

21
Lej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**LOCALIZACION Y CUANTIFICACION DE COMUNIDADES
DE *Macrocystys pyrifera* EN LA COSTA OESTE DE
BAJA CALIFORNIA MEDIANTE ANALISIS POR
COMPUTADORA DE IMAGENES DE SATELITE**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIOLOGO

PRESENTAN

SERGIO ARREDONDO GASAMANS

DANIEL EUGENIO CHAPA BEZANILLA

MEXICO, D. F. 1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

I INTRODUCCION

II CARACTERISTICAS DE Macrocystis pyrifera (L.)

C. Ag.

1. Descripción

2. Distribución y Ecología

3. Reproducción y Clasificación.

III IMPORTANCIA DE Macrocystis pyrifera (L.)

C. Ag.

IV ORIGEN DE ESTE PROYECTO

V OBJETIVOS

VI ANTECEDENTES

1. ¿Que es la Percepción Remota?

2. La Percepción Remota en el estudio de
Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.

3. Ubicación de la zona de estudio.

VII DATOS Y MATERIALES

VIII METODO EMPLEADO PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LAS IMAGENES

1. Preproceso

2. Selección de subimágenes

3. Observación visual

4. Colecta de estadísticas

5. Clasificación

6. Corrección geográfica

7. Postproceso
8. Derivación de categorías informativas
9. Estimación del área ocupada por mantos de
Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.
10. Obtención de productos de salida.
11. Verificación de campo

IX RESULTADOS Y DISCUSION

X CONCLUSION Y PERSPECTIVAS

XI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

XII APENDICES

1. Tabla sinóptica

2. Localidades visitadas

I INTRODUCCION

En los tiempos actuales, en los que la atención del hombre se centra cada vez más sobre los océanos como una fuente de alimentos y materias primas, la vida marina viene a ser de primordial importancia.

Las algas marinas se presentan en dos formas principales de vida: planctónicas y bentónicas. La primera de ellas, el fitoplancton, aún cuando es la base de la cadena alimenticia en el mar, no tiene un aprovechamiento comercial directo.

Por otra parte, las algas bentónicas representadas principalmente por macroalgas, se presentan como una opción viable para la explotación de los recursos marinos.

De los diferentes grupos taxonómicos de algas que habitan en el mar, las Rodofitas (algas rojas) y las Feofitas (algas pardas) son las que siempre han brindado el mayor aprovechamiento, debido a sus amplios rangos de distribución, gran abundancia y por conocerse en ellas la existencia de compuestos químicos con aplicación industrial.

Dentro del grupo de las algas pardas, es de particular relevancia el género Macrocystis, cuyas especies se conocen en los países de habla hispana con el nombre común de "sargazos". La importancia económica de estas algas se debe en parte a que crecen en tamaños y densidades adecuadas para ser cosechadas eficientemente y en parte a los compuestos químicos que contienen, lo que hace de ellas un recurso de explotación

redituable.

No menos importante es el aspecto ecológico de esta especie, en cuyas poblaciones se refugian, reproducen y alimentan una gran variedad de organismos animales.

II CARACTERISTICAS DE Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.

En este trabajo se consideró solamente a la especie -- Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., debido a que, además de ser la de mayor importancia comercial en su grupo, por su forma de crecimiento y densidad puede ser fácilmente detectada desde plataformas aéreas y espaciales. Esta especie se encuentra generalmente restringida a aquellas zonas de las costas occidentales de los continentes que son bañadas por corrientes marinas frías.

1. Descripción

Con respecto a su morfología, Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., posee un talo esporangial macroscópico y un talo gametangial microscópico. El patrón morfológico básico es el de una serie de láminas que parten de un estípite el cual tiene en su base un órgano de fijación ramificado denominado haptero, mostrando usualmente esta distinción desde los estadios juveniles, (Figura 1).

Considerando sus características anatómico-fisiológicas, se puede ver que los tejidos se diferencian en epidermis, corteza y médula. Las células epidérmicas poseen estructuras fotosintéticas discoidales sin pirenoides; la corteza es incolora y está formada por muchas capas de células; la capa medular externa está modificada por elongación de las células que adoptan forma de "trompeta" y sus paredes transversales con--

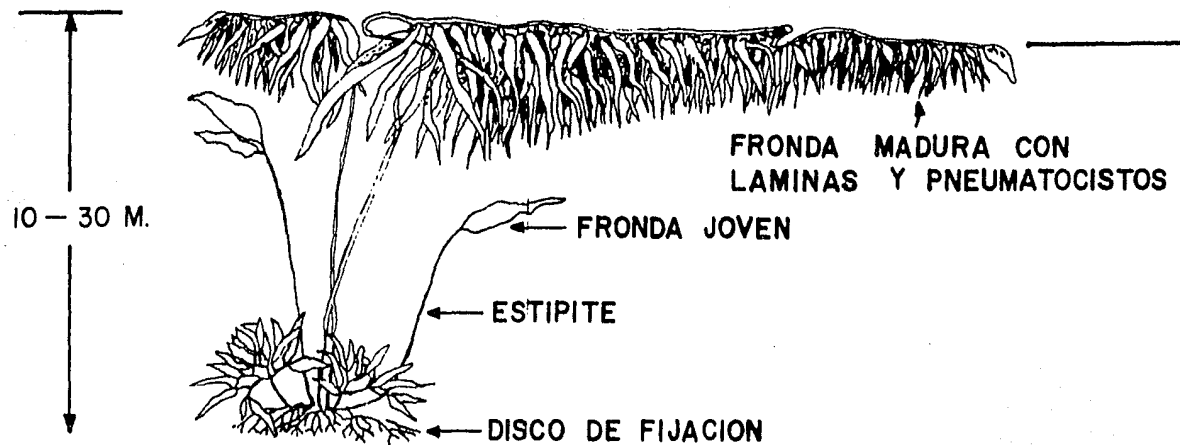


FIG. 1 EL SARGAZO (*Macrocystis pyrifera*)

TOMADO DE CHAPMAN, J.V. (1970)

tienen placas cribosas simples, que sirven al tejido medular como una ruta para la traslocación de productos fotosintéticos desde las láminas hasta la base de fijación a través del estípite. Esta capa se encuentra entre el parénquima cortical y la médula interna.

