



Universidad Autónoma de Baja California

ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

TRABAJO TERMINAL

Evaluación del cambio en la cobertura de manglar de la Bahía  
de la Paz, Baja California Sur entre los años 2002 - 2008

PRESENTA:

**Itzel Esmeralda Frías Galeote**

Ensenada, Baja California, Agosto 2009



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

PROGRAMA DE POSGRADO  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

Evaluación del cambio en la cobertura de manglar de la Bahía  
de la Paz, Baja California Sur entre los años 2002 - 2008

**TRABAJO TERMINAL**

QUE PRESENTA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL DIPLOMA DE  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA

**ITZEL ESMERALDA FRÍAS GALEOTE**

Aprobado por:

**Dr. Alejandro García Gastelum**  
Presidente del jurado

**Dra. Ileana Espejel Carbajal**  
Sinodal

**M. C. Juan Carlos Ramírez Acevedo**  
Sinodal

## **RESUMEN**

A nivel mundial una de las principales causas del deterioro en los ecosistemas costeros es el cambio de uso de suelo que reclama los espacios ocupados por estos ecosistemas para la expansión de ciudades, actividades agrícolas, desarrollos turísticos y granjas de acuicultura. Los manglares están inmersos en esta problemática debido a la falta de vinculación entre los procesos ecológicos y los beneficios económicos recibidos de estos, más del 50% de los manglares del mundo han desaparecido, no obstante que han sido documentados los servicios ambientales que prestan y su impacto en la economía. En este trabajo se evalúa el cambio en la cobertura de manglar en la Bahía de la Paz, Baja California Sur por medio de imágenes de satélite del sensor ASTER, comparando entre los años 2002 y 2008 por medio de técnicas de fotointerpretación creando un sistema de información geográfica (SIG) que permitió calcular la cobertura de manglar para los diferentes años. Se estimó una cobertura de 265.99 hectáreas en el año 2002 y una cobertura de 232.5 hectáreas para el año 2008 en la Bahía de La Paz, lo que representa una pérdida de 33.49 hectáreas. Esta disminución en la vegetación de manglar se traduce en una pérdida económica de más de un millón de dólares en servicios ambientales referentes a protección de pesquerías y una pérdida de 25, 351.93 kg de camarón y peces de importancia comercial.

Esta disminución en la cobertura de manglar en la Bahía de La Paz representa una pérdida del 12.57% de la cobertura total, lo que se traduce en una tasa anual del 2.09%, la cual es tres veces la tasa anual mundial y casi el doble de la tasa anual nacional.

Para poder localizar estos cambios a lo largo de la Bahía de La Paz, el área de estudio se dividió en 5 zonas basándose en su geomorfología y uso de suelo, encontrándose que la zona 5 denominada como pie de montaña fue la zona con mayor pérdida de manglar, presentando una disminución de 12.02 hectáreas de manglar. Esta zona tiene un importante valor paisajístico, recreativo y cultural, debido a que en ella se localiza la playa de Balandra, la cual se ha convertido en un símbolo de la ciudad de La Paz.

## **DEDICATORIA**

A mi madre María Luisa Galeote por además de ser una madre excelente ser mi amiga incondicional, por creer en mí, por apoyarme en todos los momentos de mi vida y porque me enseñó a luchar hasta alcanzar mis sueños.

A mi padre Roberto Frías Palos por inculcarme el amor al estudio, por creer que yo podía salir adelante ante cualquier tormenta y por enseñarme a no quebrarme en los momentos difíciles.

A mis abuelos Ramona Palos Herrera y Roberto Frías que aunque ya no están los sigo amando y agradezco haber podido tenerlos a mi lado.

A mis hermanos Alik y Erick por su amor, amistad y por todos los momentos buenos que pasamos. Los amo!!

A mi sobrino Donovan por ser una luz en mi camino que cada vez me enseña cosas nuevas de la vida.

A las 6 maravillas (Ana, Jazmin, Gaby, Adriana, Anel, Jossef) que aunque dispersas y distantes siempre me han brindado su amistad y cariño y definitivamente una de las mejores etapas de mi vida, gracias!!

A Gaby y Anel que fueron más que mis amigas, mis hermanas, gracias por todos los momentos felices y por su apoyo en los momentos difíciles.

A mis amigos especiales (Alfa, Edgar, Geo, Liz, Mariana, Miriam, Nena, Leo y Ruth) que me apoyaron a mi llegada a esta ciudad de Ensenada y me han enseñado a apreciarla. Gracias por su cariño, consejos, críticas y por todo lo que han compartido conmigo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Alejandro García Gastelum por su paciencia, apoyo y por sus consejos y comentarios en la realización de este trabajo. Mil gracias Alex!!!

A la Dr. Ileana Espejel por brindarme su apoyo económico y moral durante mis estudios de especialidad.

A Juan Carlos Ramírez por su paciencia y su ayuda en la elaboración de este trabajo.

A Carlos Sánchez porque sin él no hubiera llegado aquí, gracias por tus enseñanzas y el tiempo brindado durante mi formación en la U.A.B.C.S.

A Octavio Aburto Oropeza por facilitarme artículos y documentos para la realización de este trabajo.

A Andrea Saenz por su apoyo y por impulsar mi desarrollo profesional, la responsable en gran medida de mi decisión de estudiar la especialidad en Gestión Ambiental. Tu apoyo y consejos significaron mucho para mí, gracias!!

A todos y cada uno de mis maestros durante la Especialidad en Gestión Ambiental y durante mi carrera universitaria por compartir sus conocimientos e impulsarme a aprender nuevas cosas.

A todos mis amigos y compañeros que no he mencionado, no por falta de memoria, si no de espacio, por haberme brindado su apoyo, cariño, risas y sabiduría.

## Índice

1. Introducción .....	1
2. Antecedentes .....	7
3. Area de estudio .....	8
4. Objetivos.....	12
A.    Objetivo general:.....	12
B.    Objetivos específicos: .....	12
5. Justificación .....	12
6. Métodos .....	13
6.1    Procesamiento digital.....	14
Georeferenciación .....	14
A)    Ortorectificación de imágenes aster .....	14
A.1. Creación del proyecto.....	14
A.2. Extracción de las bandas 1, 2 y 3n (extracción de imágenes). .....	15
A.3. Ortorectificación.....	15
6.1.1    Mejoramiento visual de imágenes aster .....	15
A)    Imagen en falso color.....	16
B)    Realce de imagen .....	17
6.1.2    Generación de mosaico .....	18
A)    Proceso de enmascaramiento .....	18
B)    Creación de mosaico .....	18
6.2    Creación del sistema de información geográfica (sig).....	19
6.3    Fotointerpretación .....	19
6.4    Zonificación del área de estudio .....	19
6.5    Procesamiento de datos.....	20

7	Resultados y Discusión.....	20
7.1	Procesamiento de imágenes .....	20
7.2	Sistemas de información geográfica .....	24
7.3	Zonación .....	24
7.4	Estimación del cambio de uso de suelo .....	25
7.4.1	zona 1. Barra arenosa.....	27
7.4.2	zona 2 Planicie costera.....	30
7.4.3	zona 3 Planicie costera y área agrícola .....	33
7.4.4	zona 4. Zona urbana.....	36
7.4.5	zona 5. Pie de montaña .....	38
8	Conclusiones.....	43
9	Bibliografía.....	44

## Índice de Tablas y Figuras

TABLA 1 SERVICIOS AMBIENTALES DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR (BARBIER, 1994 Y COSTANZA, 1997, CON MODIFICACIONES) .....	3
FIGURA 1 LOCALIZACIÓN DE LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S. DELIMITANDO EL ÁREA DE ESTUDIO EMPLEADA EN EL PRESENTE TRABAJO. IMAGEN ASTER ELABORADA EN ARC GIS 9. ELABORACIÓN PROPIA.....	11
FIGURA 2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO EN LA EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA DE MANGLAR EN LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S.....	13
FIGURA 3 LA FIGURA 3A ES UNA IMAGEN ASTER EN FALSO COLOR SIN GEOREFERENCIAR. FIGURA 3B MUESTRA UNA IMAGEN ASTER ORIGINAL GEOREFERENCIADA.....	21
FIGURA 4 EN LA IMAGEN A SE MUESTRA LA BAHÍA DE LA PAZ DEL AÑO 2002 IMAGEN SIN TRATAMIENTO DE MEJORAMIENTO VISUAL, MIENTRAS QUE LA IMAGEN B ES LA RESULTANTE DEL TRATAMIENTO VISUAL.Y COMPOSICIÓN EN FALSO COLOR.....	22
FIGURA 5. IMÁGENES ASTER DEL AÑO 2008 QUE COMPOENEN LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S. ANTES DEL PROCESO DE ENMASCARAMIENTO Y MOSAICO. ....	23
FIGURA 6. MOSAICO Y ENMASCARAMIENTO DE IMÁGENES ASTER QUE CONFORMAN LA BAHÍA DE LA PAZ DEL AÑO2008.....	24
FIGURA 7 ZONIFICACIÓN DE LA BAHÍA DE LA PAZ.....	25
FIGURA 8. GRÁFICO DEL CAMBIO DE COBERTURA DE MANGLAR EN LA BAHÍA DE LA PAZ ENTRE LOS AÑOS 2002 Y 2008.....	26
FIGURA 9. IMAGEN QUE MUESTRA LA SUPERFICIE CUBIERTA DE MANGLAR (LÍMITE ROJO) EN EL AÑO 2002 PARA LA ZONA 1. BARRA DE ARENA “EL MOGOTE” .....	28
FIGURA 10. IMAGEN QUE MUESTRA LA SUPERFICIE CUBIERTA DE MANGLAR (LÍMITE AMARILLO) EN EL AÑO 2008 PARA LA ZONA 1. BARRA DE ARENA “EL MOGOTE” .....	29
FIGURA 11. DIFERENCIA EN LA COBERTURA DE MANGLAR DE LA ZONA 1 DE LOS AÑOS 2002, 2008 DE LA BAHÍA DE LA PAZ. ....	30
FIGURA 12. IMAGEN QUE MUESTRA LA SUPERFICIE CUBIERTA DE MANGLAR (ROJO) EN EL AÑO 2002 PARA LA ZONA 2. PLANICIE COSTERA. DESTACANDO EL MANGLAR ZACATECAS.....	31
FIGURA 13. IMAGEN QUE MUESTRA LA SUPERFICIE CUBIERTA DE MANGLAR (AMARILLO) EN EL AÑO 2008 PARA LA ZONA 2. PLANICIE COSTERA. ....	32

FIGURA 14. DIFERENCIA EN LA COBERTURA DE MANGLAR DE LA ZONA 2 DE LOS AÑOS 2002, 2008 DE LA BAHÍA DE LA PAZ. ....	33
FIGURA 15. IMAGEN QUE MUESTRA LA ZONA 3. PLANICIE COSTERA Y ÁREA AGRÍCOLA EN EL 2002. SIENDO EL ÚNICO PARCHE DE MANGLAR (POLÍGONO ROJO EN LA COSTA) EL CONOCIDO COMO “EL ZACATAL” .....	34
FIGURA 16. IMAGEN QUE MUESTRA LA ZONA 3. PLANICIE COSTERA Y ÁREA AGRÍCOLA EN EL 2008. SIENDO EL ÚNICO PARCHE DE MANGLAR (POLÍGONO AMARILLO EN LA COSTA) EL CONOCIDO COMO “EL ZACATAL” .....	35
FIGURA 17. DIFERENCIA EN LA COBERTURA DE MANGLAR DE LA ZONA 3 DE LOS AÑOS 2002, 2008 DE LA BAHÍA DE LA PAZ. ....	35
FIGURA 18. IMAGEN QUE MUESTRA LA ZONA 4. ZONA URBANA EN EL 2002. SIENDO EL MANGLAR DEL CONCHALITO (POLÍGONO ROJO) EL MÁS DESTACADO Y CASI EL ÚNICO QUE SOBREVIVE A LA ZONA URBANA. ....	36
FIGURA 19. IMAGEN QUE MUESTRA LA ZONA 4. ZONA URBANA EN EL 2008. SIENDO EL MANGLAR DEL CONCHALITO (POLÍGONO AMARILLO) EL MÁS DESTACADO Y CASI EL ÚNICO QUE SOBREVIVE A LA ZONA URBANA.....	37
FIGURA 20. DIFERENCIA EN LA COBERTURA DE MANGLAR DE LA ZONA 4 DE LOS AÑOS 2002, 2008 DE LA BAHÍA DE LA PAZ. ....	38
FIGURA 21. IMAGEN QUE MUESTRA LA ZONA 5. PIE DE MONTAÑA EN EL 2002. SE PUEDE OBSERVAR EL MANGLAR DE BAHÍA BALANDRA Y ENFERMERÍA. ....	39
FIGURA 22. IMAGEN QUE MUESTRA LA ZONA 5. PIE DE MONTAÑA EN EL 2008. SE PUEDE OBSERVAR EL MANGLAR DE BAHÍA BALANDRA Y ENFERMERÍA. ....	40
FIGURA 23. DIFERENCIA EN LA COBERTURA DE MANGLAR DE LA ZONA 4 DE LOS AÑOS 2002, 2008 DE LA BAHÍA DE LA PAZ .....	41
FIGURA 24. GRÁFICA POR ZONA DE ESTUDIO QUE MUESTRA LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA DE MANGLAR ENTRE LOS AÑOS 2002 Y 2008 EN BAHÍA DE LA PAZ.....	42

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, una de las principales causas del deterioro en los ecosistemas costeros es el cambio de uso de suelo, debido a la modificación del paisaje por la remoción de la vegetación, producidos por cambios de uso de suelo, desmontes con fines agrícolas y pecuarios y por la pérdida de cubierta vegetal por pastoreo, sobreexplotación de mantos acuíferos, minería, aprovechamiento de especies vegetales como combustible y el crecimiento de la mancha urbana. El uso de suelo es una actividad humana influenciada por factores económicos, políticos, culturales, históricos y de ocupación del espacio; todos ellos identificables a múltiples escalas (Bermúdez, 2004).

El cambio de uso de suelo se entiende como el cambio o variación (incremento/decremento) en una extensión geográfica con una asignación de uso de suelo previa, su evaluación implica la identificación de las diferencias entre características de la superficie del suelo ocasionadas por actividades antropogénicas y la diferencia entre las características por su variación natural, que pudieran ser encontradas entre dos fechas de comparación (Bermúdez, 2004).

A causa de estos cambios la diversidad biológica que es uno de los pilares básicos del desarrollo sostenible, hoy sufre una amenaza inminente. La mayor parte de la biodiversidad del planeta reside en países en vías de desarrollo, zonas que están experimentando un rápido crecimiento de su población y por tanto un cambio en su entorno (Admin, 2007).

Los manglares a nivel mundial están desapareciendo rápidamente, no obstante que claramente han sido documentados los servicios ambientales que presentan y la gran diversidad de peces presentes en ellos de importancia comercial y recreativa (González *et al.*, 2006). Los servicios ambientales, se definen como el conjunto de condiciones y procesos naturales que ofrecen los ecosistemas por su simple existencia y que la sociedad puede utilizar para su beneficio (reconociendo a su vez que la obtención de dichos beneficios implica costos ambientales). Entre estos servicios se pueden mencionar algunos como la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de germoplasma, la estabilidad climática, la conservación de ciclos biológicos y el valor derivado de su belleza y significado cultural. (Sajurjo, 2001)

Hasta ahora, más de 50 por ciento de los manglares del mundo han desaparecido. Históricamente se consideraba que 75 por ciento de la línea de costa de los trópicos estaba cubierta por manglar. De ese total queda 25 por ciento (Farnsworth *et al.*, 1997). Las causas

principales de esta deforestación acelerada, de acuerdo con los autores, es el reclamo de los espacios que ocupan estos ecosistemas para la expansión de ciudades, actividades agrícolas, desarrollos turísticos y granjas de cultivo de camarón (Gobierno de Campeche, Secretaría de Ecología, 2008).

México se ubica en el quinto lugar de países con mayor extensión de bosques de manglar en el mundo, teniendo más de 50 000 Has. (FAO, 2007).

