



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS



Departamento de Pesquerías y Biología Marina

**ESTRUCTURA Y ANÁLISIS ESPACIAL DE LA COBERTURA
DEL MANGLAR “EL CONCHALITO”, B. C. S.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA

BIÓL. MAR. PATRICIA GONZÁLEZ ZAMORANO

La Paz, Baja California Sur, México, Noviembre del 2002

ÍNDICE

ÍNDICE	1
GLOSARIO	IV
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVOS	7
ANTECEDENTES	8
ÁREA DE ESTUDIO	í í
MATERIAL Y MÉTODOS	13
FOTOINTERPRETACIÓN MONOSCÓPICA DE GABINETE	14
<i>Reconocimiento de la distribución y dimensión de las principales áreas de manglar en la</i> <i>Ensenada de La Paz, B. C. S.</i>	14
TRABAJO DE CAMPO	15
<i>Valor de Importancia</i>	15
<i>Índice de Complejidad Estructural</i>	17
ESCALA DE LOS INSUMOS FOTOGRÁFICOS Y RESOLUCIÓN ESPACIAL PARA EVALUAR LA COBERTURA VEGETAL EN EL CONCI-IALITO.....	18
FOTOINTERPRETACIÓN ESTEREOSCÓPICA DE GABINETE Y CAMPO.....	20

<i>Clasificación por especie o asociación vegetal de El Conchalito</i>	*20
DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE COBERTURA EN EL CONCHALITO	21
<i>Patrón de distribución espacial por especie o asociación vegetal bajo la plataforma de un SIG vectorial</i>	22
<i>Detección de los cambios temporales de cobertura vegetal en El Conchalito empleando un modelo vectorial-raster</i>	25
RESULTADOS	31
FOTOINTERPRETACIÓN MONOSCÓPICA DE GABINETE	31
<i>Reconocimiento de la distribución y dimensiones de las principales áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S.</i>	31
TRABAJO EN CAMPO	33
<i>Composición específica y características generales</i>	33
<i>Valor de Importancia</i>	34
<i>Índice de Complejidad Estructural</i>	35
ESCALA DE LOS INSUMOS FOTOGRÁFICOS Y RESOLUCIÓN ESPACIAL PARA EVALUAR LA COBERTURA VEGETAL EN EL CONCHALITO	35
FOTOINTERPRETACIÓN ESTEREOSCÓPICA DE GABINETE Y CAMPO	38
<i>Clasificación por especie o asociación vegetal en El Conchalito</i>	38
DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE COBERTURA VEGETAL EN EL CONCHALITO	40
<i>Patrón de distribución espacial por especie o asociación vegetal bajo la plataforma de un sig vectorial</i>	40
<i>Detección de los cambios temporales de cobertura vegetal en El Conchalito empleando un modelo vectorial-raster</i>	44
COMPENDIO DE MAPAS	46
DISCUSIÓN	47
DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIÓN DE LAS ÁREAS DE MANGLAR EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B.C.S.....	47
ESTRUCTURA Y MAPEO EN EL CONCHALITO	49
<i>Estructura</i>	49

<i>Fotointerpretación y Análisis Espaciales</i>	52
PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE COBERTURA DE MANGLAR	54
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXO I	68
TELEDETECCIÓN	68
<i>Sistemas Fotográficos</i>	71
<i>Procesamiento Digital de Imágenes</i>	74
ANEXO II	78
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	78
ANEXO III	83
PROCEDIMIENTO ESTANDARIZADO PARA LA TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES DE MANGLE.....	83
ANEXO IV	84
DATOS DE CAMPO	84
ANEXO V	88
SENSORES EMPLEADOS EN EL MAPEO DE VEGETACIÓN COSTERA Y ACUÁTICA	88

GLOSARIO

Ampliación

Fotografía- Copia **fotográfica obtenida** a partir de un negativo de pequeñas dimensiones en la que el tamaño de los objetos se ha aumentado varias veces.

Área basal

Botánica- Superficie del substrato que se encuentra en contacto con los organismos. Indica el desarrollo que puede tener un bosque y se relaciona con la biomasa y el volumen de este.

Asociación

Fotointerpretación. - Es una de las fotocaracterísticas más importantes en la identificación de objetos. Todos los objetos aparecen situados en el terreno, según un determinado orden o relación, tanto entre ellos, como respecto al medio que los rodea. Esto permite establecer la existencia de determinados objetos, en dependencia de la existencia de otros.

Brillo

Fotointerpretación. - Término que expresa intensidad de un color. Magnitud de respuesta producida en el ojo humano por la luz.

Cabeceo

Fotogrametría.- El ángulo entre el eje óptico de la cámara y la vertical.

Capa digital

Sistemas de información geográfica.- Se refiere al conjunto de objetos (puntos, líneas o polígonos) de una misma **variable** temática en un espacio geográfico determinado.

Cobertura

Ecología.- Es una medida que representa el **área** cubierta por la copa de **los** árboles o arbustos.

Contraste

Fotointerpretación.- La diferencia entre áreas luminosas y sombras **en un** negativo, el contraste lo determina la relación de densidades de las partes comparadas. Se utiliza para describir la proporción de brillantez entre el objeto y el terreno adyacente.

Dap (Diámetro a la Altura del Pecho)

Ecología.- descriptor utilizado para calcular el área basal de un árbol y que por convención se mide a 1.30 m.

Copa

Botánica- Conjunto de ramas y hojas que forman la parte superior de un árbol o arbusto.

Copia de contacto

Fotografía- La fotografía hecha de un negativo o diapositiva en contacto directo con el material sensibilizado.

Ecotono

Ecología- Es una zona de transición entre dos comunidades de organismos.

Escala

Fotointerpretación.- Es la relación entre una distancia medida en un mapa o una fotografía aérea y la correspondiente en el terreno.

Estereopar

Fotointerpretación. - Par fotográfico con una sobreposición del 55-60% y una consecuente duplicación de los detalles, que hacen posible el examen en tercera dimensión de objetos en áreas comunes a ambos.

Estereoscopio

Física óptica- Instrumento óptico en el cual dos imágenes planas, superpuestas por la visión binocular, dan la impresión de relieve.

Forma

Fotointerpretación.- Configuración real del objeto visto sobre un plano.

Fotocaracterística

Fotointerpretación. - Propiedades y rasgos característicos más importantes de las fotografías aéreas.

Fotografía aérea vertical

Fotografía.- Es aquella tomada mediante una cámara cuyo eje está perpendicular a la superficie terrestre.

Fotointerpretación

El acto de examinar imágenes fotográficas con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado.

Fronda

Botánica.- Conjunto de hojas y ramas que forman espesura.

Índice de Complejidad

Ecología.- Representa una descripción cuantitativa de la complejidad estructural de la vegetación, permitiendo realizar comparaciones entre comunidades ubicadas en diferentes puntos **geográficos**.

Mapear

Geografía.- Localizar y representar gráficamente la distribución relativa de las partes de un todo. Trasladar a un mapa sistemas o estructuras conceptuales. Hacer mapas.

Nivel digital

Procesamiento digital de **imágenes**.- Valor entero que traduce numéricamente la intensidad radiométrica recibida por **un** sensor óptico electrónico. Valor del pixel.

Parche

Ecología del paisaje.- Asociación local de **especies**.- Conjunto de plantas que pueblan algún terreno que se distingue por su naturaleza (composición de especies, desarrollo etc.) diferenciándolo de las colindantes.

Patrón

Fotointerpretación.- Es la disposición especial de varias propiedades en una secuencia repetida y en un orden característico que puede ser apreciada en un área captada por la fotografía.

Película pancromática

Fotografía.- Es un película **con** sensibilidad aproximadamente igual para todas las longitudes de onda entre 0.4 y 0.9 μm .

Píxel

Procesamiento digital de **imágenes**.- Es el elemento pictórico más **pequeño** de una imagen digital que es susceptible de ser procesado. Abreviatura castellanizada de su denominación inglesa "picture element".

Radiación electromagnética

Teledetección.- Es una forma dinámica de energía que se propaga a través del espacio y que se manifiesta solamente al interactuar con la materia.

Raster

Sistemas de información geográfica.- Se refiere al modelo de representación donde el espacio geográfico real es subdividido en pequeñas unidades en las cuales se miden los valores temáticos existentes.

Resolución de un sistema sensor

Teledetección.- Habilidad para registrar y discriminar información de detalle, implicando al menos, cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

Resolución espacial

Teledetección.- Este concepto designa al objeto mas pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Este tipo de resolución tiene un papel **protagónico** en la interpretación de la imagen, por cuanto marca, el nivel de detalle que ésta ofrece, de tal forma que sólo son discriminables sobre la imagen elementos de tamaño superior, como mínimo al del pixel. En consecuencia la resolución espacial está en estrecha relación con la escala de trabajo y con la fiabilidad **obtenida** en la interpretación. Fotointerpretación.- En un sistema **fotográfico** suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía. Se mide en unidades de longitud.

Resolución espectral

Teledetección.- Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este sentido, un sensor será más robusto en cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas.

Resolución radiométrica

Teledetección.- Indica la capacidad del sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En el caso de los sistemas **fotográficos** en blanco y negro, la resolución **radiométrica** del sensor se indica por el numero de niveles de gris recogido en el film, que en este caso son 256 por pixel (0-255).

Resolución temporal

Teledetección.- Este concepto alude a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor. En otras palabras, se refiere a la periodicidad con la que este adquiere imagines de la misma porción de la superficie terrestre.

Situación

Fotointerpretación.- La posición del objeto con respecto a las características del terreno que lo rodea.

Sombra

Fotointerpretación.- Es la oscuridad dentro de un área adonde no llegan directamente los rayos solares, por la interposición de un cuerpo opaco.

Textura

Fotointerpretación. - Es la frecuencia de cambio y arreglo de los tonos en una imagen. Para designar a la textura generalmente se usan términos descriptivos: tosca, ha, áspera, suave, uniforme, punteada, granular, etc.

Tono

Fotointerpretación. - El tono en las fotografías blanco y negro es la variación distinguible de matiz.

Valor de Importancia

Ecología.- Descriptor cuantitativo que representa la relevancia de cada especie dentro del bosque, que resulta de la sumatoria de la densidad, frecuencia y dominancia relativas.

Vectorial

Sistemas de información **geográfica**.- Se refiere al modelo de representación del aspecto espacial que se centra en la descripción de las **fronteras** exteriores de los elementos geográficos.

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Principales áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S.	32
Tabla II. Características estructurales del manglar El Conchalito por estrato vegetal.....	33
Tabla III. Características estructurales del manglar El Conchahto, general y por estrato arbóreo...	34
Tabla IV. Valor de Importancia por especie en El Conchalito. Parámetros expresados en términos relativos.....	35
Tabla V. Estructura de bosques de mangle en la costa Pacífico de México.	35
Tabla VI. Relación del material fotográfico de El Conchalito.....	37
Tabla VII. Dimensiones del píxel según Salitchev (1979) y Bosque (1992) para detectar parches de vegetación.....	38
Tabla VIII. Clases tono-texturales establecidas para el manglar El Conchalito.....	39
Tabla IX. Dimensiones del píxel y error cuadrático medio de cada imagen.	41
Tabla X. Clases de cobertura vegetal en El Conchalito y métodos empleados.....	41
Tabla XI. Superficie transformada en las inmediaciones del manglar El Conchalito.	45
Tabla XII. Cobertura de diferentes áreas de manglar en la Ensenada de La Paz y aspectos metodológicos.	49
Tabla XIII. Tipos de modelado cartográfico vectorial en un sistema de información geográfica..	81
Tabla XIV. Cobertura de la copa de los arboles o arbustos por estación y especie en El Conchahto.	84
Tabla XV. Altura promedio del manglar en El Conchalito por estación y especie.....	85
Tabla XVI. Densidad, cobertura de la copa y frecuencia relativa por especie en El Conchalito.....	86
Tabla XVII. Área basal por estación en El Conchalito.....	87
Tabla XVIII. Sensores empleados en el mapeo de vegetación costera y acuática.	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudio.....	11
Figura 2. Esquema metodológico general.	13
Figura 3. Estimación del tarnaño del píxel según Salitchev (1979).	19
Figura 4. Etapas del procesamiento digital de imágenes. Tomado de González y Woods, 1996.	21
Figura 5. Análisis de sobreposición de píxel a píxel empleando el algoritmo “Image Difference” (ESRI , 1998).	26
Figura 6. Condición de los parches de vegetación en la franja de protección de El Conchalito (1989 – 1994).	27
Figura 7. Interfase gráfica del algoritmo “ Image Difference ” (ESRI , 1998).	28
Figura 8. Aplicación del algoritmo “Image Difference” con >30 % de incremento en reflectancia e intersección de los parches presentes ‘en 1989 y ausentes en 1994 en la franja de protección de El Conchalito.	29
Figura 9. Capa de infraestructura urbana y estimación del área de ocupación en las inmediaciones del manglar El Conchalito.	30
Figura 10. Parche de vegetación prototipo (500 x 845 m) calculado a partir del promedio de diferentes áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S. y representado a escala 1: 10 000	36
Figura 11. Ubicación de las zonas parcial o totalmente inaccesibles para la toma de datos en campo y fotointerpretación de cobertura en el manglar El Conchalito.....	43
Figura 12. Proceso metodológico para definir el patrón de distribución espacial por clase vegetal en El Conchalito.	44
Figura 13. Esquema metodológico para el mapeo de cobertura de mangle en condiciones áridas.....	55
Figura 14. Formas de teledetección (i) reflexión, (ii) emisión y (iii) emisión reflexión.	69
Figura 15. Esquema de una onda electro-magnética.....	70
Figura 16. Espectro electromagnético.	70
Figura 17. Capas o estratos temáticos en un sistema de información geográfica.	79
Figura 18. Representación raster y vectorial del aspecto espacial.	80

RESUMEN

Se define y aplica un esquema metodológico para el análisis espacial de cobertura del **mangle** en donde se integraron resultados provenientes de técnicas de campo, teledetección y las propias de un sistema de información **geográfica**.

El reconocimiento **preliminar** de la cobertura de manglar en la Ensenada de La Paz permitió establecer que este tipo de vegetación se distribuye en forma discontinua y fragmentada en cordones estrechos paralelos a la **línea** de costa o en parches irregulares relativamente pequeños con una cobertura total aproximada de 305.11 ha. Dicha información acoplada con principios **cartográficos** proveyó información básica para fundamentar la selección de los insumos analógicos (fotografía aérea 1:5 000, 1: 4 500) y definir la resolución espacial ($\leq 0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$) para el análisis en el manglar de El Conchalito.

El trabajo de campo (1999-2000) arrojó un **Índice** de Complejidad Estructural bajo (0.18) con individuos poco desarrollados, mientras que el Valor de Importancia establece a ***Avicennia germinans*** como la especie relevante (266.58), seguida de ***Laguncularia racemosa*** (29.07) y de ***Rhizophora mangle*** (4.32). Sin embargo, en la parte media del manglar se presentó una zona inaccesible con individuos de ***R. mangle*** de hasta 4 m de altura. Considerando las **características** estructurales de El Conchalito y conforme a la clasificación de Lugo y Snedaker (1974) se determinó que éste es un manglar de borde con ocurrencia de matorral enano.

La fotointerpretación estereoscópica y digital (1994) integrada a un sistema de información geográfica permitió obtener el **patrón** de **distribución** y composición de la cobertura vegetal de El Conchalito en donde se establecieron ocho clases tono-texturales. Asimismo, se estimó la cobertura vegetal total (21.05 ha), donde ***A. germinans*** fue la especie mejor representada (17.19 ha) seguida de ***R. mangle*** (3.86 ha), finalmente ***L. racemosa*** se encontró asociada con ambas especies. A su vez, durante la fotointerpretación fue posible identificar la composición y dimensión (4.17 ha) de las áreas inaccesibles durante el muestreo, evidenciando la necesidad de incorporar al trabajo de

campo métodos complementarios para obtener una mejor evaluación de la cobertura vegetal en las comunidades de manglar.

Por otro lado, la detección de cambios temporales de cobertura entre los fotomosaicos (1989-1994) empleando el algoritmo Image Difference (ESRI, 1998) evidenció cambios de cobertura en un área de 0.3 ha en la franja de protección del manglar debido probablemente al tránsito de automotores y al desarrollo de infraestructura urbana (6.05 ha). Finalmente, el esquema metodológico empleado y los resultados obtenidos en procesos intermedios pueden emplearse como punto de referencia para futuros estudios sobre evaluación de cobertura vegetal de manglar en la región ya que permite reducir el tiempo y costo de la investigación, o bien identificar las zonas inaccesibles y su extensión para decidir hacia dónde centrar los esfuerzos de muestreo.

ABSTRACT

A Methodological **Scheme** is define and applied in the present work to **spatial mangrove canopy cover** analysis, where **results** of **field** techniques, teledetection and Geographical System Information were **colected** and integrated.

Previous knowledge of canopy **cover** mongrove in the Ensenada of La Paz allowed to stablish that the distribution of the vegetation is discontinuos and fragment like straight **cordons** that run **paralelly** to the **cost** line or like irregular small **patches** with a total **cover** of 305.11 ha **aproximatly**. Such infonnation joint to cartographical **principles** gave basic information to **select** the analogical supplies (**air** photography 1:5000, 1:4500) and define the spatial resolution (≤ 0.5 m x 0.5 m) to **analyse** the place to study "Conchalito".

Field work (1999-2000) resulted in a small **Structural** Complex Index (0.18) with small development individuals while the Importance Value stablished to *Avicennia germinans* as the relevant **species** (266.58), *Laguncularia racemosa* (29.07) as the second relevant **species** and *Rhizophora mangle* (4.32) as the third one. However in the **middle** of the mangrove it was an **inaccessible** zone with trees of *R. mangle* with a height of 4 m. Considering the **structural** characteristics of El Conchalito and the Lugo and Snedaker's **classification** (1974) it was possible to determinated that El Conchalito is a kind of "board mangrove" with "scrubs".

The Stereoscopical and Digital Photointerpretation (1994) was integrated to a Geographical System Information and allowed to obtain the distribution pattem and the canopy **cover** composition of El Conchalito where were stablished eight **tono-texture classes**. Total canopy **cover** was estimated (21.05 ha), where *A. germinans* was the best representative **species** (17.19 ha) followed by *R. mangle* (3.86 ha) and *L. racemosa* was found in association with both **species** *A. germinans* and *R. mangle*. Simultaneosuly, it was possible to identified the composition and dimension of **inaccessible** zones during the field work where we could observed the necessity of incorporate complementary methods to obtain a better evaluation of canopy **cover** of the mangrove community.

Using the Image Difference (ESRI, 1998) algorithm in order to determinate the temporal **changes** of canopy between the different photomosaics (1989-1994) it was **possible** observed **changes in canopy area** with 0.3 ha **in** the mangrove protection line, it **will** be **caused** by the automotive transit and urban **infraestructure** development (6.05 ha). Finally, Methodological **Squeme used in** this work and total of **even** partial **results** obtained could be employed as a **reference** point of future studies about canopy **cover** mangrove in the **region**, **since** allow **reduced** the **cost** and time of the research, and identify **inaccessible** zones and its dimension to decide where the **efforts** of the field work must be **focus**.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades de mangte constituyen un **ecotono** entre el sistema terrestre y el marino, con características ecológicas de gran complejidad estructural y funcional. La infraestructura de los manglares la constituyen los árboles o arbustos, estableciéndose en tomo a ellos una biocenosis que comprende otros productores (pastos de marismas, pastos marinos, **macroalgas**, fitobentos, etc.), consumidores (**crustáceos**, peces, aves, etc.) y degradadores (bacterias y hongos), interrelacionados a través del flujo de materia y energía que constituye y regula el metabolismo ~~de~~ la comunidad (Yáñez-Arancibia, 1986, Day et al., 1988; Flores-Verdugo, 1990; Jiménez, 1991).

En su conjunto, las **especies** de mangle **están** adaptadas a zonas costeras inundables, variaciones de salinidad, cambios en el nivel de las mareas y suelos **anóxicos**. En el ámbito taxonómico se incluyen 54 especies de las cuales cuatro se han **identificado** en nuestro país: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (botoncillo) (Flores-Verdugo, 1990; Loa, 1994; Ramírez-García y Lot, 1994; Rzedowski, 1994; Tomlinson, 1994).

Las comunidades de mangle alcanzan su mayor complejidad estructural en la región tropical entre los 25° N y 25° S de latitud, donde la precipitación pluvial y el aporte continental son abundantes, la temperatura media anual es superior a los 20° C (con variaciones estacionales inferiores a 5° C), la influencia de la marea es constante, la velocidad de corrientes es baja y el aporte de sedimentos es escaso (Chapman, 1977; Odum et al., 1982; Jiménez y González, 1996).

En **América**, los manglares se extienden por el Océano Pacífico desde Baja California hasta el norte de Perú y del lado del Atlántico desde Florida hasta Brasil (Mendoza, 1984).

En la Península de Baja California existen diversas comunidades de manglar. En la costa del Golfo de California *A. germinans* se distribuye hasta los 26° 22' N, a la altura de Punta Mangle; *R. mangle* tiene como límite el estuario del Río Mulegé a los 26° 54' N; *L. racemosa* se distribuye hasta Bahía de Los Angeles en el paralelo de los 29° N; finalmente *C. erectus* se localiza alrededor de los 23° N, hacia la Región de Los Cabos (Sánchez, 1963; Ramírez-García y Lot, 1992; Tovilla, 1994; Rzedowski, 1994).

Para la costa occidente de la península, Tovilla (1984) señala una distribución muy irregular, con *A. germinans* como la especie menos persistente, distribuida principalmente al Sur de Bahía Magdalena a los 24° N, mientras que Delgadillo et al. (1992) y Rzedowski (1994), establecen que *R. mangle* y *L. racemosa* se distribuyen hasta el paralelo de los 27° N.

Por otro lado, según Davis (1940), en la zonación local los árboles de mangle forman cordones paralelos a la costa, en los que *R. mangle* aparece como la especie pionera del sistema, *A. germinans* y *L. racemosa* se encuentran tierra adentro, detrás de *R. mangle*, estando sujetas a periodos de inundación frecuentes, mientras que la región de *C. erectus* se anega sólo cuando la amplitud de la marea es máxima.

Sin embargo, de acuerdo con Cintrón y Snedaker (1981, 1983), este patrón de distribución varía de acuerdo a las condiciones ambientales derivadas de la amplitud de la marea, el tipo de sustrato, la competencia interespecífica, los niveles de nutrimento, el escurrimiento, la precipitación, la evaporación, los cambios bruscos de salinidad y temperatura, la presencia de tormentas y huracanes e incluso, los periodos de sequía prolongados, así como el aporte de contaminantes, los cuales constituyen factores que modifican constantemente la estructura de los bosques (Odum et al., 1982; Flores Verdugo, 1990; Tovilla, 1994; Jiménez, 1991).

Finalmente, en términos **generales**, la función de los manglares dentro de los ecosistemas costeros puede resumirse como sigue:

☞ Son áreas altamente productivas. El aporte de materia orgánica por los manglares es crucial desde el punto de vista ecológico, pues determina en gran medida, la productividad de los cuerpos costeros adyacentes (Day y Yañez-Arancibia, 1988; Jiménez, 1991). El intercambio constante de materia y energía entre los sistemas de manglar y la zona marina ha permitido el desarrollo de complejas tramas tróficas, en especial de peces y **crustáceos**. Se ha calculado que hasta un 40 % de la biomasa producida por los manglares es exportada hacia otras Breas o bien, directamente al mar; de este porcentaje, se estima que hasta un 10 % se convierte en peces, moluscos y **crustáceos** de importancia comercial (Yañez-Arancibia et al., 1992, en Tovilla, 1994).

- Constituyen áreas de gran riqueza específica. Los manglares sirven como áreas de reproducción, crianza, **alimentación**, crecimiento, protección **contra** depredadores y conforman rutas de **migración** para aves, peces e invertebrados, pero también se encuentran reptiles y mamíferos (Flores-Verdugo, 1990; **Tovilla**, 1994; Carmona, 1995; **Guzmán** 1998).

☞ Los bosques de mangle son considerados como estabilizadores de la línea de **costa**, incluso como constructores de nuevas tierras. Además, protegen contra el embate de tormentas y huracanes, así como de la **salinización** progresiva de suelos adyacentes. La **eliminación** de grandes extensiones de estos bosques costeros hace más vulnerable a la población humana así como a sus bienes materiales (Fosber, 1971; Menéndez et al., 1994; **Tovilla**, 1994; Jiménez, 1996).

☞ Los manglares son comunidades de importante valor estético y turístico, por lo cual son motivo de interés para miles de visitas turísticas al **año**, lo que se traduce en una importante derrama económica en la región. Además, son áreas de importancia cultural y arqueológica (Flores Verdugo, 1990).

- El manglar es una fuente de productos que tienen valor comercial e importancia doméstica. En diversas partes del mundo existe una dependencia directa sobre los recursos locales para su uso comercial, como madera, pulpas, astillas, **leña**, carbón, producción de miel, taninos y otros productos domésticos o medicinales (Alcocer, 1900; Tovilla, 1994; Jiménez, 1991; Suman, 1994).
- Por otro lado, los manglares garantizan la persistencia de la calidad del agua costera, al retener el nutrimento y liberarlo paulatinamente, manteniendo así un nivel de eutrofización saludable en los canales y lagunas. Incluso, se ha sugerido su uso como sistemas de tratamiento terciario de descargas urbanas, para reducir la eutrofización (Flores-Verdugo, 1990).

A pesar de la irrefutable importancia de las comunidades de manglar y de que las especies de mangle están consideradas por la legislación ambiental mexicana como especies bajo **protección especial** (SEDESOL, 1994; SEMARNAP, 1999, 2000), en **México**, la **sobreexplotación** del manglar para la obtención de madera y la conversión del uso de suelo para construcción de instalaciones urbanas, acuícolas y portuarias ha ocasionado una acelerada degradación de estas comunidades. El impacto no sólo se ve reflejado en altas tasas de deforestación, también se presentan cambios estructurales irreversibles o desecación por construcción de diques o asolvamiento de canales de flujo (Flores-Verdugo, 1990; Loa, 1994; Summan, 1994; Tovilla, 1994;).

La tendencia de concentrar actividades productivas en las inmediaciones de éstos ecosistemas es un reflejo de la riqueza de sus recursos, originando fuertes presiones de desarrollo que, junto con la ausencia de planes de manejo, provocan un uso y aprovechamiento desordenado con la consecuente pérdida de la riqueza específica y paisajística (Yáñez-Arancibia, 1986; Carmona, 1995; Guzmán, 1998).