El crecimiento de los talos se da por varios meristemos intercalares. El talo esporangial llega a medir hasta 45 m de longitud (Bold, 1980); el disco de fijación de plantas viejas es cónico, de cerca de un metro de talla; los discos nuevos se producen en verticilos irregulares en conjunción con el disco de fijación y la parte inferior del estípite; el estípite usualmente está dividido de 4 a 5 veces, dicotómicamente, cerca de la base; la lámina terminal de cada rama tiene una forma de hoz; las láminas laterales maduras son lanceoladas y fuertemente combadas, en forma de vejiga o plegadas, en muchos individuos; la lámina tiene hasta 80 cm de longitud y 40 cm de ancho; las frondas esporófilas nacen cerca de la base de las ramas, en su parte interna. El talo gametangial (desconocido en la naturaleza) es filamentosos y dioico; los gametangios son uniloculares; los gametos son piriformes y lateralmente biflagelados.

2. Distribución y Ecología

Por lo común la parte superior de estas algas, las frondas, se extienden por aproximadamente 6 m flotando sobre la superficie del mar, sobresaliendo de ella entre 1 y 2 cm. --

Tienden a crecer en grandes densidades dado que el crecimiento de unos talos favorece el de otros, formando así poblaciones (mantos) que pueden llegar a cubrir áreas de más de 3 Km de largo y 80 m de ancho (Guzman del Proo, 1971; Arredondo, - 1982).

Dichas poblaciones se sitúan a una distancia variable de la costa, siguiendo el contorno delimitado por las isobatas de los 10 y 30 m de profundidad; y en cuanto a la temperatura del agua su distribución está limitada por la isoterma de los 18°C, estando su presencia generalmente asociada a la existencia de afloramientos rocosos submarinos, por ser este tipo de sustrato el que permite a las algas adherirse con mayor firmeza.

El recurso se presenta frecuentemente en lotes extensivos (kelp forest) sobre sustrato rocoso u ocasionalmente anclado en arena gruesa. Son sublitorales (6 a 20 m de la costa) formando muchos de los mantos de la parte norteamericana de su rango. La distribución es casi continua (si no hay perturbación) y, en general, va desde Alaska hasta Bahía Magdalena, Baja California Sur, Sudamérica, Africa y Australia; se considera como localidad tipo el Atlántico Sur.

En México, el rango de distribución de la especie abarca desde las costas del Noroeste de la Península de Baja California, hasta cerca de las de Nayarit; si bien los mantos que por sus dimensiones y productividad son rentables de explotar,

se distribuyen únicamente a lo largo de la Península de Baja California.

Otros factores que influyen en la distribución de la especie son: la presencia de tormentas y oleaje fuerte que pueden hacer desaparecer poblaciones completas; asimismo, varias especies de erizos de mar que se alimentan de estas algas pueden afectar en gran medida a los mantos, cuando inciden sobre ellos poblaciones con numerosos individuos (McPeak, 1984).

3. Reproducción y Clasificación.

Esta especie pertenece al Orden de las Laminariales en las que existe una alternancia de generaciones típicamente -- heteromórfica, con una fase haploide pluricelular microscópica y de vida libre; y una fase diploide macroscópica, que en algunos géneros puede ser anual (por ejemplo Nereocystis) y en otros perene (como en Macrocystis).

El gametofito femenino, unido al extremo de cada oogonio, produce un óvulo; el gametofito masculino produce espermatozoides flagelados. De la unión de ambos gametos se forma un cigoto que por división mitótica da origen al esporofito, en el cual, en ciertas regiones especializadas de sus láminas y en meiosporángios uniloculares se realiza la meiosis. Las meiospóras resultantes se desplazan y se fijan en el sustrato para producir, por mitosis, a los gametofitos haploides -- (Scagel, 1977).

Según Bold (1980), la clasificación para estas algas es como sigue:

División Phaeophycophyta

Clase Phaeophyceae

Orden Laminariales

Familia Lessoniaceae

Género Macrocystis

Especie Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.

III IMPORTANCIA DE Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.

La rentabilidad en la explotación de estas algas reside en la importancia que tienen para muy diversas ramas de la industria química los compuestos que es posible extraer de ellas, como son: Iodo, Potasio, Rivo flavina y Acido Algínico, entre otros.

El Acido Algínico (Algin) y sus derivados (Alginatos) son los compuestos de mayor importancia, debido a su capacidad emulsificante. Esta cualidad les permite ser usados para atraer y mantener sustancias en suspensión y formar geles y películas, por lo que su aplicación en la industria es muy diversa: desde los textiles y medicamentos, hasta la perforación de pozos petroleros y la manufactura de películas fotográficas. Además, estas algas han sido utilizadas por mucho tiempo como un complemento alimenticio, siendo sus principales componentes nutritivos el Iodo, Potasio y otros minerales, vitaminas y carbohidratos (McPeak, 1984).

En México, el aprovechamiento de este recurso ha consistido básicamente en su cosecha e inmediata exportación como materia prima a Estados Unidos de Norteamérica, de donde posteriormente se importan productos elaborados (Guzman del Proo, 1971).

No menos digna de mención es la importancia ecológica de los mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., los cuales,

debido a la gran talla de los individuos y la densidad con --
que crecen, forman lo que podría ser considerado como verda--
deros bosques submarinos que sirven como sitios de refugio, -
alimentación y reproducción a una gran cantidad de especies -
animales como varios tipos de erizo de mar, moluscos, langos-
tas, etc.

IV ORIGEN DE ESTE PROYECTO

La responsabilidad en el manejo del recurso esta delegada en la Secretaría de Pesca, la cual se encarga de determinar las áreas de cosecha y vigilar las actividades de los interesados en la explotación.

Actualmente el Instituto Nacional de la Pesca, de la misma Secretaría, prevee una expansión del mercado de este recurso como materia prima y además la necesidad de crear una industria y tecnología propias aplicadas a la transformación de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., para la obtención de alginatos y sus derivados. Lo anterior supone un aumento en la presión sobre el recurso y la necesidad de aumentar el área abierta a la explotación, estableciendo épocas de veda durante las estaciones de crecimiento y reproducción de esta especie.

En un estudio del mismo Instituto (Díaz, 1981), orientado a determinar la factibilidad de instalar una planta procesadora de estas algas, se detectó la necesidad de hacer una prospección general, con el fin de determinar la distribución y abundancia del recurso.

Esta necesidad se originó por la falta de una "carta oficial de la distribución de mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.", en la que deberían estar consignadas la posición geográfica y la extensión aproximada de los mantos. También se menciona como importante la necesidad de hacer observaciones

sistemáticas de las variaciones estacionales de estas poblaciones.