La distribución de manglares en México es extensa y se da tanto en los litorales del Océano Pacífico y Golfo de California, como del lado del Atlántico (Golfo de México y Mar Caribe), haciéndose notar que hacia el norte, se encuentra en nuestro país el límite biogeográfico septentrional de su distribución. Hay bosque de manglar en prácticamente todos los Estados costeros de México (Gobierno de Campeche, Secretaría de Ecología, 2008).

La costa tiene un gran peso en la economía y en el medio ambiente, estando el uso de los recursos muy diversificado. Dado el valor económico de estos recursos y la demanda social existente, no es raro que existan conflictos entre diferentes usos (actividades recreativas, turismo, zonas urbanas, industria, pesca, acuicultura) que ocupan un mismo espacio. Es por esto, que algunos organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) o la UNESCO destacan la importancia de suscitar un desarrollo ecológicamente duradero en las zonas costeras, de manera que se asegure un crecimiento económico, que no vaya acompañado de un deterioro inaceptable del medio ambiente. (Altuna, 2004).

Nuestro país ha suscrito y ratificado acuerdos internacionales para la conservación de los humedales costeros, lo cual hace necesario instrumentar mecanismos que hagan compatible el aprovechamiento sustentable de estos ecosistemas con su conservación y restauración. A nivel federal se publicó en Abril del 2003 La Norma Oficial Mexicana NOM022 SEMARNAT 2003, teniendo por objeto establecer las especificaciones que regulen el aprovechamiento sustentable en humedales costeros para prevenir su deterioro, fomentar su conservación y, en su caso, su restauración.

En términos de lo dispuesto por el Reglamento de la Ley Forestal, se define para los efectos de la propia ley a la superficie con vegetación de humedales costeros (con énfasis en los bosques de manglar) como zonas de conservación y que, por sus características físicas y biológicas están sometidas a un régimen de protección y aprovechamiento restringido siempre que no se ponga en riesgo el suelo, la calidad de agua y la biodiversidad (Diario Oficial de la Federación, 2003).

Sin embargo en el Diario Oficial del 7 de mayo de 2004, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales publicó el "acuerdo que adiciona la especificación 4.43 que establece que la

prohibición de obras y actividades estipuladas en los numerales 4.4 y 4.22 y los límites establecidos en los numerales 4.14 y 4.16 podrán exceptuarse siempre que en el informe preventivo o en la manifestación de impacto ambiental, según sea el caso se establezcan medidas de compensación en beneficio de los humedales y se obtenga la autorización de cambio de uso de suelo correspondiente (Diario Oficial de la Federación, 2004).

La falta de vinculación entre los procesos ecológicos y los beneficios económicos que se reciben de estos, ha favorecido actividades económicas que han reducido la cobertura del manglar alarmantemente y ha resultado en costos sociales elevados. Entre ellos el daño irreparable que sufren las pesquerías por la pérdida de manglares ha sido poco atendido y subestimado (Aburto *et al.*, 2008).

El ecosistema de bosque de manglar satisface un número importante de funciones y provee una amplia gama de servicios a niveles locales y nacionales. Los manglares soportan la conservación de la diversidad biológica ya que proporcionan hábitats, áreas de reproducción y área de crianza para numerosas especies (FAO, 2007).

Estos bosques costeros también influyen en la estructura de comunidades marinas vecinas, incrementando la biomasa de especies de peces e invertebrados comerciales que viven parte de su ciclo de vida en los manglares (Aburto *et al.*, 2008).

Tabla 1 Servicios ambientales del ecosistema de manglar (Barbier, 1994 y Costanza, 1997, con modificaciones)

Protección contra inundaciones, huracanes y efecto del oleaje
Control de la erosión de la línea de costa y cuencas
Soporte biofísico a otros ecosistemas costeros .
Proveedor de áreas de crianza, reproducción y alimentación de especies de importancia comercial
Mantenimiento de la biodiversidad
Trampas y almacenamiento de material orgánico, nutrientes y contaminantes ~ Exportación de material orgánico
Pilar de la resistencia de sistemas costeros adyacentes .
Producción de oxígeno
Lavadero de CO2
Trampa de agua dulce y recarga de mantos freáticos
Formación de suelos; mantenimiento de fertilizantes
Regulación de clima local y global
Hábitat temporal o total de especies de importancia comercial para la pesca
Mantenimiento de calidad de agua para actividades acuícolas
Valores culturales, espirituales y religiosos asociados
Fuente de inspiración artística
Fuente de información científica

(Gobierno de Campeche, Secretaría de Ecología, 2008).

En el golfo de California, la Bahía de La Paz representa un importante capital ecológico debido a su privilegiada situación geográfica, la protección que ofrece contra fenómenos meteorológicos, la abundancia de sus recursos naturales y su innegable belleza que propiciaron que en este lugar se estableciera y desarrollara la ciudad de La Paz hace más de 400 años, desde entonces, sus aguas, costas e islas han sido fuente de sustento para sus habitantes. (Urbán y Ramírez, 1997).

El crecimiento de la ciudad de La Paz ha aumentado debido a los recursos naturales que le rodean. Una de las grandes riquezas que posee La Paz es el océano, el cual sustenta un número importante de recursos, como son las pesquerías y el turismo (López y Sala, 2005).

Después de 1950 La Paz se convirtió en uno de los principales destinos turísticos. La ciudad atrajo turismo nacional e internacional ofreciendo un lugar con la posibilidad de realizar diversas actividades en un escenario natural (López y Sala, 2005).

La ciudad experimentó un periodo de rápido crecimiento después de 1960; como consecuencia de este acelerado crecimiento se hizo notable la carencia de servicios básicos para la población en los alrededores de la ciudad que presentaba asentamientos irregulares y una falta de planeación. Esta situación provocó severos problemas ambientales.

La Ensenada de La Paz o Ensenada de Aripes comenzó a mostrar signos de contaminación y modificación de la zona costera debido al incremento en las actividades humanas. Esto alternadamente causó cambios dramáticos en la costa local, así como en la biodiversidad marina (López y Sala, 2005).

Para poder estimar los cambios en los bosques de manglares se hace uso de herramientas tales como los sensores remotos, su uso en aplicaciones sobre recursos naturales es cada vez mayor, dado que proporcionan información confiable sobre superficies extensas con alta precisión y costos razonables. El uso de sensores remotos ha jugado un importante rol en la construcción de mapas, planos, interpretación de recursos y sus superficies, planificación territorial y estudios urbanos. La tendencia actual es hacia el incremento de su utilización dado el avance tecnológico, el desarrollo de la computación y bajos costos de obtención de imágenes (Altuna, 2004).

Los sensores remotos o teledetección es la ciencia de adquirir la información sobre la superficie de la tierra sin realmente estar en contacto con ella. Este sistema funciona detectando y registrando la energía reflejada o emitida por objetos o superficies y posteriormente dicha información será procesada y analizada para su aplicación. En este proceso el sol funciona como fuente de energía electromagnética, la cual hace llegar a la superficie de la tierra y en función de

las características que presenta la superficie, parte de esa energía será absorbida o emitida haciéndola llegar al sensor (ubicado en satélites), que coleccionará y registrará la radiación electromagnética que posteriormente es procesada por la estación en imágenes digitales para su interpretación que finalmente será aplicada para el mejor entendimiento del área, registrar cambios o revelar nueva información en distintas áreas de estudio ( Natural Resources Canada, 2008; CSA, 2007)

Uno de estos sensores utilizado actualmente es el sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), el cual es un sensor multiespectral avanzado, puesto en órbita por la NASA y el Ministerio de Comercio e Industria de Economía japonesa en 1999. Dicho sensor está montado en el satélite TERRA y captura datos de alta resolución espacial, espectral y radiométrica en 14 bandas, del visible (resolución espacial de 15 metros) a las longitudes de onda infrarrojas termales. Las imágenes pueden ser capturadas para un mismo punto de La Tierra cada 16 días y cada imagen cubre una zona de 61.5 km x 63 km (NASA 2004 y Aster's Users Guide, 2003).

Las características de las imágenes ASTER las hacen adecuadas para estudios de amplia diversidad a una escala semi-detallada de trabajo, permitiendo su uso para la investigación en campos de la ciencia como climatología, vegetación, dinámica de ecosistemas, geología, hidrología, monitoreo de riesgos y uso de suelo. Ejemplo de aplicación de imágenes ASTER son mapas de temperatura y reflectividad empleando su amplio rango espectral y datos de elevación (NASA 2004).

El sensor ASTER se planteó como una iniciativa de observación de la Tierra enfocada originalmente al sector científico y académico (Pérez y Sánchez, 2006), por lo que son este tipo de imágenes las que se utilizaron para la realización de este trabajo.

Dada la importancia actual de difundir los conocimientos de una manera rápida y homogénea surgen con mayor importancia cada vez, los Sistemas de Información Geográfico (SIG) particularmente en los procesos de planificación en donde son coleccionados y analizados sistemáticamente datos para evaluar alternativas en la toma de decisiones.

El profesor David Rhind en Díaz y Candeaux, (1997) definió a los SIG en los siguientes términos:

Es un sistema de hardware, software y procedimientos, diseñados para soportar la captura, el manejo, la manipulación, el análisis, el modelado y el despliegue de datos espacialmente

referenciados (georeferenciados), para la solución de los problemas complejos del manejo y planeamiento territorial".

El desarrollo de la cartografía temática a nivel mundial, en el marco de los avances notables que han alcanzado las técnicas de computación y los sensores remotos, ha producido que estas tres tecnologías se acerquen cada día más para provocar su fusión en los SIG. Estos sistemas se han establecido como herramientas fundamentales en la toma de decisiones que involucran al espacio geográfico en temas como el medio ambiente y la planificación territorial, tanto en los países de economía planificada como en los de mercado (Díaz y Candeaux, 1997; Altuna, 2004)

Las notables ventajas del uso del SIG incluyen la habilidad de disponer rápidamente de la información, el poder realizar análisis comparativos, manipular la información y tenerla disponible para quién la requiera. Adicionalmente el SIG provee facilidad de almacenar y recuperar datos y ofrece una opción económica para monitorear las condiciones del manglar a lo largo del tiempo (Kairo *et. al.*, 2002). La utilidad final de SIG junto con los sensores remotos como instrumento radica en su capacidad para elaborar modelos, es decir, reproducir fenómenos del mundo real a partir de las bases de datos digitales y utilizarlos para simular el efecto de un proceso concreto en el tiempo y espacio. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que influyen en ellas, o para exponer las posibles consecuencias de las decisiones o proyectos de planificación que repercuten en la utilización y ordenamiento de los recursos (Altuna, 2004).

Mucha de la interpretación e identificación de objetivos en imágenes de sensores remotos es realizada de forma manual o visualmente, por la interpretación humana (fotointerpretación). En muchos casos esto se hace usando una proyección en un formato tipo fotografía o imagen, independientemente de que tipo de sensor fue usado para coleccionar el dato y como fueron coleccionados. Se pueden realizar análisis automáticos del objetivo, sin embargo estos a menudo son complementarios y se usan para asistir al analista (Natural Resources Canada, 2008).

Generalmente la interpretación requiere de poco o ningún equipo especializado, mientras que el análisis digital requiere equipo especializado que a menudo es caro. El análisis por computadora ofrece ventajas al manejar imágenes complejas de muchos canales o a partir de varias fechas. En este sentido el análisis digital es útil para analizar simultáneamente muchas bandas espectrales y puede procesar una gran cantidad de fechas mucho más fácil que un intérprete humano. La interpretación manual es un proceso subjetivo ya que el resultado puede variar con diferentes intérpretes. Mientras que el análisis digital es basado en la manipulación de números digitales por medio de la computadora, esto lo hace más objetivo y generalmente resulta en resultados más consistentes. Sin embargo el hecho es que al final del procesamiento la última

decisión en cuanto a utilidad y relevancia de la información está en manos del intérprete o especialistas. (Natural Resources Canada, 2008).

Este proceso conocido como Fotointerpretación es una disciplina, ciencia o arte que tienen su principal aplicación en la elaboración de cartografía básica y temática dirigida a levantamiento fisiográfico y ambiental a través del empleo de fotografías aéreas o imágenes satelitales mediante el análisis e interpretación (Blando, 2003).

## 2. ANTECEDENTES

El valor anual de los ecosistemas del manglar a nivel mundial ha sido estimado en \$1,648 billones de dólares. Se estimó que una hectárea de mangle rojo en el Golfo de California mantiene una productividad pesquera anual de unos 37 mil dólares y calculando el valor a largo plazo de este ecosistema para una generación poblacional (30 años) se estima como superior a los 600 mil dólares, 600 veces más que el valor fijado por el gobierno mexicano para este ecosistema (Greenpeace, 2008; Aburto *et al.*, 2008).

Un kilómetro de franja del mangle contiene entre 0.5 -1.0 hectáreas del hábitat conveniente para los organismos marinos y la productividad anual de la franja del mangle se estima que va de los \$25.000 dólares a los \$50.000 dólares, con un valor medio de \$37.500 dólares (Aburto *et al.*, 2008)

Mientras que Sanjurjo y Welsh (2007) para otras zonas del mundo han estimado el servicio de protección de pesquerías de los manglares en valores que van desde los 77 dólares por hectárea en Nicaragua, 128 dólares por hectárea para Lousiana y 900 dólares por hectárea para la región de Campeche, México.

El valor recreativo de los humedales ha sido estimado en la zona de Nayarit, siendo de 114 dólares por hectárea, sin embargo cabe aclarar que esto es una subestimación ya que existen paseos por manglares en la zona que no se incluyeron en la estimación (Sanjurjo y Welsh, 2007).

A consecuencia de esta importancia recreacional y paisajística comunidades naturales como los manglares fueron destruidos para dar paso a desarrollos turísticos y habitacionales, algunas especies desaparecieron en consecuencia a la pérdida o alteración de hábitat.

De acuerdo con Whitmore *et al.* (2005) el crecimiento de la ciudad de La Paz condujo a la destrucción de hábitat de muchas especies, una de ellas era la existencia de bosque de manglar que podía encontrarse a lo largo de la costa de la Ensenada de Aripes y la bahía de La Paz.

Las especies de manglar que se encuentran en estas zonas son manglar rojo (*Rizophora mangle*) es el único que está en contacto directo con el agua de mar, mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), y mangle negro (*Avicennia germinans*). Es importante mencionar que estas tres especies de manglar están protegidas por el gobierno mexicano y se encuentran en los listados de SEMARNAT bajo el estatus de protección especial (SEMARNAT, 2002).

Entre 1973 y 1981 hubo una pérdida total de 21% de la cobertura de manglar en la Ensenada de Aripes, mientras el Mogote solo presentó una pérdida de alrededor del 18% provocado por las actividades derivadas del turismo (López y Sala, 2005).

Otros ejemplos de impactos ambientales son la desaparición de extensas camas de almejas que se encontraban en la parte sur de la laguna provocados por una combinación de factores como contaminación, descargas de aguas grises, acumulación de sedimento y pesquerías, los cuales transformaron este lugar en una zona estéril con muy pocos o ningún organismo microscópico (Yoshida, 1978; Fujita, 2003).

Debido a los cambios sufridos en el pasado en la Bahía de La Paz es importante registrar lo que hoy se tiene de recursos naturales, por lo que en este trabajo se estimó la cobertura que ocupa el ecosistema de manglar en la Bahía de La Paz de los años 2002 y 2008, así como el cambio de uso de suelo que ha sufrido la Bahía de La Paz debido a su desarrollo económico y social.

### **3. AREA DE ESTUDIO**

La Bahía de La Paz se localiza en la costa suroccidental del Golfo de California, entre los paralelos 24° 6' y 24° 21' de Latitud Norte y entre los 110° 14' y 110° 30' Longitud Oeste; se ubica en la parte sureste de la Península de Baja California a 200 km de su extremo. Su longitud es de 90 km y su ancho de 60 km, con un área de aproximadamente 4500km<sup>2</sup> y se comunica a través de dos bocas con la parte sur del Golfo de California. Está limitada hacia el oeste y sur por tierra firme. Hacia el norte y oriente por las aguas del Golfo de California y las islas Espíritu Santo y Partida.