Las comunidades vegetales en la Ensenada de La Paz no escapan a esta tendencia. El desarrollo de la ciudad ha mostrado efectos tangibles en la vegetación costera ocasionando fragmentación, reducción y pérdida de hábitat (Mendoza et al., 1984; De la Cruz, 1996; Carmona, 1995, Carmona y Ramírez, 2001).

Asimismo, el inventario y diagnóstico de estas comunidades son elementos básicos en el proceso de generación de un plan de manejo. Es en este punto donde la teledetección y los sistemas de información geográfica (Anexo I y II) abren un amplio panorama de posibilidades que de otra manera sería muy costoso adquirir (tiempo, dinero, esfuerzo) e incluso, en ocasiones constituyen la única alternativa de obtener información (Lira, 1987; Núñez, 1988; Bosque, 1992).

JUSTIFICACIÓN

El inventario y **diagnóstico** de las comunidades de manglar son elementos básicos en el proceso de generación de un plan de manejo. Es común que este proceso se lleve a cabo mediante una toma intensiva de datos en campo. Sin embargo, debido a la inaccesibilidad de los sitios de estudio, los problemas logísticos, presupuesto, o bien, a la rapidez con que se requiere la información, es necesario el uso de métodos complementarios o alternativos.

Para ello, la **información** generada a partir de la teledetección ha contribuido en forma decisiva a preparar y actualizar inventarios y material cartográfico sin embargo, su utilidad puede y debe ir más allá, ya que ésta disciplina incluye también el desarrollo de técnicas y algoritmos para el procesamiento digital de imágenes (PDI) y el reconocimiento de patrones. Asimismo, los sistemas de información **geográfica** (SIG) se implementan como herramientas capaces de analizar, integrar y confrontar espacialmente distintas series de datos georeferenciados para obtener información adicional que permita dar respuestas útiles a problemas específicos (Bosque, 1997).

Aunque se trata de desarrollos tecnológicos distintos con objetivos de trabajo diferenciados, los SIG, el Procesamiento Digital de Imágenes y la Fotointerpretación son afines y, lo más importante, complementarios. Generalmente, la **utilización** de uno conduce con el tiempo a la necesidad o conveniencia de apoyarse en los otros. Para los sistemas de procesamiento de imágenes y fotointerpretación, las posibilidades de manejo espacial de datos proporcionadas por un SIG son fundamentales para alcanzar mayor provecho de la **información** que generan. En el caso de los SIG, la ventaja se plantea a la inversa, pues la información proveniente de la teledetección constituye un medio cada vez **más** efectivo para alimentar y actualizar bases de datos, **información** medular de todo sistema (Chuvieco, 1990; García, 1993). Considerando tal situación, el esfuerzo de este trabajo está dirigido al **análisis** espacial de cobertura de mangle en El Conchalito, en donde se considera la pertinencia de complementar los datos estructurales de campo con métodos alternativos. Para ello se plantea un esquema metodológico mediante la selección y aplicación de diferentes técnicas y algoritmos de la teledetección y los propios de un sistema de información geográfica.

OBJETIVOS

General

Definir y aplicar un esquema metodológico para el análisis espacial de la cobertura de mangle mediante la selección, prueba y **aplicación** de métodos de campo, teledetección y de Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando como caso de estudio el manglar de El Conchalito, B.C.S.

Particulares

1. Realizar un reconocimiento de la distribución y **dimensión** de las principales áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S.
2. Describir la estructura de “El Conchalito” a través del:
 - a) Valor de Importancia (Curtis y McIntosh, 1951)
 - b) **Índice** de Complejidad (Holdridge, 1967)
3. Definir el factor de escala de los insumos fotográficos y la resolución espacial para el análisis digital en “El Conchalito”.
4. Realizar la **fotointerpretación** de gabinete y campo para la clasificación de la cobertura vegetal de El Conchalito.
5. **Diseño** y aplicación de un esquema metodológico para el análisis espacial de cobertura vegetal en El Conchalito.

ANTECEDENTES

Actualmente existen diversos estudios relacionados con la ecología de comunidades de manglar, particularmente acerca de su estructura, modelos de crecimiento y **zonificación** forestal (Cintrón et al., 1982; Soto y Jiménez, 1982; **Gutiérrez** y Sola, 1986; Sánchez, 1994; Jiménez, 1996). Igualmente, se han estudiado aspectos de funcionalidad y productividad basados en la magnitud de la interacción con los factores externos, así como de los mecanismos **fisiológicos**, captación y flujos de energía (**Yáñez-Arancibia**, 1986; Jiménez, 1991, 1996; Tovilla, 1994).

Específicamente para los manglares de la Ensenada de La Paz, B. C. S., son pocos los estudios realizados, entre ellos destaca la línea **ornitológica**, en la que queda de manifiesto la importancia de los manglares como zona de paso de especies migratorias y como lugar de invernación y reproducción (Mendoza, 1983; Becerril, 1994; Maldonado y Sánchez, 1994; Mendoza, 1994; Carmona, 1995; Carmona-Islas, 1995; Becerril y Carmona, 1997; Guzmán, 1998; Carmona y Ramlret, 2001).

Respecto a la vegetación, las investigaciones son aún escasas. Espinoza (1981) elaboró un inventario florístico para el bosque de Et Zacatal, además de estudiar otros dos bosques en la Bahía de La Paz (Balandra y Enfermería); Mendoza et al. (1984) continuaron con tal inventario y realizaron una estimación de la pérdida de manglar para el período de 1973 a 1981; **Jiménez** (1991) realizó un análisis de la estructura, condiciones hidrológicas y aporte de materia orgánica macroparticulada del bosque El Mogote.

Asimismo, **Pérez** (1995) realizó un inventario florístico de ambientes costeros de la Región del Cabo en el cual incorpora algunas áreas de manglar de la Ensenada de La Paz; finalmente, Guzmán (1998) elaboró un inventario de los humedales de Baja California Sur, **señalando** que El Conchalito requiere prioridad de protección debido al acelerado crecimiento urbano en sus inmediaciones.

Por otro lado, la aplicación de las técnicas de teledetección y de sistemas de información geográfica, ya sea en conjunto o de manera independiente, han sido ampliamente utilizada para el inventario, diagnóstico y análisis de los recursos naturales

(Soto et al., 1977; Núñez, 1988; Giddings, 1980; Azuara y Ramírez, 1994; Bojórquez et al, 1995; Alejo, 1996; Bosque, 1997).

Particularmente en la última década, la aplicación de estas técnicas en la **evaluación** de vegetación marina y especialmente en manglares se ha desarrollado de manera importante, encontrando dos grandes líneas entre los trabajos más relevantes: el mapeo de vegetación y el análisis de los métodos de mapeo.

- ☞ Noriega y Lozano (**sf**) desarrollan una metodología de manejo e inventario de humedales utilizando imágenes Landsat-TM y de radar **ERS-1** .
- ☞ De la Lanza (1993) realiza la evaluación preliminar del manglar de la Laguna de Términos, Campeche, a través de imágenes Landsat MSS.
- ☞ Bojórquez et al. (1995) establecen el Ordenamiento Ecológico de Marismas Nacionales, Nayarit, utilizando técnicas de videografía y fotointerpretación integradas a un SIG.
- ☞ Everitt et al. (1996) empleando imágenes de videografía infrarroja integradas a un SIG, determinan los efectos de las heladas en los bosques de mangle negro en las costas de Texas.
- ☞ Long y Skewes (1996) desarrollaron una técnica para mapear la densidad del manglar de Australia, utilizando criterios topológicos, mapas de elevación y de distancia, complementados con interpretaciones visuales y técnicas de fotointerpretación para subdividir una imagen Landsat TM integrada a un SIG.
- ☞ Caloz y Collet (1997) realizan un análisis para la aplicación de sistemas de información geográfica y **sensores** remotos en botánica acuática.
- ☞ Lehmann y Lachavanne (1997) plantean el análisis de las aplicaciones de los SIG y **sensores** remotos en botánica marina.

- ≠ Muller (1997) plantea un análisis acerca del uso de técnicas tradicionales y nuevos métodos (SIG y sensores remotos) para el mapeo de vegetación riparia.
- ≠ Ramsey y Laine (1997) evaluaron la capacidad de imágenes Landsat TM con relación a las fotografías de alta resolución, para detectar cambios en humedales heterogéneos y complejos.
- ≠ Panapitukkul et al. (1998) mediante una combinación de técnicas de percepción remota (fotografías aéreas e imágenes de satélite) y medidas *in situ* integradas a un SIG, determinaron la tasa de **progresión** de un bosque de mangle en Tailandia.
- ≠ Smith et al. (1998) realizan la **identificación** y mapeo de cambios estacionales en la **vegetación** de un sistema de humedales utilizando imágenes de satélite.
- ≠ Ramsey et al. (1998) elaboraron los mapas de especies vegetales y detalles **fisiográficos** de una zona de humedales en Florida, determinando la contribución de cada sensor (fotografías **infrarrojas-CIR**, imágenes de satélite-TM e imágenes de radar ERS-1 SAR) en los mapas generados.

ÁREA DE ESTUDIO

La Ensenada de La Paz es una laguna costera localizada entre los $24^{\circ}06' - 24^{\circ}11' N$ y los $110^{\circ}19' - 110^{\circ}25' w$. Ubicada en la porción sudoeste de la Bahía de La Paz, B. C. S. y separada de ésta por una barra de arena denominada “El Mogote”. La superficie de la laguna es de 4054.9 ha con 44.5 km de litoral, donde se encuentran 5 áreas principales de manglar: El Mogote, Zacatecas, Comitán, Zacatal y El Conchalito (Fig. 1), las cuales conformaban hasta 1984 una superficie de 162.25 ha (Mendoza et al., 1984).

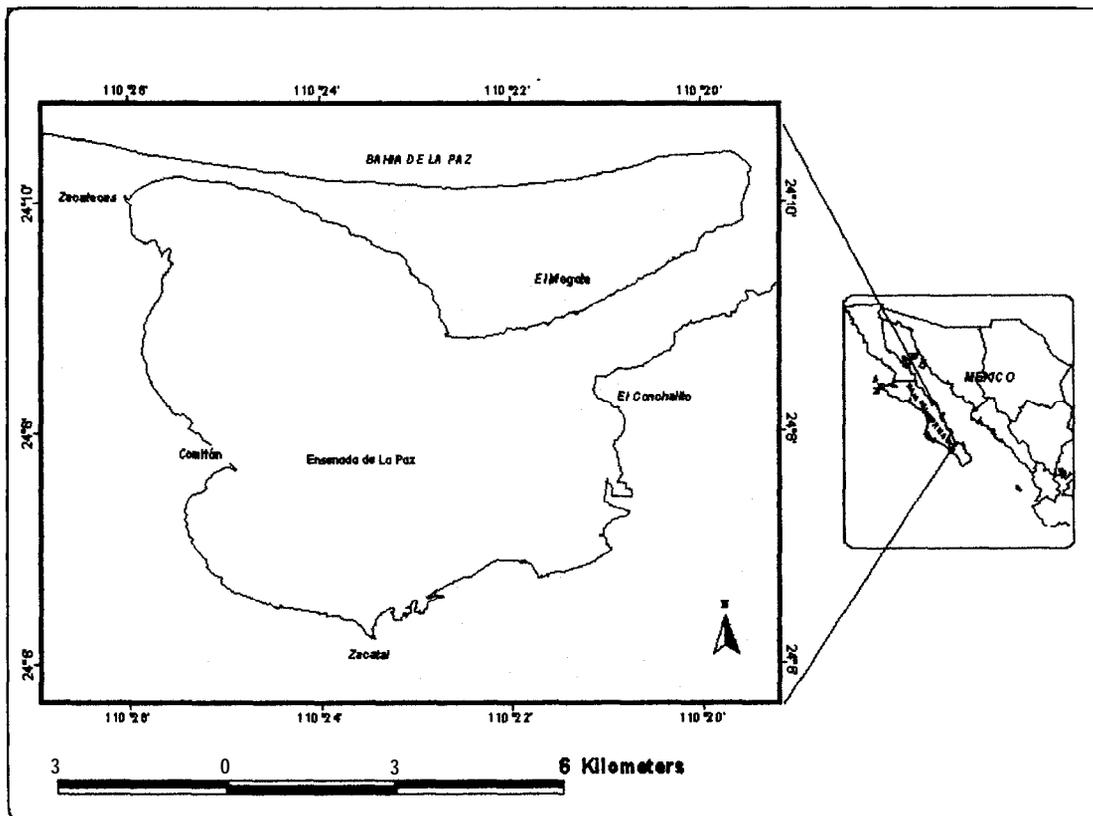


Figura 1. Área de Estudio.

El clima de la **región** es seco, muy árido (BW). La temperatura media anual **es** de $19.7^{\circ} C$, la mínima se sitúa entre 2 y $8^{\circ} C$ (diciembre-febrero) y la máxima entre 40 y $43^{\circ} C$ entre agosto y septiembre. La **precipitación** anual es de 166.5 mm en promedio; la evaporación excede a la precipitación, siendo en junio y julio cuando se reportan las máximas. Los vientos dominantes son del sudeste (Coromueles), presentándose de abril a octubre, y del noroeste (Collas), de noviembre a marzo (García, 1973; INEGI, 1995).

El oleaje es mínimo y la marea, que es semidiurna mixta, ejerce una gran influencia en sus playas, debido principalmente a la suave pendiente; este fenómeno se presenta con mayor intensidad en la parte sur de la laguna, quedando expuestas en marea baja de 500 a 1000 metros de marisma aproximadamente. En general, el tipo de **sustrato** de la laguna es arenoso-limoso, mezclado con gran cantidad de conchas de moluscos; en la zona norte y noroeste tiende a ser más arenoso que limoso, mientras que en la parte sur es limoso o limoso-arenoso (Galindo, 1987).

La flora que se reporta para el litoral de la laguna es considerada como propia de las comunidades halófitas, compuesta por dos estratos bien diferenciados: el arbóreo representado por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*; y el herbáceo, en el que se presentan diversas especies de los géneros *Salicornia*, *Allenrolfea*, *Batis*, *Sessuvium*, *Suaeda* y *Heliotropium* principalmente (Pérez, 1994; Rzedowski, 1994).

El desarrollo acelerado de la ciudad de La Paz y de la zona **conurbana** en las inmediaciones de la laguna ha mostrado efectos tangibles en la vegetación costera particularmente sobre las comunidades de manglar, ocasionando fragmentación, reducción y pérdida de hábitat (Mendoza et al., 1984; Carmona, 1995; De la Cruz, 1996; Carmona y Ramírez, 2001).

El manglar de El Conchalito, ubicado en la **porción** sureste de la laguna, no ha escapado a esa tendencia. Mendoza et al., (1984) reportaron una pérdida de 6.75 ha entre 1973 y 1981, atribuida principalmente a las construcciones del Centro **Interdisciplinario** de Ciencias Marinas, I. P. N. y al Centro de Estudios Tecnológicos del Mar, estimando para 1981 una superficie total de 11.38 ha

El Conchalito es una zona donde tradicionalmente se han capturado diversas especies de invertebrados, principalmente almeja y jaiba; asimismo, se han reportado 42 especies de peces y 162 de aves, resaltando la importancia del biotopo en el funcionamiento de la Bahía de La Paz (González, 1998; Carmona y Ramírez, 2001).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar el presente trabajo se contempló la aplicación de técnicas de campo, fotointerpretación, así como las propias del PDI y de los SIG. El trabajo se realizó en tres etapas bajo retroalimentación continua (Fig. 2):

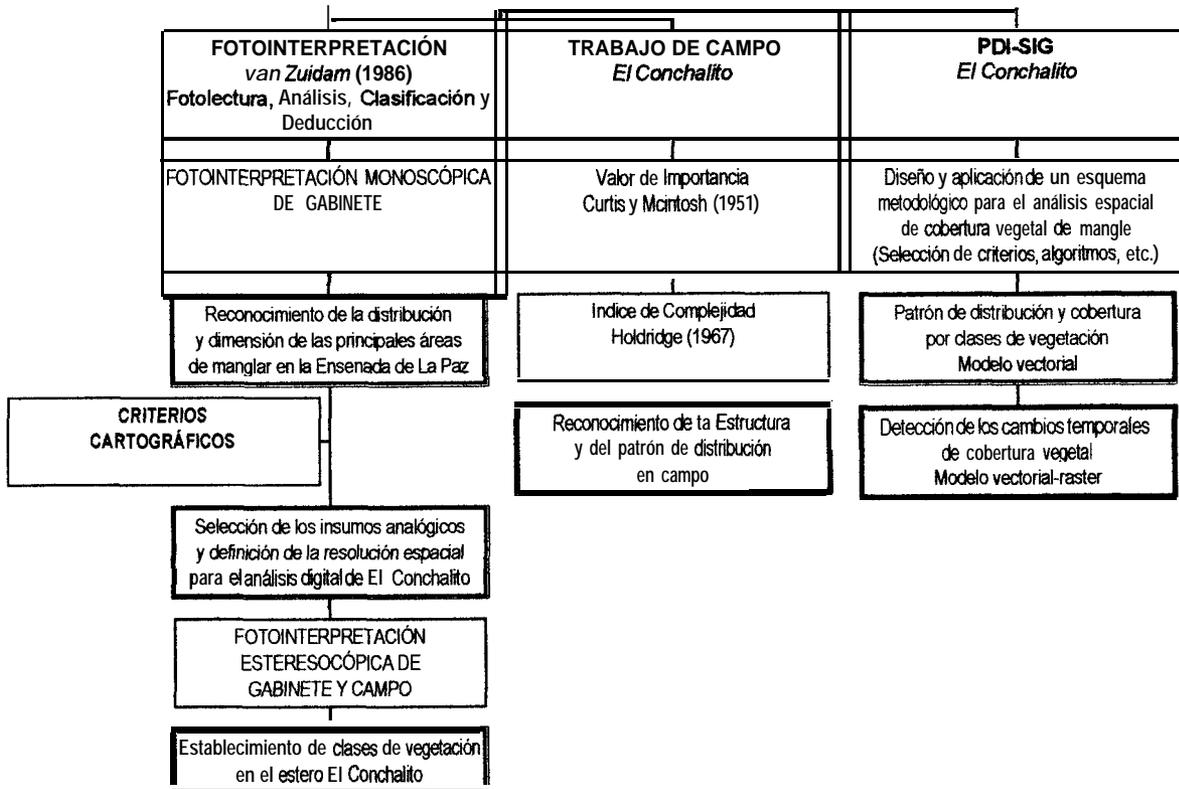


Figura 2. Esquema metodológico general.

La fotointerpretación permitió reconocer el patrón de distribución de las áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, información que a su vez sustentó la selección de los insumos analógicos. Asimismo, permitió realizar la clasificación por especie o asociación vegetal en El Conchalito.

El trabajo de campo permitió realizar la caracterización *in situ* de los atributos estructurales del manglar El Conchalito, generando además la información básica para fundamentar y validar la fotointerpretación y definir la resolución espacial de los subsecuentes análisis digitales.

Finalmente, estas dos etapas aportaron el conocimiento e insumos necesarios para definir y aplicar un esquema metodológico para el análisis espacial de cobertura vegetal en El Conchalito.

FOTOINTERPRETACIÓN MONOSCÓPICA DE GABINETE

RECONOCIMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIÓN DE LAS PRINCIPALES ÁREAS DE MANGLAR EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B. C. S.

El objetivo de esta etapa atiende a un análisis prospectivo a meso escala para determinar la distribución y magnitud de las áreas de manglar en los márgenes de la Ensenada de La Paz, B. C. S. Información que, en conjunto con principios cartográficos sustentó la selección de los insumos analógicos y la resolución del análisis digital para realizar la clasificación por especie o asociación vegetal en el Conchalito. Para ello, se realizó una fotointerpretación monoscópica a partir de una ampliación 4x de una fotografía aérea blanco y negro escala 1:75 000 (INEGI, 1993), quedando una escala de trabajo de 1:18 750.

Las principales fotocaracterísticas que se consideraron fueron situación, textura tono y patrón. El proceso que se siguió es el sugerido por van Zuidam (1986, Anexo I). La interpretación se realizó sobre acetato y posteriormente se digitalizó empleando una tableta Summagraphics Summagrid III, bajo la plataforma del SIG ArcView 3.2. El límite de error permitido para la asignación de puntos de referencia fue de 0.005 de pulgada; tales puntos fueron tomados a partir de las cartas topográficas G12D82 y G12D83, escala 1: 50 000 (INEGI, 1999), empleando el siguiente sistema de coordenadas:

Elipsoide: *Clarke de 7866*
Proyección: *Universal Transversa de Mercator (UTM)*
Datum horizontal: *Norteamericano de 1927(NAD27)*

Posteriormente se determinó la magnitud geométrica (área y perímetro) de cada parche de vegetación y se realizó una **clasificación** en 3 clases en función de la variable de área empleando el **método** de quiebres naturales (ESRI, 1996).

Asimismo, se digitalizaron las capas de litoral, área urbana y zona de dunas a partir de las cartas topográficas **G12D82** y **G12D83** escala **1:50 000** empleando el mismo esquema de trabajo. Finalmente, se realizó una superposición de capas para generar el mapa de distribución y cobertura de áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S. (Mapa 1).

TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo (1999-2000) consistió en la obtención de descriptores estructurales con el fin de caracterizar la fisonomía del manglar; esta información, a su vez, se **utilizó** para validar la clasificación de imágenes analógicas y digitales generadas durante la **fotointerpretación** de El Conchalito.

Para obtener los atributos estructurales, se realizó un muestreo aleatorio estratificado en 20 estaciones de trabajo, delimitando en cada estación uno o dos cuadrantes con superficies que variaron de 3 a 100 m², siendo la unidad de muestreo 1 m².

Los indicadores estructurales que se estimaron fueron el Valor de Importancia de Curtís y McIntosh (1951) y el Índice de Complejidad de Holdridge (1967), tomados de Jiménez (1991, 1996) y **Sánchez** (1994).

VALOR DE IMPORTANCIA

El Valor de Importancia (V.I.) indica la relevancia de cada especie dentro del bosque, que resulta de la **sumatoria** de la densidad, frecuencia y dominancia relativas. El valor de las variables se expresa en porcentaje, por lo que el valor máximo total es de 300.

$$V.I. = Ar_i + Fr_i + Dr_i$$

donde: Ar_i = Densidad relativa de la especie $i = (n_i/N) 100$
 Fr_i = Frecuencia relativa de la especie $i = (F_i/\Sigma F) 100$
 Dr_i = Dominancia relativa de la especie $i = (D_i/D) 100$

donde: n_i = Número de individuos de la especie i
 N = No. total de individuos de las especies presentes
 F_i = No. de observaciones en las cuales **aparece** la especie i
 ΣF = No. total de observaciones
 D_i = Dominancia la especie i
 D = Dominancia total

La dominancia se estimó a **través** de la cobertura vegetal, la cual representa el área cubierta por la copa de los árboles o arbustos, ésta se determinó empleando la expresión del área elíptica, para lo cual inicialmente se tomó el diámetro máximo de la copa y el diámetro perpendicular al primero.

$$C_i = \Sigma (\pi * a * b)$$

donde: C_i = Cobertura total de la especie i (m^2)
 a = Semieje o diámetro mayor por individuo
 b = Semieje o diámetro menor por individuo

Adicionalmente, se estimó la cobertura vegetal de los parches de manglar **más** pequeños situados en los límites del cuerpo principal para ello, se tomó el diámetro máximo de la copa del parche y el **diámetro** perpendicular al primero.

$$C = \Sigma (\pi * a * b)$$

donde: C = Cobertura total del **parche** (m^2)
 a = Semieje o diámetro mayor por individuo
 b = Semieje o diámetro menor por individuo

La identificación de los individuos se realizó directamente en campo con apoyo de las claves de Tomlinson (1994). La altura y el diámetro de las copas se midieron con tubos de PVC graduados cada 2 cm. Asimismo, se registró la posición geográfica de cada estación de trabajo (geoposicionador Magellan Nav DLX **10**), de los linderos del manglar, de parches monoespecíficos y de áreas sin vegetación.

ÍNDICE DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL

Este **índice** representa una descripción cuantitativa de la complejidad estructural de la vegetación (Jiménez, 1996), permitiendo realizar comparaciones entre comunidades ubicadas en diferentes puntos geográficos. El **índice** se calculó para 0.1 ha, con individuos con diámetro a la altura del pecho (dap) > 2.5 cm que por convención se mide a la altura del pecho (1.30 m encima del nivel del suelo).

$$\text{Índice de Complejidad} = (s*d*b*h) / 1000$$

donde: s = Número de especies
d = Densidad de individuos en 0.1 ha
b = Área basal en 0.1 ha
h = Altura promedio

El área basal indica el desarrollo que puede tener un bosque y se relaciona con la biomasa y volumen de éste. Generalmente se expresa en m² por ha. (m²/ha) para todos los individuos con diámetros a la altura del pecho >2.5 cm, >5 cm o >10 cm (Snedaker y Snedaker, 1984).

El área basal está directamente relacionada con el diámetro y puede ser fácilmente calculada a partir de éste. Para obtener el diámetro (d), se midió la circunferencia del tronco (c) de todos los individuos con alturas mayores a 1.5 m, para lo cual se siguieron los procedimientos estandarizados propuestos por Snedaker y Snedaker, 1984 (Anexo III). El cálculo se realizó mediante la expresión $d = c/\pi$, a partir de la cual se derivó el radio, $r = d/2$, posteriormente se seleccionaron todos aquellos individuos con dap > 2.5 cm y se procedió a estimar el área basal en m² por ha mediante la siguiente expresión:

$$AB = \sum \pi * r^2$$

donde: AB = Área basal de los individuos con dap > 2.5 cm
 $\pi = 3.1416$
r = Radio individual (m²)

ESCALA DE LOS INSUMOS FOTOGRÁFICOS Y RESOLUCIÓN ESPACIAL PARA EVALUAR LA COBERTURA VEGETAL EN EL CONCHALITO

La selección del sensor y la resolución espacial del análisis digital son criterios primordiales para el mapeo de **vegetación**, ya que las características de los insumos y la resolución de los datos imponen los alcances del análisis. En este caso se consideró emplear como fuente de datos fotografías aéreas debido a su alta resolución espacial, capacidad para la estereoscopía, disponibilidad y fácil adquisición.