El tener cubierta la primera de las necesidades de información mencionadas arriba, el inventario, implicaría el tener un elemento más de juicio para decidir sobre la rentabilidad de instalar una planta procesadora, dada la disponibilidad del recurso. Y el tener cubierta la segunda, la observación sistemática, redituaría en el mejor control sobre la explotación permitiendo conocer el efecto que las variaciones estacionales tienen sobre la extensión y densidad de los mantos.

En el estudio ya referido, se sugiere la aplicación de la Percepción Remota como una forma eficiente de obtener información sobre el recurso, ya que el amplio intervalo de distribución de éste haría muy costoso, tardado y posiblemente fragmentario un reconocimiento practicado directamente sobre el terreno.

Considerando lo anterior, en el Departamento de Teledetección de la Dirección General de Geografía, se dió origen en abril de 1981 a un proyecto de investigación sobre la aplicación de las técnicas de percepción remota, para la obtención de información geográfica acerca de este recurso.

V OBJETIVOS

Dada la carencia de información sobre la localización y extensión de los mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., este proyecto surge como una necesidad concreta: Evaluar la factibilidad de la explotación de un recurso biológico de importancia económica y crear la infraestructura adecuada para su proceso y comercialización. Debido a lo anterior, el primer objetivo del proyecto fue:

Cartografiar, mediante el proceso digital de imágenes - LANDSAT los mantos localizados en la parte de la costa occidental de la Península de Baja California comprendida entre los paralelos 26°30' N y 32°15' N.

Un segundo objetivo, más general, fue el aprovechar las experiencias de esta primera labor de mapeo para definir las características de un sistema de información, cuya función sea proveer sistemáticamente información cartográfica sobre la localización y extensión de los mantos de esta especie presentes en la Península de Baja California, basado en la obtención, proceso y análisis digital de imágenes multiespectrales de satélite.

Un tercer objetivo, fue señalar las perspectivas que se derivan de este trabajo con respecto a la evaluación de la explotación de este recurso y, en general, de otros estudios para la evaluación de otros recursos naturales en México mediante la Percepción Remota.

VI ANTECEDENTES

1. ¿Qué es la Percepción Remota?

Percepción Remota puede ser definido como el conjunto de técnicas para obtener información confiable sobre las propiedades de superficies y objetos a distancia. Sin embargo, la acepción más frecuentemente utilizada del término, se limita a aquellas técnicas que mediante mediciones de la energía electromagnética reflejada y emitida por la superficie terrestre, permiten obtener información sobre sus características y estado actual de sus recursos (Reeves et. al., 1975).

A partir del año de 1840, en que se tomaron las primeras fotografías aéreas para la elaboración de mapas topográficos (Fischer, 1975), el número de aplicaciones y complejidad de los métodos de análisis han ido en constante aumento, dando lugar al desarrollo de la Fotogrametría y la Fotointerpretación.

El desarrollo de sensores cada vez más complicados, -- como los barredores multiespectrales y los radares de apertura sintética, así como la capacidad de procesamiento automático de los datos, han hecho acuñar un término más amplio, que abarque todo el espectro de técnicas para la obtención, despliegue y análisis de esta información. Es así como el término de Percepción Remota ha ganado popularidad.

Los importantes avances logrados en óptica y electrónica han permitido la construcción de los sensores llamados barridores multiespectrales. Estos sensores registran la superficie terrestre a través de un campo instantáneo de visión -- del orden de miliradianes, lo que en la tierra equivale a un área de varios metros cuadrados, dependiendo esto de la altura a la que se encuentre el sensor y de su campo instantáneo de visión (Lillesand y Kiefer, 1979). Un espejo giratorio -- permite al barridor dirigirse a todos los puntos a lo largo -- de una "línea de barrido", que es perpendicular a la dirección de vuelo. El movimiento de la plataforma sobre la cual va montado el sensor (avión o satélite, según el caso) va generando líneas de barrido sucesivas, que van formando una imagen. La energía proveniente de la tierra es separada en "bandas" y reflejada o transmitida, según el caso, a un arreglo -- de detectores que generan una señal electrónica proporcional a la intensidad de la energía que reciben. Esta señal es amplificada electrónicamente y almacenada en cinta magnética -- (en el caso de avión) o transmitida a tierra por telemetría -- (como en el caso de los satélites LANDSAT).

Al registrar la intensidad de la energía reflejada y/o emitida por la superficie terrestre en cada una de las diferentes regiones o "bandas" del espectro, para cada uno de los puntos observados se genera un patrón de respuesta espectral, el cual es un vector de mediciones. Así pues, la imagen mul-

tiespectral es almacenada como una serie de números. Estas imágenes "numéricas" pueden ser procesadas y analizadas con ayuda de una computadora, mediante los procedimientos conocidos como técnicas digitales de procesamiento de imágenes (Sabins, 1978).

Gracias a los modernos dispositivos de despliegue, es posible visualizar pictóricamente las imágenes, y optimizar la retroalimentación entre el análisis visual o analógico y el numérico o digital.

El 23 de julio de 1972 fue puesto en órbita el primer satélite equipado con sensores diseñados especialmente para el estudio de los recursos de la tierra, el entonces llamado Satélite Tecnológico de los Recursos Terrestres (ERTS-A), que posteriormente fue rebautizado como LANDSAT 1 (Taranik, 1978). Este satélite fue el primero de una serie de cinco. El ERTS-B o LANDSAT 2 y el LANDSAT 3, fueron puestos en órbita en enero de 1975 y en marzo de 1978, respectivamente. Actualmente los tres han dejado de funcionar y solo quedan en operación los LANDSAT 4 y 5. Estos, además del barredor multiespectral, que tiene una resolución espacial de 80 metros operando en cuatro bandas contiguas entre 0.5 y 1.1 micrones, también llevan el Mapeador Temático (TM) con una resolución espacial de 30 metros que colecta datos en seis estrechas bandas espectrales entre 0.45 y 2.3 micrones, con 120 m de resolución en la banda del infrarrojo térmico, que corresponde a éste último límite.

Los primeros 3 satélites eran capaces de generar un cubrimiento completo del planeta (entre los 80°N y los 80°S) - cada 18 días (Taranik, op. cit.), y los dos últimos lo hacen cada 16 días. Esta capacidad de cubrimiento repetitivo es -- una de las más importantes bondades del sistema de datos multispectrales LANDSAT, ya que ha permitido la observación periódica de fenómenos naturales a gran escala como los cambios fenológicos de la vegetación a lo largo del año (Rouse et. al., 1973; Wiegand et. al., 1973; Reeves et. al., 1975).