El área de estudio para este trabajo cuenta con una superficie de 72.53 km<sup>2</sup> delimitados a partir de la línea de costa, hasta 5 km tierra adentro de la bahía de La Paz en su parte continental con la finalidad de abarcar toda la zona de manglar (figura 1).

### **Meteorología**

El clima en el área es muy seco y cálido. El único aporte de agua dulce lo constituye una precipitación anual promedio de 210 mm. La temporada lluviosa es de agosto a octubre, siendo septiembre el mes más lluvioso (Ramírez, 1994).

En cuanto a los vientos los periodos de calma abarcan la primavera y el verano. Mientras de noviembre a mayo los vientos matutinos soplan del noroeste y los nocturnos del sur. El resto del año predominan los vientos del suroeste, lo que concuerda con el patrón de corrientes del Golfo Inferior. (Ramírez, 1994)

### **Oceanografía**

La bahía de La Paz es profunda en casi toda su extensión (360 m en promedio), sin embargo presenta las profundidades más bajas en la parte sur y las máximas en la parte norte.

En la parte sureste de la bahía se localiza la laguna costera denominada Ensenada de La Paz, de profundidades muy someras y protegida de mar abierto por una barra arenosa, llamada “El Mogote” (Urbán y Ramírez, 1997).

El agua muestra una temperatura media anual de 24.7° C y una salinidad promedio de 36 ‰ (Ramírez, 1994).

El régimen de mareas es mixto semidiurno, con un retraso en la pleamar y bajamar debido al tiempo que tardan las zonas de almacenamiento en llenarse o vaciarse. Las corrientes de marea presentan velocidades máximas en la boca de la Ensenada de La Paz, Canal San Lorenzo y norte de la isla Partida (Urbán y Ramírez, 1997).

### **Geomorfología**

Al sur, la bahía está limitada por la barrera arenosa El Mogote y por depósitos aluviales. En el margen occidental se presentan escarpes de una falla regional que forma parte de la fosa tectónica del Valle de La Paz. En los escarpes afloran rocas sedimentarias terciarias formadas por areniscas y tobos de las Formaciones Tepetate, San Gregorio, y San Isidro, las cuales se encuentran coronadas por derrames de lava y vulcanosedimentos de la Formación Comondú. (Álvarez y Murillo, 1989).

### **Uso de suelo y Vegetación**

Por el predominio de los climas muy secos y su interacción con la litología y el relieve, existen suelos jóvenes y poco desarrollados; estos a su vez en general, tienen baja fertilidad y

presentan limitantes físicas y químicas, Tan sólo el 20% de los suelos son profundos y no tienen limitantes físicas o químicas. La aportación de residuos orgánicos es poca, por lo que se tienen en general, suelos pobres en materia orgánica. La vegetación que predomina es desértica y el uso del suelo está en función del factor agua. En la mayor parte del estado se desarrollan matorrales xerófilos que presentan frecuentemente baja cobertura y están adaptados a la aridez.

El matorral xerófilo es una categoría donde están incluidos un conjunto grande de tipos de vegetación (matorrales rosetófilos, sarcocaulales, crasicaulales, etc.). Vegetación dominada por arbustos, típica de las zonas áridas y semiáridas (de ahí el nombre xerófilo). Se trata del tipo de vegetación más extenso en México. El número de endemismos en estas zonas es sumamente elevado. Debido a la escasez de agua y a que los suelos son pobres y someros, la agricultura se practica en pequeña escala, salvo donde hay posibilidades de riego. Por el contrario, la ganadería está sumamente extendida, y zonas muy grandes de matorral xerófilo están sobrepastoreadas. (González *et. al.*, 2006, INEGI 2005)

### **Demografía**

De acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda 2000 efectuado por el INEGI, la población total del municipio es de 196,907 habitantes, de los cuales 98,813 son hombres y 98,094 son mujeres. Tan solo en la ciudad de La Paz residen más de 100, 000 habitantes. La población total del municipio representa el 46.43 por ciento, con relación a la población total del estado, presentando una densidad poblacional de 9.71 Hab/km<sup>2</sup> (INEGI,2005)

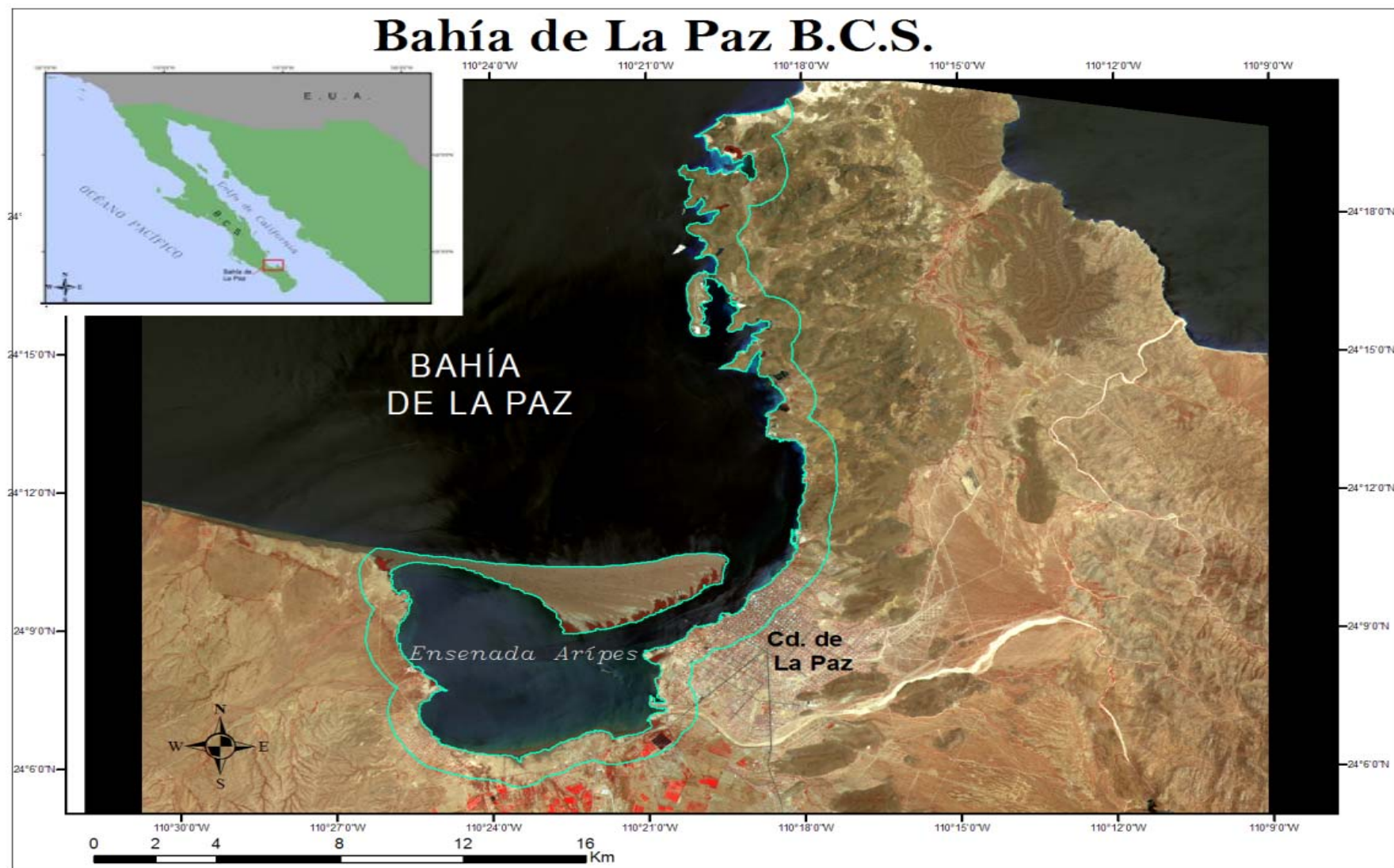


Figura 1 Localización de la Bahía de La Paz, B.C.S. delimitando el área de estudio empleada en el presente trabajo. Imagen ASTER elaborada en Arc Gis 9. Elaboración propia.

## **4. OBJETIVOS**

### **a. Objetivo general:**

Evaluar el cambio en la cobertura de manglar en Bahía de La Paz de los años 2002 y 2008 mediante fotointerpretación de imágenes ASTER

### **b. Objetivos específicos:**

- Realizar el procesamiento digital de las imágenes de satélite ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) del área de La Paz, en georeferenciación espacial, mejoramiento visual y mosaico.
- Elaboración de un Sistema de Información Geográfico escala 1:15,000, para la fotointerpreación y digitalización de las coberturas 2002 y 2008 de la zona de la Paz.
- Estimar las coberturas de manglar de los años 2002 y 2008 en la Bahía de La Paz.
- Estimar el cambio de uso de suelo con ayuda del Sistema de Información Geográfico.

## **5. JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo de ciudades pequeñas provocados por el impulso económico y la actividad turística en diversos sitios de la república mexicana está siendo un punto importante en el cambio de uso de suelo, lo que conduce a un cambio tanto del paisaje como del equilibrio natural y provoca alteraciones en ecosistemas y cadenas tróficas.

Muchas veces se le da más peso al desarrollo turístico que las consideraciones ambientales, es algo que se debe corregir no sólo en México, sino en otros países para lograr un desarrollo en condiciones sustentables para el ambiente.

La raíz de este problema radica en que generalmente los desarrolladores no respetan las medidas de mitigación que marcan las normas, e incluso prefieren pagar multas a sostener y dar mantenimiento a la restitución de áreas naturales (Sarmiento,2008).

Este es el caso de muchos sitios con grandes atractivos naturales que están en la mira de desarrolladores turísticos; por lo que el crecimiento desmedido en pro de la economía hace necesario una evaluación del cambio en los sistemas naturales, así como las repercusiones de estos cambios. Esto se puede llevar a cabo gracias a la avanzada tecnología en sensores remotos que nos permite obtener y comparar imágenes satelitales del mismo sitio en diferente tiempo y así estimar los cambios a diferentes escalas.

## 6. MÉTODOS

La primera fase de este estudio consistió en la adquisición de las imágenes de satélite Aster (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) del área de estudio que fueron proporcionadas por la Universidad Autónoma de Baja California y a continuación se describe el procesamiento que se realizó a las mismas.

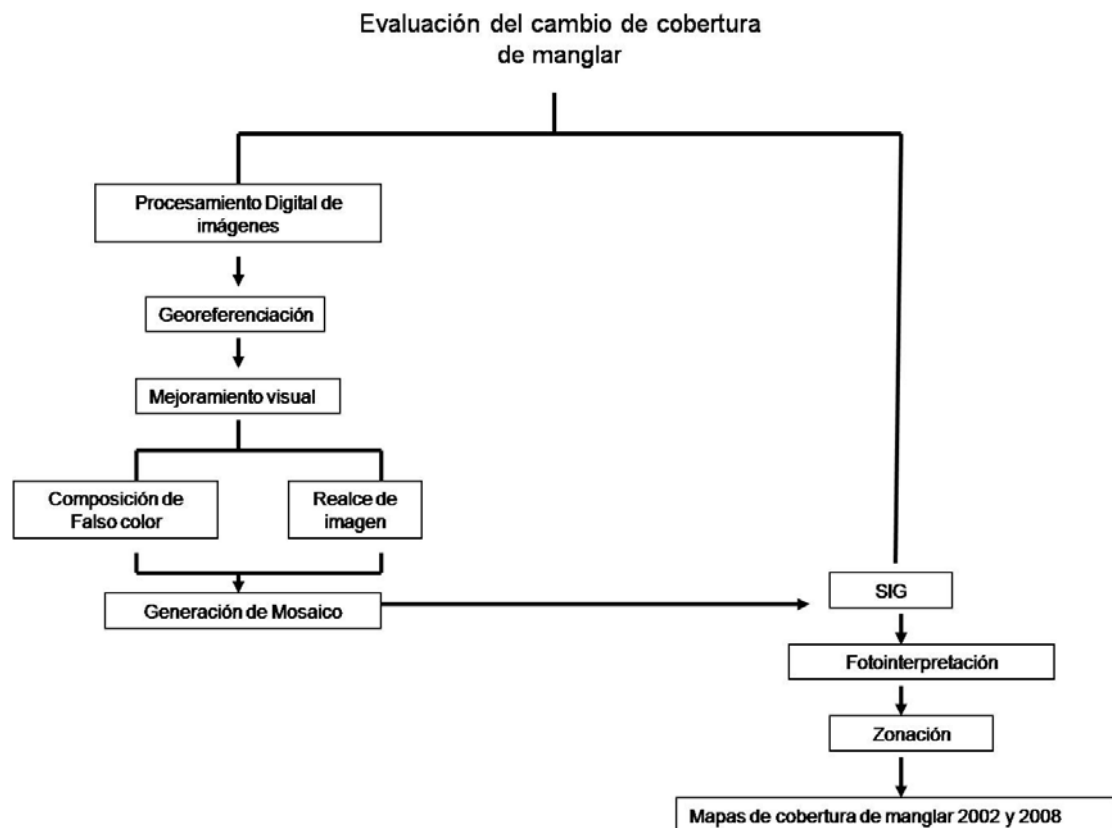


Figura 2 Diagrama de flujo del proceso en la evaluación del cambio de cobertura de manglar en la Bahía de La Paz, B.C.S.

## **6.1 Procesamiento Digital**

El tratamiento digital de la imagen puede implicar procedimientos numerosos incluyendo el formato y corrección de los datos, el realce digital para facilitar una mejor interpretación visual.

### **Georeferenciación**

#### **a) Ortorectificación de imágenes Aster**

Este proceso incluye correcciones radiométricas y geométricas de las imágenes. Las correcciones radiométricas pueden ser necesarias debido a las variaciones en la iluminación de la escena y geometría de la visión, condiciones atmosféricas, y ruido en la respuesta del sensor (Natural Resources Canada, 2008)

La Ortorectificación es el proceso de georeferenciación (corrección geométrica) de la imagen, es decir asignarle una ubicación geográfica a la imagen, incluyendo un tratamiento de eliminación de la distorsión de las imágenes satelitales, mencionado anteriormente como corrección radiométrica. Sin este proceso no sería posible realizar funciones tales como mediciones precisas y directas de distancias, ángulos, posiciones y áreas. El proceso consiste en la corrección geométrica de una imagen para que pueda ser representada sobre un plano, de acuerdo a algún sistema de proyección. Para este estudio se utilizaron los datos de proyección UTM (Universal Transversal de Mercator) Zona 12N, NAD 27 (North American Datum de 1927).

#### **a.1. Creación del Proyecto**

Empleando el programa PCI Geomatica V8.2 con la ayuda de la herramienta OrthoEngine se genera un nuevo proyecto que es la primera fase en la Ortorectificación. Al generar este proyecto se asignan los datos de proyección, tipo de sensor (ASTER) y resolución espacial de las imágenes a procesar.

Debe generarse un proyecto por cada imagen, por lo que para este estudio se crearon tres proyectos que corresponden a la zona de Bahía La Paz, B.C.S., uno para el año 2002 y dos para el año 2008.

### **a.2. Extracción de las bandas 1, 2 y 3N (extracción de Imágenes).**

Este proceso se refiere a extraer los datos de las bandas a utilizar para generar la imagen georeferenciada, para este caso las bandas 1, 2 y 3N. Este es el segundo paso a seguir en la Ortorectificación de una imagen con la ayuda del programa PCI Geomatica V8.2

La extracción de bandas es necesaria en la georeferenciación de una imagen ya que el archivo original contiene una serie de archivos relacionados con la imagen, como los diferentes rangos del espectro electromagnético contenidos en bandas, que detecta el sensor y de las cuales se pueden emplear para la composición de las imágenes y posteriormente darles una referencia geográfica.