Asimismo, la precisión de la representación, la exactitud de las mediciones y la dimensión total de la ilustración de un territorio concreto dependen de la escala del material (en este caso, analógico y digital). Por ello, la selección de escala (s) estuvo encaminada a garantizar el éxito de los análisis subsecuentes que en este caso fueron a) la eventual fotointerpretación al nivel de especie o asociación vegetal en las comunidades de manglar; b) la detección de cambios finos de cobertura vegetal y c) la factibilidad de realizar un análisis de superposición.

Inicialmente se compiló y reviso el material fotográfico existente para El Conchalito, para la selección del factor de escala se emplearon los criterios de Avery (1977), Núñez (1988) White y Muller (1977) y se confrontaron con los resultados provenientes del reconocimiento de la distribución y dimensiones de las principales áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B.C.S. y del trabajo de campo realizado en El Conchalito.

Por otro lado, una tarea crucial en el Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) es determinar la resolución espacial del análisis. Es decir, definir el tamaño del elemento base o píxel de la imagen digital y, asociado con él, el número total de filas y columnas de la matriz generada. El tamaño del píxel establece la escala del mapa de salida, cuanto más pequeño sea éste más precisa es la representación de la realidad (del terreno) en el mapa. Pero, al mismo tiempo, cuanto más pequeño sea el elemento base se requiere mayor número de filas y columnas para representar una misma porción del terreno y, por lo tanto, más grande tendrá que ser el espacio del almacenamiento (Salitchev, 1979; Bosque, 1992).

Otro factor importante para determinar la resolución espacial del análisis es definir las dimensiones de la unidad mínima interpretable (UMI) para ello, durante el trabajo de campo se estimó la cobertura vegetal de los parches de manglar más **pequeños**, los cuales presentaron dimensiones de 6 m² hasta 10 m².

Finalmente, se procedió a estimar la resolución espacial del análisis digital (**tamaño del píxel**) empleando los criterios de Salitchev (1979) y Bosque (1992). Para el primer autor, en una imagen digital la unidad mínima interpretable (UMI) es de 16 píxeles: 4 píxeles significativos más los 12 que constituyen su entorno; mientras que Bosque (1992) señala que para establecer la escala de un mapa raster la longitud del píxel debe ser la mitad de la longitud más **pequeña** que sea necesario representar de todas las existentes en la realidad, es decir, 4 píxeles (Fig. 3).

Asimismo, se estimó la escala del mapa de salida (Fig.3), para ello se **consideró** el criterio de Bosque (1992) el cual establece que el **tamaño** de la unidad mínima de información de un mapa, unidad mínima cartografiada (UMC), no debe ser inferior a 2 mm x 2 mm (4 mm²) medidos a la escala del mapa (Fig. 3).

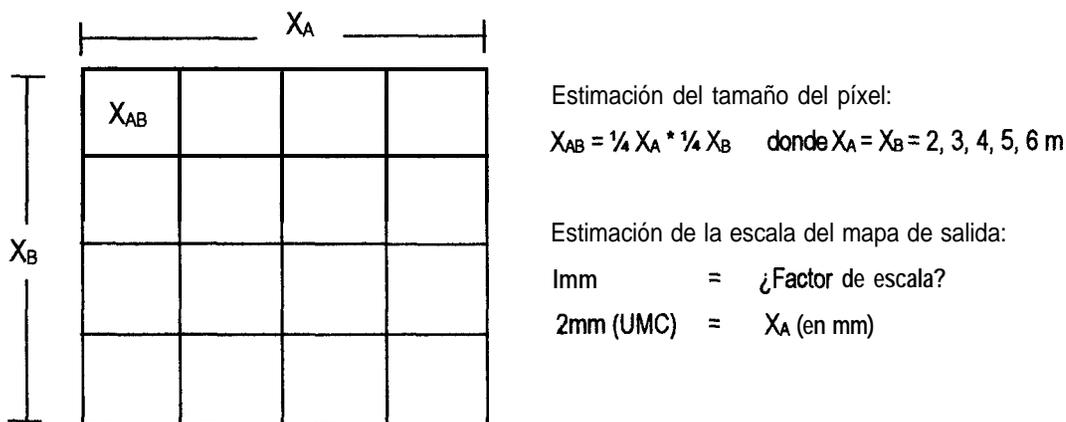


Figura 3. Estimación del tamaño del píxel según Salitchev (1979).

FOTOINTERPRETACIÓN ESTEREOSCÓPICA DE GABINETE Y CAMPO

CLASIFICACIÓN POR ESPECIE O ASOCIACIÓN VEGETAL DE EL CONCHALITO

Una vez seleccionada la escala de los insumos fotográficos, se procedió a generar las clases por especie o asociación vegetal para la fracción principal de El Conchalito. Aplicando el proceso de fotointerpretación sugerido por van Zuidam (1986, Anexo I) con validación en campo. Las fotocaracterísticas que se consideraron fueron: escala, tono, textura, forma, patrón y situación, empleando para ello el estereopar más reciente y un estereoscopio de espejos TSP1.

El modo en que se compaginaron los datos anteriores forma parte de un razonamiento inductivo-deductivo acoplado con la información de campo. La clasificación fue elaborada directamente sobre acetato y posteriormente digitalizada mediante un proceso de barrido empleando un scanner de cama plana HP Scan Jet ADF.

Las clases generadas fueron a su vez tipificadas según la composición y dominancia de especie considerando como dominante cuando la cobertura vegetal está representada en un 75% o más por una sola especie y como asociación cuando la especie representativa presenta una cobertura <75% y además no es posible establecer una delimitación clara entre las especies componentes.

En resumen, esta etapa del trabajo permitió aislar el objeto de interés (cobertura vegetal), describirlo¹ y etiquetarlo (asignación de clases), lo cual es equiparable a las etapas de descripción y reconocimiento e interpretación del procesamiento digital de imágenes (Anexo I).

¹La descripción consiste en extraer rasgos con alguna información que sea fundamental para diferenciar una clase de objetos de otra.

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE COBERTURA EN EL CONCHALITO

Una vez que se obtuvieron y analizaron los resultados, tanto de fotointerpretación como de campo, se **diseñó** y probó un esquema metodológico para el análisis espacial de cobertura vegetal en Et Conchatito. Las aplicaciones se realizaron para a) definir el patrón de distribución por especie o asociación vegetal actual, empleando un modelo vectorial y b) detectar los cambios temporales de cobertura vegetal empleando un modelo **vectorial-raster**.

Para ello se seleccionaron y probaron diversas técnicas y algoritmos propios del procesamiento digital de imágenes (PDI) y de los sistemas de información geográfica (SIG) empleando como punto de partida el esquema propuesto por González y Woods (1996) en el que define las etapas del PDI (Anexo t, II).

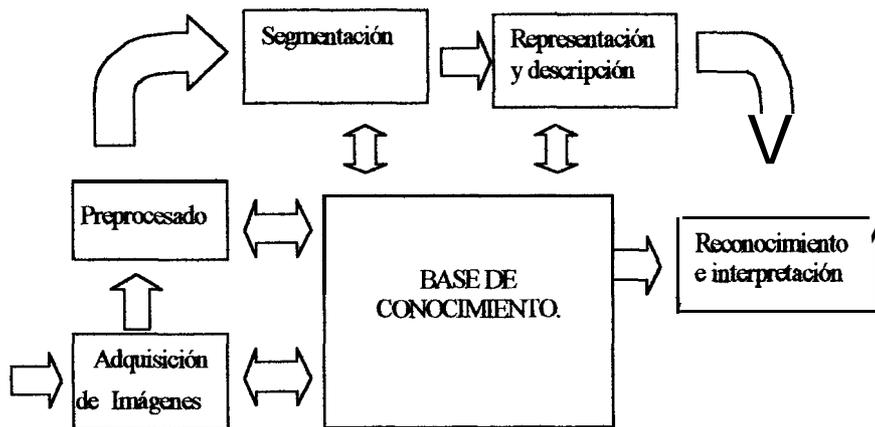


Figura 4. Etapas del procesamiento digital de imágenes. Tomado de González y Woods, 1996.

Debido a lo anterior, el esquema metodológico planteado para dichos análisis pudiera considerarse por sí mismo un resultado, sin embargo, con el fin de guardar una estructura tradicional y permitir una mejor comprensión del trabajo dicho esquema es expuesto en el presente apartado. Asimismo, es preciso **señalar** que en este apartado se incorporaron algunos resultados provenientes de otras etapas haciendo en todo caso la referencia correspondiente.

PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POR ESPECIE O ASOCIACIÓN VEGETAL BAJO LA PLATAFORMA DE UN SIG VECTORIAL

Para definir el **patrón de distribución** por especie o **asociación** vegetal se emplearon los resultados generados durante la fotointerpretación de El Conchalito (1994), es decir, las etapas de descripción, reconocimiento e interpretación del PDI ya se habían desarrollado, de tal forma que las etapas a desarrollar en este caso fueron el proceso de adquisición de la imagen, selección y aplicación de los métodos para la corrección geométrica (preprocesamiento), la segmentación y el análisis espacial.

Adquisición de la imagen

Con el fin obtener el **tamaño** de píxel definido para el análisis espacial se realizaron pruebas de barrido a 300 y 400 dpi (puntos por pulgada) en una de las fotografías seleccionadas empleando un **escáner** de cama plana HP **Scan Jet ADF**. Las imágenes fueron almacenadas en formato binario de 8 bits (256 niveles de gris), generando archivos Tagged Image (TIF). Posteriormente se aplicó a cada imagen una **corrección** geométrica conforme al procedimiento detallado más adelante, para finalmente determinar la dimensión del píxel en cada caso.

Preprocesado: Corrección Geométrica

Las fotografías de contacto, es decir, sin corrección geométrica (simple revelado del negativo), poseen deformaciones debidas a la inestabilidad de la plataforma y a la presencia de irregularidades de la superficie terrestre, ocasionando cambios en la escala y en la posición de puntos en la imagen (Seco, 1998).

Debido a lo anterior, y como un requisito indispensable para realizar los análisis espaciales que se perseguían en el presente trabajo, fue necesario llevar a cabo una **técnica** de preprocesado, en particular una **corrección** geométrica, en donde las relaciones espaciales entre los pixeles se modifican con el fin de eliminar las deformaciones en la imagen. De tal forma que el resultado es una nueva imagen en la cual los pixeles son arreglados geoméricamente y en correspondencia con el mapa fuente o imagen maestra

(mismas coordenadas y resolución), haciendo posible la sobreposición de las imágenes de modo que coincidan (González y Woods, 1996; Van Westen y Farifteh 1997; Seco, 1998).

En términos del procesamiento digital de imágenes, una corrección **geométrica** consta de dos operaciones básicas (Anexo 1), una transformación espacial y una **interpolación** del nivel de gris (González y Woods, 1996).

Debido a las características de las imágenes (áreas sin posibilidad de asignación de coordenadas, v.gr. cuerpos de agua) se utilizó el método de puntos enlazados para la asignación de puntos de control. Los puntos enlazados representan un subconjunto de píxeles cuya **ubicación** en la imagen de entrada (distorsionada) y salida (corregida) se conoce con precisión, los cuales son utilizados para derivar una transformación polinomial, aplicando en este caso una **función** de primer orden, ya que debido a la ausencia de relieve en el área de estudio no se esperaban deformaciones importantes (González y Woods, 1996).

Para el remuestreo se aplicó el método de interpolación del vecino más cercano, el cual coloca en la celda vacía de la imagen corregida el ND del píxel más cercano en la imagen original. Este procedimiento no varía fuertemente los ND y además, es un procedimiento sumamente rápido (van Westen y Fanfteh, 1997).

El proceso de la corrección fue desarrollado en el programa Integrated Land and Water Information System (ILWIS) versión 2.1, considerando los siguientes insumos y criterios:

- a) Para corregir las imágenes se empleó como fuente de referencia inicial la carta urbana **G12D823602**, escala 1:5 000, levantada por el Ayuntamiento de La Paz (1995), la cual se sometió previamente al mismo proceso que las fotografías (barrido, corrección geométrica de cada subimagen y **generación** del mosaico). Posteriormente, el plano raster sirvió de fuente de referencia para generar el fotomosaico de 1989 mismo que a su vez, constituyó la fuente de referencia para el fotomosaico de 1994.
- b) Una vez corregidas las imágenes se eliminaron los bordes sin información mediante la extracción de subimágenes (submapas).

- c) La precisión total de la **transformación** (σ) aceptada para todos los casos fue < 1 .
- d) Los fotomosaicos se generaron mediante la unión de submapas o subimágenes.
- e) El sistema de coordenadas empleado fue el de la carta urbana fuente: Proyección Universal Transversa de Mercator, Esferoide WGS 1984 y Datum WGS84.
- f) Los puntos de control se establecieron lo más uniforme posible en la superficie total de la imagen sujeta a corrección siendo claramente identificables tanto en ésta como en la imagen maestra.

Segmentación y Análisis espacial

La segmentación, consiste en extraer los objetos de interés de una imagen (Anexo I). En este caso, una vez generados los fotomosaicos, éstos fueron exportados al formato "Erdas **Lan**" para su posterior segmentación y **análisis** en el programa **ArcView** (3.2). Para generar la capa de cobertura vegetal se **realizó** una **vectorización** directa en pantalla, incluyendo las clases generadas durante la **fotointerpretación estereoscópica** (elaborada en acetato y barrida conjuntamente con la fotografía) asimismo, se vectorizaron los parches de **vegetación** fotointerpretados digitalmente.

Una vez generado la capa digital de **vegetación** se alimentó la base de datos correspondiente incorporando la clave de cada parche de vegetación (Tabla XII), el área y el perímetro. Para el cálculo de la magnitud geométrica de cada parche se utilizó el programa **CALCAP** de **ArcView** (3.2), estimando posteriormente la superficie total por clase a partir de la gestión de la base de datos temática. Paralelo a este proceso se **generó** la capa de la red de canales y de la carretera proveniente de la fotografía más actualizada para, finalmente, elaborar el mapa de síntesis mediante sobreposición, denominado "**Patrón** de distribución y cobertura por clase de El Conchalito, B.C.S." (Mapa 3).

DETECCIÓN DE LOS CAMBIOS TEMPORALES DE COBERTURAVEGETAL EN EL CONCHALITO EMPLEANDO UN MODELO VECTORIAL-RASTER

Como anteriormente se **señaló**, para definir el esquema de trabajo en cada caso de estudio fue necesario analizar los resultados provenientes de las etapas anteriores a fin de fundamentar la selección de criterios y procesos para el fin establecido. Es debido a ello, y con el fin de una mejor comprensión del presente trabajo, que a continuación se establece un marco contextual fundamentado en los resultados provenientes de etapas anteriores (mismos que a su vez se detallan en su apartado correspondiente).

- Considerando que el periodo de tiempo del material seleccionado (1989-1994) para el análisis espacial es de cinco **años** se asumió que no sería posible detectar cambios naturales de cobertura (expansión, recuperación, etc.) debido a la baja tasa de crecimiento de manglares la cual en el caso de plantas de *R. mangle* entre 0.5 y 1.5 m es de 0.36 cm por **año** (González, *et al.*). Así, el análisis espacial se centró en los cambios inducidos por **pérdida** donde resultó interesante realizar la evaluación entre un año sin desarrollo urbano en las inmediaciones del manglar (1989) y otro con evidente desarrollo (1994). Asimismo, sobreponiendo la capa vectorial de cobertura vegetal de 1994 con el fotomosaico de 1989 no se observaron cambios significativos de cobertura en el cuerpo principal del manglar, lo cual pudo corroborarse durante el trabajo de campo (1999-2000) siendo en todo caso el terreno adyacente al manglar el de mayor disturbio -

De tal forma que en este caso, el objeto del análisis fue evidenciar a) la diferencia en la **reflectancia** entre los fotomosaicos de 1989 y 1994 que nos indicara la **pérdida** de cobertura vegetal en el terreno inmediato adyacente al manglar y b) detectar los agentes **antropicos** de **transformación** y la magnitud de los mismos durante dicho período.

Para delimitar el área de análisis se empleó el criterio de “franja de **protección** del manglar” la cual según la Norma Oficial Mexicana de Emergencia **NOM-EM-001-RECNAT-1999** (SEMARNAP, 1999) representa un área de al menos 100 m de ancho perpendicular al límite **perimetral** del cuerpo principal de vegetación, en donde no deben establecerse actividades productivas de ningún tipo.

Para dicha franja se empleó la función "Create Buffer" (ArcView 3.2) generando 3 anillos **concéntricos** a 100, 200 y 300 m de distancia a partir del límite de la cobertura de manglar. La franja de 100 m fue empleada a su vez como **máscara** para aplicar el algoritmo "Image Difference" de ArcView Image Analysis (ESRI, 1998), el cual realiza un **análisis** local mediante la superposición de mapas "píxel a píxel" (Fig. 5), empleando una serie de operaciones **aritmético-lógicas** para, en función de la reflectancia inicial (niveles digitales de cada mapa), calcular el valor que le corresponde a la nueva **variable** temática es decir, la diferencia de reflectancia (incremento **y/o** decremento).

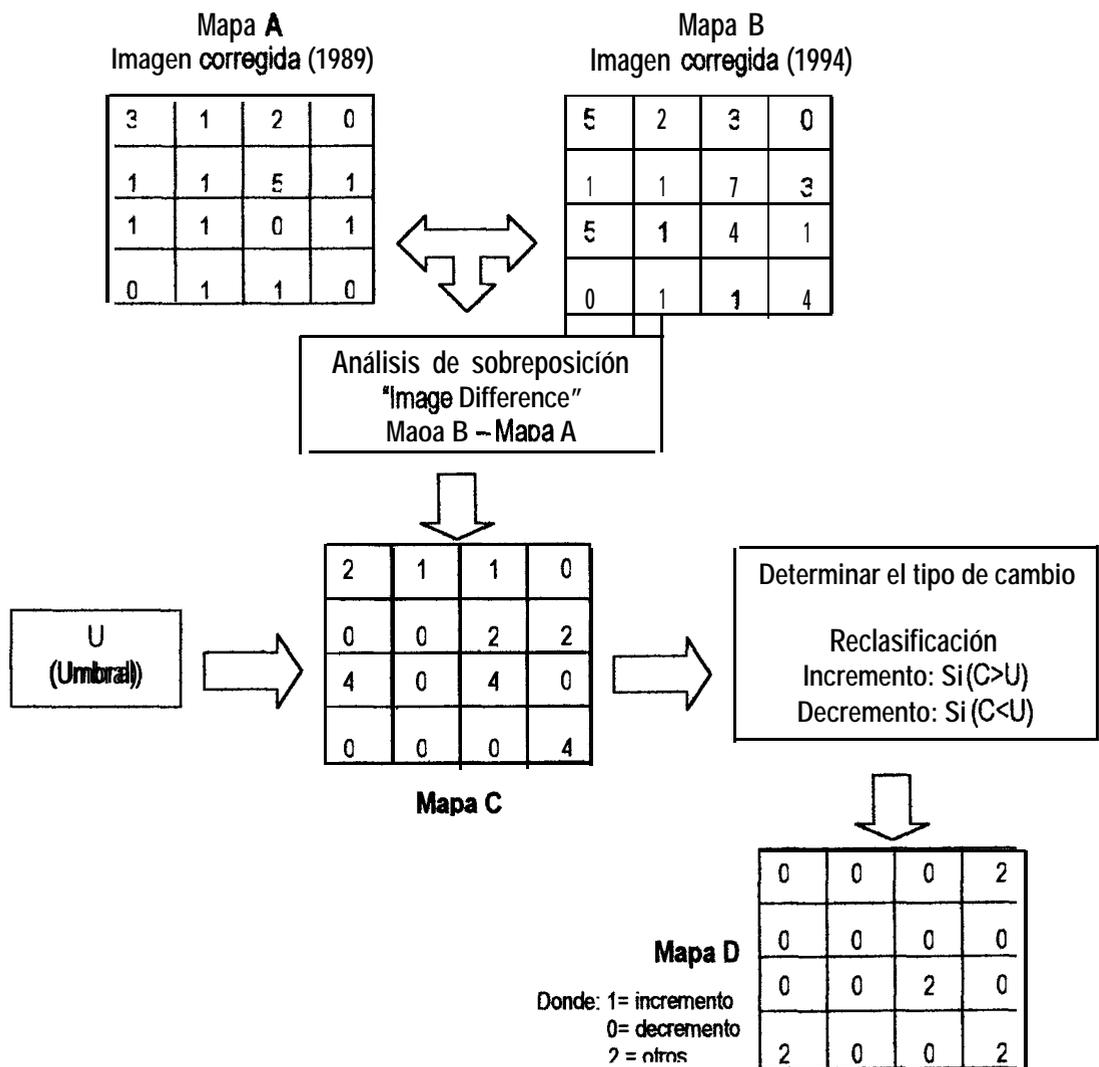


Figura 5. Análisis de **superposición** de píxel a píxel empleando el algoritmo "Image Difference" (ESRI, 1998).

Para seleccionar el incremento de reflectancia (%) que nos indicara la pérdida de cobertura vegetal entre los fotomosaicos se siguió el siguiente procedimiento:

Se identificaron (fotointerpretación digital) y segmentaron (vectorización directa en pantalla) los parches de vegetación presentes en la franja de protección a partir del fotomosaico de 1989 (capa digital de parches de vegetación, 1989). Posteriormente esta capa generada se sobrepuso al fotomosaico de 1994 para identificar los parches persistentes y ausentes. Una vez identificado el estado de éstos, se edito la base de datos registrando tal condición según fuera el caso (Fig. 6).

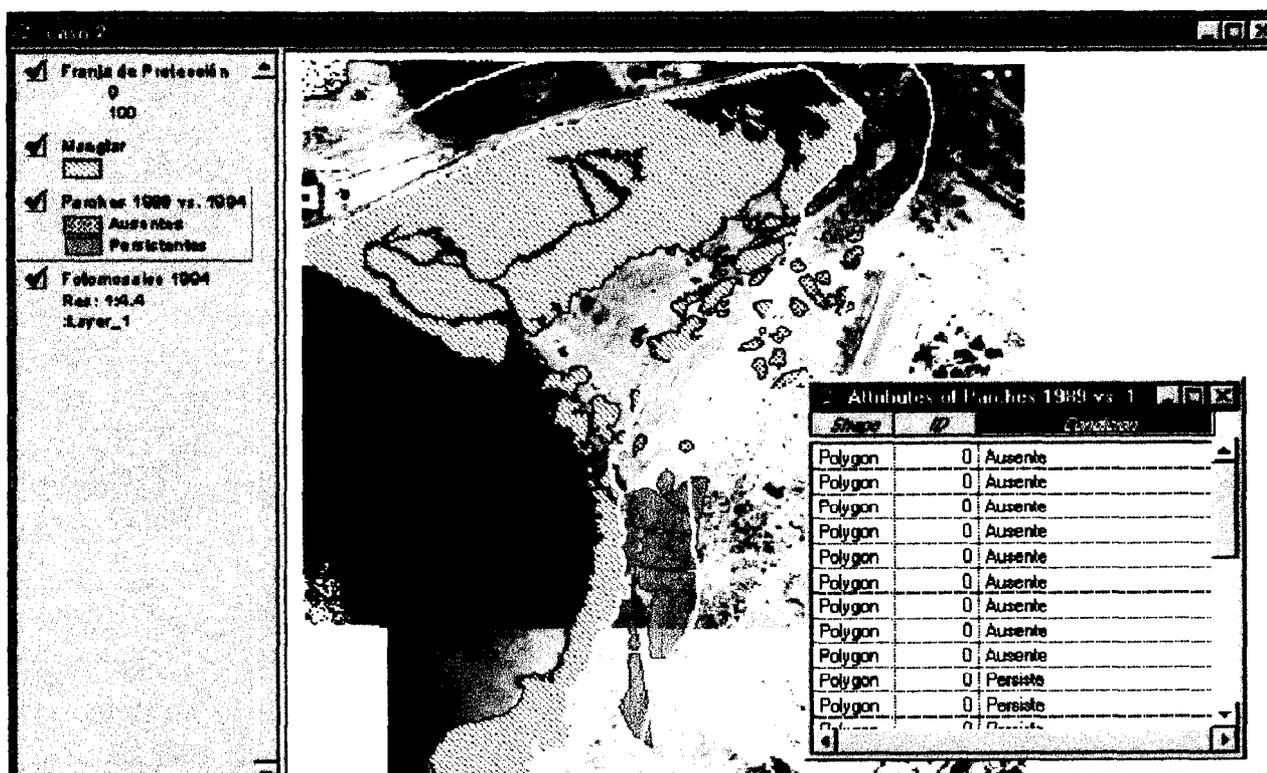


Figura 6. Condición de los parches de vegetación en la franja de protección de El Conchalito (1989 – 1994).