Las imágenes provenientes de los sensores remotos son - adquiridas por sistemas de avanzada tecnología, pero comunmente son interpretadas mediante técnicas clásicas que han avanzado poco más allá de los estereoscópios utilizados durante - los primeros años de la interpretación de fotografías aéreas, los métodos fotográficos de realce y de composición en falso color permiten al intérprete extraer más y mejor información, pero carecen de las ventajas de las técnicas digitales. Según Sabins (1978), las principales ventajas de los métodos de procesamiento digital son su versatilidad, repetibilidad y la preservación de la calidad original de los datos.

Cualquier imagen puede ser concebida como formada por - pequeñísimas áreas iguales, llamadas elementos de imagen (pixels), arreglados en renglones y columnas regulares. La posición de cualquier elemento de la imagen está determinada por

un sistema de coordenadas X y Y, cuyo origen está ubicado en la esquina superior izquierda de ésta. La brillantez (tono) de cada pixel tiene un valor numérico que puede ir desde el 0 para el negro hasta el 127 (en las bandas 4, 5, y 6) ó 63 (en la banda 7) para el blanco. De esta forma cualquier imagen - puede ser descrita y procesada en términos estrictamente numéricos, mediante un sistema de tres coordenadas por banda, con X y Y dando la posición del pixel y Z su intensidad en la escala de grises.

Los métodos de procesamiento digital de imágenes pueden ser divididos en métodos de restauración, realce y extracción de información.

Los métodos de restauración permiten detectar y corregir parte de los errores, "ruido" y distorsiones geométricas in--troducidas durante la captación y transmisión de los datos.

El realce es la modificación de una imagen para alterar el contraste entre los diferentes tonos que presenta. Casi - todos los métodos de realce modifican los valores digitales - originales, por lo que generalmente son aplicados a una copia de la imagen original. Ambos tipos de procesos utilizan com--putadoras para proveer al intérprete humano de imágenes corregidas y mejoradas.

Los métodos de extracción de información utilizan las -

computadoras para identificar y extraer fragmentos específicos de información. El operador humano, generalmente un analista de imágenes, provee a la computadora de cierta información y de instrucciones y debe asimismo evaluar el significado y confiabilidad de la información generada. Los métodos de extracción de información operan simultáneamente sobre dos o más bandas del espectro, lo cual se facilita en el caso de las imágenes LANDSAT, ya que los valores de las cuatro bandas están registrados espacialmente por haber sido adquiridos y almacenados por el mismo sistema de barrido.

Una de las técnicas digitales más utilizadas para la extracción de información a partir de una imagen, es la clasificación multiespectral, cuya idea fundamental consiste en discriminar los diferentes tipos de vegetación y usos del suelo por su patrón espectral. Las imágenes LANDSAT en formato digital contienen, para cada uno de los elementos o pixels, un patrón de respuesta espectral que es un vector de cuatro componentes. Estos componentes son valores que representan la intensidad de la energía reflejada por el terreno en cada una de las cuatro bandas espectrales. Así, cada pixel puede ser concebido como un punto en un espacio de cuatro dimensiones. Los cuatro valores del pixel determinan su posición exacta dentro de este espacio espectral. El problema de la clasificación multiespectral se resume en la división de este espacio en --

regiones o subespacios, y en la asignación de cada uno de los elementos de la imagen a una de estas regiones.

2. La Percepción Remota en el estudio de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.

Las técnicas de teledetección han probado ser una herramienta valiosa para el estudio de los recursos naturales marinos (Behie, 1981). Se han hecho varios estudios sobre aplicaciones de la teledetección a la evaluación e inventario de comunidades de algas de importancia comercial y/o ecológica, -- utilizando sensores fotográficos y no fotográficos.

Los estudios fotográficos han comprendido el uso de películas blanco y negro, color, infrarrojo blanco y negro e infrarrojo color (Cameron, 1950; Mel, 1976), a escalas desde -- 1 : 4 000 hasta 1 : 360 000 (Kelly, 1969; Welch, 1969) y han sido hechos sobre diferentes comunidades de especies superficiales y sumergidas de vegetación marina (North, 1963; Pirie, 1975; Macomber, 1981). El estudio de Mel (1976), centrado específicamente en Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., que trata aspectos de Ecología, manejo y características fotográficas -- de los mantos de esta especie en la costa sur de California, es particularmente ilustrativo.

Algunas conclusiones generalizadas de estos estudios -- pueden ser:

La factibilidad de detectar y cuantificar comunidades - de algas superficiales y sumergidas utilizando sensores remotos, con capacidad de operación en las regiones visible e infrarroja del espectro electromagnético (0.4 a 0.7 micrones y 0.7 a 0.9 micrones respectivamente).

La película en blanco y negro o a color es más adecuada para la observación de comunidades superficiales y la película infrarrojo en blanco y negro o a color lo es para la observación de comunidades sumergidas, por su mayor capacidad de penetración en la columna de agua. Para el caso de las comunidades flotantes, resulta todavía más efectiva la utilización de película infrarrojo a color, porque permite observar las partes marginales de las comunidades, que generalmente se encuentran un tanto sumergidas.

Son de importancia para la calidad de las fotografías - las condiciones de turbiedad, corrientes o mareas prevalecientes en un sitio al momento de la observación. Un aumento en la turbiedad ocasiona una disminución del contraste entre las algas y el agua. Las corrientes y mareas pueden ocasionar el hundimiento de las comunidades superficiales obstaculizando su detección.

En lo que respecta a las aplicaciones de sensores no fotográficos al estudio de las comunidades de algas, se ha he--

cho uso principalmente de barredores multiespectrales, operando en las regiones visible e infrarrojo cercano (0.5 a 1.1 micrones), y de radares de apertura real y sintética en la región de las microondas (3.0 a 25.0 cm).

Jensen y colaboradores (1976), reportan el uso de una imagen multiespectral LANDSAT para estudiar la factibilidad de detectar mantos de dicha especie mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes. Así también, reportan los resultados de mediciones radiométricas efectuadas in situ para determinar el comportamiento espectral de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag. Los resultados del análisis de las imágenes y de las mediciones radiométricas demostraron que es posible discriminar espectralmente, con grados relativamente bajos de --confusión, los mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., --del agua y de la tierra.

En otro trabajo (Jensen et. al., 1980) se informa de los resultados obtenidos en la estimación de áreas ocupadas por mantos de estas algas, utilizando fotografías infrarrojo color a pequeña escala (1 : 125 000), imágenes digitales --LANDSAT e imágenes de radar, todas de distintas fechas, comparándolas con estimaciones obtenidas por interpretación de fotografías aéreas a gran escala (1:24 000) tomadas en fechas coincidentes.