### **a.3. Ortorectificación**

Finalmente llegamos al proceso que involucra la Ortorectificación, que es en el cual se asigna una referencia geográfica a la imagen tratada con la ayuda de datos registrados por el sensor como puntos de referencia que sirven en la operación y cálculos para asignar una referencia en la superficie de la tierra, basada en proyecciones universales.

El proceso de registro geométrico implica el identificar las coordenadas de la imagen (fila y columna) de varios puntos claramente perceptibles en la imagen, llamados puntos de control (ó por sus siglas en inglés Ground Control Points "GCPs"), en la imagen cruda y emparejarlo a sus posiciones verdaderas en tierra con coordenadas (e.g. latitud, longitud). Con esta información procesada por la computadora el programa determina las ecuaciones apropiadas de la transformación que se aplican a las referencias originales de la imagen para la asignación de referencia geográfica.

Este proceso se realizó para una imagen de Bahía de La Paz 2002 y dos imágenes de la misma región del año 2008.

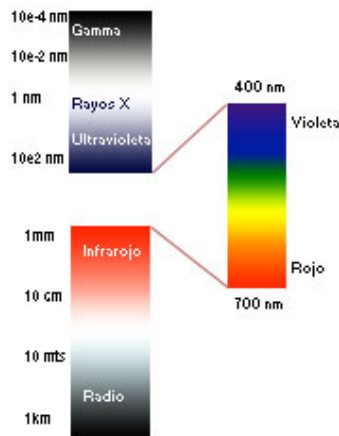
#### ***6.1.1 Mejoramiento visual de Imágenes ASTER***

En este tratamiento interviene una restauración y rectificación de imágenes para corregir las distorsiones radiométricas. Las correcciones radiométricas pueden ser necesarias debido a las variaciones en la iluminación de la escena, distorsión geométrica ó distorsión debido a condiciones atmosféricas (Natural Resources Canada, 2008).

Este procedimiento es con la finalidad de lograr un mejoramiento visual en las imágenes, de manera que sean más claras y se pueda resaltar las características deseadas (vegetación de manglar). Para la realización de este proceso se realizó lo siguiente:

### a) Imagen en falso Color

Si las ondas electromagnéticas se organizan en un continuo de acuerdo a sus longitudes obtenemos el espectro electromagnético en donde las ondas más largas (longitudes desde metros a kilómetros) se encuentran en un extremo (Radio) y las más cortas en el otro (longitudes de onda de una billonésima de metros) (Gamma) (Carvajal, 2002).



La luz blanca está constituida por la combinación de ondas que tienen energías semejantes sin que alguna predomine sobre las otras, es decir, las ondas electromagnéticas para las cuales el ojo humano está adaptado, se encuentran entre longitudes de onda entre los 400 nm (**violeta**) y 700 nm (**rojo**).

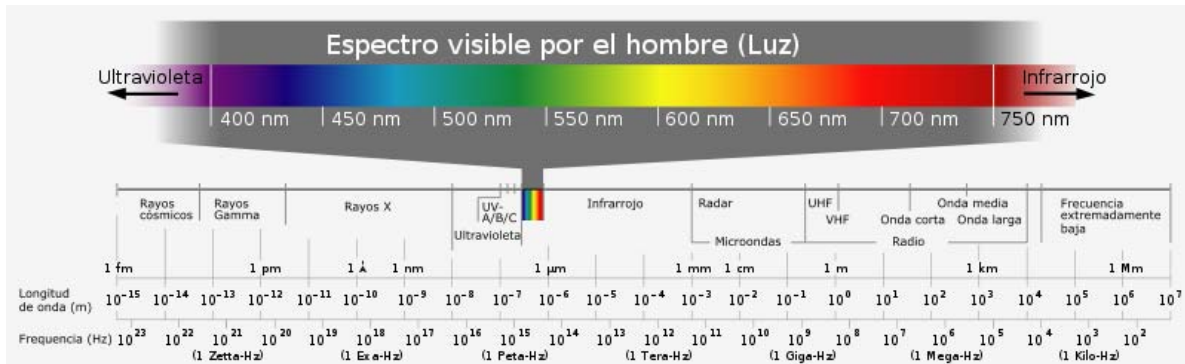
Sin embargo hay varias regiones del espectro electromagnético alrededor de nosotros, las cuales son "invisibles" a nuestros ojos, pero pueden ser detectadas por otros instrumentos de teledetección y utilizarse en estudios científicos, aplicándose en diversos campos del conocimiento.

El sensor ASTER está compuesto por tres subsistemas VNIR (Visible and Near Infrared), SWIR (Shortwave Infrared) y TIR (Thermal Infrared).

El subsistema VNIR obtiene imágenes del visible e infrarrojo cercano que abarcan de 0.52 a 0.86  $\mu\text{m}$  en la banda del espectro electromagnético. Los subsistemas SWIR y TIR obtienen información del infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico respectivamente (Natural Resources Canada, 2008; Digital Elevation Models, 2003)

La banda 1 del sensor ASTER abarca del 0.52 a 0.60  $\mu\text{m}$  que es la longitud de onda que corresponde al color verde y amarillo. La banda 2 abarca del 0.63 a 0.69  $\mu\text{m}$  que es la longitud de

onda que corresponde al color rojo, y la banda 3 abarca del 0.78 a 0.86  $\mu\text{m}$  que corresponde a la longitud de onda del infrarrojo (Vargas, 2007; RS- GeoImage).



Autor: Horst Frank

En imágenes digitales hay dos tipos fundamentales de despliegues de imágenes. Una manera es utilizando una tabla de color en tonos gris, el segundo método, consiste, en generar una imagen de falso color en la cual se seleccionan tres bandas espectrales a las cuales se les asigna uno de los colores primarios (azul, verde y rojo). Esta técnica es bastante útil y comúnmente utilizada para la interpretación de vegetación a partir de una imagen de satélite. La combinación de bandas 3, 2, 1 (R,G,B) que pertenecen al espectro electromagnético visible da una apariencia del color real en algunos sensores.

Para la generación de estas imágenes se realiza lo siguiente:

Las imágenes se trabajan en el programa E.R. Mapper 6.3 y se realiza la composición de una imagen en falso color haciendo uso de las bandas 1, 2 y 3 que corresponden al espectro electromagnético visible verde, rojo e infrarrojo respectivamente, en el caso del sensor ASTER. La información de cada banda la posee la imagen original, la cual trae archivos adjuntos que corresponden a las bandas. El orden en que se acomoden estas bandas es importante para que cada banda pase por el filtro del color correspondiente, este orden es 3,2,1 (filtros de color rojo, verde y azul); es decir, que el filtro rojo corresponderá con la banda 3, el filtro verde con la banda 2 y el filtro azul con la banda 1.

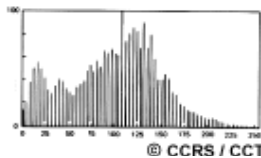
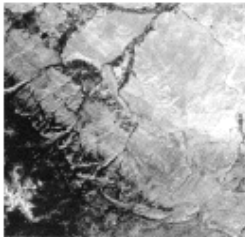
Este proceso se realizó para una imagen correspondiente a la zona de La Paz, B.C.S. del año 2002 y dos imágenes del año 2008.

## b) Realce de Imagen

En imágenes crudas, los datos útiles se distribuyen a menudo solamente una pequeña porción de la gama disponible de valores digitales (0 a 256). El realce del contraste implica el

cambiar los valores originales (valores mínimos y máximos) para utilizar de manera óptima la gama disponible de valores, de tal modo que se aumente el contraste entre los objetos de estudio y su entorno (Natural Resources Canada, 2008).

La clave para entender el realce de imagen consiste en entender el concepto de un histograma de la imagen. Un histograma es una representación gráfica de los valores del brillo que abarcan una imagen. Los valores del brillo (es decir 0-255) se exhiben a lo largo del eje x del gráfico y la frecuencia de la ocurrencia de cada uno de estos valores en la imagen se muestra en el eje y.



Por lo que el realce de imagen consiste en identificar los valores mínimos y máximos del histograma (figura a la izquierda, abajo) registrados en la zona de interés (contraste de estiramiento lineal), que para este estudio son los bosques de manglar. Por lo que manipulando la gama de valores digitales en una imagen, representada gráficamente por su histograma, podemos aplicar varios realces a los datos (E.R.Mapper 6.3 User Guide).

Este proceso se realizó para una imagen correspondiente a la zona de Bahía La Paz, B.C.S. del año 2002 y dos imágenes del año 2008.

### **6.1.2 Generación de Mosaico**

#### **a) Proceso de Enmascaramiento**

El proceso de enmascaramiento nos permite seleccionar solo el área de la imagen que contiene información visual de interés, dicho de otra manera recortar la imagen sin marco. Este proceso se tuvo que realizar para las 2 imágenes del 2008, ya que entre las dos conforman el área de estudio.

Esto se realiza empleando el programa E.R. Mapper 6.3 con la ayuda de la herramienta “Algorithm”, donde se crea una región, que será el área de interés, y posteriormente se pide al programa que guarde una imagen que solo contenga la información de esta región.

#### **b) Creación de Mosaico**

El proceso de creación de Mosaico es el proceso mediante el cual se unen dos imágenes continuas en una sola. Este tratamiento se tuvo que aplicar a las imágenes de la zona de La Paz 2008 ya que el área de interés no se obtuvo en una sola imagen.

La generación del mosaico se realiza en el programa E.R. Mapper 6.3 uniendo las imágenes previamente enmascaradas, que para este caso fueron las correspondientes al año 2008.

## **6.2 Creación del Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Para la elaboración del SIG (Sistema de Información Geográfico) se usó el programa ArcGIS 9.

En dicho programa se crea un nuevo proyecto, donde se cargan las imágenes de satélite que fueron tratadas anteriormente.

Se define el área de estudio, considerada en una franja de 5 km desde la línea de costa hacia tierra. Se seleccionó esta distancia debido a que lo que se pretende medir es la cobertura del manglar y éste no rebasa dicha distancia.

Una vez que tenemos las imágenes en el proyecto y definida el área de estudio se procede a digitalizar la información de la zona de manglares para cada año (2002 y 2008).

En un ambiente digital donde todas las fuentes de datos se colocan geométricas a un campo común, la base geográfica, el potencial para la extracción de información es amplia. Éste es el concepto para el análisis dentro de una base de datos digital del sistema de información geográfica (Natural Resources Canada, 2008).

## **6.3 Fotointerpretación**

Una vez generado el proyecto en el SIG, se identificaron las zonas de manglar de cada imagen, siendo el primero en generarse el del año 2002 y después el del año 2008. Esto se hace teniendo de base la imagen de satélite en la cual se generan polígonos que corresponden a vegetación de manglar con una escala de trabajo de 1:15,000. Esta escala se eligió debido a que es la mayor escala a la que se puede trabajar con las imágenes del sensor Aster teniendo una buena resolución, además para conservar el mismo criterio en la digitalización.

## **6.4 Zonificación del Área de Estudio**

El área de estudio fue dividida en 5 zonas en base a su geomorfología y uso de suelo para estimar la cobertura de vegetación de manglar en cada una y observar las diferencias de la distribución en base al uso de suelo.

Zona 1. - Barra de arena

Zona 2. - Planicie costera

Zona 3. - Planicie costera y área agrícola

Zona 4. - Zona urbana

Zona 5. - Pie de montaña

## **6.5 Procesamiento de datos**

Una vez generados los polígonos de manglar bien ubicados y rectificadas de los dos años (2002 y 2008) se calculó el área de cada uno de los polígonos en hectáreas. Después se hizo una sumatoria de todos los polígonos que corresponden al año 2002 y lo mismo para el año 2008 y de esta manera obtener la cobertura total de vegetación de manglar para cada año.

Una vez que se realizaron estas operaciones se calculó la diferencia de coberturas entre el año 2002 y el año 2008.

Se realizó también el cálculo de cobertura de manglar por cada una de las zonas para los dos años (2002 y 2008) con la finalidad de detectar en que zona ha habido mayor cambio, así como estimar los cambios en todas las zonas.

## **7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **7.1 Procesamiento de Imágenes**

El procesamiento digital de imágenes de satélite es una herramienta comúnmente usada en estudios de vegetación, especialmente en áreas muy extensas y de difícil acceso (Kairo *et al.*, 2002). Nos proporcionan una visión a diferentes escalas, lo que nos permite identificar las zonas de bosques de manglar en un área de 4500km<sup>2</sup> que comprenden la bahía de La Paz, B.C.S.

La primera fase de este trabajo consistió en el procesamiento de las imágenes, se obtuvieron imágenes de la Bahía de La Paz en crudo de los años 2002 y 2008 a través de la UABC, las cuales se sometieron a los procesos de georeferenciación, mejoramiento visual y generación de mosaico (este último sólo para imágenes del año 2008), todas las imágenes empleadas en el presente trabajo se sometieron a dichos procesos. Ver Fig. 2.

La Georeferenciación de imágenes fue el primer proceso que se llevo a cabo, ya que mediante este se logró obtener una imagen con referencia espacial UTM de la Bahía de La Paz del año 2002, y dos imágenes con referencia espacial UTM de la misma zona para el año 2008. Este

proceso permite la corrección geométrica de las imágenes, como se puede observar en la figura 3 donde la imagen sin georeferencia (3A) está derecha y cuando vemos la misma imagen georeferenciada (3B) se observa la imagen girada, notándose más el cambio en la línea costera.

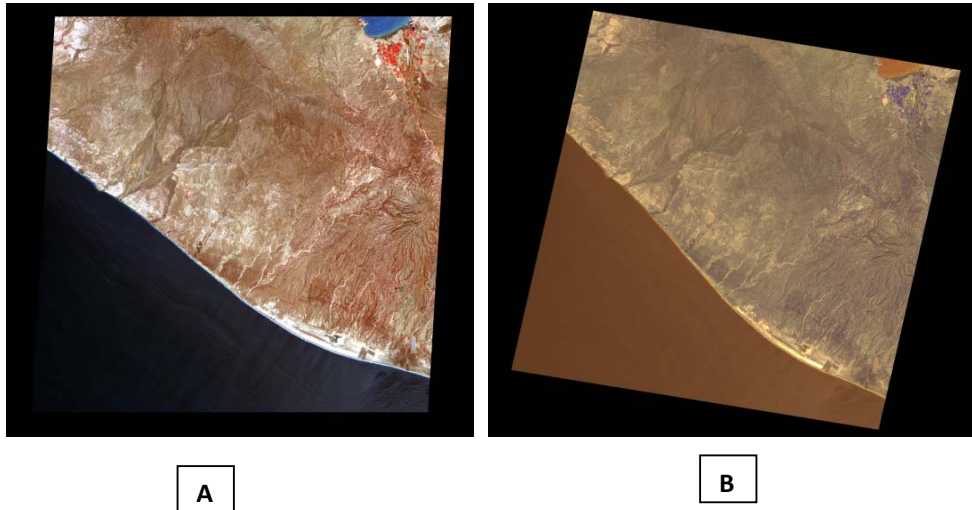


Figura 3 La figura 3A es una imagen ASTER en falso color sin georeferenciar. Figura 3B muestra una imagen ASTER original georeferenciada.

Por otra parte es importante señalar que las fases de realce de imagen y composición en falso color (figura 4B) es una parte indispensable en el proceso de las imágenes para lograr resaltar las características visuales deseadas, en este caso particular, las áreas cubiertas de vegetación de manglar; hay que tomar en cuenta que cuando se realiza el realce de imagen se esté viendo con acercamiento la zona de interés, ya que el histograma varía dependiendo el área desplegada. Esto nos permitió identificar con mayor facilidad la vegetación de manglar, ya que resalta la información en color rojo (manglar), además este proceso también ayuda a obtener una mejor nitidez y eliminar distorsiones de las imágenes originales. Se pueden apreciar las diferencias entre ambas en la figura 4, donde la figura 4B resalta las zonas con vegetación en color rojo, mientras que en la figura 4A se observa la vegetación en un tono morado, perdiéndose en las costa por el color oscuro del mar.