Para definir el umbral de análisis se aplico iterativamente el algoritmo "Image Difference" (Fig. 7), seleccionando el cambio de reflectancia (en porcentaje) que coincidiera al menos en un 75% con la superficie de parches ausentes. El tamaño del píxel en todos los casos fue de 0.32 m, correspondiente con el fotomosaico de 1989

(ver resultados de selección de escala), de tal forma que se detectaron cambios en parches con dimensiones mayores a 1.28 x 1.28 m

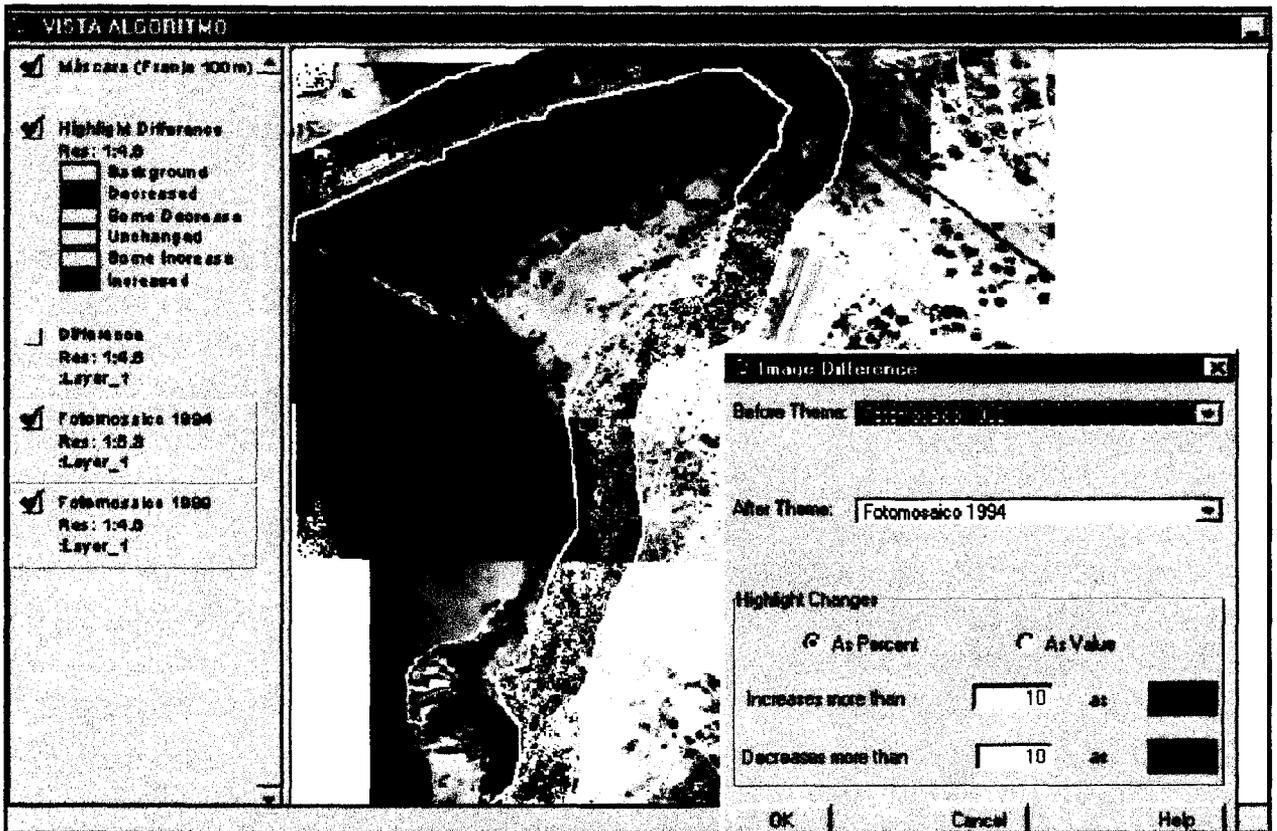


Figura 7. Interfase gráfica del algoritmo "Image Difference" (ESRI, 1998).

- Finalmente, una vez aplicado el análisis con el porcentaje seleccionado, la capa de diferencia de reflectancia fue convertida a formato vectorial, para posteriormente calcular las magnitudes **geométricas** de los parches (CALCAP de ArcView 3.2) y seleccionar aquellos que se intersectaran con los parches tipificados como ausentes es decir, aquellos que estuvieron presentes en el fotomosaico de 1989 pero no así en el fotomosaico de 1994 (Fig. 8).

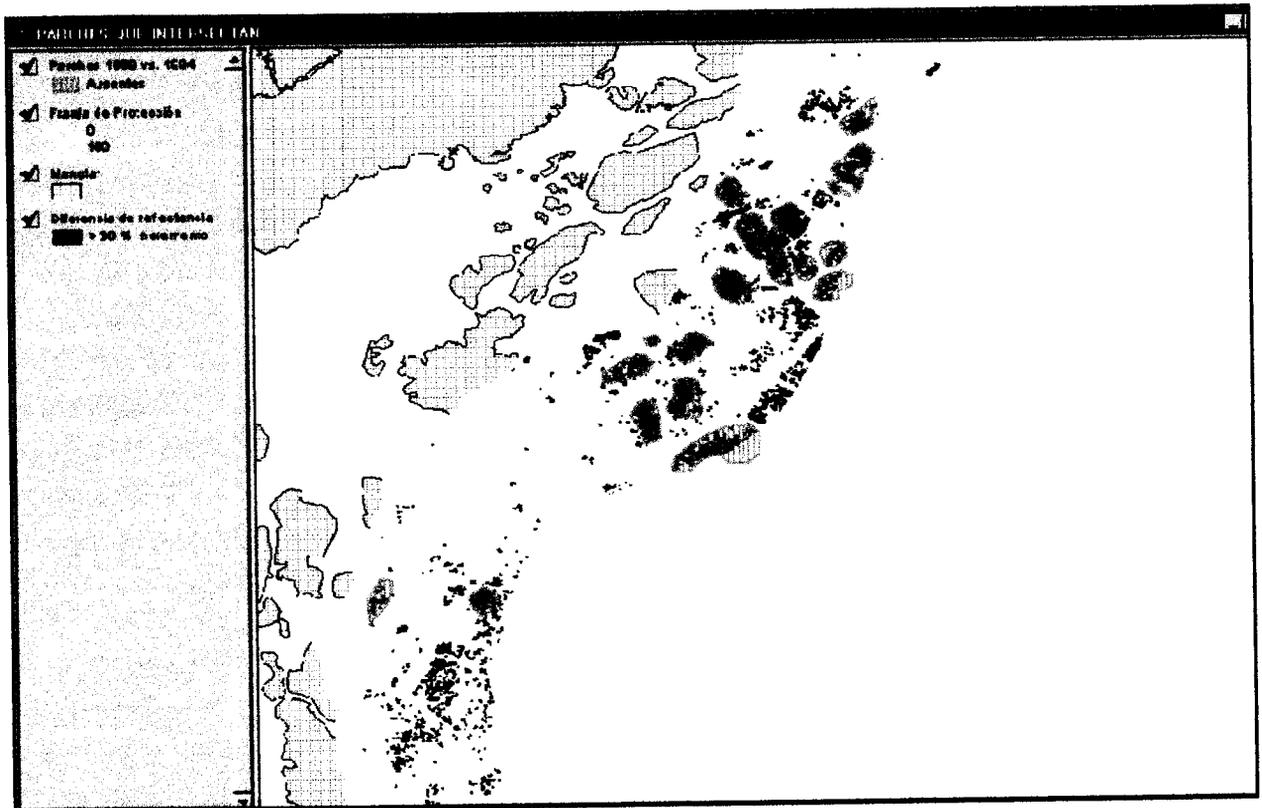


Figura 8. Aplicación del algoritmo "Image Difference" con >30 % de incremento en **reflectancia** e intersección de los parches presentes en 1989 y ausentes en 1994 en la franja de protección de El Conchalito.

Para evidenciar la magnitud de los agentes de transformación en la franja de protección, se identificó y vectorizó directamente en pantalla la infraestructura urbana y el rastro del tránsito (huellas de llantas) para los dos años de estudio (Fig. 9). Asimismo, a partir de la gestión de la base de datos de la capa de infraestructura urbana (1994), se estimó la superficie total de infraestructura en cada franja y la correspondiente tasa de modificación(1989-1994).

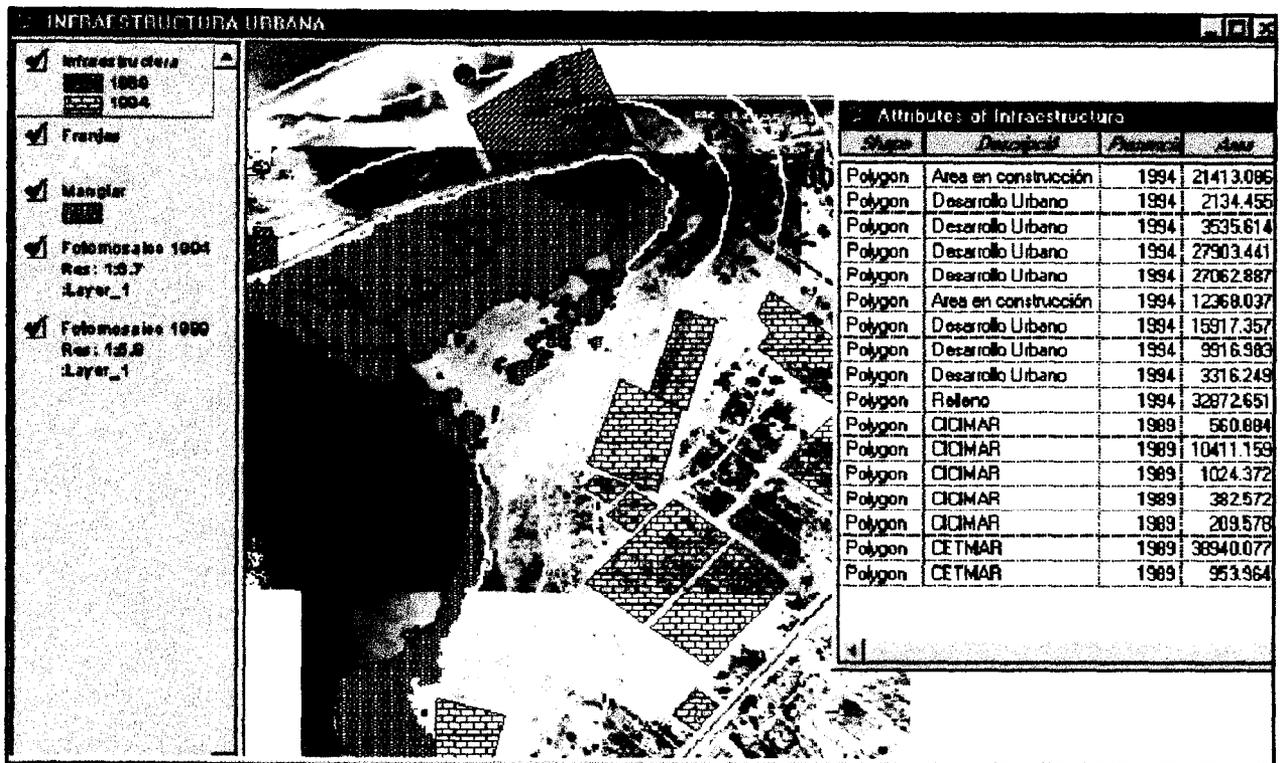


Figura 9. Capa de infraestructura urbana y estimación del ha de ocupación en las inmediaciones del manglar El Conchalito.

RESULTADOS

FOTOINTERPRETACIÓN MONOSCÓPICA DE GABINETE

RECONOCIMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIONES DE LAS PRINCIPALES ÁREAS DE MANGLAR EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B. C. S.

En la Ensenada de La Paz el manglar se distribuye en forma discontinua y fragmentada en cordones estrechos paralelos a la línea de costa (tipo **ripario**), o en parches irregulares relativamente **pequeños** en **relación** con sus contrapartes en latitudes más tropicales. El frente marino con presencia de manglar en la laguna es de 20.15 km lineales, es decir, el 42.67 % del total.

Se identificaron 23 áreas de manglar (Tabla I, Mapa 1) con coberturas que variaron de 0.64 a 40.07 ha, conformando un total de 305.11 ha (**3,051,142 m²**). El área principal de distribución se ubicó en la porción norte de la laguna en diferentes parches irregulares, particularmente en El Mogote (polígonos I-8) con una cobertura de 167.11 ha y en el Estero de Zacatecas (polígonos 9-12) con 53.01 ha. En la porción sur de la laguna, el manglar se distribuye en cordones o parches pequeños, sin embargo, en su conjunto representan un área importante con 84.98 ha; el estero de El Conchalito ubicado en esta porción presenta un cuerpo irregular con una cobertura de 30.70 ha.

Las especies presentes en el manglar según pudo corroborarse mediante recorridos en campo son ***Rhizophora mangle*** (**mangle rojo**), ***Avicennia germinans*** (mangle negro), y ***Laguncularia racemosa*** (mangle blanco) asimismo, se observó la presencia de ***Maytenus phylantoides*** particularmente en la porción sur de la laguna.

Tabla I. Principales áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S.

ID	Área (m ²)	Perímetro (m)	Área (Ha)	Frente marino (m)
1	400758	5890	40.08	1960
2	81031	2167	8.10	531
3	295648	4175	29.56	971
4	181566	2180	18.16	612
5	95844	1654	9.58	600
6	88823	1505	8.88	341
7	191745	3018	19.17	555
8	335777	3912	33.58	1955
9	348835	4068	34.88	1587
10	43909	1157	4.39	488
11	59812	1385	5.98	415
12	77583	2833	7.76	895
13	54026	1081	5.40	323
14	33365	1460	3.34	294
15	17555	1476	1.76	609
16	38588	2605	3.86	991
17	6427	537	0.64	245
18	64945	4105	6.49	1837
19	258918	6310	25.89	2491
20	28495	1948	2.85	737
21	306991	3742	30.70	1333
22	8234	482	0.82	114
23	32256	911	3.23	267
Total	3,051,142		305.11	20,151

TRABAJO EN CAMPO

COMPOSICIÓN ESPECÍFICA Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las especies que conforman el manglar de El Conchalito son: *A. germinans*, *L. racemosa* y *R. mangle*. En total se caracterizaron 1,640 individuos distribuidos en 445 m² (Anexo IV), encontrando dos estratos bien diferenciados (Tabla II).

- El estrato arbóreo estuvo representado por individuos con dap > 2.5 cm (32 ind/445m²) de *A. germinans* y *L. racemosa* (Anexo IV). La densidad encontrada fue baja 719 individuos por ha (1 ind/13.9m²), con una cobertura que representó el 65.36% del área de muestreo (Tabla II). Asimismo, el estrato **presentó** una altura promedio de 3.5 m y un **área** basal de 3.626 m²/ha (Tabla II).
- El estrato arbustivo **incluyó** individuos de las 3 especies, siendo el mangle negro la especie dominante, con una altura promedio de 0.5 m, la densidad de arbustos fue alta (36,134 individuos por ha.) y su cobertura correspondió al 34.64 % del Brea de muestreo (Tablas II, III).

Tabla II. Características estructurales del manglar El Conchalito por estrato vegetal.

Estrato	No. esp.	Densidad Ind/ha	Cobertura total (m ² /ha)	Cobertura individual promedio (m ²)
Arbóreo	2	719	8,016.98 (85.38 %)	11.15
Arbustivo	3	38,135	4,249.13 (34.84 %)	0.11
Total	3	38,854	12,266.11	-

A. germinans presentó alturas mínima y máxima de 0.07m y 5.7 m respectivamente; *L. racemosa* presentó un intervalo de alturas de 0.24 a 3.22 m; finalmente *R. mangle* presentó una altura promedio de 1.05 m (Tabla III).

El mangle negro presentó los troncos más desarrollados, con diámetros a la altura del pecho entre 2.70 cm y 23.3 cm, mientras que el mangle blanco presentó troncos con diámetros de 2.5 cm a 9.5 cm.

La especie con mayor cobertura individual promedio fue *A. germinans* (1.36 m²) debido en parte al tipo de crecimiento irregular y sumamente ramificado en el plano horizontal, presentando una fronda laxa o escasa, *R. mangle* exhibió una cobertura individual promedio menor (0.38 m²) presentando una fronda sumamente densa y compacta, mientras que los individuos de *L. racemosa* fueron poco ramificados con una cobertura promedio individual de 0.73 m² y una fronda laxa.

Tabla III. Características estructurales del manglar El Conchalito, general y por estrato arbóreo.

Manglar en general				Estrato arbóreo (dap >2.5)			
Especie	Attura (m)	Densidad (indv./ha)	Cobertura (m ² /ha)	Altura (m)	Densidad (indv./ha)	Cobertura (m ² /ha)	Área basal (m ² /ha)
<i>Avicennia germinans</i>	0.83	38,359	1,1275.8	3.59	852	7,546.4	3.44
<i>Laguncularia mcecosa</i>	1.23	449	964.9	2.58	87	470.6	0.18
<i>Rizhophora mangle</i>	1.05	45	25.3	-	-	-	
Total		36,854	12,266.1	-	719	8,016.9	3.62

VALOR DE IMPORTANCIA

La relevancia de cada una de las especies en el bosque se estimó empleando el Valor de Importancia (Tabla IV). Los resultados señalan al mangle negro como la especie más “relevante” (266.58) en el área de estudio, seguida por el mangle blanco (29.079) y el mangle rojo (4.327).

Tabla IV. Valor de Importancia por especie en El Conchalito. Parámetros expresados en términos relativos.

Especie	Abundancia (%)	Dominancia (%)	Frecuencia (%)	V.I
<i>A. germinans</i>	98.65	91.93	76	266.58
<i>L. racemosa</i>	1.21	7.86	20	29.08
<i>R. mangle</i>	0.12	0.20	4	4.32

ÍNDICE DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL

El índice de complejidad (I.C.) estimado para individuos con dap >2.5 cm presentó un valor bajo (0.1825) con relación a otros manglares (Tabla V), como es el caso de El Mogote con un índice de 0.17 el cual se ubica en la porción norte de la misma laguna. Por otra parte, considerando las características estructurales de El Conchalito y conforme a la clasificación fisonómica de Lugo y Snedaker (1974), es posible tipificarlo como un manglar tipo matorral.

Tabla V. Estructura de bosques de mangle en la costa Pacífico de México.

Localidad	Altura (m)	Densidad (ind./0.1 ha)	Área basal (m ² /0.1ha)	No. Spp.	Tipo fisonómico	Clima	I.C.
El Conchalito* (Este trabajo)	3.5	72	0.36	2	Matorral	Árido	0.18
El Mogote** (Jiménez, 1991)	2.0	48	0.57	3	-	Árido	0.17
Florida** (Jiménez, 1991)	1	2503	0.60	1	Enano	-	1.50

* Calculado para individuos con dap > 2.5 cm

**Calculado para individuos con dap >10 cm.

ESCALA DE LOS INSUMOS FOTOGRÁFICOS Y RESOLUCIÓN ESPACIAL PARA EVALUAR LA COBERTURA VEGETAL EN EL CONCHALITO

Avery (1977) y Núñez (1988), señalan que un intervalo de escalas de 1:10 000 a 1:25 000 en el material fotográfico permite la identificación de la mayor parte de los tipos de cobertura vegetal y de especies en condiciones puras. Asimismo Muller (1997), revisando a Naithani (1990), Light (1996) y Girel (1993), señala que este intervalo de escalas produce

la mejor resolución para el mapeo de vegetación, donde incluso es posible detectar procesos de **sucesión**. Sin embargo, considerando que la cobertura de manglar en la Ensenada de La Paz presento una distribución fragmentada en cordones estrechos y parches relativamente **pequeños**, éstos últimos con una poligonal envolvente media de 500 x 845 m (Fig. 10), la escala de 1:10 000 en el mejor de los casos, solo garantizaría la segmentación a nivel de comunidad vegetal identificando parches $\geq 400 \text{ m}^2$.

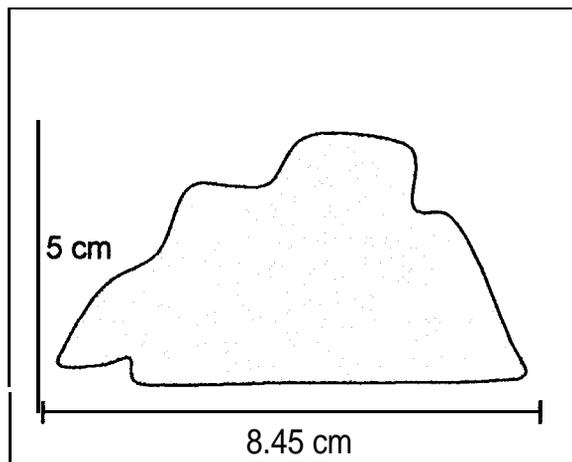


Figura 10. Parche de vegetación prototipo (500 x 845 m) calculado a **partir** del promedio de **dientes áreas** de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S. y representado a escala 1:10 000

Por otro lado, White y Mac Kenzie (en: **Muller**, 1997) consideran que la escala óptima para el mapeo de **vegetación** depende de los objetivos de estudio y de las características inherentes del paisaje; v. gr. el tamaño de la copa de los árboles, la rugosidad del dosel, el número de especies dentro del tipo de vegetación, la forma y extensión de los parches, el contraste espectral con el área circundante y de la heterogeneidad producida por los parches dentro del bosque. Para definir **tales características**, la revisión visual del material **fotográfico** y los recorridos de campo para El Conchalito aportaron información fundamental para seleccionar el factor de escala del material.

Una vez planteados los criterios anteriores y considerando el material existente para El Conchalito (Tabla VI) se determino emplear las **fotografías** con escala 1: 5 000 (1989) y 1: 4 500 (1994), ya que **tales** escalas garantizarían: a) la eventual fotointerpretación al nivel de especie o asociación vegetal en las comunidades de manglar; b) la **detección** de cambios finos de cobertura sin gran demanda de equipo y c) la factibilidad de realizar un análisis de superposición debido a que dichas escalas son compatibles. El material **fotográfico** fue proporcionado por la Dir. de **Planeación** Urbana y Ecología del Gobierno del Estado de B. C. S., la Dir. de Catastro del Ayuntamiento de **La Paz** y el Instituto Nacional de Estadística, **Geografía e Informática**.

Tabla VI. Relación del material fotográfico de El Conchalito.

Año	Escala	Fuente	Formato (mm)
1977	1:10 000	CETENAL	230 x 230
1981	1:35 000	CETENAL	230 x 230
1982	1:20 000	CETENAL	230 x 230
1989	1:5 000	CETENAL	230 x 230
1993	1:75 000 Amp.4x (1: 18 750)	INEGI	1000 x 1000
1994	1:4 500	ESTOMSA	230 x 230
1994	1:20 000	ESTOMSA	230x230

Por otro lado, las dimensiones del píxel para detectar áreas de 4, 9, 16, 25 y 36 m², así como la escala de los eventuales mapas de salida se presentan en la tabla VII. Se encontró, según el criterio de Salitchev (1979), dimensiones de píxel de 0.5-1.5 m², y de 1-3 m² según Bosque (1992). A partir de esta información y considerando que el período de tiempo entre las fotografías seleccionadas es muy corto (5 años), se determinó trabajar con una resolución alta para el análisis digital, con un tamaño de píxel $\leq 0.5m \times 0.5m$ a fin de detectar parches de vegetación de hasta 4 m².

Tabla VII. Dimensiones del píxel según Salitchev (1979) y Bosque (1992) para detectar parches de vegetación.

Unidad mínima Interpretable (m ²)	Tamaño del píxel (m x m) (Salitchev, 1979)	Tamaño del píxel (m x m) (Bosque, 1992)	Escala aproximada del mapa (Bosque, 1992)
4	0.5 x 0.5	1.0 x 1.0	1: 1 000
9	0.75x 0.75	1.5 x 1.5	1: 1 500
16	1x1	2.0 x 2.0	1: 2 000
25	1.25 x 1.25	2.5 x 2.5	1:2 500
36	1.5 x 1.5	3.0 x 3.0	1: 3000

FOTOINTERPRETACIÓN ESTEREOSCÓPICA DE GABINETE Y CAMPO

CLASIFICACIÓN POR ESPECIE O ASOCIACIÓN VEGETAL EN EL CONCHALITO

La fotointerpretación de la cobertura vegetal realizada sobre acetato a partir del estereopar seleccionado (LI6 No. 17 y No. 18, ESTOMSA, 1994), permitió identificar seis clases tono-texturales en el cuerpo principal del manglar.

Asimismo, durante el trabajo de campo se **identificó** una clase más (Mapa 2). Las clases así definidas se presentan en la tabla VIII, donde ***A. germinans*** fue la especie mejor representada en las clases 4, 5, 6 y 7; ***R. mangle*** para las clases 1, 2 y 3; y finalmente ***L. racemosa*** sólo se presentó asociada de manera secundaria en las clases **3, 6** y 7.

Tabla VIII. Clases tono-texturales establecidas para el manglar El Conchalito. *Rhizophora mangle* (RH), *Leguncularia racemosa* (LA), *Avicennia germinans* (AV).

Característica	Clase 1	clase2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase6	Clase 7
Clave	RH1	RH2	RH+LA+AV	AV1	AV2	AV+LA+RH	AV+LA
Tipo de clase	Dominante	Dominante	Asociación	Dominante	Dominante	Asociación	Asociación
Especie representativa	<i>R. mangle</i>	<i>R. mangle</i>	<i>R. mangle</i>	<i>A. germinans</i>	<i>A. germinans</i>	<i>A. germinans</i>	<i>A. germinans</i>
Especies asociadas (validado en campo)	<i>L. racemosa</i> (poco frecuente)	<i>L. racemosa</i> y <i>A. germinans</i> (poco frecuentes)	<i>L. racemosa</i> y <i>A. germinans</i>		<i>L. racemosa</i> y <i>R. mangle</i> (poco frecuentes)	<i>L. racemosa</i> y <i>R. mangle</i>	<i>L. racemosa</i>
Fototono	Claro	claro	oscuro moteado (con destellos blancos)	oscuro	Obscuro	oscuro	
Textura	Aborregada	Lisa	Aborregada y granulosa lisa	Granulosa fina	Granulosa media	Granulosa fina	
Forma de la corona	Redonda	No se aprecia	Redonda del tipo RH1 y otras irregulares	No se aprecia	Irregular	No se aprecia	
Estrato vegetal	Arbustos y árboles bien desarrollados con alturas de hasta 4m	Arbóreo y Arbustivo >1m	Arbóreo y Arbustivo	Arbustos enanos. En la periferia se observan numerosas plántulas (10-15 cm)	Arbóreo	Arbustivo	Arbóreo y arbustivo
Patrón	Presente en zonas de inundación en el seno del manglar	Presente en zonas de inundación en el seno del manglar	En la periferia del islote en zonas de mayor inundación	Presente en la periferia del manglar, en las zonas secas	Presente en la barra colindante a la laguna	Presente en la porción norte del islote principal	Presente en la barra colindante a la laguna

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE COBERTURA VEGETAL EN EL CONCHALITO

PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POR ESPECIE O ASOCIACIÓN VEGETAL BAJO LA PLATAFORMA DE UN SIG VECTORIAL

Adquisición de la imagen

El barrido de la fotografía seleccionada (ESTOMSA, 1994, línea 16 No. 18, escala 1: 4 500) a 300 dpi generó un archivo de 6.5 Mb con píxeles de 0.6 m x 0.6 m mientras que la de 400 dpi (12Mb) permitió obtener píxeles de 0.29 m x 0.29 m. Debido a tales resultados, se consideró adecuado el barrido a 400 dpi, ya que además de cumplir con la resolución espacial definida (píxel ≤ 0.5 m x 0.5 m), permitió seleccionar con facilidad los puntos de control.

Preprocesado: Corrección Geométrica

El tamaño del píxel para cada imagen corregida se presenta en la Tabla IX, obteniendo para el fotomosaico de 1989 un píxel de 0.32 m x 0.32 m, y para el de 1994 un píxel de 0.28 m x 0.28 m.

