moldenke A., Palmer M.A., Snelgrove P.V.R., Strayer D., Weslawski J.M. 2001. The Function of Marine Critical Transition Zones and the Importance of Sediment Biodiversity. *Ecosystems*, 4: 430-451 p.

Meybeck M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *Am J Sci*, 282: 401–450 p.

Pilkey Orrin H., Young R. 2009. *The Rising Sea*. Island Press, 203 p.

SARH. 1992. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión: Reporte Principal: México 1991-1992. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal, México.

SEMARNAT. 2003. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Spalding M.D., Blasco F., Field C. 1997. *World Mangrove Atlas*. The International Society for Mangrove Ecosystems. Okinawa, Japón, 178p.

Thayer G.W., Colby D.R., Hettler Jr. W.F. 1987. Utilization of the red mangrove prop root habitat by fishes in South Florida. *Marine Ecology Progress Series*, 35: 25–38 p.

Wall D.H., Palmer M.A., Snelgrove P.V.R., 2001b. Biodiversity in Critical Transition Zones between Terrestrial, Freshwater, and Marine Soils and Sediments: Processes, Linkages, and Management Implications. *Ecosystems*, 4: 418-420 p.

Wall D.H., Snelgrove P.V.R., Covich A.P. 2001a. Conservation priorities for soil and sediment invertebrates. Island Press, 99–123 p.

Wilkie M.L., Fortuna S. 2003. Status and trends in mangrove area extent worldwide. *Forest Resources Assessment Working Paper No. 63*. Forest Resources Division. FAO, Rome. (Unpublished).

Zetina Tapia R.H., Agraz-Hernández C.M. 2008. Cambio de uso del suelo 1991 - 2004, Sistema Lagunar Nichupté - Bojórquez. Diagnóstico ambiental del ecosistema de manglar en el sistema lagunar Nichupté Bojórquez, Cancún, Quintana Roo. México. CONABIO.

## Lista de imágenes y figuras

Cancún, mayo, 1978. Portada, obtenida de:

1978: Cancún desde Punta Nizuc en mayo de 1978. Foto: J – Picasa.

Figura 1. *Distribución de las especies de manglar*. Página 2, modificada de:

FIGURE 3.25 Tidal level and mangrove distributions.

<http://sky.scnu.edu.cn/life/class/ecology/chapter/Chapter3.htm>

Figura 6. *Geoide*. Páginas 9-10, obtenida de:

The Earth's gravity field (geoid) as it will be seen by GOCE

[http://spaceimages.esa.int/Images/2004/10/The\\_Earth\\_s\\_gravity\\_field\\_geoid\\_as\\_it\\_will\\_be\\_seen\\_by\\_GOCE](http://spaceimages.esa.int/Images/2004/10/The_Earth_s_gravity_field_geoid_as_it_will_be_seen_by_GOCE)

Figura 7. *Longitud ( $\lambda$ ) y Latitud ( $\phi$ ) de un punto P sobre el elipsoide*. Página 11, modificada de:

Fig. 2.13 *Longitude ( $\lambda$ ) and latitude ( $\phi$ ) of a point P on the ellipsoid*

Gomasca M.A. 2009. Basics of Geomatics. Springer.

Figura 9. *Fotografías aéreas, obtenidas a partir de un vuelo fotogramétrico*.

Página 12, obtenida de:

<http://www.imtcan.com/services/triangulation.htm>

Figura 8. Representación de las 60 zonas y 20 bandas de la proyección UTM). Páginas 13-14, obtenida de:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Utm-zones.jpg>

Imagen de fondo. Página 15, obtenida de:

[http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-3950/year-all/#gallery/6305](http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-3950/year-all/#gallery/6305)

Figura 10. *Capas temáticas de información, manera en la que se organiza la información en un SIG*. Página 16, modificada de:

Eight key layers in the Arc Hydro data model.

<http://www.esri.com/news/arcnews/spring03articles/archydro-data.html>

Figura 12. *Mapas dinámicos obtenidos, con ayuda de SIG*. Página 16, obtenida de:

<http://www.westerville.org/>

Cancún, marzo, 2010, Contraportada, obtenida de:

<http://www.developmental-biology.org/>

Cancún, marzo, 2010.