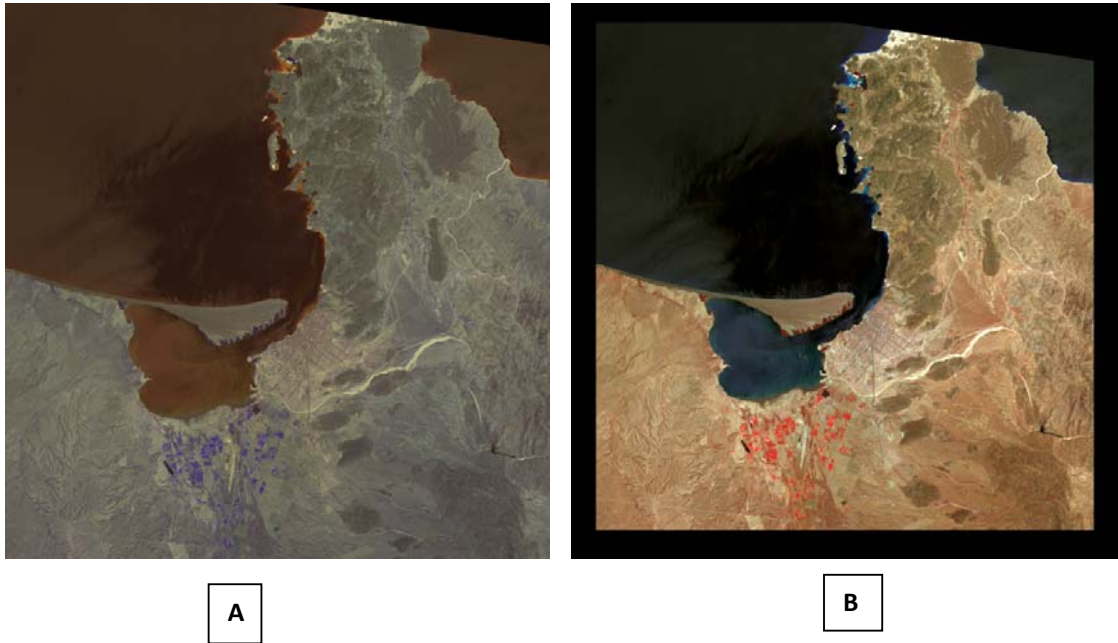


Figura 4 En la imagen A se muestra la Bahía de La Paz del año 2002 imagen sin tratamiento de mejoramiento visual, mientras que la imagen B es la resultante del tratamiento visual.y composición en falso color.

La mayoría de los satélites que ofrecen imágenes multispectrales disponen de sensores sensibles a diversas bandas del espectro electromagnético. Así, en el campo de la radiación visible (que va del azul al rojo pasando por el verde), los satélites disponen de sensores sensibles a tres bandas espectrales: el azul, el verde y el rojo, sin embargo este no es el caso de ASTER, ya que el rango mínimo que registra es de  $0.52 \mu\text{m}$ , el cuál corresponde a la longitud de onda del color verde, la segunda banda que va de  $0.63 \mu\text{m}$  a  $0.69 \mu\text{m}$  del espectro, corresponde al color rojo (Natural Resources Canada, 2008), por lo que al generar la imagen en falso color la vegetación, como en este caso el maglar se ve de un color rojo y las variaciones del mismo dependen de la biomasa y salud de la vegetación (Kairo, 2002).

Debido a que en la teledetección, el azul es poco interesante, ya que esta banda espectral es muy sensible a las perturbaciones atmosféricas se prefiere no incorporar sensores para este color en los satélites y añadir otros sensibles al infrarrojo cercano (que sigue al rojo en el espectro electromagnético), un “color” que no percibimos a simple vista, está banda que registra el infrarrojo corresponde a la banda 3 del sensor ASTER y registra de  $0.78 \mu\text{m}$  a  $0.86 \mu\text{m}$  del espectro electromagnético. Ahora bien, el infrarrojo cercano es una radiación técnicamente muy interesante, típica de la vegetación, es por esta combinación de bandas que la vegetación tiende a verse el color rojo (Claessens, 2007; Natural Resources Canada, 2008).

Por otro lado la generación del mosaico fue de suma importancia para este trabajo consistió en el tratamiento de enmascaramiento y generación de mosaico de la imagen de Bahía de La Paz (2008), esto debido a que para dicho año no se pudo obtener una sola imagen que abarcara toda el área de estudio (Bahía de La Paz), por lo que se obtuvieron dos imágenes (fig.5) que tuvieron que unirse empleando el proceso de generación de mosaico (fig. 6). Para dicho tratamiento es importante tomar en cuenta los límites visuales de la imagen y seleccionar la opción de desplegar el área de la imagen que contiene valores del espectro electromagnético, ya que de esta forma se elimina el área que carece de información visual (las áreas en color negro a los márgenes). Esta opción te permite generar un mosaico de las imágenes mucho más claro y sin notarse que la imagen se compone de dos imágenes.

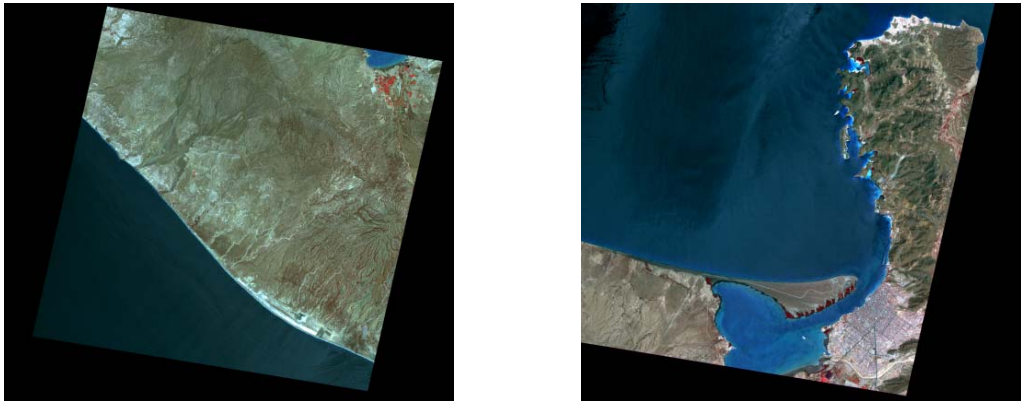


Figura 5. Imágenes ASTER del año 2008 que componen la Bahía de La Paz, B.C.S. antes del proceso de enmascaramiento y mosaico.



Figura 6. Mosaico y enmascaramiento de imágenes ASTER que conforman la Bahía de la Paz del año 2008.

## **7.2 Sistemas de Información Geográfica**

Mediante el análisis de las imágenes de satélite se lograron identificar las zonas con bosques de manglar a lo largo de la costa de la bahía de La Paz para los años 2002 y 2008, con la ayuda del programa ESRI Arc- Gis 9. En dicho programa se elaboraron todos los mapas que integran el presente trabajo.

Es importante señalar que para el proceso de digitalización de la imagen es indispensable establecer una escala de trabajo, en este caso fue 1: 15,000, con la finalidad de mantener los mismos criterios a la hora de identificar las áreas cubiertas por manglar.

Finalmente con las áreas de manglar digitalizadas se obtuvo el cálculo de la cobertura de manglar para cada imagen en el programa Arc Gis 9.

## **7.3 Zonación**

Con la ayuda del SIG se delimitó el área de estudio en 5 zonas basándonos en su geomorfología y uso de suelo (fig. 6) para permitirnos analizar cada una de estas zonas en cuanto a su cobertura de manglar y posteriormente poderlas comparar. Este paso representa una parte importante del estudio ya que de manera general en las imágenes completas de Bahía de La Paz no se logra apreciar el cambio de cobertura de manglar, además que no sabemos en donde se están dando dichos cambios; sin embargo, si analizamos por separado cada zona podemos obtener datos más puntuales del manglar y donde están sucediendo los cambios.



Figura 7 Zonificación de la Bahía de La Paz.

#### 7.4 Estimación del Cambio de uso de suelo

Se estimó una cobertura de 265.99 hectáreas en el año 2002, mientras que para el año 2008 la cobertura registrada fue de 232.5 hectáreas presentándose una pérdida de 33.49 hectáreas (ver fig. 8.). Lo que representa una pérdida económica de un millón doscientos cincuenta y cinco mil ochocientos setenta y cinco dólares (US\$1,255,875) en servicios ambientales en cuanto a protección de pesquerías que brindan los manglares según Aburto *et al.*, 2008.

En cuanto a producción pesquera, se sabe que el 51% de los organismos de importancia comercial pesquera a nivel mundial está directamente relacionado con la presencia de humedales costeros, y el resto lo está indirectamente, estimándose una pérdida anual de 757 kg de camarón y peces de importancia comercial por cada hectárea de manglar destruido. Lo que en este caso significa una pérdida de 25,351.93 kg (más de 25 toneladas) de camarones y peces de importancia comercial (Diario Oficial de la Federación, 2003).

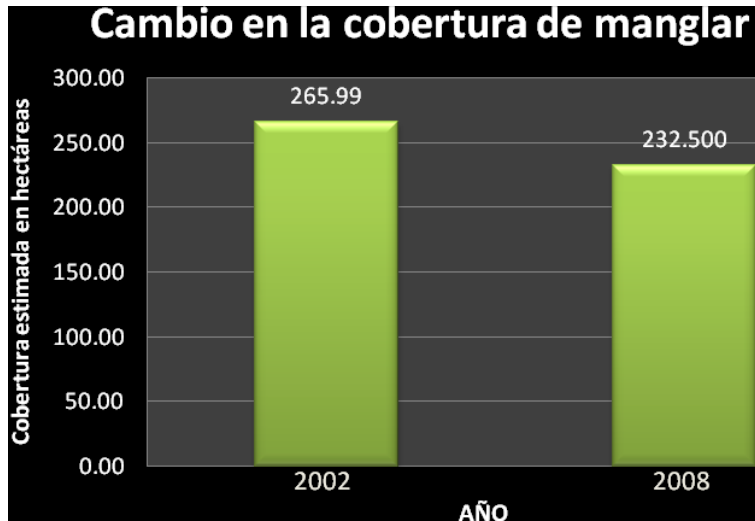


Figura 8. Gráfico del cambio de cobertura de manglar en la Bahía de La Paz entre los años 2002 y 2008.

El estudio de Aburto *et al.* (2008) nos muestra que el valor económico de los manglares en la Bahía de La Paz respecto a las pesquerías es 41 veces más alto que el valor estimado para manglares de Campeche (Sanjurjo, 2007). Estos valores varían en los diferentes manglares del mundo, sin embargo el valor calculado para la Bahía de La Paz puede estar relacionado con la gran cantidad de biodiversidad marina y la importante zona pesquera que ésta representa, ya que Lluch (2008) la denomina como la región más importante del país en la producción pesquera nacional al aportar entre el 59 y el 63% del volumen total entre 1998 y el 2000. En gran parte esta producción proviene del Golfo de California considerada como una de las regiones más productivas del océano mundial.

Por lo que el sector de pesca ríverena puede sufrir las consecuencias de la pérdida de éste hábitat, reconociéndose que la bahía de La Paz fue una comunidad históricamente de pescadores, desde sus inicios cuando los habitantes eran las tribus Pericú y Guaycura (Greenpace, 2008; López y Sala, 2005).

En el territorio mexicano el manglar ha desaparecido 35% en el último siglo y cerca de 90% de las extensiones que quedan se encuentran con cierto grado de deterioro (Cerón y Gómez, 2007). Sin embargo Baja California no es uno de los estados que encabezan estas listas, debido a que la mayor parte de bosques de manglar se concentran en los estados de Campeche, Quintana Roo y Chiapas, así como también son estas regiones las que se han visto mayormente afectadas por el desarrollo turístico.

Estos resultados nos muestran que de la cobertura de manglar del 2002 al 2008 se perdió en un 12.57%, lo que representa una pérdida de 2.09% anual, esto es 3 veces la tasa anual mundial, que ha perdido el 20% del área total desde 1980, y casi el doble de la tasa anual nacional, que es de 1.12% reportada en el Inventario Nacional Forestal del año 2000 (Diario Oficial de la Federación, 2003; Admin, 2007).

Según Wulf Killmann, director de la División de los Productos y Economía Forestales de la FAO. la tasa de pérdida de manglares es significativamente más alta que la pérdida de cualquier otro tipo de bosques (El espectador, 2008)

Para poder estimar los cambios más puntualmente el área de estudio se dividió en 5 zonas diferentes (ver fig. 7) en base a la geomorfología y uso de suelo para apreciar la influencia del uso de suelo sobre los bosques de manglar y se analizó el cambio en la cobertura de manglar que se presentó para cada zona entre los años 2002 y 2008, los cuales se describen a continuación.

#### ***7.4.1 Zona 1. Barra Arenosa.***

Esta zona se refiere a la barra arenosa (El Mogote) que cierra la Ensenada de Aripes ó Ensenada de La Paz. Esta barra arenosa se había mantenido casi intacta hasta antes del 2008 como se puede ver en la fig. 9, aunque existía un camino de acceso a la barra este lugar era usado como área de recreación y para algunos una zona de pesca, siendo un lugar mayormente natural ya que solo se encuentra una pequeña construcción en la zona costera frente a la ciudad, que en el pasado fue un centro nocturno, ahora abandonado.

## Zona 1. Barra de arena 2002



Figura 9. Imagen que muestra la superficie cubierta de manglar (límite rojo) en el año 2002 para la Zona 1. Barra de arena "El Mogote"

En esta zona se encuentra la mayor cobertura de bosques de manglar del área de estudio, representando el 1.87% del total del área de estudio en el año 2002, y el 1.79% en el 2008. La modificación en cobertura vegetal para el año 2008 más evidente en la imagen se puede distinguir por un círculo blanco marcado en ambas imágenes (fig 9 y 10), donde se observa una pérdida de manglar probablemente debida a la remoción de vegetación necesaria para la marina del proyecto "Paraiso del Mar", ya que coincide con los planos del proyecto. Estas actividades son permitidas por la NOM022 SEMARNAT 2003 siempre y cuando se realicen actividades de mitigación (Diario Oficial de la Federación, 2004).

Se observa claramente en la fig. 10, que corresponde al año 2008, en comparación con el año 2002 (fig. 9) el cambio en el uso de suelo de la parte este de la barra arenosa, que cambió de un terreno natural a una zona de desarrollo turístico debido al proyecto "Paraiso del Mar" que contempla la construcción de una comunidad con 294 casas de lujo y 400 villas condominiales con frente al mar.

Para dicho desarrollo el proyecto adquirió 500 hectáreas de extensión territorial y cerca de 8 kilómetros de playa frente al mar de Cortez. Y la primera fase contemplada para este desarrollo se inicio en el 2008 (ver fig. 10), cuya fase incluye la construcción de 294 casas y más de 400 villas, Campo de Golf de 18 hoyos, Casa Club, Club de Playa, Plaza Central, Hotel Boutique, Iglesia, Marina y senderos (Paraíso del mar,2008)

Este desarrollo turístico incluye consideraciones ambientales, en las cuales sostiene que el amplio ecosistema de manglares en la costa sur permanecerá intacto y se reservaran 400 hectáreas como santuario para la fauna y flora silvestre así como espacios abiertos. El abastecimiento de agua potable se hará mediante una planta desalinizadora (Paraíso del mar, 2008).

Las áreas cubiertas por manglar han sido delimitadas de colores diferentes para cada año (2002- rojo y 2008- amarillo) con la finalidad de apreciarlas más claramente. La línea diagonal amarilla marca el límite de las zonas consideradas para este estudio.



Figura 10. Imagen que muestra la superficie cubierta de manglar (límite amarillo) en el año 2008 para la Zona 1. Barra de arena “El Mogote”

En esta primera zona el cambio en la cobertura de manglar fue de 6.15 hectáreas perdidas, ya que en el 2002 se tenía un área cubierta por manglar de 135.78 ha., y para el año 2008 se alcanzaban las 129.63 ha (fig. 9). Lo que en valor económico equivale a una pérdida de \$ 230,625 dólares según los estudios de Aburto *et al.*, (2008).