Segmentación y Análisis espacial (Patrón de distribución)

La cobertura vegetal digitalizada incluyó 68 parches con una superficie total de 21.05 ha, de las cuales 12.84 ha (7 clases tono-texturales) fueron clasificadas e identificadas mediante fotointerpretación, mientras que 8.21 ha (clase 8) fueron identificadas vía digital (Tabla X).

Tabla IX. Dimensiones del píxel y error cuadrático medio de cada imagen.

Imagen	No. de puntos de control	Fuente de referencia	Tamaño del píxel (m)	σ	Producto
Plano (Ira. Parte)	4	Plano analógico	0.31	0.70	Plano raster Imagen maestra 2 Píxel 0.31
Plano (2da. Parte)	4	Plano analógico	0.31	0.70	
Plano (3ra. Parte)	4	Plano analógico	0.31	0.70	
Fotografía L 03 No. 12, 1989	9	Plano raster	0.35	0.93	Fotomosaico 1989 Imagen maestra 3 Píxel 0.32 m
Fotografía L 04 No. 14, 1989	12	Plano raster	0.32	0.94	
Fotografía L 05 No. 15, 1989	10	Plano raster	0.32	0.97	
Fotografía L 16 No. 16, 1994	9	Fotomosaico 1989	0.29	0.96	Fotomosaico 1994 Imagen maestra 4 Píxel 0.28
Fotografía L 16 No. 17, 1994	12	Fotomosaico 1989	0.28	0.94	
Fotografía L 16 No. 17 con fotointerpretación	10	Fotomosaico 1989	0.28	0.94	Imagen con Fotointerpretación Píxel 0.28

Tabla X. Clases de cobertura vegetal en El Conchalito y métodos empleados.

A. germinans (AV), *L. racemosa* (LA), *R. mangle* (RH).

Clase	Clave	Método	Tipo de cobertura vegetal	Superficie (ha)
1	RH1	Fotointerpretación estereoscópica con validación en campo	Dominante	0.722
2	RH2	Fotointerpretación estereoscópica con validación en campo	Dominante	02.369
3	RH+LA+AV	Fotointerpretación estereoscópica con validación en campo	Asociación	0.769
4 y 5	AV*	Fotointerpretación estereoscópica con validación en campo	Dominante	8.053
6	AV+LA+RH	Fotointerpretación estereoscópica con validación en campo	Asociación	0.303
7	AV+LA	Campo y Fotointerpretación	Asociación	0.631
8	AV+LA+RH	Fotointerpretación digital con validación en campo	Asociación	8.210

* En este caso, la clase AV incorpora las clases tono texturales AV1 y AV2

El cuerpo principal del manglar se distribuye de forma continua, encontrando áreas monoespecíficas tanto de *R. mangle* como de *A. germinans*, mientras que *L. racemosa* no presentó un patrón definido, detectándose de manera poco frecuente en asociación con *R. mangle* y con *A. germinans*, en ambos casos en forma arbórea. (Mapa 3).

El desarrollo de los individuos varió dependiendo de su ubicación en el área; se encontró una franja arbórea en la zona contigua al cuerpo de la laguna dominada por mangle negro y en menor proporción mangle blanco y rojo; asimismo, se observaron zonas arbóreas contiguas a la zona de canales, constituidas principalmente de *R. mangle* (3-4 m de altura).

En general, *A. germinans* fue la especie mejor representada, distribuida en una superficie de 17.19 ha, presentándose en forma arbórea en la porción colindante a la laguna y en forma arbustiva en el resto del manglar. Particularmente en la periferia del manglar (porción oriental) se presentó una cobertura muy fragmentada (en parches con dimensiones que van de 6 m² hasta 10 m²) compuesta principalmente por arbustos enanos.

R. mangle se distribuyó en 3.86 ha, tanto en forma arbórea como arbustiva, ubicándose principalmente en el seno del manglar en zonas inundables rodeadas de una red de canales de aproximadamente 1,495 m de longitud.

Asimismo, fue posible estimar la magnitud de las zonas parcial o totalmente inaccesibles en campo, las cuales presentan una superficie de 4.17 ha representando 32.47 % del área fotointerpretada y 19.80 % del área total del manglar. Dichas zonas se encuentran en el seno del manglar rodeadas por los canales de marea (Fig. 11).

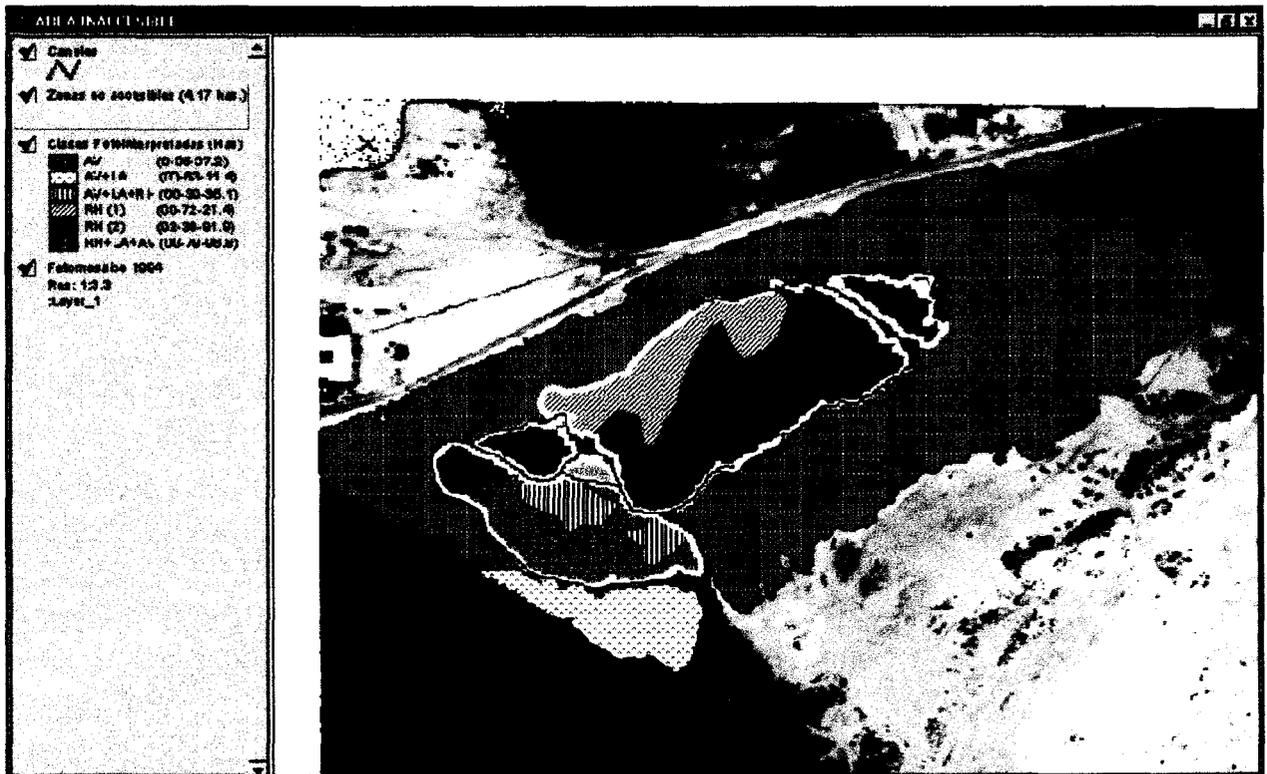


Figura 11. Ubicación de las zonas parcial o totalmente inaccesibles para la toma de datos en campo y fotointerpretación de cobertura en el manglar El Conchalito.

Finalmente, el esquema metodológico desarrollado para este caso de estudio podría resumirse con el diagrama de la Figura 12.

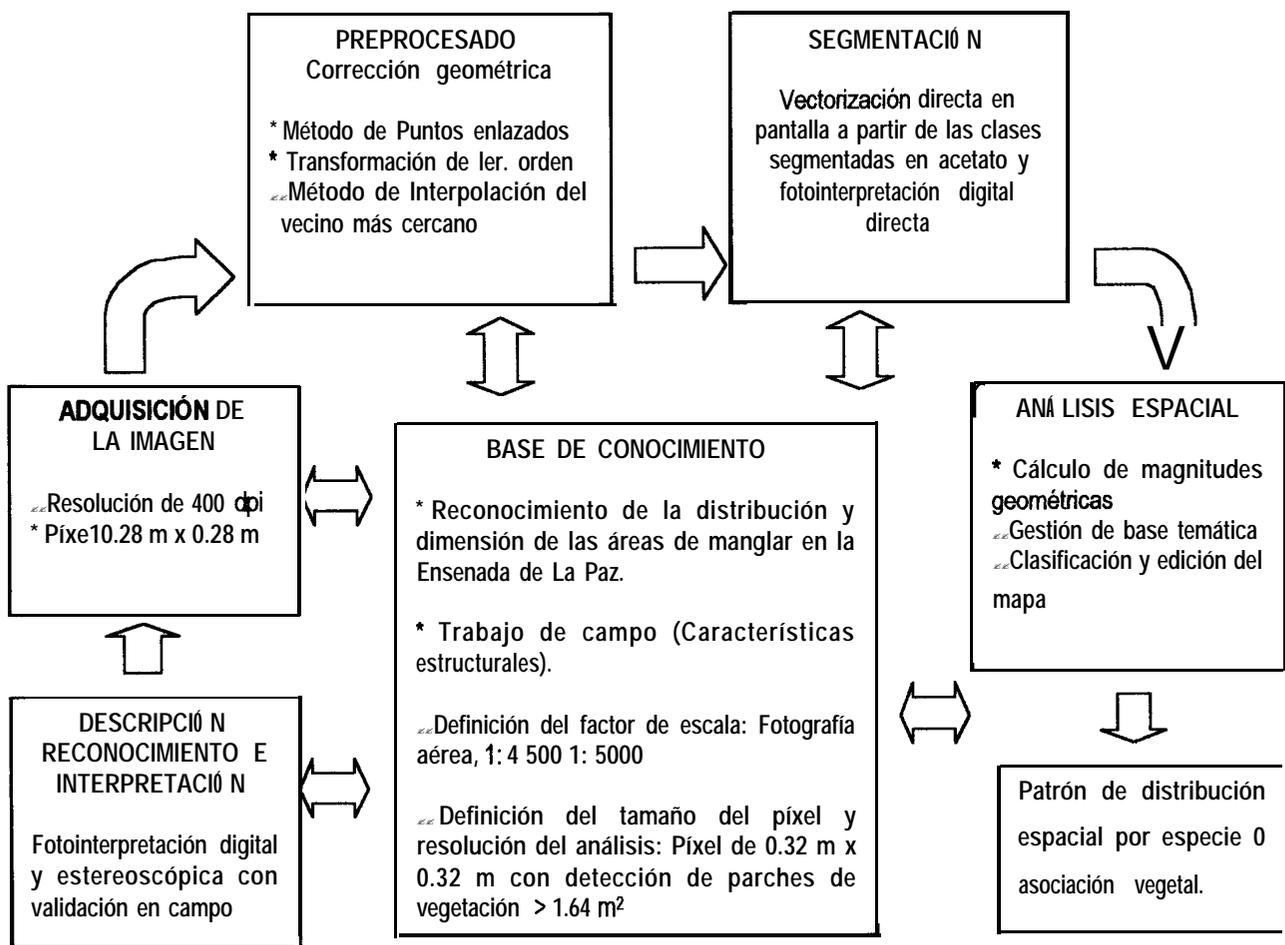


Figura 12. Proceso metodológico para definir el patrón de distribución espacial por clase vegetal en El Conchalito.

DETECCIÓN DE LOS CAMBIOS TEMPORALES DE COBERTURA VEGETAL EN EL CONCHALITO EMPLEANDO UN MODELO VECTORIAL-RASTER

La franja de protección del manglar se caracteriza por ser un ambiente de salitral, en donde la diversidad de especies y formas de vida (principalmente herbáceas) pueden considerarse como pobres. Las especies más características reportadas para este ambiente en el área de estudio son: *Allenrolfea occidentalis*, *Salicornia bigel*, *S. subterminalis*, *Batis marítima*, *Suaeda fruticosa*, *Heliotropium curassavicum*,

Monanthochloe littoralis y *Sessuvium verrucosum* (Pérez, 1995), cuya ocurrencia se corroboró durante los recorridos de campo (1999-2000).

La aplicación de el algoritmo “Image Difference” (ESRI, 1998), para detectar un incremento de la reflectancia, demostró ser una herramienta útil, encontrando en este caso que un incremento mayor al 30% refleja una pérdida de cobertura vegetal de al menos 75% de la superficie. Tales cambios de cobertura se presentaron en una superficie aproximada de 0.30 ha, ubicada en la porción oriental de la franja de protección del manglar (Mapa 4).

Con relación a los agentes de cambio, la franja de protección presentó una superficie transformada de 6.05 ha (23.76%) debido al desarrollo de infraestructura urbana (Tabla XII), con una superficie de 2.87 ha detectada en 1989 (porciones de CICIMAR y CETMAR) y 3.18 ha detectada en 1994. Mientras que la alteración ocasionada por vehículos automotores se presentó no sólo en la franja de protección, sino incluso al interior del límite del manglar (Mapa 5).

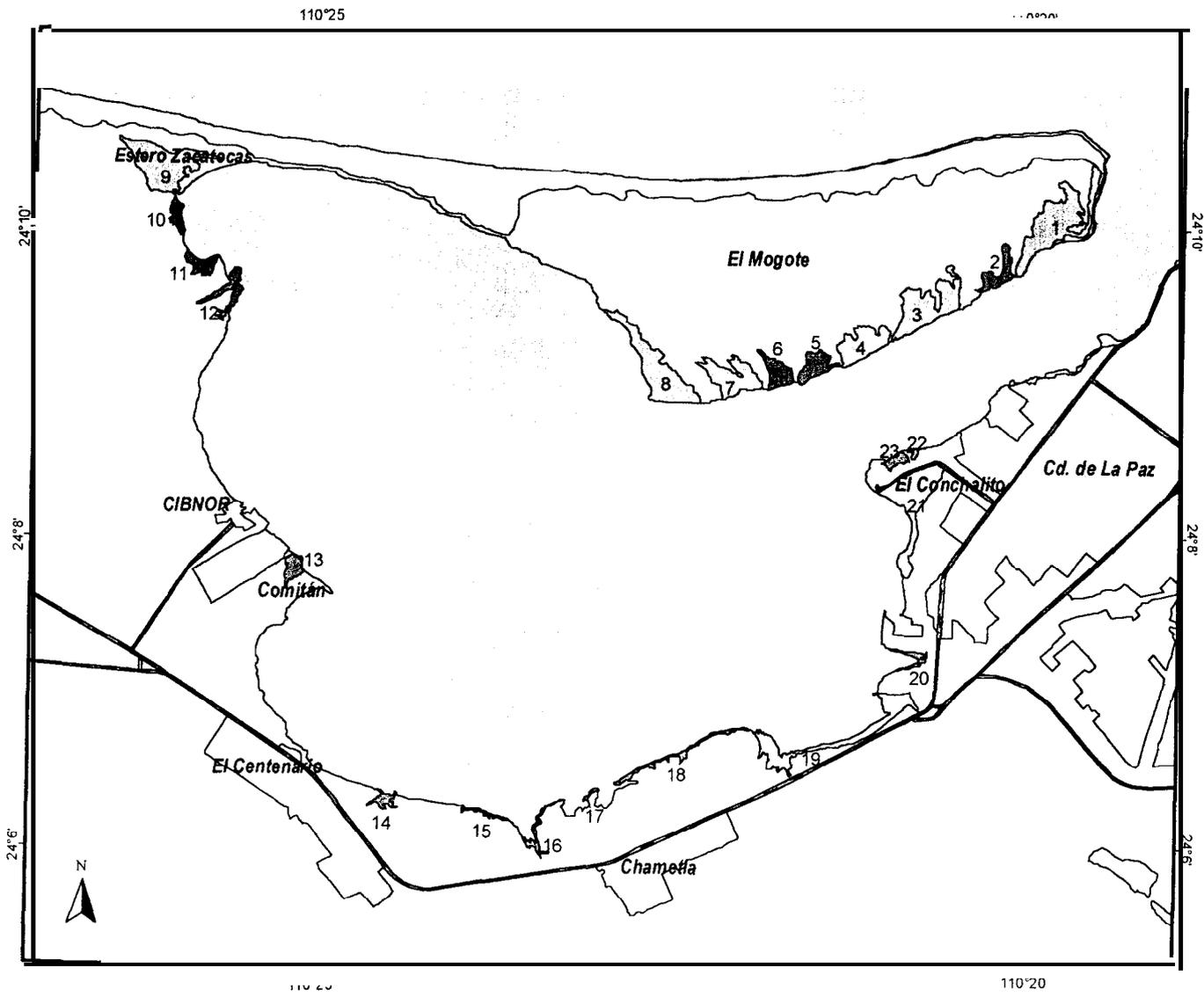
Asimismo, durante los recorridos en campo (1999-2000), pudo corroborarse que este tipo de actividades continúa incrementándose sin ningún tipo de regulación.

Tabla XI. Superficie transformada en las inmediaciones de manglar El Conchalito.

No. de franja	Franja perimetral (m)	Superficie franja (ha)	Superficie transformada (ha)	Año	Superficie transformada (%)
1	0-100	25.48	6.05	1989 y 1994	23.76
2	100-200	28.80	5.19	1994	18.05
3	200-300	31.99	2.55	1994	9.24

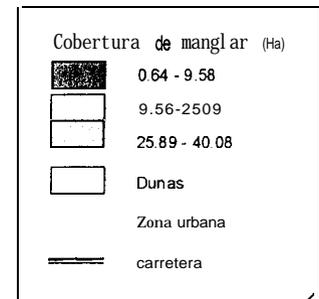
COMPENDIO DE MAPAS

DISTRIBUCION Y COBERTURA DE AREAS DE MANGLAR EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B.C.S.



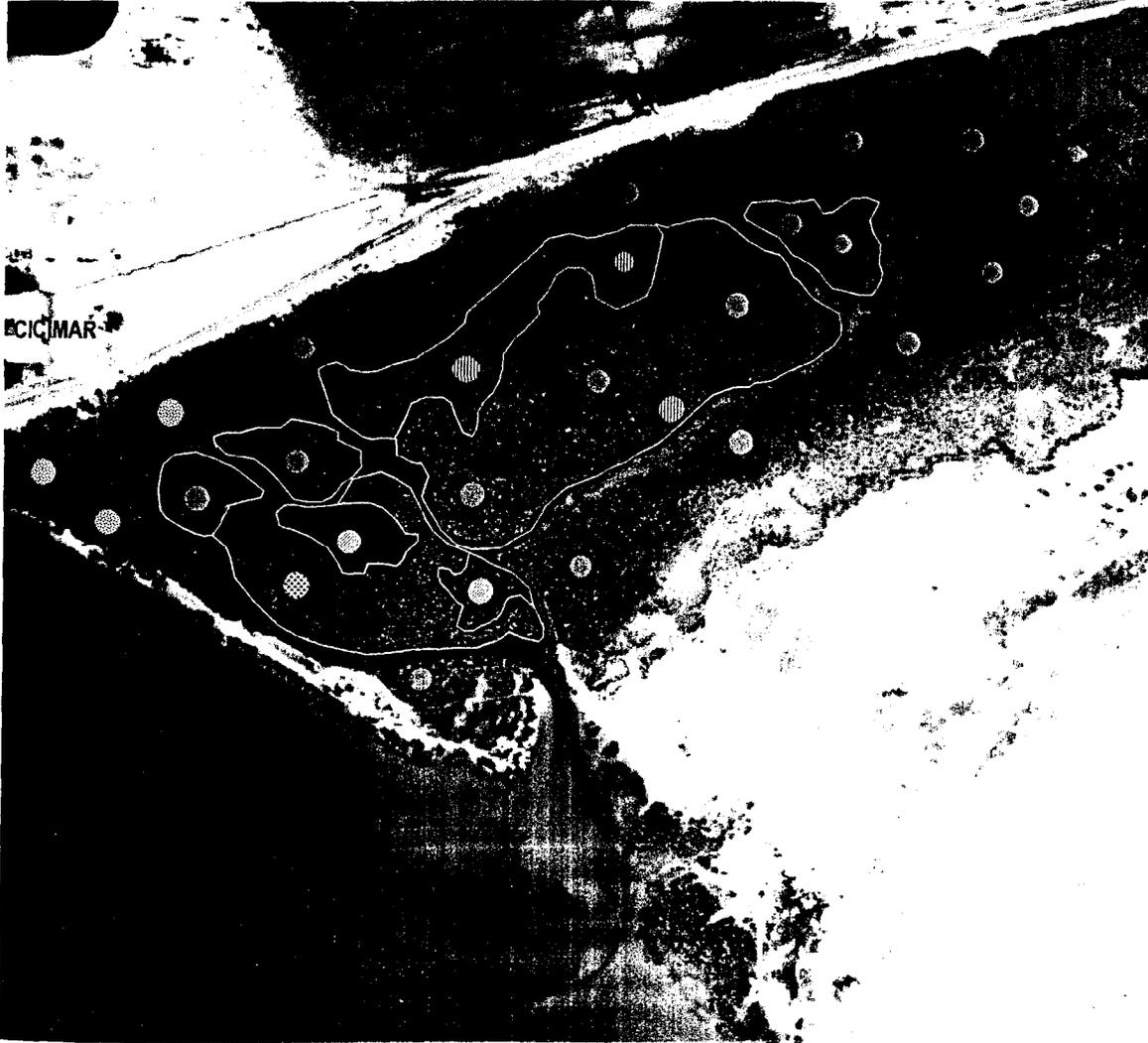
Coertura total: 305.11 Ha

No.	Area (Ha)
1	40.07
2	8.10
3	29.56
4	18.16
5	9.58
6	8.88
7	19.17
8	33.58
9	34.88
10	4.39
11	5.98
12	7.76
13	5.40
14	3.34
15	1.76
16	3.86
17	0.64
18	6.49
19	25.89
20	2.85
21	30.70
22	0.82
23	3.23



CLAVE MAPA 1
 ELABORO Biol Patricia González Zamorano
 PROYECCION Universal Transversa de Mercator
 ELIPSOIDE Clarke de 1866
 DATUM NAD27
 FUENTE Interpretación monoscópica de fotografía aérea 1:75000 (Amp 4X) de INEGI, 1985

FOTOINTERPRETACIÓN ESTEREOSCÓPICA DE GABINETE



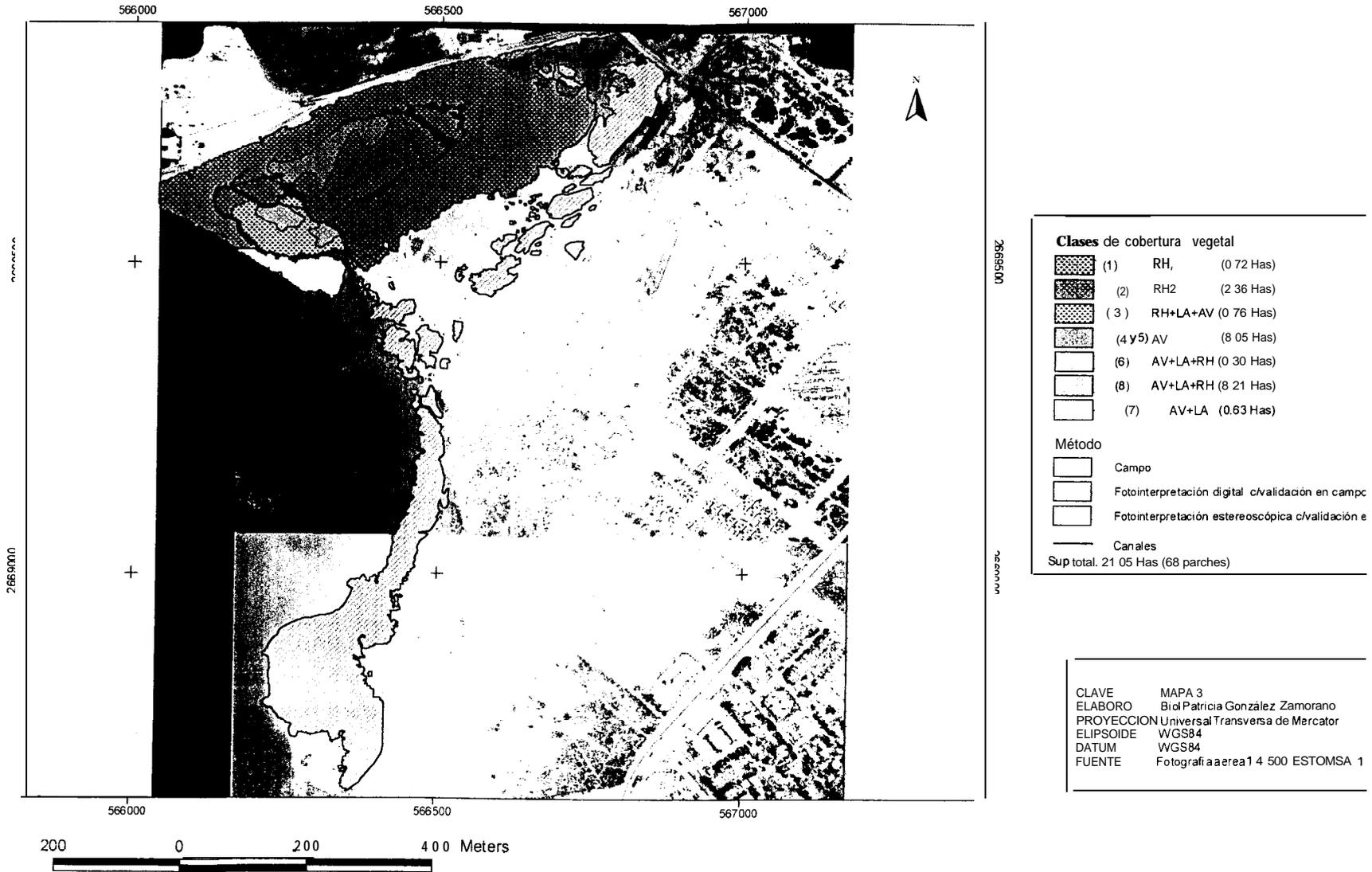
Pruebas de fotointerpretación en acetato

CLASES: Tono-Texturales

-  (1) Clara - Aborregada
-  (2) Clara - Lisa
-  (3) Oscura moteada - aborregada y granulosa lisa
-  (4) Oscura - Granulosa fina
-  (5) Oscura - Granulosa media
-  (6) Oscura - Granulosa fina
-  (7) Oscura - No definida

CLAVE MAPA 2
ELABORO Biol Patricia González Zamorano
FUENTE. Fotointerpretación estereoscópica de campo
Fotografías aéreas 1:4500, ESTOMSA, 1994

PATRON DE DISTRIBUCION Y CLASES DE COBERTURA VEGETAL EN EL CONCHALITO, B.C.S.