Los resultados demostraron que no hay una diferencia significativa entre las estimaciones obtenidas por interpretación de fotografías de gran y pequeña escala; sin embargo, el empleo de ambas fue considerado fragmentario y poco económico, dadas las grandes áreas de distribución de los mantos y la constante interferencia de condiciones de nubosidad y bruma presente en las regiones costeras bañadas por corrientes frías.

La comparación de estimaciones obtenidas con el uso de imágenes LANDSAT mostró una alta correlación ($r = 0.98$) con las obtenidas por fotografía aérea; no obstante, se observó que las primeras, a pesar de ser razonablemente fieles, tienden a subestimar consistentemente las extensiones de los mantos. La explicación debe considerar el tamaño del elemento de resolución de una imagen LANDSAT (56m X 79 m), y la integración de las respuestas espectrales dentro de él al momento de la observación. Una ventaja observada en el uso de las imágenes LANDSAT fue el haber sido posible obtener un cubrimiento completo de la región de interés, que por sus características de amplia cobertura y repetibilidad de su obtención, permiten disponer de imágenes libres de nubes de toda el área de estudio en unas u otras fechas.

Con respecto al análisis de imágenes de radar, se observó una tendencia más marcada a la subestimación, en el caso -

de los sistemas de apertura real, y a la sobreestimación, en el caso de los de apertura sintética; sin embargo, una inmensa ventaja de estos sistemas de información radica en su capacidad de operación independiente de las condiciones atmosféricas. Esto es debido a que el radar, a diferencia de los otros sensores que hemos considerado, no trabaja registrando las -- respuestas debidas a la naturaleza espectral de Macrocystis pyrifer (L.) C. Ag., y el agua, sino más bien registrando el resultado de interacciones complejas entre estos materiales - y microondas producidas activamente, las cuales tienen capacidad de penetración en las nubes y la bruma. Los autores del estudio en referencia consideran que los resultados obtenidos con el radar pueden ser mejorados en la medida en que dichas interacciones y sus relaciones con los parámetros de operación de estos sensores (longitud de onda, ángulo de depresión y dirección de vuelo) sean mejor conocidas.

Para esta tesis, el antecedente inmediato fue el estudio de factibilidad desarrollado durante los meses de junio, julio y agosto de 1982 (Arredondo, G. S.).

Durante dicho estudio se analizaron imágenes multiespectrales tanto de satélite como de avión de sitios donde ya se conocía la presencia de algas de esta especie (Guzmán del Proo, 1971), habiéndose demostrado que ambos tipos de imágenes son adecuados para la detección y cuantificación de mantos de Ma-

Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., por procesamiento digital de imágenes.

Esto es así dado que:

- a. Debido a su forma de crecimiento, dicha especie tiende a formar mantos superficiales, de considerable extensión y densidad, lo que permite observarlos desde plataformas aéreas y espaciales.
- b. Tales mantos son espectralmente discriminables de su entorno.
- c. En las comunidades en donde crecen las poblaciones - de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., en nuestro país, es esta la especie dominante.

El estudio de factibilidad concluyó con la recomendación de que dadas las diferencias en cobertura y resolución espacial de los dos sistemas de adquisición de información, - las imágenes de satélite fueran empleadas en el mapeo a escalas pequeñas y medias de grandes áreas, y las de avión en el reconocimiento a grandes escalas de áreas más restringidas.

3. Ubicación de la zona de trabajo.

La zona de trabajo está comprendida entre los paralelos 26°30' N y 32°15' N, abarcando una franja de la costa occidental de la Península de Baja California de aproximadamente 800 Km de largo, entre la ciudad de Tijuana (B. C.) y la Punta --

Abreojos (B. C. S.); tales límites corresponden a los indicados por el Instituto Nacional de Pesca como los de la zona de interés, debido a que dentro de esa área se encuentran los --
mantos con mayor densidad de población de la especie en Méxi-
co.

VII DATOS Y MATERIALES

El cubrimiento con imágenes LANDSAT de la zona de trabajo se muestra en la Figura 2.

Consultando el archivo microfilmado del Departamento de Teledetección de la Dirección General de Geografía, donde se hallan registradas las imágenes adquiridas sobre el territorio nacional, se seleccionaron 20 de estas para la realización de esta tesis. Fueron dos los criterios aplicados en la selección:

- a. Que presentaran menos de un 15% de cobertura de nubes.
- b. Que fueran lo más reciente posible.

El procesamiento y análisis de las imágenes se llevó a cabo en el Sistema de Análisis Multiespectral (SIDAM) de la Dirección General de Geografía, que se compone básicamente de dos minicomputadoras de 32 bits y sus periféricos estandar; dos sistemas en línea de procesamiento de imágenes con despliegue en color y dos impresoras electrostáticas de 36 pulgadas, fuera de línea. Los programas corresponden al paquete ELAS (Earth Resources Laboratory Applications Software), el cual ofrece múltiples capacidades para el análisis multiespectral de imágenes digitales obtenidas desde plataformas aéreas y espaciales (Graham et. al., 1980).