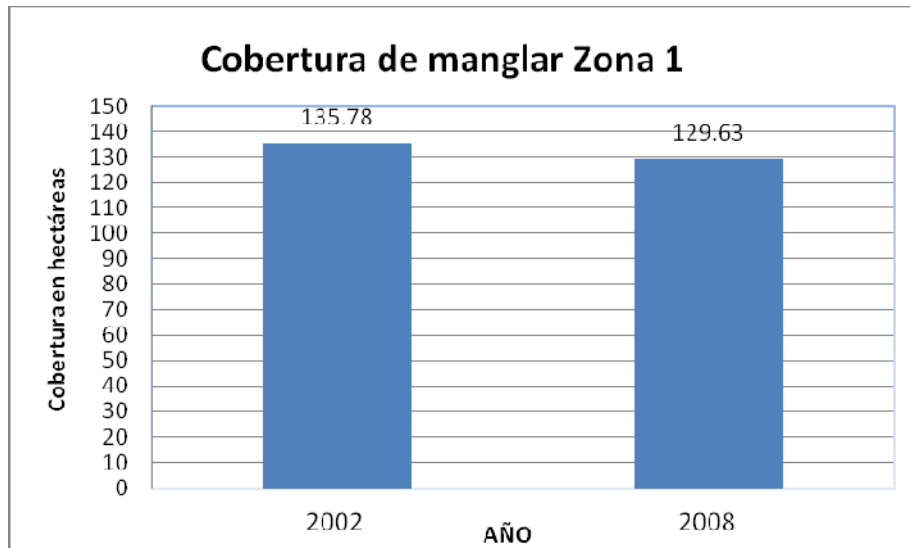


Figura 11. Diferencia en la cobertura de manglar de la Zona 1 de los años 2002, 2008 de la Bahía de La Paz.

#### 7.4.2 Zona 2 Planicie Costera

Esta zona corresponde a la parte Oeste de la Ensenada de Aripes, una superficie extensa con poca elevación que en su mayoría permanece intacta, tan solo la parte sur de la costa de esta zona ha sido convertida en área urbana debido al crecimiento de la ciudad.

A lo largo de la costa de esta zona (2) se encuentran algunos parches de manglar, siendo el más grande el Manglar “Zacatecas” que se ubica en la base de la barra arenosa (fig. 12).

La delimitación de las áreas cubiertas por manglar han sido marcadas de colores diferentes para cada año (2002- rojo y 2008- amarillo) con la finalidad de apreciarlas más claramente.

Las líneas diagonales amarillas marcan el límite de las zonas consideradas para este estudio.

En esta zona de planicie costera se puede observar que entre el año 2002 (fig.12) y 2008 (fig. 13) no se distingue ningún cambio en la cobertura de manglar y tampoco en el uso de suelo,

ya que el parche urbano al sur de la imagen pertenece a la ciudad de la Paz y se presenta sin cambio para ambos años.

La conservación de esta zona puede deberse a que la tendencia del desarrollo urbano es a extenderse hacia el sur, por la carretera hacia Cabo San Lucas, por lo que a excepción del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y la colonia el Centenario está región se mantiene de manera natural.



Figura 12. Imagen que muestra la superficie cubierta de manglar (rojo) en el año 2002 para la Zona 2. Planicie Costera. destacando el Manglar Zacatecas.

Sin embargo esta zona posee un potencial ecoturístico para los observadores de aves, ya que el manglar Zacatecas ha sido reportado como un hábitat utilizado por aves marinas para su reproducción y anidamiento (Becerril y Carmona, 1997).

La importancia de los bosques de mangle como hábitat de aves está bastante bien sustentada y constituye un elemento fundamental de los esfuerzos de algunos organismos dedicados a la protección de aves, ya que a través de una encuesta de valoración contingente, se encontró un valor de aproximadamente 0.7 dólares por hectárea de manglar por el concepto de la

protección del hábitat de la cigüeña jabirú. Y se tienen datos de que el valor recreativo de los manglares en Nayarit es aproximadamente de \$114 dólares por hectárea (Sanjurjo, 2001), por lo que se podría desarrollar un aprovechamiento sustentable en base a estas actividades y servicios.



Figura 13. Imagen que muestra la superficie cubierta de manglar (amarillo) en el año 2008 para la Zona 2. Planicie Costera.

En esta zona se estimó una pérdida de 3.62 ha. aproximadamente, debido a que para el año 2002(fig. 12) se calculó un área de 33.16 ha. y para el año 2008 (fig. 13) se calculó un área de 29.54 ha (ver fig. 14). Lo cual representaría un valor estimado en pérdida a las pesquerías de \$135,750 dólares (Aburto *et.al.*, 2008) dentro de esta zona por los servicios ambientales que provee el ecosistema, sin embargo esta diferencia en la cobertura podría deberse a que la fotointerpretación no es exacta en la medición, ya que la escala de trabajo no es la adecuada para zonas tan pequeñas a digitalizar y por el alcance de este estudio no es posible rectificar en campo la información.

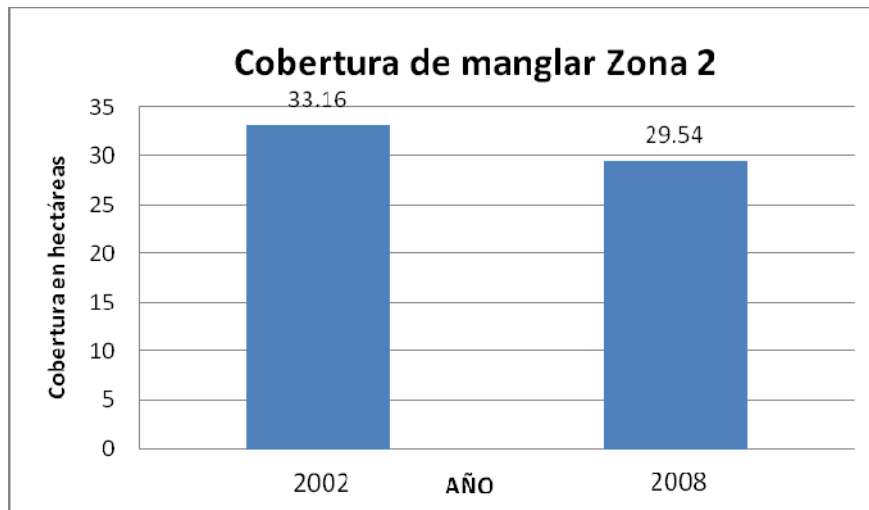


Figura 14. Diferencia en la cobertura de manglar de la Zona 2 de los años 2002, 2008 de la Bahía de La Paz.

#### ***7.4.3 Zona 3 Planicie Costera y Área Agrícola***

Esta zona corresponde a la parte sur de la Planicie Costera que rodea la Ensenada Aripes, la cual en su mayoría ha sido utilizada como zona agrícola.

En el 2002 (fig. 15) Se puede observar la vegetación en tonos rojos, lo que nos muestra que la mayor parte de ésta zona estaba cubierta por agricultura, la extensión de vegetación costera hacia el este corresponde a la zona del “Zacatal”, este es el único parche de manglar dentro de esta zona.

Los límites de las áreas cubiertas por manglar han sido marcadas de colores diferentes para cada año (2002- rojo y 2008- amarillo) con la finalidad de apreciarlas más claramente. Las líneas diagonales amarillas marcan el límite de las zonas consideradas para este estudio.

### Zona3. Planicie Costera y Área Agrícola 2002

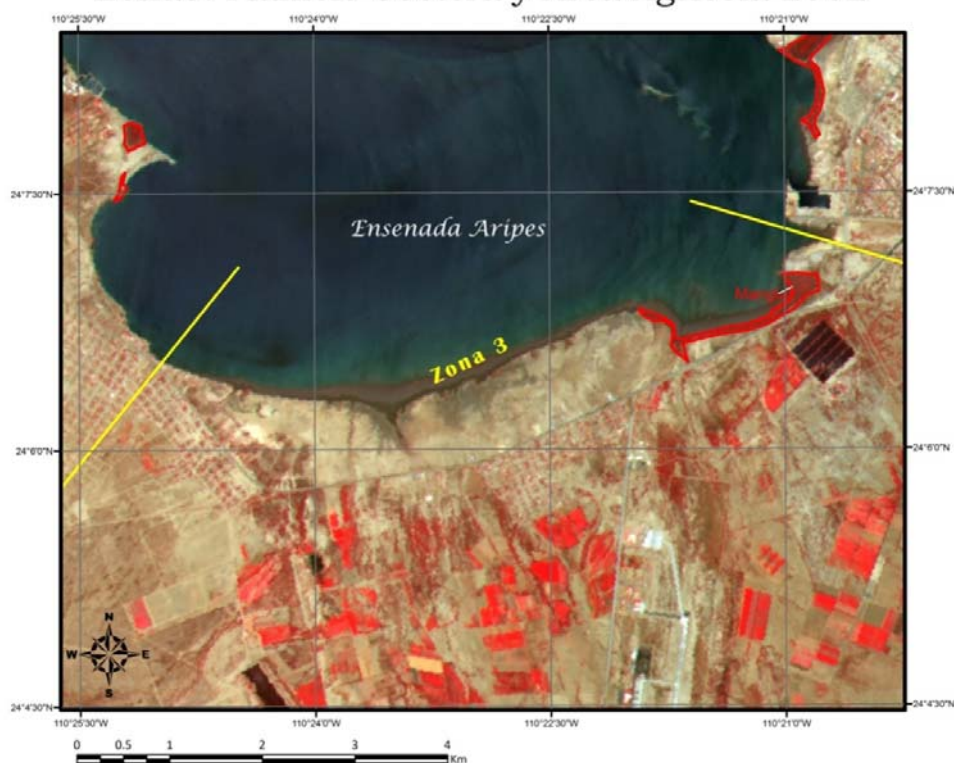


Figura 15. Imagen que muestra la zona 3. Planicie Costera y Área Agrícola en el 2002. Siendo el único parche de manglar (polígono rojo en la costa) el conocido como “El Zacatal”

En esta zona se estimó una pérdida de 6.82 ha. de manglar (fig. 17), debido a que para el año 2002 (fig. 15) se calculó un área de 21.32 ha, mientras que en el año 2008 (fig. 16) se calculó un área de 14.5 ha. Esta cifra representa un valor en dinero una pérdida de \$255,750 dólares referente a pesquerías sin tomar en cuenta otros servicios ambientales.

Para el año 2008 (fig. 16) en el área de manglar se aprecia una disminución, ya que para el año 2002 (fig. 15) se construyó un solo polígono del Zacatal y para el 2008 (fig. 16) se observa un polígono largo pero más delgado y uno muy pequeño al oeste del primero, aunque no hay evidencias visuales que indiquen que esto se deba a un cambio de uso de suelo.

### Zona 3. Planicie Costera y Área Agrícola 2008

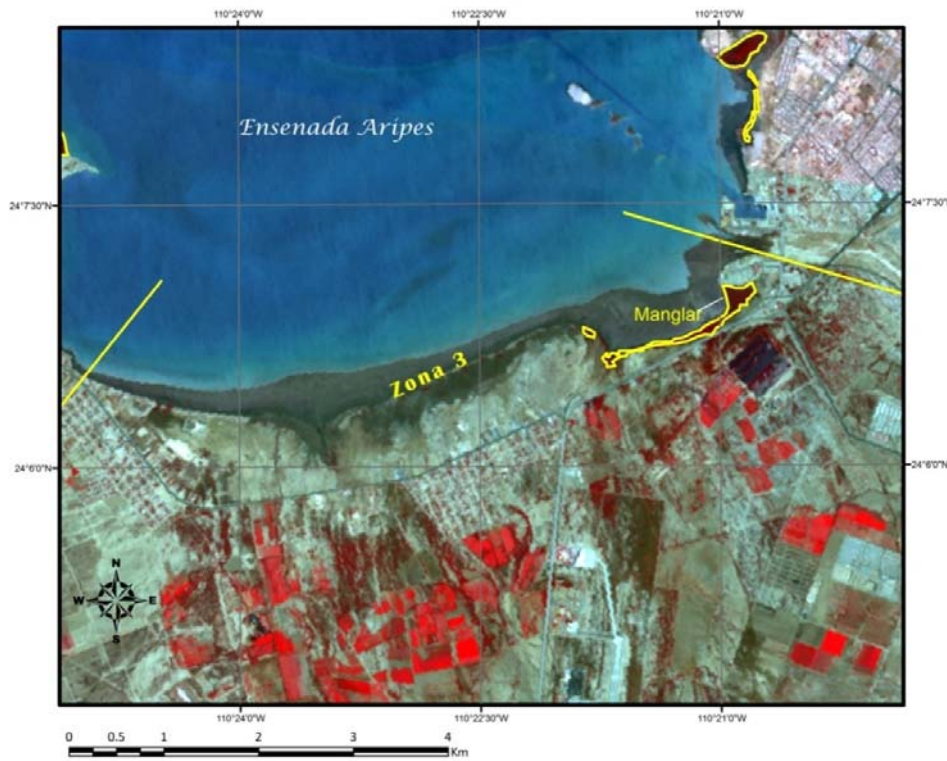


Figura 16. Imagen que muestra la zona 3. Planicie Costera y Área Agrícola en el 2008. Siendo el único parche de manglar (polígono amarillo en la costa) el conocido como “El Zacatal”

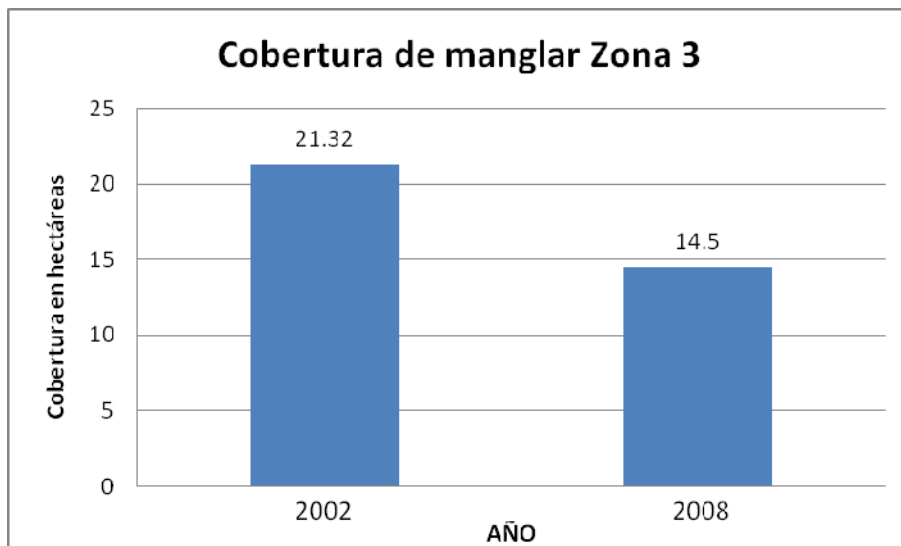


Figura 17. Diferencia en la cobertura de manglar de la Zona 3 de los años 2002, 2008 de la Bahía de La Paz.

#### 7.4.4 Zona 4. Zona Urbana

Esta zona corresponde a la planicie donde se ubica la ciudad de La Paz, en cuya zona prácticamente no existen áreas de manglar a excepción del parche que conforma “El Conchalito” y la zona de manglar del CICIMAR.

Los límites de áreas cubiertas por manglar han sido marcadas de colores diferentes para cada año (2002- rojo y 2008- amarillo) con la finalidad de apreciarlas más claramente. Las líneas amarillas al extremo de la imagen marca el límite de las zonas consideradas para este estudio.