DETECCION DE CAMBIOS DE REFLECTANCIA (1989-1994), EN LA FRANJA DE PROTECCION DE EL CONCHALITO, B.C.S.



Clases de cobertura vegetal

	(1) RH1	(0.72 Has)
	(2) RH2	(2.36 Has)
	(3) RH+LA+AV	(0.76 Has)
	(4 y 5) AV	(8.05 Has)
	(6) AV+LA+RH	(0.30 Has)
	(8) AV+LA+RH	(8.21 Has)
	(7) AV+LA	(0.63 Has)

Método

	Campo
	Fotointerpretación digital c/validación en campo
	Fotointerpretación estereoscópica c/validación en c/

Diferencia de reflectancia

	Incremento > 30 %
--	-------------------

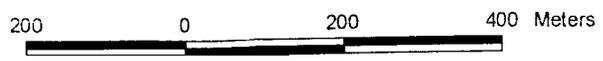
Parches de vegetación 1989 vs. 1994

	Ausentes
	Persistentes
	Canales

Franja de protección

	0
	100

CLAVE: MAPA 4
 ELABORO: Biol. Patricia González Zamorano
 PROYECCION: Universal Transversa de Mercator
 ELIPSOIDE: WGS84
 DATUM: WGS84
 FUENTE: Fotografía aérea 1: 4 500 ESTOMSA, 1994



DISCUSIÓN

DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIÓN DE LAS ÁREAS DE MANGLAR EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B.C.S.

Las áreas de manglar en la Ensenada de La Paz pueden considerarse como poco desarrolladas comparadas con manglares más tropicales. Sin embargo, en su conjunto representan una cobertura importante con aproximadamente 305.13 ha cubriendo el 42.67 % del litoral de la laguna (20.15 km).

El poco desarrollo del manglar en esta región, considerada como árida, se ha atribuido a la falta de aportes sedimentarios importantes que acrecienten las costas y preparen un **sustrato** adecuado para la colonización del manglar (Cintrón *et al.*, 1980). Asimismo, Pannier y Pannier (1977, en Cintrón *et al.*, 1980), postularon que, dentro de los límites de tolerancia de temperatura, la existencia de un periodo de precipitación anual es indispensable para el establecimiento y desarrollo del manglar, de forma que el mayor desarrollo de estas comunidades coincide con climas donde predomina la pluviosidad.

A pesar de que estas comunidades se encuentran bajo protección especial debido a su irrefutable importancia en la zona costera, en la Ensenada de La Paz el proceso de degradación es importante. Mendoza *et al.* (1984) reportaron una pérdida de 44.24 ha en el período de 1973 a 1981, asumiendo que el impacto humano era el principal factor de **degradación**.

El presente trabajo evidenció que en la porción sur de la laguna (Mapa 1) la fragmentación del manglar responde a fuertes impactos ocasionados por el establecimiento de instalaciones portuarias y urbanas; los efectos se ven reflejados en la remoción de cubierta vegetal y por ende en la pérdida de hábitat para un gran número de especies; en donde El Conchalito requiere prioridad de protección debido al acelerado crecimiento urbano en sus inmediaciones (Mapas 1 y 5).

De continuar esta tendencia es probable que se produzcan cambios en la productividad de la laguna ya que existe una correlación verdadera y directa entre la cantidad de costas bordeadas por mangle y la producción pesquera (D’Croze y Kwiecinsky, 1980; Day y Yáñez-Arancibia, 1988)

Este deterioro es en gran medida debido al “desconocimiento” de la importancia de los manglares en la región, a la carencia de investigaciones integrales de estos ecosistemas y particularmente, a la falta de un plan de manejo que regule el uso y manejo de la zona costera.

Por otro lado, la superficie total de manglar estimada para la Ensenada de La Paz (305.11 ha), contrasta con la aproximación realizada por Mendoza, et al. (1984) quienes establecen una cobertura de 162.24 ha. Dicha diferencia, se debe, en primer instancia a que dichos autores no incorporaron todas las áreas de manglar en su estudio y por otra, a que los insumos y herramientas fueron distintos.

Asimismo, se observan diferencias en las estimaciones para zonas específicas (Tabla XIII, considerando que la tasa de desarrollo del manglar es extremadamente lenta (González et al., 1995) y a que no se reportan evidencias de deforestación en el periodo y áreas reportadas es evidente que **tales** diferencias tengan más que ver con los métodos y criterios empleados en cada caso que con cambios reales en la cubierta vegetal.

Lo anterior, nos lleva a contemplar tres aspectos cruciales en el mapeo de vegetación de manglar:

- ⌘ Definir con precisión el objeto de estudio y en su caso el método de clasificación.
- ⌘ Incorporar métodos y herramientas que permitan obtener resultados cada vez más precisos.
- ⌘ Emplear esquemas metodológicos y plataformas de trabajo que permitan realizar comparaciones temporales, definiendo con claridad los insumos, métodos, criterios y procesos.

Para ello, el reconocimiento de la forma, distribución y magnitud de las áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, proveyó **información básica** para determinar el factor de escala de los insumos fotográficos y la resolución espacial idónea de los análisis establecidos en El Conchalito, información que a su vez puede servir como punto de referencia para futuros estudios sobre el mapeo y diagnóstico de comunidades de manglar en la región.

Tabla XII. Cobertura de diferentes **áreas** de manglar en la Ensenada de La Paz y aspectos metodológicos.

Área	Insumos	Material y métodos	Superficie (ha)
El Mogote Mendoza et al., 1984	Fotografía aérea 1:25 000 y 1:30 000 (1981)	Fotointerpretación monoscópica de gabinete y campo	122.41
El Mogote Este trabajo	Fotografía aérea 1: 18 750 (1993)	Fotointerpretación monoscópica de gabinete	167.1
El Conchalito Mendoza et al., 1984	Fotografía aérea 1:25 000 y 1:30 000 (1981)	Fotointerpretación monoscópica de gabinete y campo	11.37
El Conchalito Este trabajo	Fotografía aérea 1: 18 750 (1993)	Fotointerpretación monoscópica de gabinete	30.70
El Conchalito Este trabajo	Fotografía aérea 1:4 500 (1994)	Fotointerpretación estereoscópica y digital de gabinete y campo	21.05

ESTRUCTURA Y MAPEO EN EL CONCHALITO

ESTRUCTURA

Conforme a los resultados de campo en el manglar El Conchalito, *A. germinans* fue la especie más relevante (266.58) seguida de *L. racemosa* (29.079) y *R. mangle* (4.327), asimismo, el desarrollo estructural es considerado como pobre ya que el índice de complejidad estimado fue sumamente bajo (0.18) con individuos poco desarrollados. Sin embargo, estos resultados deben considerarse como preliminares, ya que en la porción

media del manglar se detectaron zonas inaccesibles (4.17 ha) donde *R. mangle* se encontró bien representado con individuos de 3-4 m de altura.

Esta condición estructural puede atribuirse en gran medida a las características ambientales que influyen sobre el metabolismo y fenotipo de esta comunidad, ya que las condiciones climáticas imperantes en el área de estudio se enmarcan en las propias de un clima árido y por consiguiente se alejan de las condiciones idóneas para el desarrollo óptimo de los manglares (Cintron et al., 1980; Jiménez, 1991).

La temperatura en el área de estudio alcanza valores extremos, con un mínimo anual entre 2 y 8 °C y un máximo entre 40 y 43 °C, con una oscilación media estacional entre 8 y 10 °C, por lo que probablemente esta vanabilidad térmica y particularmente las bajas temperaturas invernales, repercutan en la limitación de crecimiento y en la complejidad estructural del manglar, a pesar de la capacidad que poseen estos árboles, y en particular el mangle negro, de tolerar temperaturas bajas (Jiménez, 1991).

Asimismo, la baja precipitación (media anual de 166 mm) y la carencia de escurrimientos continentales importantes ha originado que el sistema hidrológico en la laguna sea antiestuarino, con concentraciones salinas superiores a la media marina, por lo que las altas concentraciones de sales en el agua, y probablemente en el **sustrato** impliquen un gasto energético elevado para los organismos, repercutiendo en su tasa de crecimiento.

Soto y Jiménez (1982) **señalan** que los patrones de desarrollo estructural pobres son característicos en climas áridos; resultados similares son los encontrados por Jiménez (1981, 1991), Flores Verdugo et al. (1992, 1993), Jiménez y González (1996) entre otros. Estos últimos, señalan que la estructura y distribución de manglares con climas áridos en el norte de México está definida por la frecuencia, duración **y/o** severidad de las temperaturas frías del invierno y de la baja precipitación; esta última, en conjunción con la inexistencia de aportes fluviales, afecta el desarrollo de manglares, presentando una alta salinidad en el suelo y baja disponibilidad de nutrientes (Flores Verdugo et al. 1993).

Lugo y Zuca (1977) encontraron que para las poblaciones de Florida, el estrés provocado por bajas temperaturas ocasiona poca altura arbórea, hojas pequeñas y un incremento en la densidad de los árboles; establecieron además, que árboles que viven en zonas con elevada salinidad son menos tolerantes al frío. Esta situación también se observa en la zona norte de Sinaloa y Sonora (Tovilla, 1994). Asimismo, Flores Verdugo et al. (1993) señalan que en climas áridos las plántulas pueden estresarse por la alta salinidad del sustrato, afectando las tasas de crecimiento.

Considerando las características estructurales de El Conchalito y conforme a la clasificación **fisiográfica** de Lugo y Snedaker, 1974 (en: Flores-Verdugo, 1990 y Tovilla, 1994), es posible tipificar a éste como un manglar de borde con presencia en la parte posterior (tierra adentro) de manglar tipo matorral (o enano).

El manglar de borde, generalmente se encuentra bordeando las lagunas costeras, estuarios y bahías; se caracteriza por una dinámica de lavado diario por las mareas, por lo que hay una exportación constante de materia vegetal hacia el mar y una pobre retención de materia orgánica en el suelo. Además, la estructura de este tipo de comunidades está modificada constantemente por el oleaje y las mareas, y con frecuencia se ven asolvados por bancos de arena. El ancho del borde está en función de la geomorfología y del balance **hidrológico**, y en la parte posterior de éste pueden existir manglares de otros tipos (Flores-Verdugo, 1990). En este caso, debido a que en el área de estudio predomina un balance hidrológico negativo (Evaporación > Precipitación + Afluente Fluvial), se presenta un manglar tipo matorral y vegetación halófila.

El manglar tipo matorral se caracteriza por su escaso desarrollo estructural, lo cual es consecuencia de encontrarse en áreas de intensa evaporación y, por lo tanto, en condiciones de hipersalinidad, lo que implica un mayor gasto energético por parte de los manglares a consecuencia del aumento de la presión osmótica en su entorno, llegando a inhibir el crecimiento e incluso provocar la muerte; siendo *A. germinans* la especie más característica de este tipo de matorral debido a su tolerancia a la alta salinidad (Flores-Verdugo, 1990), tal como se presentó en el Conchalito.

FOTOINTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS ESPACIALES

Por lo que refiere a la fuente de datos, si bien existe una amplia diversidad de **sensores** para el mapeo de vegetación costera y acuática (Anexo V), debido a las características de los parches de manglar en el área de estudio (forma y extensión) el uso de fotografía aérea resultó lo más idóneo debido a su alta resolución espacial, capacidad para la estereoscopia, disponibilidad, fácil adquisición y bajo costo.

El material **fotográfico** a escala 1:4 500 y 1:5 000 permitió identificar parches de **vegetación** < 4 m² y realizar los análisis establecidos de manera adecuada. Dichas escalas, concuerdan con la propuesta de Robbins (en: Lehmann y Lachavanne, 1997) quien establece un factor de 1:4 800 para la clasificación de **hábitats** fragmentados.

La fotointerpretación estereoscópica y digital del manglar en la Ensenada de La Paz, y en particular de El Conchalito, en conjunto con el trabajo de campo, permitió determinar las características relevantes de la vegetación (tamaño de la copa de los árboles, textura del dosel, número de especies, forma y extensión de los parches) para definir la resolución del análisis y el mapeo. Asimismo, la fotointerpretación estereoscópica permitió describir, reconocer y segmentar la vegetación en diferentes clases tono-texturales de manera eficiente y relativamente rápida, información que puede emplearse de manera extensiva para la fotointerpretación de áreas de manglar bajo condiciones similares en la región o bien, para considerarse como referencia.

Por otro lado, la aplicación de las técnicas de procesamiento digital de imágenes e integración de los datos a un sistema de información geográfica permitió estimar la cobertura vegetal y delinear con mayor precisión las clases foto-texturales, así como los parches de vegetación que no fueron tan evidentes en la fotointerpretación estereoscópica.

Además, la aplicación del algoritmo "Image Difference" para detectar el cambio de reflectancia entre los fotomosaicos de 1989-1 994 fue una herramienta útil para detectar las modificaciones de cobertura vegetal en la porción oriental de la franja de protección en El Conchalito (Mapa 4). Sin embargo, se sugiere realizar estudios ecológicos ya que no se

puede descartar que **tales** cambios sean de orden natural, debido a la dinámica propia de los ambientes de salitral.

Asimismo, durante la **aplicación** del algoritmo “Image Difference” (ESRI, 1998) se detectaron diferencias de reflectancia en las instalaciones del CICIMAR, en donde no existe ningún cambio real en el terreno, ésto debido probablemente a la diferencia de tonalidades en las fotografías de un mismo mosaico y entre los mosaicos, por lo que se sugiere que previo al análisis se prueben y validen algunos algoritmos de mejoramiento de imagen, para reducir la heterogeneidad de tonos en y entre los fotomosaicos (González y Woods, 1996).

Así, el mapeo de vegetación proveyó una visión sintética de la cobertura total de El Conchalito (21.05 has) y del patrón de distribución (Mapa 3). Este patrón concuerda con lo señalado por **Cintrón** (1978) y Lugo (1980), quienes indican que *A. germinans* predomina en condiciones de aridez e hipersalinidad mientras que *R. mangle* alcanza su máximo desarrollo en zonas que son más afectadas por la marea además, señalan que estas dos especies son competidoras más eficientes bajo las condiciones de aridez e inundación respectivamente.

Igualmente, bajo este esquema de trabajo fue posible estimar la magnitud de las zonas inaccesibles (4.17 ha) así como de la composición de las mismas (Mapa 3), complementando la información recabada en campo. Información que de obtenerse en una etapa prospectiva permitiría **direccionar** los esfuerzos de investigación o bien, seleccionar los métodos que permitan obtener mejores resultados.

Asimismo, fue posible identificar los agentes de transformación y la magnitud de los mismos, encontrando que el desarrollo de infraestructura urbana y el tránsito de automotores han modificado y continúan modificando la cobertura vegetal en la franja de protección del manglar (Mapa 5).

PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE COBERTURA DE MANGLAR

La complejidad o inaccesibilidad de las comunidades de manglar demanda que los manejadores de recursos utilicen técnicas complementarias de análisis espacial para evaluar la cobertura de mangle, a fin de realizar un diagnóstico más completo.

El esquema metodológico establecido en el presente trabajo, donde se integraron técnicas de campo y teledetección en un sistema de información geográfica, permitió realizar de forma sencilla análisis espaciales ad hoc para el manglar de El Conchalito. Dicha información puede emplearse de manera extensiva para el resto de áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, o bien, para comunidades bajo condiciones similares.

Asimismo, la aplicación de este esquema puede emplearse como punto de referencia para futuros estudios sobre cambios ambientales en relación con la comunidad de manglar, ya que permite reducir el tiempo y costo de la investigación al acortar el trabajo de campo, o bien, identificar las zonas inaccesibles y su extensión para decidir hacia donde centrar los esfuerzos para la toma de datos.

Considerando lo anterior, se propone que los estudios de manglar cuenten con una etapa prospectiva o preliminar (Fig. 13), en donde se sugiere realizar una fotointerpretación monoscópica o estereoscópica empleando fotografías aéreas con una escala mayor a 1: 10 000 con el fin de identificar las áreas inaccesibles al trabajo de campo, así como la importancia de las mismas. Los recorridos en campo realizados paralelamente permitirán validar la fotointerpretación, reconocer la estructura general de la comunidad y estimar la cobertura de los parches de vegetación más pequeños en el área de estudio.

Este reconocimiento permitirá definir la pertinencia de emplear esquemas convencionales empleando únicamente métodos de campo o bien, recurrir a esquemas integrales en los que además se incorporen técnicas de teledetección y las propias de un

sistema de información geográfica. En caso de optar por un esquema integral se recomienda emplear los criterios, métodos e insumos planteados en el presente trabajo.

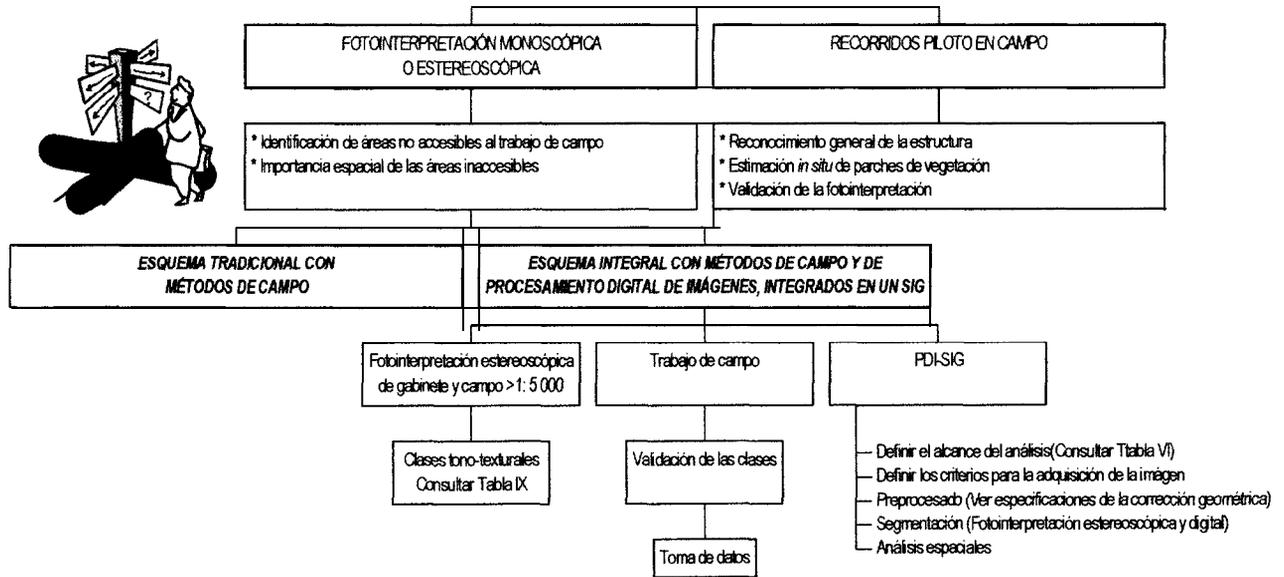


Figura 13. Esquema metodológico para el mapeo de cobertura de mangle en condiciones áridas.

CONCLUSIONES

El trabajo de campo y teledetección integrado a un sistema de información geográfica **proveyó** una estrategia adecuada para tener una visión global del manglar en la Ensenada de La Paz y en particular de El Conchalito, permitiendo:

- ≪ Detectar áreas inaccesibles o críticas y definir la magnitud de las mismas.
- ≪ Poner en evidencia las limitantes del trabajo de campo en estas comunidades y la pertinencia de incorporar métodos alternativos o complementarios.
- ≪ Aumentar la precisión y calidad de la investigación.
- ≪ Reducir el tiempo y costo de la investigación al acortar el trabajo de campo.
- ≪ Realizar análisis temporales.
- ≪ Elaborar mapas sintéticos de manera rápida y sencilla.

Asimismo, la información resultante del presente trabajo permite establecer las siguientes conclusiones:

- ≪ Las áreas de manglar en la Ensenada de La Paz, B. C. S., se distribuyen en forma discontinua y fragmentada en cordones y parches pequeños con una superficie aproximada de 305.13 ha, cubriendo el 42.67% del litoral de la laguna.
- ≪ Es evidente que la fragmentación del manglar en la porción sur de la laguna es ocasionada por el establecimiento de instalaciones portuarias y urbanas, lo que refleja una carencia o deficiencia de las estrategias de manejo en estas comunidades, en donde El Conchalito requiere prioridad de protección.
- ≪ El uso de fotografías aéreas a escala 1:4 500 y 1:5 000 permitió describir, reconocer y segmentar 7 clases tono-texturales en el cuerpo principal de El Conchalito, de manera eficiente y relativamente rápida. Asimismo, permitió obtener una resolución adecuada para detectar parches de vegetación menores a 4 m².

- ◌ El tipo fisonómico de El Conchalito es de borde con manglar tipo matorral (o enano) en la parte posterior, y está conformado por tres especies: *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, distribuidos en una superficie de 21.05 ha.
- El patrón de distribución encontrado posiblemente esté relacionado con las condiciones de inundación, aridez e hipersalinidad, donde *R. mangle* y *A. germinans* son mejores competidores.
- ◌ Las variables estructurales medidas indican que el bosque es poco complejo (I.C. = 0.18) y compuesto por árboles pequeños.
- El desarrollo de infraestructura urbana y el tránsito de automotores son los agentes de mayor impacto que han y continúan modificando principalmente la franja de protección de El Conchalito.
- ◌ Finalmente, se recomienda considerar este esquema de trabajo para futuros estudios sobre cambios ambientales en relación con la comunidad de manglar

BIBLIOGRAFÍA

Alcocer, G. V. 1900. Lectura de turno: El **Mangle**. Médico Nacional. Instituto Médico Nacional. México. 4: 323331.

Alejo, L. N. 1996. La Técnica de la Percepción Remota para la investigación ambiental de Sinaloa. En: Moran. E., Santos, S. e Izaguirre, G. (Eds.) Ambiente y Ecología en **Sinaloa**; Diagnóstico y Perspectivas. Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 123-126.

- **Azuara, I.** y Ramírez, A. 1994. Tecnologías y manejo de información geográfica en la conservación. Ciencia y Desarrollo. 20 (116): 58-56.

Becerril, F. 1994. Reparto de bs recursos temporal-espacial y trófico, por parte de bs **Ardeidos anidantes** en el manglar "**El Conchalito**", B.C.S. Méx. durante las temporadas reproductivas de 1992 y 1993. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. México. 73 p.

- **Becerril, F.** y Carmona R. 1997. Anidación de aves acuáticas en la Ensenada de La Paz, B. C. S., Méx. Ciencias Marinas. 23 (2): 265-271.

- **Blasco, F.** 1991. Los manglares. Mundo **Científico**. II (114): 617625.

Bojórquez, L. A., Díaz, M; y Saunier, R. 1995. Ordenamiento Ecológico de la Costa Norte de Nayarit. Organización de Estados Americanos - Instituto de Ecología – Universidad Autónoma de México. México. 80 p.

Bosque, J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Ediciones **Rialp**. Madrid. 451 p.

Bosque, J., Escobar, F., García, E. y M. S. 1994. Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC **ARC/INFO** e **IDRISI**. Addison-Wesley Iberoamericana. Rama. U.S.A. 478 p.

Bosque, J. 1997. Sistemas de Información **Geográfica**. **Rialp**. Madrid. 451 p.

Brower, J., Zar, H. y von Ende. 1997. **Field and Laboratory** Methods for General Ecology. Mc Graw Hill. U.S.A. 273 p.

- **Bustillos, J.** 1981. Características de tres zonas de manglar del **Golfo** de California de México, de acuerdo a la composición específica, diversidad, densidad y dominancia de las comunidades de diatomeas. Tesis de Licenciatura. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S. México. 58 p.

Caloz, R. y Collet, C. 1997. Geographic information systems (GIS) and **remote sensing in aquatic botany: methodological aspects.** **Aquat. Bot.** 58: 209-228.

- Carmona, R. 1995. Distribución temporal de aves acuáticas en la playa "El Conchalito", Ensenada de La Paz, B.C.S. Inv. Mar. CICIMAR-IPN. 10 (I-2): 1-21.
- Carmona, C. 1997. Relación entre la abundancia de aves playeras y organismos bentónicos en la playa "El **Conchalito**", Ensenada de La Paz, **B. C. S.** durante un ciclo anual. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S. México. 61 p.

Carmona, R. y Ramírez, S. 2001. **Múltiple-criteria** análisis **to identify priority coastal conservation areas** for waterbirds **in** Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. (en proceso).

Castleman, K. 1996. Digital image processing. Prentice-Hall, Inc. U.S.A. 667 p.

- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de la teledetección espacial. Rialp. Madrid. 453 p.

Cintrón, G., **Goenaga**, C. y Lugo, A. E. 1980. Observaciones sobre el desarrollo del manglar en costas **áridas**. En: UNESCO. Estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares. Memorias del **seminario** organizado por UNESCO. 1832 p.

Davies, E. R. Machine **vision: Theory, algorithms, practicalities.** Academic Press Limited. Great Britain. 547 p.

- Day, J. W., Conner, W., Day, R. H., Ley-Lou, F y Machado, A. 1988. Productivity and Composition of Mangrove Forest at Boca Chica and Estero Pargo. En: Yáñez-Arancibia y Day, J.W. (Eds.). Ecología de bs Sistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La **Región** de la Laguna de Términos. **Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast Ecol.Inst. LSU, Editorial Universitaria.** México. 237-257 p.
- Day, J. W. y Yáñez-Arancibia, A. 1988. Consideraciones Ambientales y Fundamentos Ecológicos para el manejo de la región de la Laguna de términos, sus **hábitats** y recursos pesqueros. En: Yáñez-Arancibia, A. y Day, J. W. (Eds.). Ecología de bs Sistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos. **Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast Ecol.Inst. LSU, Editorial Universitaria.** México. 453-482 p.
- D'Croz, L. y Kwiecinski, 8.1980. Contribución de los manglares a las pesquerías de la Bahía de Panamá. *Rev. Bbl. Tropical.* **28(1):** 13-29.
- De la Cruz, G. 1996. Iniciativa para erigir al Estero El Conchalito, La Paz, B.C.S. como zona sujeta a conservación ecológica. Proyecto presentado al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C.
- De la Lanza, G., Ramírez-García, P., Thomas, Y. y Alcántara A. 1993. La vegetación de manglar en Laguna de Términos, Campeche. Evaluación preliminar a través de imagen Landsat. **Hidrobiológica.** 3(1-2): 29-39 pp.
- Eastman, J.R. 1995. **Idrisi. User's Guide.** Clark University. U.S.A. 120 p.
- Encarnación, R. 1996. Medicina Tradicional y Popular de B. C. S. **Secretaría** de Educación Pública y Universidad Autónoma de Baja California Sur, México 122 p.
- Environmental Systems **Research Intitute** (ESRI). 1996. Usíng **ArcView** GIS. U.S.A. 340 p.
- Environmental Systems **Research Intitute** (ESRI). 1998. Using **ArcView** Image Análisis. U.S.A. 209 p.