También se utilizó como apoyo, para referir los datos -

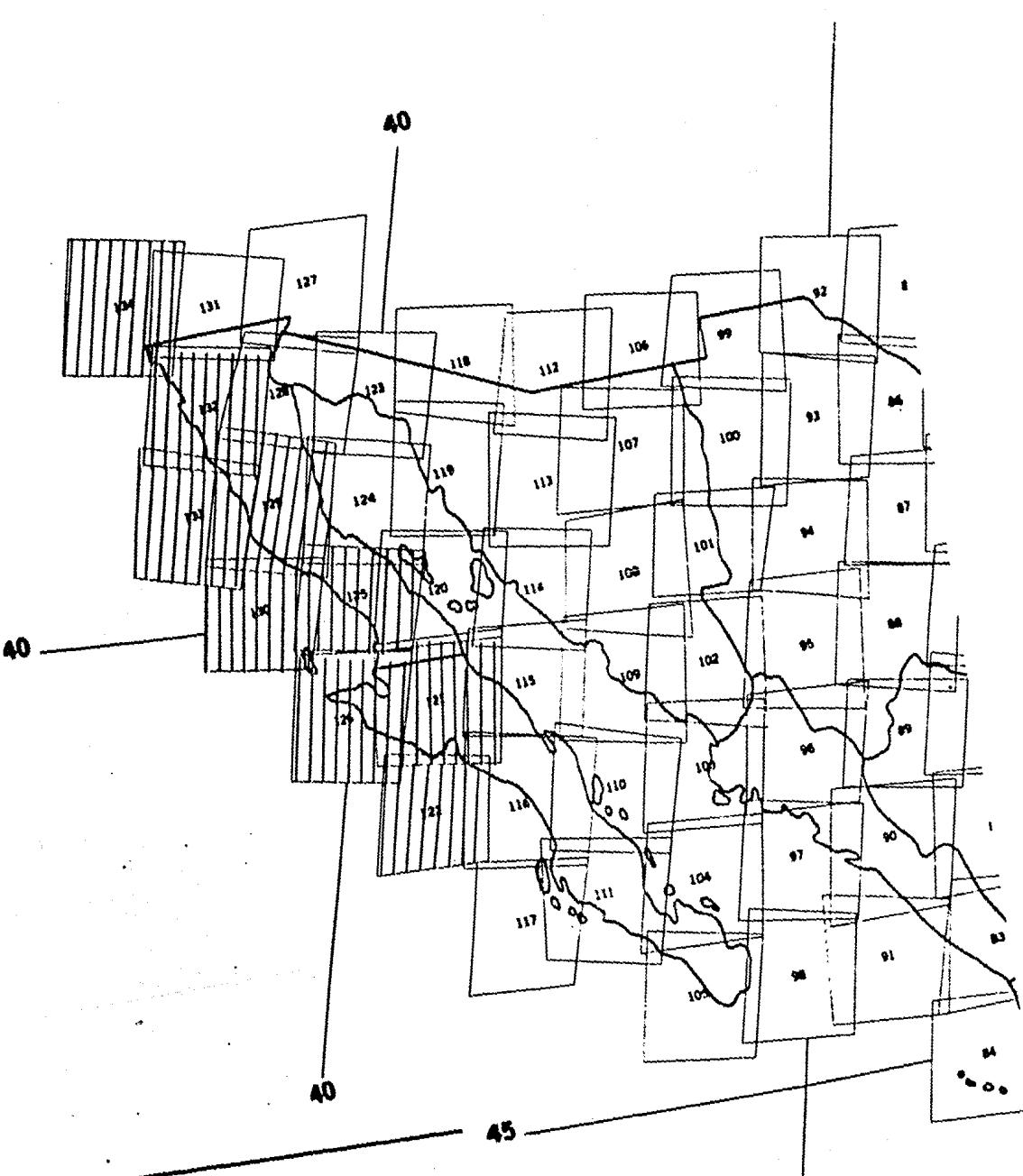


FIG. 2 CUBRIMIENTO CON IMÁGENES
LANDSAT DEL AREA DE TRABAJO.

de las imágenes a la proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) y en la verificación de campo, un cubrimiento completo del área de estudio con mapas topográficos a escalas de 1 : 50 000 y 1: 250 000.

VIII METODO EMPLEADO PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LAS IMAGENES

En lo que respecta al desarrollo de una metodología -- para la obtención de cartas que registren los mantos de Macro cystis pyrifera (L.) C. Ag., mediante el análisis de imágenes, durante el proyecto se estableció una secuencia básica de operaciones para aplicarla a este recurso, a partir de un conjunto de datos multiespectrales. Dicha secuencia comprende desde las operaciones de preproceso de las imágenes hasta la obtención y almacenamiento de productos de salida. Durante su desarrollo se hizo hincapié en uniformizar la ejecución de -- los procesos, de modo tal que éstos consumieran el menor tiempo posible y pudieran ser automatizados.

A continuación se describe en su orden cada uno de los pasos que comprende esta secuencia:

1. Preproceso.

Es un paso rutinario en el que se extraen los datos multiespectrales de interés de la cinta o cintas magnéticas que los contienen, y el formato con el cual viene grabada la información es convertido a un formato compatible con el sistema -- de cómputo y los programas que en él residen. Existen dos -- formatos en los que viene registrada la información LANDSAT -- en las cintas magnéticas y son el formato BIL (Band Interlea-

ve by line) característico de las misiones LANDSAT 1 y 2 y el formato BSQ (Band Sequential) para la misión LANDSAT 3. A los datos grabados en formato BIL, comunmente es necesario aplicarles una corrección debido al efecto de "bando" que presentan; los datos en formato BSQ ya poseen esta corrección por lo cual ya no es necesario realizarla.

2. Selección de subimágenes

Considerando que el recurso se encuentra distribuido a lo largo de las costas y no muy alejado de la zona litoral, se decidió procesar solo la mínima porción de la imagen en la que se encuentre representado incluyendo la suficiente porción de tierra que pueda ser usada como referencia.

3. Observación visual

Durante este proceso se observa la imagen a través del dispositivo de despliegue, analizando la zona costera, amplificando y reduciendo constantemente la imagen, observando su calidad en general y buscando zonas en donde se observe la presencia de cantidades significativas de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., que puedan ser usadas como puntos de comparación con otros sitios.

4. Colecta de estadísticas

Debido a que las imágenes están formadas por numerosos elementos o pixels (2340 renglones y 3240 columnas), es prácticamente imposible registrar lo que cada uno de ellos está representando en el terreno por lo cual, es necesario trabajar con muestras de la población (que es la imagen con sus

cuatro bandas) mediante las cuales se determinarán diversas - clases espectrales asociadas con los diferentes tipos de obje- tos existentes sobre la superficie del terreno. Tales mues- tras pueden ser generadas a partir de las cuatro bandas de -- que consta la imagen, o puede elegirse un subconjunto de ban- das que permitan la adecuada discriminación del recurso con - respecto a su entorno; en este caso particular, se hicieron - pruebas preliminares y se encontró que con las bandas 4, 5 y 7 (0.5 a 0.6; 0.6 a 0.7; y 0.8 a 1.1 micrones respectivamen- te) fue con las que hubo mayor discriminabilidad entre el re- curso, el agua y la tierra. Para cada una de las clases es- spectrales generadas, se calcularon los vectores de media y ma- trices de covarianza que se usaron en la clasificación.

5. Clasificación.

Este proceso consiste en asignar cada uno de los pixels que componen la imagen, a alguna de las clases espectrales ge- neradas durante la colecta de estadísticas, específicamente - a aquella clase espectral a la cual tenga mayor probabilidad de pertenecer. Esto se logra aplicando a los datos de la ima- gen un algoritmo que es un clasificador bayesiano "por máxima verosimilitud" (Graham, 1980). Este proceso da por resultado una imagen en la que aparece cada una de las clases espectra- les con un color distinto que le ha sido asignado intencional- mente o por medio de métodos automáticos.