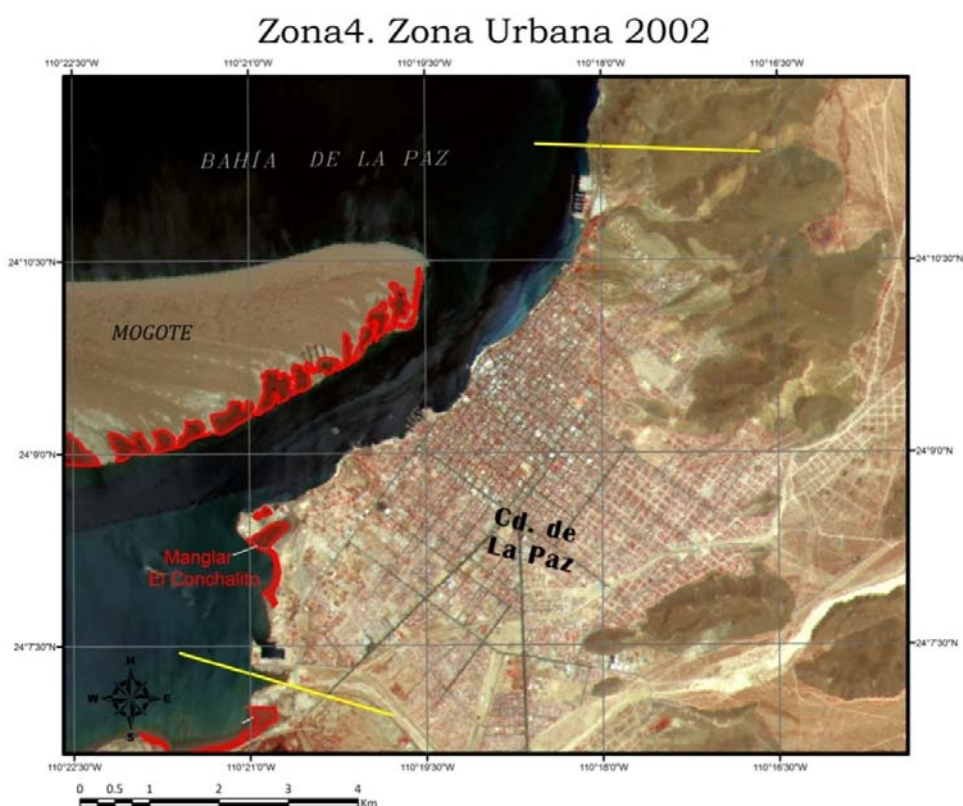


Figura 18. Imagen que muestra la zona 4. Zona Urbana en el 2002. Siendo el manglar del Conchalito (polígono rojo) el más destacado y casi el único que sobrevive a la zona urbana.

Para esta zona se estimó una pérdida de cobertura de manglar de 4.88 ha (fig. 20), lo cual representa una cifra muy baja, además debemos recordar que este tipo de estimación es un aproximado, ya que en base a la digitalización de los polígonos se estima la cobertura a la escala de trabajo que se puede alcanzar, aunque se complica la actividad debido al tamaño del área. Para

el 2002 (fig. 18) en esta zona se calculó un área de 17.68 ha, mientras que para el 2008 (fig. 19) se calculó un área de 12.8 ha. Representando un valor de \$183,000 dólares en cuanto a los servicios proporcionados para la pesquería del ecosistema de manglar.

González (2005) sugiere que la importancia del manglar del área “El Conchalito” puede proporcionar una de las bases de la diversidad de peces que usan este ecosistema como un hábitat primario, de guardería, área de alimentación y reclutamiento debido a las bajas condiciones de disturbio. Dentro de su estudio propone un plan de manejo integral que incluya el estuario del “Conchalito” con la finalidad de establecer medidas de conservación o reducir los impactos en la bahía de La Paz, que bien puede prevenir los posibles impactos antropogénicos causados por el desarrollo urbano

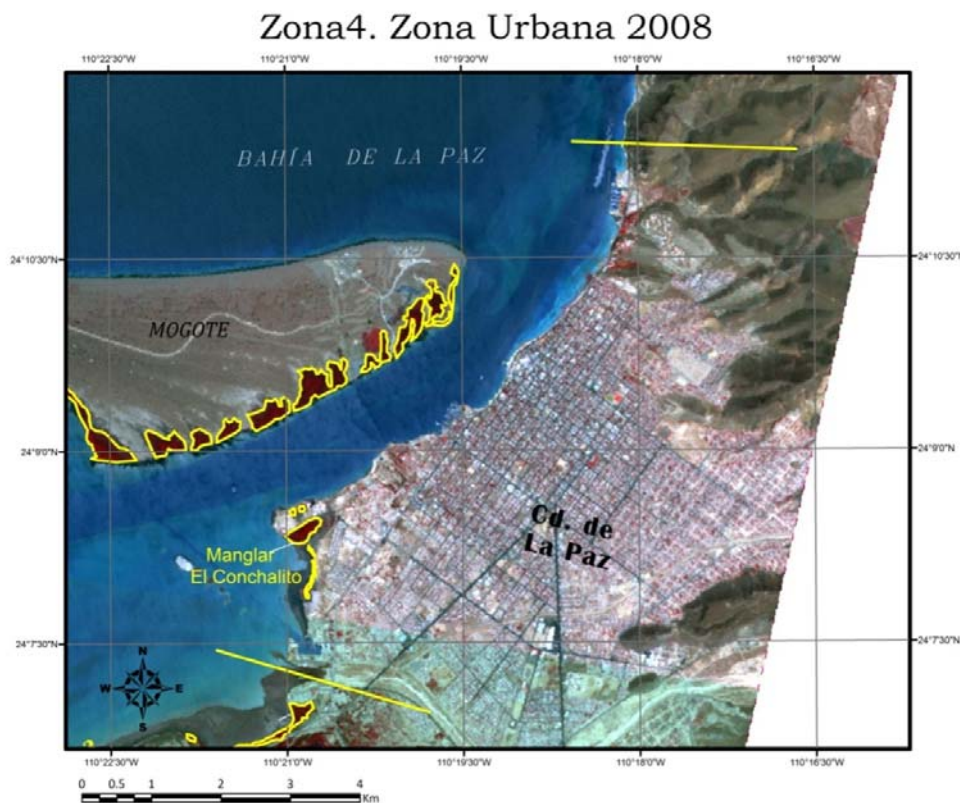


Figura 19. Imagen que muestra la zona 4. Zona Urbana en el 2008. Siendo el manglar del Conchalito (polígono amarillo) el más destacado y casi el único que sobrevive a la zona urbana.

Esta zona que abarca la ciudad de La Paz no presenta un cambio significativo en el uso de suelo. Sin embargo se tienen datos históricos que sugieren la existencia de bosque de manglar que se

encontraban a lo largo de la costa, el cual desapareció debido al desarrollo turístico que se dio a partir 1950 (Whitmore *et al.*,2005).

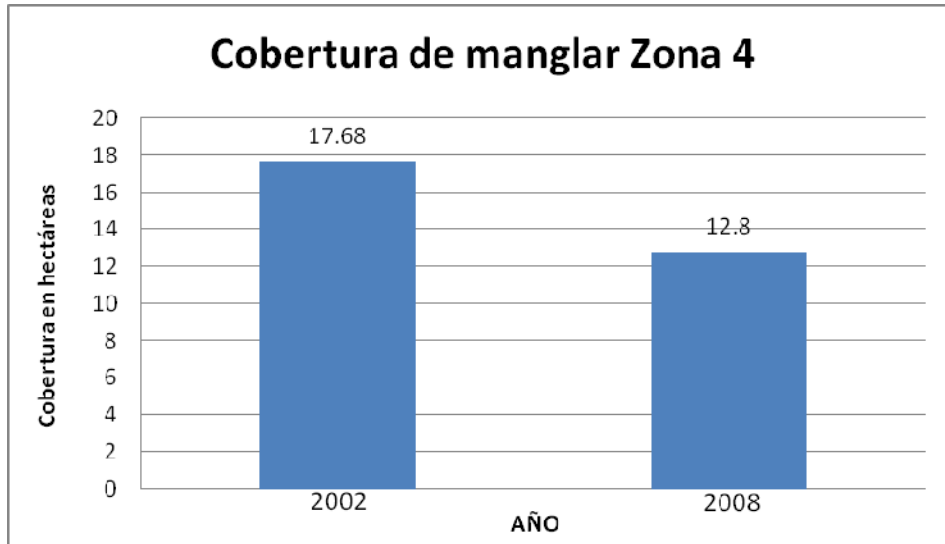


Figura 20. Diferencia en la cobertura de manglar de la Zona 4 de los años 2002, 2008 de la Bahía de La Paz.

#### **7.4.5 Zona 5. Pie de Montaña**

Esta zona corresponde a la parte Noreste de la Bahía de La Paz donde se presenta una geomorfología diferente de las demás zonas, ya que en esta se localiza un área montañosa de poca altura. Por lo que en esta zona la cobertura de manglar se limita a pocos metros de la línea de costa como se puede observar en las figuras 21 y 22.

Los límites de las áreas cubiertas por manglar han sido marcadas de colores diferentes para cada año (2002- rojo y 2008- amarillo) con la finalidad de apreciarlas más claramente. La línea horizontal amarilla marca el límite de las zonas consideradas para este estudio.

## Zona 5. Pie de Montaña 2002

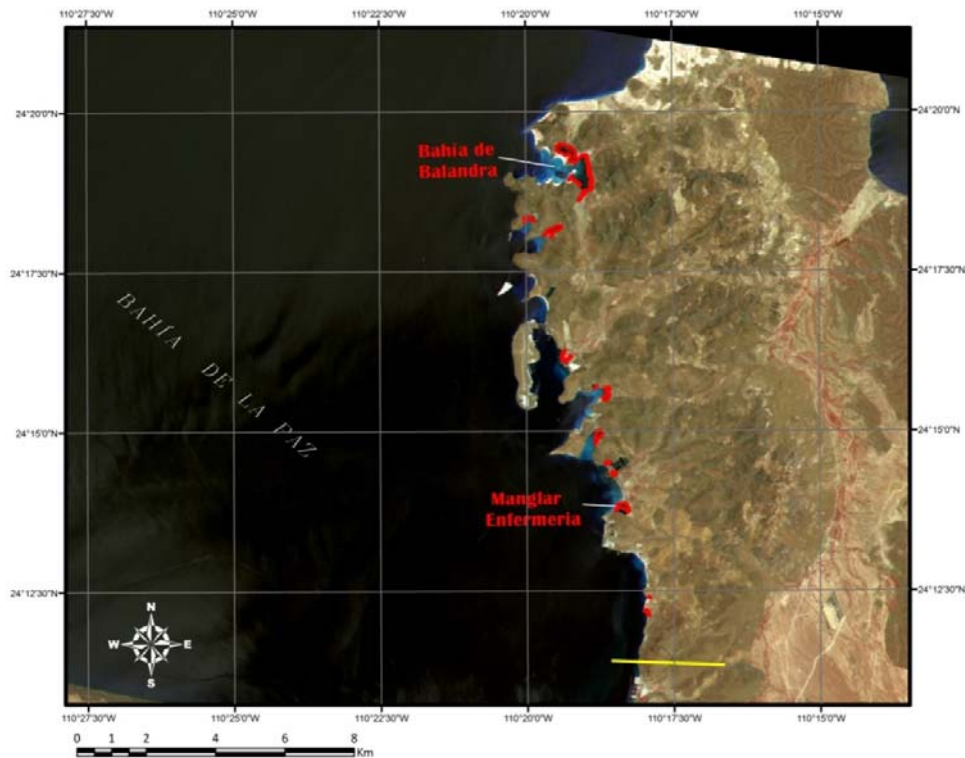


Figura 21. Imagen que muestra la zona 5. Pie de Montaña en el 2002. Se puede observar el manglar de Bahía Balandra y Enfermería.

En esta zona se presenta un cambio de 12.02 ha de manglar, ya que para el año 2002 (fig. 21) se calculó un área de 58.05 ha, mientras que para el 2008 (fig. 22) se calculó un área de 46.03 ha. Siendo esta zona la que presenta mayor pérdida en cobertura de manglar dentro de la Bahía de La Paz. Ver fig. 23. Representa la segunda zona con mayor cobertura de manglar en relación con el área de estudio considerada, solo después de la zona 1 "Barra arenosa". Representando el bosque de manglar un 0.80% del área de estudio para el año 2002 y un 0.63% para el año 2008.

Esta disminución en la cobertura representa un valor de \$450,750 dólares respecto al servicio ambiental de protección de pesquería que proporciona el ecosistema, siendo esta una zona importante, ya que esta junto con la zona 1 son las que presentan mayor cobertura de manglar.

## Zona 5. Pie de Montaña 2008

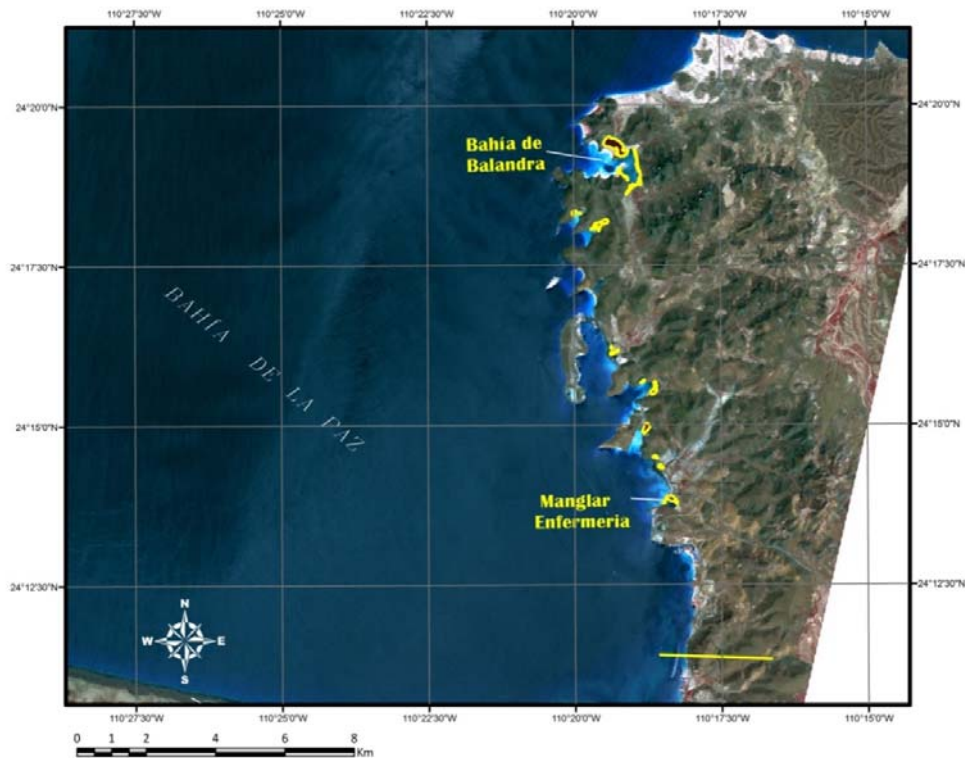


Figura 22. Imagen que muestra la zona 5. Pie de Montaña en el 2008. Se puede observar el manglar de Bahía Balandra y Enfermería.

Los cambios que ha sufrido esta área a penas son perceptibles si observamos con detenimiento cada imagen (fig. 21 y 22), sin embargo es la zona con mayor diferencia y es difícil localizar el cambio debido a la extensión del área. En las imágenes no se encontraron indicios de que un cambio de uso de suelo sea el responsable de la diferencia en la cobertura de manglar, sin embargo la escala de trabajo con la que se trabajó no ayudó en las zonas de manglar de pequeña extensión. También hay que tener en cuenta que en esta zona se ubican la termoeléctrica, la planta de Pemex, el muelle de altura “Pichilingue”, así como infraestructura turística que aprovecha la belleza de sus playas, no obstante no hay indicios de que estos desarrollos tengan alguna influencia en el cambio de cobertura de manglar en la zona.

A pesar de que la Bahía de Balandra está alejada de la zona urbana se cuenta con acceso y los lugareños luchan por mantener esta playa libre de modificaciones, sin que esto signifique que no podamos gozar de ella.