Espinoza, G. M. Amador, E., Llinas, J., Díaz, E. Sánchez, P., y Bustillos J. 1979. Estudio Ecológico **Comparativo** en tres manglares de la Bahía de La Paz, B. C. S. Informe General de Labores, **Centro de Investigaciones Biológicas**. La Paz, B.C.S. México. 109-135 p.

Espinoza, G. M. 1981. Ecología de Manglares. Informe General de Labores, Centro de Investigaciones Biológicas. La Paz, B.C.S. México. 137-141 p.

Everitt, J., Judd, F. W., Escobar, D. E. y Davis, M. R. 1996. Integration of **remote sensing** and **Spatial Information Technologies** for Mapping Black Mangrove on the Texas Gulf Coast. Journal of **Coastal Research**. 12(1): 64-69.

Flores-Verdugo, F. 1990. Algunos aspectos sobre la Ecología, uso e importancia de los ecosistemas de Manglar. En: Rosa-Vélez J. y F. **González-Farías** (Eds.) Temas de Oceanografía Biológica en México. Ensenada. 22-51 p.

Flores-Verdugo, F., **González-Farías**, F. y **Zaragoza-Araujo**, U. 1993. Ecological **parameters** of the mangroves of **semi-arid** regions of México: Important for ecosystem management. En: Lieth H. y Al Masoom A. (Eds.). **Towards the rational** use of high **salinity tolerant** plants. Kluwer Academic Publishers. Netherlnads. (1):123-132.

Galindo, J. 1987. Estrategias de optimización y conducta alimenticia del **Tildillo** de Wilson (***Charadrius wilsonia***) en la Ensenada de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 58 p.

García, E. 1973. Modificaciones al Sistema Climático de **Köppen**. Instituto de Geografía. UNAM. 246 p.

- García, O.G. 1993. La percepción remota como medio para la actualización de datos de un SIG. <http://www.imt.mx/Espanol/Notas/11/art1.html>

Giddings, L. E. 1980. Transformaciones de imágenes Landsat para aplicaciones botánicas. **Biótica** 5 (4): 199-205.

Gobierno del Estado de Baja California Sur. 1995. Cartografía Urbana. Plano **G12D823602** Dirección de **Planeación** Urbana y Ecología. Programa de Modernización Catastral. Localidad de la Paz.

González-Acosta. A. 1998. Ecología de la comunidad de peces asociada al manglar del **estero** El Conchalito, Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro **Interdisciplinario** de Ciencias **Marinas** - Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S. México. 128 pp.

- González, R. y Woods, R. 1998. Tratamiento digital de imágenes. **Addison-Wesley/Díaz** de Santos. U. S. A. 773 pp.
- González, D., Rivas, B., Alvarado, E. y Polaina, J. 1995. El acodado aéreo como técnica para repoblar mangle rojo. Bol. Ecotrópica. 28: 16-32.
- Green, E. P., Mumby, P. J., **Edwards**, A. J., **Clarck**, C. y Ellis, A. C. 1998. The **assesment** of mangrove **areas** usíng high **resolution multispectral** airborne imagery. Journal of **Coastal** Research. **14(2)**: 433-443.
- Guzmán, J. 1998. Humedales. En: Diagnóstico Ambiental de Baja California Sur. Sociedad de Historia Natural **Niparajá**, A. C., Universidad Autónoma de Baja California Sur y Fundación Mexicana para la Educación Ambiental. México. 303-335 p.
- Hernández, F. 1995. **Implementación** de un algoritmo de crecimiento de **región** de imágenes por búsqueda radial. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 60 p.
- INEGI, 1993. **Ortofoto** Pancromática de la Laguna de La Paz, B.C.S. Escala 1: 75 000 ampliación 4x
- INEGI, 1994. Manual de nociones elementales de fotografía aérea para su aplicación en el **control** de calidad fotográfico. México. 131 p.
- INEGI. 1995. Síntesis Geográfica del Estado de Baja California Sur. México.50 p.

INEGI, 1999. **Carta** Topográfica La Paz, **G12D82**. Escala 1: 50 000

- INEGI, 1999. Carta Topográfica El Centenario, **G12D83**. Escala 1: 50 000
- Jiménez, M. C. 1991. Contribución al conocimiento de los productores primarios de la Ensenada de La Paz. Análisis de la comunidad de manglar. Tesis de Maestría. Centro **Interdisciplinario** de Ciencias **Marinas** - Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S. México. 223 p.
- Jiménez, M.C. y González F. 1996. Análisis de la estructura del manglar de la Laguna de Juluapán, Col., México. *Ciencia Pesquera* (12): 76-84.
- **Larson**, V. L. 1995. Fragmentation of the Land-water margin **within the** northern and central **Indian River** Lagoon Watershed. **Bulletin** of Marine Science. **57(1)**: 267-277.
- Lehmann, A. y Lachavanne, J.B. 1997. Geographic information systems and **remote** sensing in **aquatic botany**. **Aquat. Bot**, 58, 195-207.
- Lira, J. 1987. La Percepción Remota: Nuestros ojos desde el espacio. Fondo de la Cultura Económica. Méx. 150 p.
- Loa, L. E. 1994. Los manglares de México: Sinopsis general de su manejo. 144-151 pp. En: Suman, D. (Editor). El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: Su manejo y **conservación**. Florida. 263 p.
- Long, B. y Skewes, T. D. 1996. A Technique for Mapping Mangroves **with** Landsat TM Satellite Data and Geographic Information System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **43(3)**: 373-381.
- López, B. J., **Muciño**, V. I. y Rivera U. J. 1996. Corrección Fotogramétrica de segmentos digitalizados de fotografías aéreas, para la determinación del uso de suelo en la Sierra de Quetzaltepec, México. *Investigaciones Geográficas* (33): 9-29.
- Maldonado, D. y Sánchez, S. M. 1994. Estrategia reproductiva de ***Nycticorax violaceus bancrofti*** (Huey, 1927) (Aves: ***Ardeidae***) en el manglar “**El Conchalito**” Ensenada de La Paz. B.C.S. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. México. 60 p.

- Martínez, P. M. 1996. Algoritmo de segmentación basado en estadística robusta y matiz de coocurrencia. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de México. 60 p.
- Mendoza, S. R. 1983. Identificación, distribución y densidad de la avifauna marina en los manglares Puerto Balandra, Enfermería y Zacatecas en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. México. 55 p.
- Mendoza, R., Amador, E., Llinas J. y Bustillos, J. 1984. **Inventario** de las áreas de manglar en la Ensenada de Aripes, B. C. S. En: Memorias de la primera reunión sobre ciencia y sociedad: Presente y Futuro de la Ensenada de La Paz. México. U. A. B. C. S. y Gobierno del Estado de B. C. S. México. 43-52 p.
- Mendoza, S. R., Fuentes, H. y Espinosa, M. 1984. Avances del estudio de avifauna marina de los manglares: Balandra, Enfermería y Zacatecas, de la Bahía de la Paz, B. C. S., México. Informe General de Labores **CIB**. La Paz, B.C.S. 40-51 p.
- Muller, E. 1997. Mapping riparian vegetation along rivers: old concepts and new methods. **Aquat. Bot.**, 58: 411-437.
- Menéndez, C., Priego, S. A. y Vandama, C. R. 1994. Una propuesta de Plan de Manejo Integrado de los manglares. En: Suman, D. (Editor) 1994. El ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: Su manejo y **conservación**. Universidad de Miami & The Tinker Foundation. U.S.A. 85-99 p.
- Noriega y Lozano (199?). Caracterización de humedales por medio de datos ópticos (Landsat-TM) y de radar (ERS-1). <http://uninet.mty.itesm.mx/estmacro/master4.html>.
- Núñez, A. J. 1988. La Percepción Remota Aplicada a la Agronomía. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. México. 64 p.
- Odum, W. E., Melvor, C. y Smith III, T. J. 1982. The ecology of the mangroves of **south Florida: a community profile**. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Service, Washington D.C. FWSIOBS-81124. 144 p.

- Panapitukkul, N., Duarte, C. M., Thampanya, U., Kheowvongrsi, P., Srichai, N., Geertz-Hansen, O., Terrados, J. y Boromthanarath, S. 1998. Mangrove **Colonizacion**: Mangrove Progression Over the Growing Pak Phanang (SE Thailand) Mud Flat. Estuarine, **Coastal** and Shelf Science. 47(1):51-61.
- Pérez, J. 1995. La vegetación de ambientes costeros de la Región del Cabo, Baja California Sur: Aspectos **florísticos** y ecológicos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México. México 90 p.
- Porter, D.E., **Edwards**, D., Scott, G., Jones, B. y Street, S. 1997. Assessing the **impacts** of anthropogenic and physiographic **influences** on grass shrimp in **localized salt-marsh** estuaries. **Aquat. Bot** 58: 289-306.
- Quintela, J. 1995. El Inventario, Análisis y el Diagnóstico Geoecológico de bs Paisajes mediante el Uso de Sistemas de Información Geográfica (Resumen de Tesis Doctoral). Universidad de la Habana. Cuba 35 p.
- Rábade, J. y Cabrera, M. 1995. Apuntes para una Metodología para la Ordenación Integral de Montes. Revista Mapping Madrid. (5): 12-14 p.
- Ramírez-García, P. y Lot, H. A. 1994. La Distribución del manglar y los "pastos **marinos**" en el Golfo de California", México. Anales Inst Biil. **Univ. Autón. México**, Ser. **Bot.** 65(1): 63-72.
- Ramsey, E. W. y Laine, S. C. 1997. **Comparison** of Landsat Thematic Mapper and High Resolution Photography to Identify **Change** in Complex **Coastal** Wetlands. Journal of **Coastal research**. 13 (2):281-292.
- Ramsey, E. W., Nelson, G. A., y Sapkota, S. K. 1998. Classifying **coastal** resources by **integrating** opücal and radar imagery and color **infrared** photography. Mangroves and Salt **Marshes** 2: 109-119.
- Roberts, N. C. Baja California Plant Field Guide. Natural History Publishing Company. U.S.A. 309 p.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Salitchev, K. 1979. Cartografía. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.

- Sánchez, R. M. 1963. Datos relativos a los manglares de México. **An. Esc. Nac. de Cienc. Biol. I.P.N.** XII (1): 61-72.
- Sánchez, D. 1994. Comparación estructural de la comunidad de manglar en dos sistemas lagunares costeros en el Estado de Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán, México. 69 p.
- Seco, R. 1996. Teledetección Aeroespacial. Notas del Diplomado en Sistema de Información Geográfica. Universidad de la Habana y Universidad Autónoma de Baja California Sur. 157 p.
- SEDESOL. 1994. Norma Oficial Mexicana **NOM-059-ECOL-1994**. Que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial de la Federación (16 de mayo de 1994).
- SEMARNAP. 1999. Norma Oficial de Emergencia **NOM-EM-OOI-REC NAT-1999**. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación y restauración del manglar. Diario Oficial de la Federación (16 de agosto de 1999).
- SEMARNAP. 2000. Modificación a la Norma Oficial Mexicana **NOM-059-ECOL-1994**. Que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, **raras** y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial de la Federación (22 de marro del 2000).
- Smith, G., Spencer, T., Murray, A. y French, J. R. 1998. Assesing seasonal vegetation **change in coastal wetlands with airborne remote sensing: an outline methodology.** **Mangroves and Salt Marshes** 2: 15-28.
- Soto, M. F., Lozano, A., Diez, Mejia, C. y Villa S. 1977. Estudio piloto de la vegetación en la región Alchichica-Perote por medio de percepción Remota. **Biótica** 2 (3): 19-36.
- Tovilla, C. H. 1994. Mangles. En: De la Lanza, G. y Cáceres M. (Eds.) **Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano.** U. A. B. C. S. México. 371-423 p.

- Tomlinson, P. B. 1994. The **botany of mangroves**. Cambridge University Press. U.S.A. 419 p.
- van Westen, C. y Farifteh, J. 1997. ILWIS **User's** Guide. ILWIS **Department**, International Institute for Aerospace Survey & **Earth** Science Enschede (ITC). Netherlands. 502 p.
- Valdez, R. A. 1978. Pelecaniformes en la Bahía de la Paz, B.C.S. En: Memorias del Primer Simposium sobre Biología Marina. U. A. B. C. S. La Paz. II-27 p.
- Yáñez-Arancibia, A. 1986. Ecología de la Zona Costera. Análisis de siete **tópicos**. AGT Editor. México 189 p.
- Yáñez-Arancibia, A., Zarate, L. D., Rojas-Galaviz, J. L. y Villalobos, Z. G. 1994. Estudio de declaratoria como **Area** Ecológica de Protección de Flora y Fauna Silvestre de la Laguna de Términos, Campeche, Mex. En: Suman D. (Editor) El ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: Su manejo y **conservación**. Miami, Florida. 152-159 p.

ANEXO 1

TELEDETECCIÓN

El término teledetección o percepción remota se refiere al proceso de obtener información sobre un objeto sin establecer contacto físico con él. El objetivo de esta disciplina no se limita a captar y almacenar información sobre objetos, sino que también incluye el desarrollo de técnicas y algoritmos para el procesamiento digital de imágenes (PDI) y el reconocimiento de patrones (Núñez, 1988; Seco, 1998).

La teledetección se realiza mediante el empleo de diferentes instrumentos que contienen **sensores** o teledetectores que captan la radiación electromagnética de un intervalo determinado de longitud de onda, especialmente la de las bandas visibles, infrarroja y de microondas. Estos **sensores** constituyen, a su vez, un elemento de un sistema más amplio, el *sistema de teledetección*, entre cuyos componentes están:

1. *La fuente de radiación electromagnética*. La radiación electromagnética es una forma dinámica de energía que se propaga a través del espacio y que se manifiesta solamente al interactuar con la materia.
2. El objeto. Constituye el objeto de estudio de la teledetección (rocas, vegetación etc.).
3. *El sistema sensor*. Constituido por el sensor, propiamente dicho y la plataforma que lo sustenta (avión, satélite, etc.). Tiene como objeto captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla.

Entre las variadas formas de clasificar los **sensores** remotos, una de las más habituales considera su procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas. En este sentido, se habla de dos tipos de sensores: **activos**, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía y pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos “el Sol” y de los cuales hace referencia este anexo (Chuvieco, 1990).

Para que esta observación remota sea posible, es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de flujo energético que permita poner a ambos en relación, siendo la reflexión, la emisión y la emisión reflexión las tres formas en las que el sensor adquiere información (Fig. 14). En cualquiera de estos casos de interacción, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética, la cual es una forma de energía que se propaga a través del espacio a la velocidad de la luz y que se manifiesta solamente al interactuar con la materia.

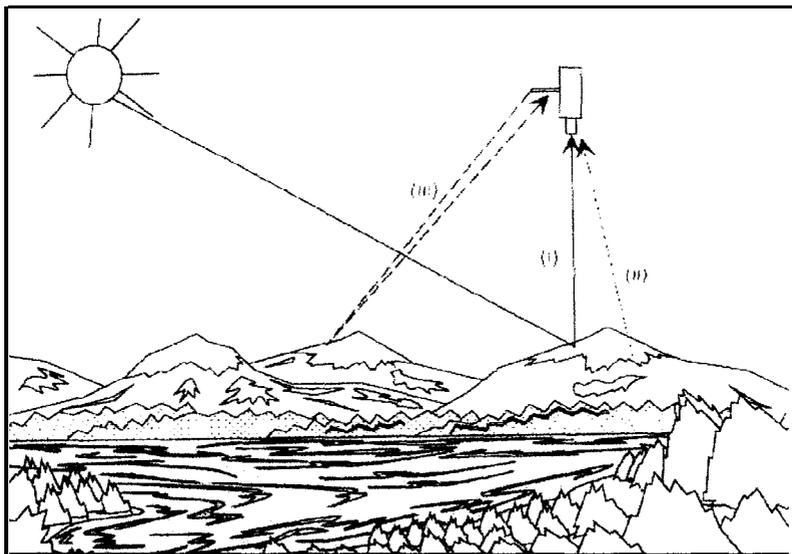


Figura 14. Formas de teledetección (i) reflexión, (ii) emisión y (iii) emisión reflexión.

Así pues, la base de la utilización de las técnicas de teledetección consiste, esencialmente, en estudiar el comportamiento de las ondas electromagnéticas (Fig. 15) al interactuar con la superficie terrestre (Chuvieco, 1990).

Asimismo, aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, suele establecerse una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia se denomina espectro electromagnético (Fig. 16). Comprende, en un continuo, desde las longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta las kilométricas (telecomunicaciones).

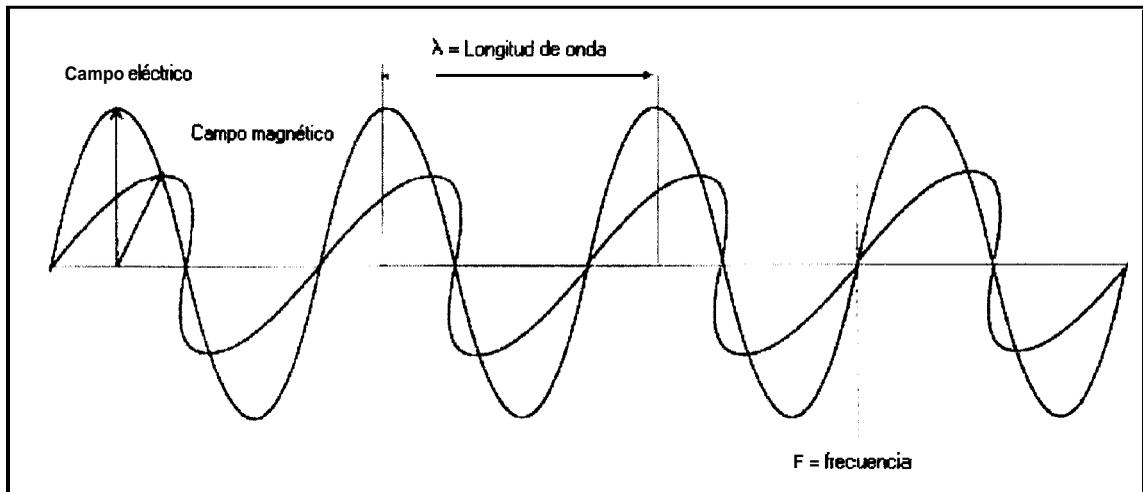


Figura 15. Esquema de una onda electro-magnética.

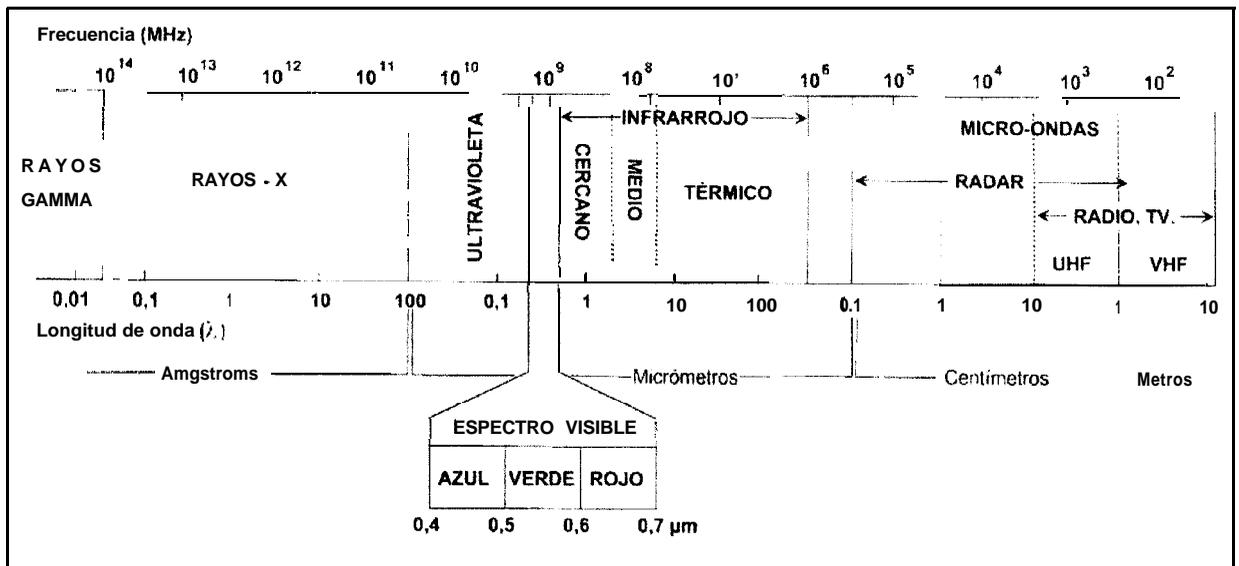


Figura 16. Espectro electromagnético.

Una ulterior clasificación entre los **sensores** pasivos, considera su procedimiento para grabar la energía recibida. De acuerdo a ello, puede hablarse de **sensores** fotográficos, óptico electrónicos y de antena (Chuvieco, 1990).

SISTEMAS FOTOGRÁFICOS

Los sistemas fotográficos fueron los primeros **sensores** en ser utilizados, en los cuales se emplean películas **pancromáticas**, ultravioletas e infrarrojas. En la actualidad, no obstante los avances de aplicación de imágenes de satélite y radar en el desarrollo de las técnicas de teledetección, las fotografías aéreas siguen siendo una herramienta indispensable para el estudio de los recursos, debido a su alta resolución espacial, fácil adquisición y bajo costo (Núñez, 1988; Chuvieco, 1990).

Una fotografía no es más que un registro gráfico que muestra diferentes valores de intensidades de energía electromagnética. La región de longitud de onda (λ) que va de 0.3 a 0.9 μm es llamada región fotográfica del espectro electromagnético, ya que ésta tiene la propiedad de ser detectada por aparatos de exploración a través de mecanismos ópticos; este intervalo comprende la radiación visible (0.4 a 0.7 μm), porciones de la región ultravioleta (0.3 a 0.4 μm) y parte del infrarrojo (0.7 a 0.9 μm).

Como en otras formas de radiación electromagnética, la luz' puede ser reflejada, absorbida o transmitida por la materia. Las fotografías aéreas registran la luz reflejada, asociada a la propiedad llamada albedo, la cual no es más que la razón de la energía reflejada entre la energía incidente, de tal forma que superficies oscuras tienen un bajo albedo. En materiales opacos la luz que no es reflejada, es absorbida y causa un incremento en la temperatura del material. Durante esta transmisión a través de la atmósfera, la luz interactúa con los gases y partículas de materia en un proceso llamado dispersión, al cual se atribuye un fuerte efecto en fotografías aéreas (Avery, 1977; Núñez, 1988).

¹Estrictamente hablando, el término "luz", se refiere al rango de longitud de onda **detectable** por el ojo humano (0.4 a 0.7 μm) sin embargo, en este caso utilizamos dicho término para referirnos a toda la región fotográfica (0.3 a 0.9 μm).

La interpretación de fotografías aéreas o fotointerpretación es el examen visual de las mismas (ya sean de contacto, ampliaciones, negativos o mosaicos), dirigido al estudio o evaluación de los diferentes componentes naturales y antrópicos del paisaje, así como de las relaciones existentes entre ellos con el fin de acopiar información útil para diferentes ciencias (botánica, geología, evaluación de recursos naturales, ordenamiento territorial, etc.) (Seco, 1998).

Existen diferentes tipos de fotointerpretación; según el método empleado ésta puede ser de campo o gabinete. En el primer tipo se realiza la comprobación en campo de las conclusiones a las que se llega mediante el estudio de los materiales fotográficos, mientras que en el segundo tipo no se realizan comprobaciones en campo (Avery, 1977; Seco, 1998).

La fotointerpretación está muy influenciada por los objetivos que se persiguen al realizarla; existen particularidades de la fotointerpretación aplicadas a diferentes componentes naturales (rocas, relieve, vegetación, suelos, agua, etc.) o de la esfera de la actividad económica o social. También se pueden establecer diferencias en cuanto a la forma de realización del trabajo de fotointerpretación; se puede hablar de interpretación visual (monoscópica y estereoscópica) y de interpretación visual-instrumental (contempla el uso de estereomicrómetros y otros instrumentos), ambas se enmarcan en lo que se denomina fotointerpretación analógica, para diferenciarla de la extracción de información de las fotos mediante procesamiento digital de imágenes (Seco, 1998).

El proceso de fotointerpretación de los materiales fotográficos se rige por ciertas reglas y pasa por ciertas fases comunes a los diferentes tipos de fotointerpretación donde el análisis de los rasgos característicos de las fotografías (fotocaracterísticas) es fundamental, siendo las fotocaracterísticas más importantes: la escala, la brillantez, el contraste, la textura, la forma, las dimensiones, el patrón, la sombra, la situación, la asociación y finalmente el color y tono (Núñez, 1988, Chuvieco, 1990; Seco, 1998).

La fotointerpretación es una tarea compleja, un proceso que puede ser dividido en vanas fases. Estas fases van conduciendo al intérprete progresivamente a su objetivo final:

obtener la máxima información de la fotografía, para un propósito determinado. El proceso de la fotointerpretación ha sido estudiado por varios especialistas, en este caso, se describen las fases reconocidas por R. van Zuidam, 1986 (en Seco, 1998).

Fotolectura. Es la fase inicial en el proceso de fotointerpretación, mediante la cual se realiza la observación directa de los objetos y de las características visibles en la fotografía. Mediante la forma, el tamaño y otras propiedades visibles, se ubica, reconoce e identifica el objeto de interés. De la variada cantidad de objetos y características visibles en las fotos, se debe prestar especial atención a aquellos que serán objeto de la siguiente fase.