Con la ayuda de mapas temáticos (de uso del suelo, geológicos, etc.) y fotografías aéreas se procede a identificar cada una de las clases espectrales y lo que representan en el terreno.

6. Corrección geográfica.

Este proceso, si bien conceptualmente no es muy complicado, operativamente es uno de los procesos más importantes, ya que es el que le confiere a los resultados de los análisis su calidad cartográfica; se lleva a cabo mediante el método típico de extracción de puntos de control de un mapa en -- coordenadas UTM refiriéndolos a los mismos puntos de la imagen mediante coordenadas de renglón y columna. Globalmente - este proceso consta de dos pasos:

- a. Cálculo de los coeficientes de mapeo.
- b. Relocalización de los elementos de la imagen de acuerdo a la proyección cartográfica UTM.

En el primero de los pasos, se hace uso de los puntos - de control para calcular las coordenadas de los elementos de la imagen como una función de Estes y Nortes. Esto se lleva a cabo de una manera interactiva e iterativa, calculando repetitivamente los coeficientes de la función de mapeo, obteniendo en cada cálculo el error medio cuadrático asociado a cada punto y eliminando del archivo de puntos aquellos que contribuyan con el mayor error en el cálculo de los coeficientes; -

si bien durante la ejecución se eliminan los puntos con mayor error, también se tiene cuidado de no eliminar aquellos puntos cercanos a los límites de la imagen, esto con el fin de que la mayor parte de ésta quede dentro de la poligonal definida por los puntos de control, tratando de lograr la mayor precisión en el cálculo de las coordenadas de los elementos de la imagen dentro de la zona de interés. En un segundo paso, se aplican las ecuaciones de mapeo calculadas en el paso anterior, reorientando los elementos de la imagen hacia el Norte y dándoles su nueva posición dentro de la rejilla UTM. Como una opción para reducir el costo computacional del proceso, se ha decidido aplicar la corrección a imágenes clasificadas, que están compuestas por un solo canal. Durante este proceso se hace una reasignación del área terrestre representada por el elemento de la imagen (pixel), dándosele un valor de 50 metros por lado.

7. Postproceso.

Esta fase consiste básicamente en la corrección de errores lógicos cometidos durante la clasificación. El proceso se lleva a cabo de dos formas: manual y automática; la primera consiste en la edición mediante polígonos de aquellas partes de la imagen en donde el error de clasificación es obvio, como es el caso de elementos clasificados como Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., en zonas dentro de la tierra. La segun

da consiste en una reasignación de los elementos clasificados de acuerdo a su contexto (un "quita pecas"), que al utilizarlo se ha encontrado que se logra corregir un buen número de errores debidos a la confusión espectral y efecto residual -- del bandeado, condicionando al programa para que conserve la asignación de un elemento dado siempre y cuando se encuentre rodeado por tres o más iguales a él.

8. Derivación de categorías informativas.

En los productos de salida se representan tres categorías informativas a saber:

- a. Tierra
- b. Mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.
- c. Agua

La categoría informativa se forma integrando en una sola aquellas clases espectrales que se haya determinado que representan esa categoría.

La reasignación de los valores de las clases espectrales se efectúa mediante una tabla índice que indica al programa el valor actual de la clase y aquel al que deberá ser asignado.

Durante este paso, se hace la inclusión en la imagen de una rejilla UTM que sirva como una escala gráfica y como una

referencia geográfica al analizar los productos.

9. Estimación del área ocupada por mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.

Este proceso se lleva a cabo en forma automática mediante un programa que "barre" la imagen buscando agrupamientos de elementos que correspondan a la clase de interés; cuando un agrupamiento es encontrado se cuantifica su extensión si es mayor que un mínimo establecido. Después se calculan las coordenadas en unidades métricas (UTM) y angulares (Latitud - Longitud) de su centro de gravedad. El resultado final de este proceso es un listado que consigna para cada mancha de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., localizada en la imagen, su posición dentro de ella, el número de elementos (pixels) que la componen, la extensión en hectáreas y su posición geográfica.

Una forma alternativa de este proceso es su ejecución manual, en la que el analista traza polígonos, con ayuda del dispositivo de despliegue, en torno a los mantos representados en la imagen determinando la extensión en hectáreas de la especie dentro de tales polígonos; las coordenadas del manto se calculan en aquel punto donde el analista lo considere pertinente.

10. Obtención de productos de salida

Durante el proyecto se obtuvieron productos de salida - en tres formatos: gráficos, tabulares y digitales.

Los productos gráficos consisten en mapas obtenidos por impresión electrostática, su escala varía de 1 : 75 000 a -- 1 : 100 000, son en proyección UTM y tienen una rejilla inscrita a cada 10 Km. Los límites de estos mapas son definidos por el usuario, dando las coordenadas de los extremos Noroeste y Sureste de la zona de interés. En la figura 3 se presenta una muestra de un producto cartográfico generado durante el proyecto, en el que se muestran las categorías informativas - representadas de la siguiente manera:

- a. Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., con negro.
- b. Tierra con patrón punteado.
- c. Agua en blanco.

Los productos tabulares fueron concebidos como anexos o sustitutos de los productos gráficos y consisten de listados de la computadora que contienen la localización en coordenadas UTM y geográficas de los mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag. localizados, así como su extensión; además de un número que indica el total de hectáreas ocupadas por el recurso en toda el área considerada.

Los productos digitales son la contraparte, en un formato compatible con computadora, de los dos anteriores. Están almacenados en cinta y han sido organizados de modo tal que puedan ser recuperados fácilmente. Desde el punto de vista de los sistemas de información, este es el formato más importante de los tres, ya que permitirá recuperar, analizar y almacenar información de varias fechas, así como obtener un producto en cualquiera de los dos formatos anteriores cuando se requiera.

11. Verificación de campo

Una vez obtenidos los productos de salida, es necesario verificar su validez comparándolos con lo observado en el campo. La verificación consistió en llevar los productos gráficos de salida al campo, y mediante recorridos aéreos se comparó lo que éstos presentan contra lo observado en el terreno, calificando como acierto cuando fue posible observar un manto tanto en el mapa como en el terreno; si el manto estaba en el terreno y no en el mapa, se consideró un error de omisión y en el caso contrario, se consideró un error de comisión.