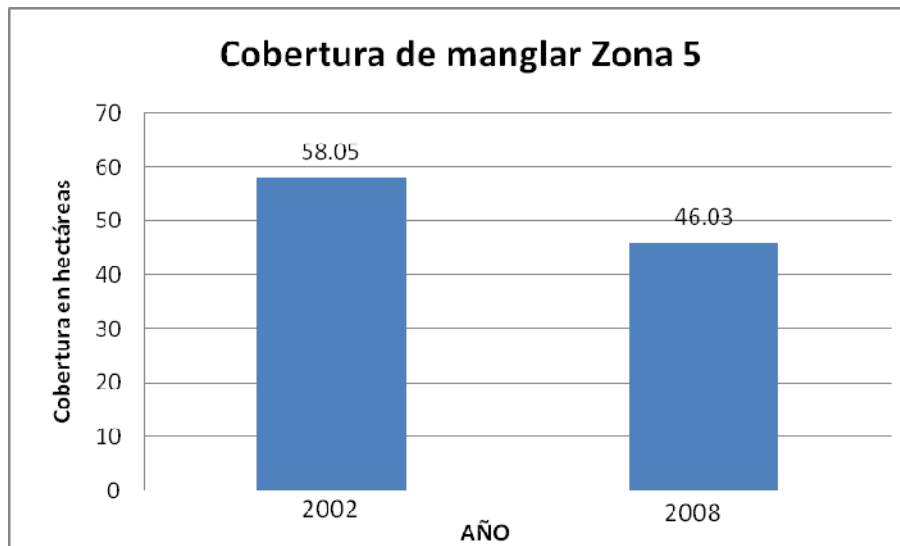


Figura 23. Diferencia en la cobertura de manglar de la Zona 4 de los años 2002, 2008 de la Bahía de La Paz

Balandra presenta características geográficas que le otorgan una belleza sin igual. Es importante señalar que esta zona tiene particular importancia debido al valor paisajístico, recreativo y cultural. Balandra ofrece al turismo la experiencia de disfrutar de una playa como las que se mantienen prístinas, con un paisaje aún no modificado por el desarrollo u otro tipo de infraestructura. Además del uso directo de Balandra por los visitantes, “el hongo de Balandra” (una roca tallada por el oleaje) se ha convertido en un símbolo de la ciudad y es usado como parte de su promoción turística a nivel estatal (Calderón *et al.*, 2008).

Un último análisis (fig. 24), en el cual se observaron los cambios por zona en los distintos años fue realizado con la intención de percibir a grandes rasgos los cambios y el estado actual de los ecosistemas del manglar en La Bahía de La Paz.

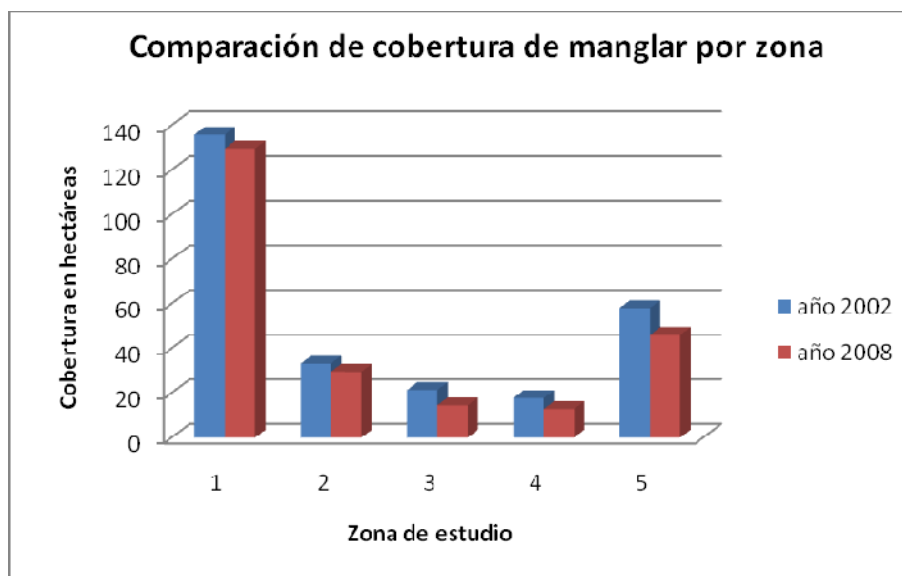


Figura 24. Gráfica por zona de estudio que muestra los cambios en la cobertura de manglar entre los años 2002 y 2008 en Bahía de La Paz.

En esta gráfica se puede observar cómo se distribuye el ecosistema de manglar en la Bahía de La Paz, siendo el Mogote la zona donde se encuentra la mayor cobertura de manglar. Representando la vegetación concentrada en esa zona un 1.83% del área de estudio de valor promedio entre los años 2002 y 2008.

Entonces, como vemos en la grafica (fig. 24) prácticamente las áreas que han sufrido un menor cambio de uso de suelo en cuanto a desarrollo urbano, como son la zona 1 que corresponde a la barra arenosa del Mogote y la zona 5 que corresponde a la zona de pie de montaña son las que presentan las áreas con mayor cobertura de bosques de manglar. Además de ser las zonas que han sufrido menos cambio de uso de suelo son las áreas más alejadas de la zona urbana.

Sin embargo el aislamiento geográfico y la escasez de agua dulce para la Bahía de La Paz han limitado sus opciones de desarrollo, empujando la transformación de su economía, anteriormente basada en el comercio de zona libre, a un esquema dependiente del aprovechamiento de sus recursos naturales costeros y marinos. (Peynador, 2002).

Así la pesca y el turismo se han convertido en las opciones más viables para el desarrollo del estado. Actualmente los recursos naturales (recursos pesqueros y áreas naturales) utilizados por la pesca y el turismo, presentan síntomas de sobre-explotación, a pesar de que dichas actividades tienen poco tiempo de estarse desarrollando. Esta situación se complica cuando ambas actividades compiten por el uso de las mismas áreas. (Peynador, 2002).

Por otra parte es importante reconocer que la sociedad juega un rol muy importante en el desarrollo por lo que la labor de la sociedad preocupada por sus recursos naturales está sentando las pautas para la protección y conservación de su entorno. Ya que esta sociedad tuvo un gran logro a causa de la solicitud de varios ciudadanos preocupados por la protección de los valores sociales, económicos y ambientales de la playa de Balandra, ya que en diciembre de 2006 el cabildo presentó al congreso del estado de Baja California Sur una iniciativa de modificación al capítulo de áreas naturales protegidas de la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado. Esta reforma fue aprobada y publicada en el boletín oficial del gobierno del estado en el mes de julio de 2007 para proteger la playa de Balandra (Calderón *et al.*, 2008).

## 8 CONCLUSIONES

- El realce de imágenes y composición en falso color ayudan a identificar las zonas con vegetación.
- El uso del SIG permite estimar la cobertura del manglar y dividirlo en zonas para su mejor apreciación.
- Mantener una escala de trabajo mientras se digitaliza la información nos permite tener el mismo criterio durante el proceso.
- En la técnica de fotointerpretación es importante considerar la textura, brillo y color de los objetos sometidos a este proceso.
- La fotointerpretación se facilita si se tiene conocimiento de la zona de estudio.
- El que las zonas de manglar queden alejadas de la zona urbana no garantiza su conservación
- Se han perdido 12.57% de los manglares de Bahía de la Paz en 6 años, lo que representa una tasa anual de 2.09%.
- La tasa anual de pérdida de manglar estimada en La Bahía de La Paz entre los años 2002 y 2008 es 3 veces la tasa anual mundial.
- Y es casi el doble de la tasa anual nacional.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- Aburto, O., Ezcurra, E., Danemann, G., Valdez, V., Murray, J., Sala, E. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. PNAS. Vol. 105. No. 30 10456- 10459 pp.
- Admin 2007. La pérdida de la biodiversidad en el mundo. Naturaleza educativa. Internet en línea: [http://www.natureduca.com/conserva\\_biodiversid1.htm](http://www.natureduca.com/conserva_biodiversid1.htm)
- Altuna, N. 2004. Propuesta de Ordenamiento de uso de suelo para la zona costera del Municipio de Tijuana, Baja California. Trabajo terminal de la Especialidad en Administración de Recursos Marinos. UABC. Ensenada, México. 69 pp.
- Álvarez, A.A. y Murillo, J.J. 1989. Cuerpos de agua inferidos a partir del registro Micropaleontológico (Radiolaria), en sedimentos superficiales del fondo marino de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Anales del Instituto de ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México.
- Aster's Users Guide, 2003. Part II. Level 1 Data Products (Ver. 4). Internet en línea: [http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users\\_guide/part1/pdf/Part2\\_4E.pdf](http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users_guide/part1/pdf/Part2_4E.pdf)
- Becerril M. F. y Carmona R. 1997. Anidación de aves acuáticas en la Ensenada de La Paz, Baja California, Sur, México (1992- 1994) Ciencias Marinas Vol. 23 No. 002. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 265- 271 pp.
- Bermúdez , R.D. 2004. Cambio de uso de suelo como herramienta para la planeación costera, caso de estudio: Zona Costera del Municipio de Playas de Rosarito, B.C., México. Tesis de Maestría. UABC. Ensenada, México. 100 pp.
- Blando Navarrete, J.L. 2003. Programa Analítico de la materia de Fotointerpretación. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Aridas. México.
- Calderón, C., Anaya, G., De la Cueva, A. y Aburto, O. 2008. Balandra: El bosque costero de la Paz. Biodiversitas. Num. 78. CONABIO. México

- Carvajal, T.C. 2002. El espectro Electromagnético. Astronomía Autodidacta. Internet en línea:  
<http://www.geocities.com/acarvajal/temas/espectro.htm>
- Centro Sistemas Informacion Geografica y Sensores Remotos. Fecha de consulta 10/2008.  
Internet en línea: <http://www2.udec.cl/~censig/>
- Cerón y Gómez, 2007. Internet en línea: <http://www.el-universal.com.mx/nacion/155035.html>
- Claessens, M. jefe redactor. Septiembre 2007. La mirada puesta en el planeta azul. Research eu. 8-9: 28pp. Comisión Europea. Bruselas, Bélgica.
- CSA - Centro de Sistematización Ambiental. 2007. Parquesoft - Pereira - Risaralda - Colombia - Sur America. Internet en línea: <http://www.csambiental.org/>
- Diario Oficial de la Federación. Jueves 10 de Abril del 2003. NOM 022- SEMARNAT- 2003
- Diario Oficial de la Federación. Viernes 7 de Mayo del 2004. Acuerdo que adiciona la especificación 4.43 a la norma oficial mexicana NOM022- SEMARNAT- 2003
- Díaz Cisneros, L.R. y Candeaux Duffatt, R. 1997. Los Sistemas de Información Geográfica SIG: definición, características, estado actual y tendencias de desarrollo. Mapping Interactivo. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. España.
- Digital Elevation Models. 2003. Internet en línea: <http://www.dielmo.com/satelite-aster.php>
- Elespectador. 2008. Internet en línea: <http://www.elespectador.com/especiales/medio-ambiente/articulo-advierten-sobre-perdida-alarmanete-de-manglares-todo-el-mundo>
- FAO 2007. The World's Mangroves 1980 – 2005. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry paper. No.153. Roma 77 pp.
- Farnsworth, E.J., Ellison, A.M., Fisher, M. 1997. The global conservation status of mangroves. *Ambio* 26: 238 – 334 pp.
- Fujita, H. 2003. Enterramientos en concheros y cuevas de Baja California Sur. *Arqueología Mexicana*. Vol. XI (2): 40- 43 pp.

Gobierno de Campeche, Secretaría de Ecología. Fecha de consulta 10/ 2008. Internet en línea:  
<http://www.ecologia.campeche.gob.mx/consultas/temas/manglares.htm>

González, A., De la Cruz, G., De la Cruz, J., Ruiz, G. 2005. Seasonal Pattern of the fish Assemblage of el Conchalito Mangrove swamp, La Paz Bay, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*. Vol. 15 No. 002. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. México. 205 – 214 pp.

González, S.R., Montiel, R.S., Salinas, C.E., Acevedo, R.P., Herrera, S.A, Remond, N. R., Rodríguez, V.I. 2006. Universidad de la Habana, Cuba y Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. Mapping Interactivo. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*. Artículo 1161.

Greenpeace. 2008. Internet en línea: <http://www.greenpeace.org/mexico/news/estiman-cientificos-valor-manglares>.

INEGI 2005. Internet en línea:  
[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/02\\_vegetacion/cap2\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/02_vegetacion/cap2_1.html)

Kairo, J.G., Kiviyatu, B. and Koedam, N. 2002. Application of remote sensing and GIS in the Management of Mangrove forests withing and Adjacent to Kiunga Marine Protected Area, Lamu Kenya. *Environment, Development and Sustainability*. Vol. 4. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 153- 166 pp.

Lluch, C. D. 2008. Ecología pesquera. CIBNOR. En línea:  
<http://www.cibnor.mx/eplant1.php?pagID=investigacion/pep/presenta>

López, C. y Sala, E. 2005. Marine Biodiversity Assessment and Human Impacts in the Ensenada de La Paz, Baja California Sur. Center for Marine Biodiversity and Conservation. Scripps Institution of Oceanography. La Jolla, California. U.S.A. 68 pp.

NASA 2004. Internet en línea: <http://asterweb.jpl.nasa.gov>

Natural Resources. Canada. 2008. Fundamentals of Remote Sensing. Natural Resources Canada, . Remote Sensing Tutorial. Canada. 258 pp.

Paraíso del mar. 2008 Internet en línea:  
[http://www.paradiseofthesea.com/es/project\\_info\\_project\\_summary.html](http://www.paradiseofthesea.com/es/project_info_project_summary.html)

Peréz Gutiérrez, C. y Sánchez Martín, N. 2006. Experiencias con Imágenes ASTER en el control métrico y Análisis Multitemporal. Universidad de Salamanca. España. 10pp.

Peynador Sánchez, C.F. 2002. Estructura de evaluación y seguimiento del impacto ambiental para el desarrollo de arrecifes artificiales. Caso de estudio: Bahía de La Paz, B.C.S. Tesis de Maestría. UABC. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Ensenada, México, 77pp.

Ramírez, S. 1994. Utilización ecológica de la Bahía de La Paz, Baja California Sur por el rorcual tropical *Balaenoptera edeni* (Cetacea: Balaenopteridae), 1988 – 1991. Tesis de Maestría. UABC. Ensenada, México. 91 pp.

RS Geo-Image. Imágenes de Satélite en la Exploración Geológica- Minera. Procesamiento de Imágenes de Satélite. Internet en línea: [www.geoimage.com](http://www.geoimage.com)

Sajurjo Rivera, E. 2001. Valoración Económica de Servicios Ambientales Prestados por Ecosistemas : Humedales en México. Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental. México. 45 pp.

Sarmiento, fecha de consulta 10/ 2008. Periódico Novedades. Internet en línea:  
<http://www.novenet.com.mx/seccion.php?sec=3&id=102825&d=07&m=05&y=2008>

Sanjurjo, R. E. y Welsh, C. S.2007. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. Internet en línea:  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/460/manglares.html>

Silva, A. 2007. Identificación de las cuencas sedimentarias del Plioceno con imágenes de satélite en el dominio central del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. UABC. Ensenada, México. 37 pp.

Urbán, R. J. y Ramírez, R. M.(editores) 1997. La Bahía de La Paz. Investigación y Conservación. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Scripps institution of Oceanography. México, 345 pp.

- Vargas, G.C. 2007. Mapeo de minerales utilizando datos ASTER y análisis espectral en el distrito de Yura, Arequipa, Perú. Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial. CONIDA. Perú.
- Whitmore, R.C., Brusca, R.C., León de la Luz, J., González- Zamorano, P., Mendoza-Salgado, R., Amador- Silva, E.S., Holguin, G., Galvan- Magaña, F., Hastings, P.A., Cartron, J.E., Felger, R.S., Seminoff, J.A. and McIvor, C.C. 2005. In Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. J.E. Cartron, G. Ceballos and R.S. Felger, Editors. Oxford University Press. New York. U.S.A.
- Yoshida, M.K. and Alba, C.R. 1978. Estudio preliminar de las comunidades bentónicas de la Ensenada de La Paz, Baja California Sur. CIBCASIO Transactions Vol. III. 3rd meeting, La Jolla, California. 20- 29 pp.