Análisis. Al iniciar esta fase, es necesario escoger los objetos y las características que serán analizadas. Esta selección dependerá de los objetivos que se persiguen (canales, ubicación en el bosque, etc.). Debe elaborarse una leyenda apropiada a los fines del trabajo y trazar los límites de acuerdo con esa leyenda. Análisis significa básicamente dividir la imagen fotográfica en sus partes constituyentes, lo que se hace basado en evaluaciones cualitativas y cuantitativas de ciertos tipos de objetos y características.

Clasificación. El objeto de esta fase es determinar la clase o grupo a que corresponde una cosa.

Deducción. Es la fase en que se combinan las observaciones de la fotointerpretación, con los conocimientos adquiridos en campo. El término deducción es también usado cuando el fotointérprete arriba a conclusiones, a partir de la unión de un cierto número de observaciones fotográficas, que tomadas aisladamente son de poco significado. Esto es lo que se ha denominado “evidencia convergente”.

El grado y la calidad de la interpretación posible en la imagen dependen en gran parte de la visibilidad del objeto de estudio, de la escala y calidad de la composición fotográfica, así como de factores incidentales como la superposición de objetos (árboles que cubren un camino, sombras, nubes). Otros objetos no son directamente visibles (litología, suelos, etc.), éstos sólo pueden ser parcialmente identificados mediante la

deducción. Debido a esto, la fotointerpretación debe ser acompañada del trabajo de campo y de laboratorio (Seco, 1998).

Así, la experiencia en campo es uno de los primeros requisitos a considerar para la interpretación de fotografías. Particularmente para vegetación, muchos tipos de cubierta vegetal deben ser deducidos o inferidos por factores asociados, en lugar de ser reconocidos directamente en las fotografías. Los tipos de cobertura y especies de plantas pueden ser reconocidos dependiendo de: la calidad, escala y tipo de película empleado, la forma, textura y tono del follaje de las plantas, así como del tipo de interpretación y la habilidad del intérprete (Núñez, 1988).

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Por otro lado, el procesamiento digital de imágenes (PDI) se encarga del estudio de los métodos para modificar y analizar imágenes digitales. Esto implica que el PDI es, sucintamente, un conjunto de algoritmos que procesan y en su caso, mejoran una imagen para su análisis digital. Dicho análisis consiste en resumen en la cuantificación y la descripción de características y objetos representados en la escena digitalizada (Hernández, 1995; Martínez, 1996). Las etapas fundamentales del PDI según González y Woods (1996) son:

Adquisición digital de imágenes o Digitalización. La digitalización es el conjunto de operaciones para convertir la información analógica (mapas, fotografías, etc.) al formato numérico (Chuvienco, 1990). De tal forma que una imagen digital puede considerarse como una matriz de píxeles cuyos **índices** de fila y columna identifican un punto de la imagen y su valor correspondiente indica el nivel digital (ND).

Preprocesamiento. La función básica de esta etapa es la de mejorar la imagen de forma que se aumenten las posibilidades de éxito en los procesos posteriores. Los métodos más comunes pertenecen a dos categorías básicas: métodos en el dominio espacial y métodos en el dominio de la frecuencia. El dominio espacial se refiere al propio plano de la imagen y las técnicas de esta categoría se basan en la manipulación directa de

los píxeles de la imagen. El procesamiento en el dominio de la frecuencia se basa en la modificación de una imagen mediante la transformada de Fourier y otros algoritmos matemáticos y estadísticos (González y Woods, 1996). Existen diversas técnicas de preprocesamiento sin embargo, en este caso sólo se hace referencia a la Corrección Geométrica que fue la que se aplicó en el presente trabajo.

En términos del procesamiento digital de imágenes, una corrección geométrica consta de dos operaciones básicas una transformación espacial y una interpolación del nivel de gris (González y Woods, 1996).

La transformación espacial define el agrupamiento de los píxeles en el plano de la imagen, es decir, se asignan coordenadas reales a los píxeles a fin de que estén enlazados a un sistema de coordenadas.

Para definir la transformación (1^{er} , 2^{o} . o 3^{er} . orden) es necesario calcular los coeficientes de los polinomios a emplear; éstos constituyen el modelo utilizado para transformar todos los píxeles. Para ello, un número de puntos de control (georreferencias) deben ser seleccionados con precisión sobre el mapa (x, y), los cuales a su vez deben ser identificables en la imagen (renglón, columna). El número mínimo de puntos para el cálculo de los coeficientes depende del orden de la transformación (4, 6 y 9 para el 1^{er} , 2^{o} y 3^{er} orden respectivamente), sin embargo, mientras más puntos sean asignados mejor será la transformación.

La precisión total de la transformación **está** indicada por el error en la asignación de los puntos de referencia: el llamado RMSE o sigma (raíz del error medio cuadrático). Si la precisión de la transformación es aceptable, la transformación es enlazada con la imagen y una referencia es asignada a cada píxel, entonces se dice que la imagen está georeferenciada. Para determinar la precisión en metros, la sigma **obtenida** es multiplicada por el **tamaño** del píxel.

Interpolación de nivel de gris. La función de transformación sólo crea una nueva matriz con la posición con-egida de los píxeles de la imagen, ajustada al mapa o a la

imagen maestra, pero es una matriz vacía a la que le faltan los valores de los píxeles, los cuales son encontrados por remuestreo de la imagen original usando un método de interpolación de nivel de gris.

Segmentación. Esta etapa consiste en separar una imagen de entrada compleja en sus partes constituyentes; el nivel al que se lleva a cabo esta subdivisión depende del problema a resolver. Esto es, la segmentación deberá detenerse cuando los objetos de interés en una aplicación hayan sido aislados. Los algoritmos de segmentación de imágenes monocromáticas generalmente se basan en una de las dos propiedades básicas de los valores del nivel digital: discontinuidad y **similaridad** (González y Woods, 1996).

Representación y descripción. Después de segmentar una imagen, el conjunto resultante de píxeles aislados se representa y describe en una forma adecuada para su posterior procesamiento. Básicamente, el representar una región implica dos posibilidades: hacerlo en términos de sus características externas (su contorno), o en términos de sus características internas (los píxeles que comprenden la región). La elección de un esquema de representación es, sin embargo, solamente una parte de la tarea de hacer los datos útiles para una computadora. Generalmente, se elige una representación externa cuando el objetivo principal se centra en las características de forma y una representación interna cuando el principal interés se centra en las propiedades de reflectividad, **tales** como el color y la textura (Castleman, 1996; González y Woods, 1996).

El siguiente paso consiste en la descripción, también denominada selección de rasgos; consiste en extraer rasgos con alguna información cuantitativa de interés o que sean fundamentales para diferenciar una clase de objetos de otra. El tipo de descriptor puede ser muy variado, así: encontramos descriptores de contorno (longitud, diámetro, curvatura, etc.); de región (**área**, perímetro, densidad, media y mediana de los niveles de gris, textura, morfología, etc.). En cualquier caso, las características seleccionadas como descriptores deberían ser tan insensibles como fuera posible a variaciones **tales** como cambios de tamaño, traslación y rotación (González y Woods, 1996).

Reconocimiento e interpretación. El reconocimiento es el proceso que asigna una etiqueta a un objeto basándose en la información proporcionada por sus descriptores. La **interpretación** implica asignar significado a un conjunto de objetos reconocidos. En el caso de la interpretación de imágenes por medio de computadora el procedimiento es complejo, debido a la gran cantidad de datos a procesar para pasar desde lo que se recibe (una matriz de niveles digitales) hasta el resultado deseado (una lista detallada del contenido de la imagen). Por tanto, generalmente se consideran técnicas que ofrezcan una razonable posibilidad de éxito. Esta restricción nos conduce a un compromiso de dos etapas: 1) limitar la generalidad del problema, y 2) incorporar el conocimiento humano al proceso (Castleman, 1996).

ANEXO II

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Bracken y **Webster** (1990) definen un SIG como un tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad de manejar datos geográficos; es decir, espacialmente referidos, los cuales se pueden representar gráficamente. De manera más integral, un SIG puede considerarse como un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas de planificación y gestión (Bosque et al., 1994).

En general, los SIG son una tecnología aplicada a la resolución de problemas territoriales variados, **tales** como: inventarios, programas de manejo de recursos naturales y humanos, control y gestión de propiedad urbana y, en fin cualquier disciplina en la que sea necesario manejar información espacial. La principal ventaja de esta herramienta es su gran flexibilidad, ya que una vez generada la información básica (lo que puede suponer una inversión inicial notable), la actualización de la gestión es sencilla y rápida (Bosque, 1992; Quintela, 1995; Rábade y Cabrera, 1995; Bosque, 1997).

Dos cuestiones son fundamentales en el proceso de esquematizar la realidad para convertirla en el modelo representado en un SIG. En primer lugar, la manera en que se concibe el mundo real, y después, cómo sintetizar los diversos componentes de un dato geográfico (Bosque et al., 1994).

En la actualidad predomina una visión del mundo que se puede denominar de “estratos” o “capas” (Fig. 17) diferenciados por el tipo geométrico de los objetos. Según esta visión, el mundo está compuesto de infinitos lugares cuya localización se puede medir con cualquier grado de precisión espacial a través de un sistema de coordenadas. La geografía de ese mundo se organiza en distintas variables temáticas cuyos valores se pueden estimar en cualquier lugar. Cada variable es un estrato relacionado con un tipo de objeto geométrico (puntos, líneas y polígonos) (Bosque et al., 1994; Bosque, 1997).

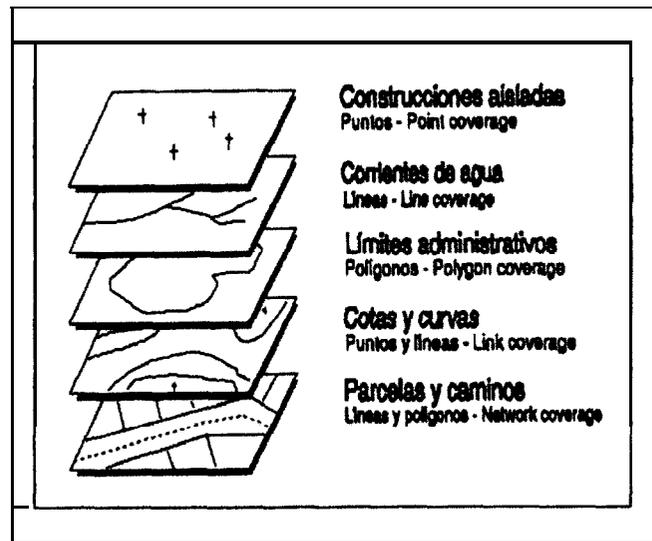


Figura 17. Capas o estratos temáticos en un sistema de información geográfica.

En general, en un dato geográfico se pueden diferenciar dos aspectos conceptuales: el **espacial**, geometría (posición absoluta de cada **objeto** respecto a unos ejes de coordenadas) **más** topología (relación entre los objetos); y el **temático**, variables ligadas a cada objeto (tipo de **vegetación**, especies, etc.) (Bosque et al., 1994).

Un SIG debe ser capaz de representar digitalmente ambos aspectos. Existen varias posibilidades para organizar esta doble base de datos (espacial y temática). En la actualidad el formato híbrido tiene más éxito y difusión entre los programas comerciales, el cual utiliza una base de datos diferente para cada uno de los dos elementos fundamentales (Bosque et al., 1994).

A su vez, la representación del aspecto espacial se basa en dos modelos diferentes: el vectorial y el raster (Fig. 18). El **modelo vectorial** se centra en la descripción de las fronteras exteriores de los elementos geográficos; las líneas que actúan de frontera son representadas mediante las coordenadas de los vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman. De este modo, los objetos puntuales (topología cero) se representan mediante las coordenadas X, Y de la posición del objeto (Bosque, 1992).

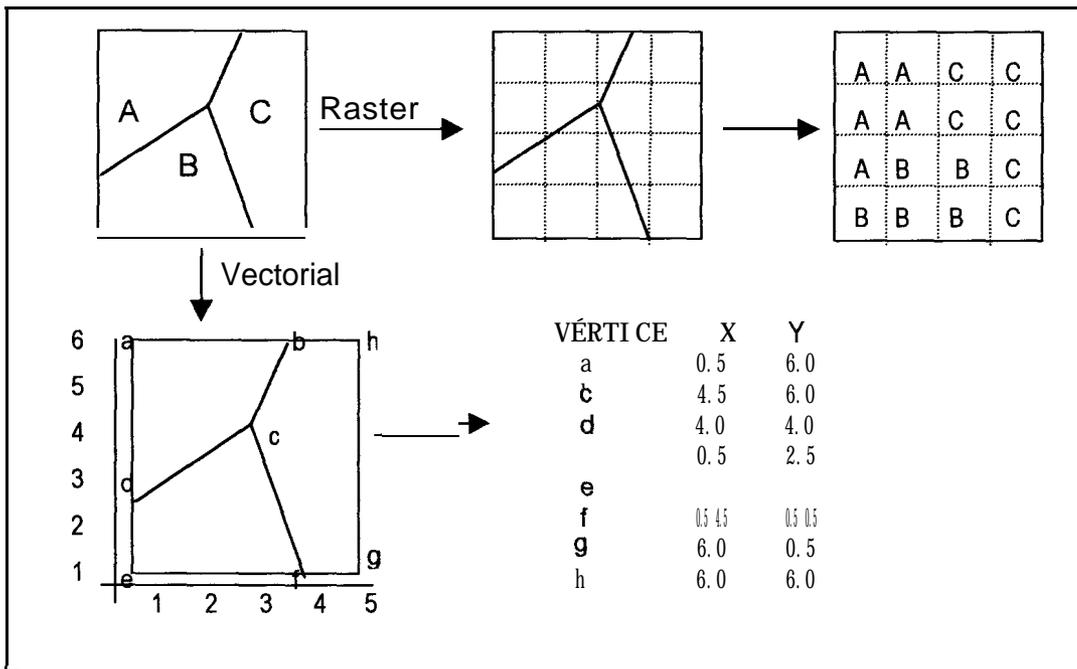


Figura 18. Representación raster y vectorial del aspecto espacial.

Las funciones analíticas son el elemento característico de un SIG. Facilitan el procesamiento de los datos integrados, de modo que es posible obtener mayor información y, con ella, mayor conocimiento del que inicialmente se disponía. Dentro de estas funciones quedan incorporadas una amplia gama de posibilidades, entre las que sobresalen el análisis estadístico de la componente temática y el modelado cartográfico.

En el modelado cartográfico vectorial (Tabla XIII) se analizan al mismo tiempo la información recogida tanto de carácter temático como espacial. Los procedimientos se basan en los datos tomados de dos o más capas de información, para generar habitualmente un nuevo mapa. Las operaciones posibles difieren en función del tipo topológico de los objetos geográficos de cada capa de información inicial.

Tabla XIII. Tipos de modelado cartográfico vectorial en un sistema de información geográfica.

CAPA "A"	CAPA "B"		
	Puntos	Líneas	Polígonos
Puntos	Coincidencia de puntos	Punto en línea	Punto en polígono
Líneas		Intersección de línea	Línea en polígono
Polígonos			Sobreposición de polígonos

Por su parte, en el **modelo raster** el espacio geográfico real es subdividido en pequeñas unidades en las cuales se miden los valores temáticos existentes; es decir, se registra el interior de los objetos y sus límites quedan implícitamente representados. Para realizar este tipo de codificación se superpone al mapa **analógico** fuente una rejilla de unidades regulares, de igual forma y tamaño (píxel), en la que se registra el valor que el mapa analógico adopta (nivel digital).

Los procedimientos de análisis existentes en un modelo raster difieren, en parte, de los que se pueden elaborar en uno vectorial. La causa reside en la distinta representación de los datos empleados en cada uno de ellos. En un sistema raster siempre se analizan los datos considerando, en alguna medida, su representación espacial, lo que no ocurre igual en un sistema vectorial.

En el modelo raster, las operaciones analíticas más empleadas son la reclasificación y sobreposición, ya que combinadas ofrecen la posibilidad de llevar a cabo las tareas de búsqueda y **extracción** selectiva de **información**. Tanto la **reclasificación** como la sobreposición pueden efectuarse mediante operaciones de análisis local, es decir, píxel a píxel, o bien usando el análisis en zonas o regiones (Bosque, 1997).

En la reclasificación de mapas se trabaja sobre un mapa de entrada, que mediante alguna función sobre el valor temático de cada píxel (nivel digital) se produce un nuevo mapa. Las formas de reclasificación de mapas son muy variadas: recodificación de valores cualitativos, división en intervalos cualitativos de una variable cuantitativa, transformaciones aritméticas y algebraicas de los valores temáticos, etc. (Bosque et al., 1994).

La sobreposición de mapas es una operación que parte de “n” mapas de entrada ($n > 1$) y opera con los valores temáticos de los “n” pixeles correspondientes de cada mapa. Esto genera un conjunto de valores temáticos sobre los cuales se puede realizar una serie de operaciones, cada una de las cuales genera el valor característico en esa posición del mapa de salida (Bosque, 1992; Bosque et al., 1994).

ANEXO III

PROCEDIMIENTO ESTANDARIZADO PARA LA TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES DE MANGLE

Por la forma del tallo y formas de crecimiento del manglar, algunas veces es difícil decidir donde medir el diámetro. Por esa razón se recomienda seguir los siguientes procedimientos (Snedaker y Snedaker, 1984):

- ⚡ Cuando existe un tallo bifurcado sobre la altura del pecho o retoños en el mismo tallo cercanos al suelo, se mide cada rama como tallos separados, pero se contabiliza como un sólo individuo.
- ⚡ Cuando se presenta un tallo bifurcado a la altura del pecho o levemente encima de este, se mide el diámetro del tallo en este punto o justo sobre el abultamiento causado por el nudo del tallo bifurcado.
- ⚡ Cuando un tallo tiene raíces de apoyo que nacen debajo de la altura del pecho, se mide el diámetro encima de éstas.
- ⚡ Cuando un tallo tiene raíces de apoyo que nacen arriba de la altura del pecho, se mide el diámetro debajo de éstas.
- ⚡ Cuando un tallo posee abultamientos, ramas o anomalías en el punto de medición, este se toma levemente arriba de la irregularidad donde el tallo toma forma normal.

ANEXO IV

DATOS DE CAMPO

Tabla XIV. Cobertura de la copa de los árboles o arbustos por estación y especie en El Conchalito.

Estación	Sup. (m ²)	No. total de indiv.	Cobertura (m ²)			Cobertura (m ²) Total
			<i>A. germinans</i>	<i>R. mangle</i>	<i>L. racemosa</i>	
1	25	135	9.139	0	0	9.139
2	9	213	6.649	0	0	6.649
3	6	46	7.082	0	0	7.082
4	9	28	2.657	0	0	2.657
5	9	140	5.042	0	0	5.042
6	9	51	10.481	0	0	10.481
7	9	23	8.231	0	0	8.231
8	9	111	7.861	0	0	7.861
9	9	133	17.365	0	0	17.365
10	3	79	3.974	0	0	3.974
11	3	98	23.926	0	0	23.926
13	3	8	1.124	1.127	5.727	7.977
14	3	106	7.866	0	4.287	12.153
15	100	22	186.581	0	0	186.581
16	100	11	47.250	0	29.316	76.567
17	9	103	6.600	0	0	6.6
18	5	68	0.738	0	0.004	0.743
19	100	151	119.563	0	3.607	123.17
20	25	114	29.644	0	0	29.644
TOTAL	445	1,640	501.773	1.127	42.942	545.642

Tabla XV. Altura promedio del manglar en El Conchalito por estación y especie.

Estación	Altura (cm.)		
	<i>A. germinans</i>	<i>R. mangle</i>	<i>L. racemosa</i>
1	39.6	-	-
2	36.5	-	-
3	39.0	-	-
4	48.0	-	-
5	3.0	-	-
6	53.3	-	-
7	92.6	-	-
8	41.8	-	-
9	39.5	-	-
10	35.0	-	-
11	53.0	-	-
13	151.0	105.0	226.0
14	36.9	-	119.0
15	303.0	-	-
16	400.0	-	136.7
17	46.0	-	-
18	30.5	-	25.0
19	58.0	-	107.7
20	34.6	-	-

Tabla XVI. Densidad, cobertura de la copa y frecuencia relativa por especie en El Conchalito.

Estación	<i>A. germinans</i>				<i>R. mangle</i>				<i>L. racemosa</i>			
	No. Indv.	Ind/m ²	Cob-indv- prom. (m ²)	Fr	No. Indv.	Ind/m ²	Cob-indv- prom. (m ²)	Fr	No. Indv.	Ind/m ²	Cob-indv- prom. (m ²)	Fr
1	135	5.400	0.366	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	213	23.667	0.739	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	46	7.666	1.180	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	28	3.111	0.295	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	140	15.556	0.560	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	51	5.666	1.165	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	23	2.555	0.915	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	111	12.333	0.873	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	133	14.778	1.929	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	79	26.333	1.325	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	98	32.667	7.975	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	4	1.333	0.375	1	2	0.667	0.38	1	2	0.667	1.909	1
14	102	34.000	2.622	1	0	0	0	0	4	1.333	1.429	1
15	22	0.220	1.866	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	0.010	0.472	1	0	0	0	0	10	0.1	0.293	1
17	103	11.444	0.733	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	67	13.400	0.148	1	0	0	0	0	1	0.2	0.001	1
19	148	1.480	1.196	1	0	0	0	0	3	0.03	0.036	1
20	114	4.560	1.186	1	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1618	216.179	25.92	19	2	0.667	0.38	1	20	2.33	3.668	5
PROM.		11.378	1.364			0.667	0.38			0.122	0.733	

Tabla XVII. Área basal por estación en El Conchalito.

No.	Estación	Especie	H (cm)	Cobertura (m ²)	Circunferencia (cm)	Diámetro (cm)	r ² (cm)	Area basal (m ²)
1	9	A. germinans	230	2.24	9.5	3.023	2.286	0.0007182
2	9	A. germinans	290	5.106	10.5	3.342	2.793	0.0008773
3	11	A. germinans	200	3.92	9	2.864	2.052	0.0006446
4	11	A. germinans	134	2.104	9	2.864	2.052	0.0006446
5	13	L. racemosa	232	0.791	8	2.546	1.621	0.0005093
6	13	L. racemosa	220	4.93	7	2.228	1.241	0.0003899
7	15	A. germinans	436	14.3	45	14.323	51.29	0.0161144
8	15	A. germinans	230	4.9	42	13.369	44.68	0.0140375
9	15	A. germinans	300	4.28	20.25	6.445	10.39	0.0032632
10	15	A. germinans	376	3.32	29	9.23	21.3	0.0066925
11	15	A. germinans	224	0.59	10.5	3.342	2.793	0.0008773
12	15	A. germinans	230	5.93	13	4.138	4.281	0.0013449
13	15	A. germinans	268	2.97	8.5	2.705	1.83	0.0005749
14	15	A. germinans	382	25	23.33	7.426	13.79	0.0043313
15	15	A. germinans	497	26.89	36.5	11.618	33.75	0.0106017
16	15	A. germinans	380	19.98	24.66	7.849	15.4	0.0048392
17	15	A. germinans	439	15.83	29.5	9.39	22.04	0.0069252
18	15	A. germinans	446	7.42	16.25	5.172	6.689	0.0021013
19	15	A. germinans	390	5.27	16	5.092	6.485	0.0020372
20	15	A. germinans	440	6.96	20	6.366	10.13	0.0031831
21	15	A. germinans	400	15.08	21	6.684	11.17	0.0035094
22	15	A. germinans	280	5.65	13.5	4.297	4.616	0.0014503
23	16	L. racemosa	322	15.22	30	9.549	22.8	0.007162
24	16	A. germinans	400	47.25	73	23.236	135	0.0424068
25	19	A. germinans	268	12.236	9.5	3.023	2.286	0.0007182
26	19	A. germinans	428	15.984	17	5.411	7.32	0.0022998
27	19	A. germinans	350	5.183	9	2.864	2.052	0.0006446
28	19	A. germinans	415	16.179	12	3.819	3.648	0.0011459
29	19	A. germinans	340	19.43	24	7.639	14.59	0.0045837
30	19	A. germinans	540	8.953	27.5	8.753	19.16	0.006018
31	19	A. germinans	570	25.132	32	10.185	25.94	0.0081487
32	19	A. germinans	530	7.728	18	5.729	8.207	0.0025783
TOTAL								0.1613733

ANEXO V

SENSORES EMPLEADOS EN EL MAPEO DE VEGETACIÓN COSTERA Y ACUÁTICA

Tabla XVIII. Sensores empleados en el mapeo de vegetación costera y acuática.

Tomado de Lira (1987) y Muller (1997).

Satélite	Sensor	Resolución espectral	Resolución espacial	Tamaño de la escena
Landsat 4	MSS y TM	MSS 4 bandas (verde, rojo y 2 infrarrojas). TM 7 bandas (azul, verde, rojo, infrarrojo cercano, 2 infrarrojo medio e infrarrojo térmico).	MSS 80 x 80 m TM 30 x 30 m y 120 x 120 m 6a. banda	185 x 185 km
Landsat 5	MSS y TM	MSS 4 bandas (verde, rojo y 2 infrarrojas). TM 7 bandas (azul, verde, rojo, infrarrojo cercano, 2 infrarrojo medio e infrarrojo térmico).	MSS 80 x 80 m TM 30 x 30 m y 120 x 120 m 6a. banda	185 x 185 km
Landsat 7	ETM+	7 bandas (azul, verde, rojo, infrarrojo cercano, 2 infrarrojo medio e infrarrojo térmico).	15 x 15 m, 30 x 30 m 60 x 60 m	-
Spot 1	2HVR	Modo multiespectral 3 bandas (verde, rojo, infrarrojo) y Modo pancromático.	20 x 20 y 10 x 10 m 4a. banda)	60 x 60 km
Spot 2	2HVR	Modo multiespectral 3 bandas (verde, rojo, infrarrojo) y Modo pancromático.	20 x 20 y 10 x 10 m 4a. banda)	60 x 60 km
spot 3	2HVR	Modo multiespectral 3 bandas (verde, rojo, infrarrojo) y Modo pancromático.	20 x 20 y 10 x 10 m 4a. banda)	60 x 60 km
ERS-1-2	SAR	Banda espectral disponible: microondas	25 x 25 m	
RADARSAT-1	SAR	Banda espectral disponible: microondas	25 x 25 m	
	Fotografía Aérea	Depende de la película empleada (Pancromática, Infrarrojas, UV).	De centímetros a varios metros.	Depende de la escala.