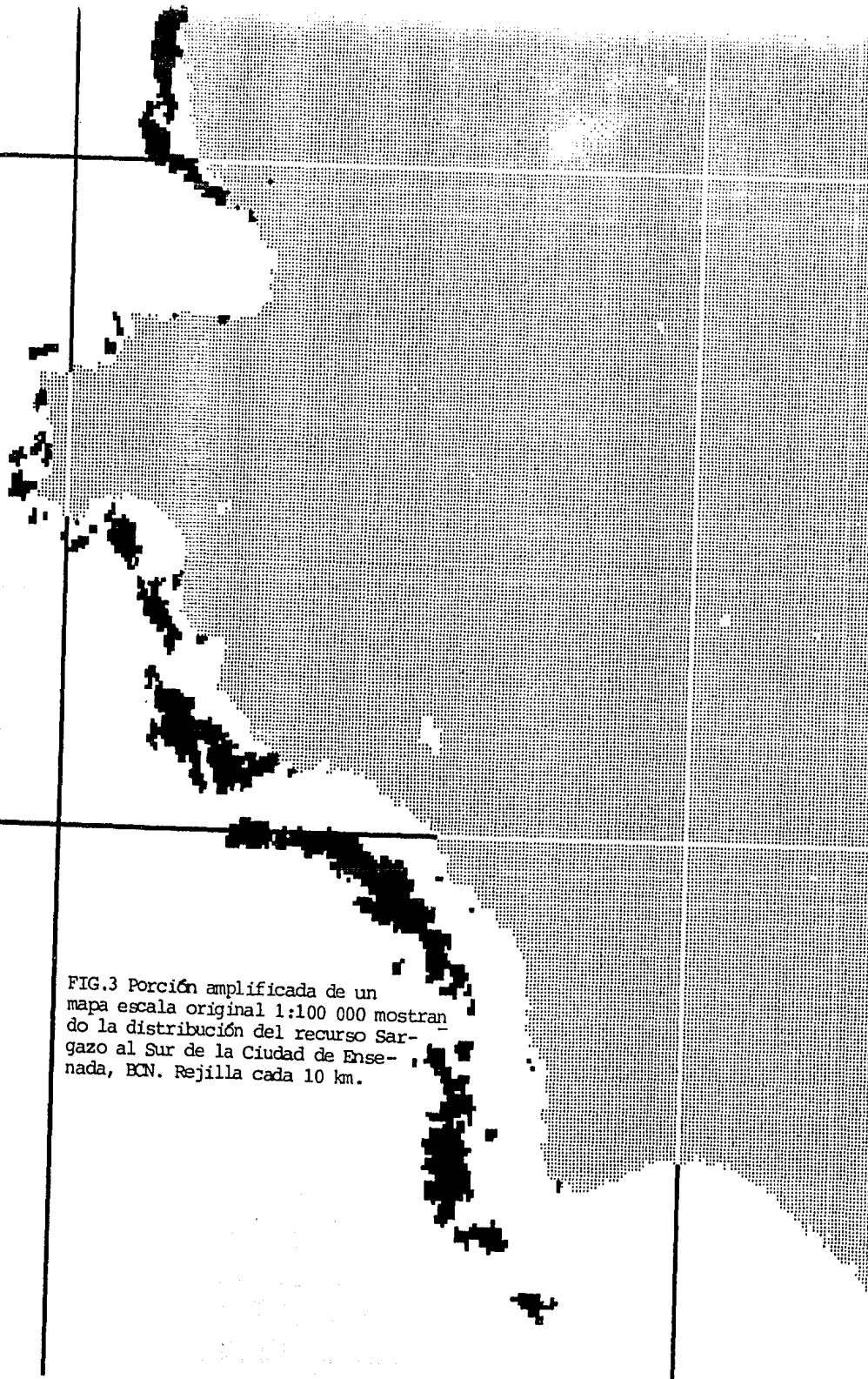


FIG.3 Porción ampliada de un mapa escala original 1:100 000 mostrando la distribución del recurso Sargazo al Sur de la Ciudad de Ensenada, BCN. Rejilla cada 10 km.

IX RESULTADOS Y DISCUSION

La meta principal de esta tesis fue el diseño y puesta en práctica de una metodología para extraer información sobre la distribución y superficies ocupadas por recursos de algas marinas flotantes, específicamente de Macrocystis pyrifera - (L.) C. Ag., aplicando las técnicas de procesamiento digital de datos multiepectrales LANDSAT. Esta metodología fue presentada como tentativa en el anteproyecto de este trabajo y fue ampliada, ordenada en su secuencia y refinada aprendiendo de las experiencias dadas por la ejecución de los procesos. En todo momento se hizo hincapié en que esta metodología fue se lo menos costosa posible en términos de tiempo invertido en cómputo y por el analista, la secuencia de operaciones fue presentada y descrita en el capítulo anterior (VIII), y a continuación se le presenta en forma resumida:

1. Preproceso.
2. Selección de subimágenes.
3. Observación visual.
4. Colecta de estadísticas.
5. Clasificación.
6. Corrección geográfica.
7. Postproceso.
8. Derivación de categorías informativas.

9. Estimación del área ocupada por mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag.
10. Obtención de productos de salida.
11. Verificación de campo.

En el capítulo VII se dijo que el proyecto contó con 20 imágenes LANDSAT para su realización, de las cuales 4 fueron obtenidas por el satélite LANDSAT 1 (aquellas tomadas en los años de 1975 y 1976), y las 16 restantes fueron obtenidas por los satélites LANDSAT 2 y LANDSAT 3 (ver Apéndice 1). Aplicando la metodología que se describió en el capítulo VIII, solamente 9 de ellas produjeron información; este bajo número de imágenes útiles se debió al hecho de que, aún cuando se seleccionaron tomando como criterio que tuvieran una cobertura de nubes menor al 15%, en varias de ellas las nubes se encontraban sobre la zona costera, obstaculizando la detección de los mantos; además, para completar el cubrimiento se usaron ocho imágenes existentes en la cintoteca del Departamento de Teledetección, que no en todos los casos cumplieron con este requisito. Otro factor fue el hecho de que algunas imágenes perdiesen cerca del 25% de los datos, a causa de un mal funcionamiento del sensor del satélite LANDSAT 3 durante la transmisión de los datos. Tanto el problema de la cobertura nubosa, como el de la pérdida de información podrían evitarse analizando productos fotográficos de las imágenes antes de su adquisición, asegurando de este modo la obtención de imágenes

Útiles.

Además de los factores mencionados se suma el hecho de que las imágenes tomadas sobre Baja California son escasas, - esto contribuye a condicionar la posibilidad de completar un cubrimiento total de la zona de interés con una periodicidad menor a dos años. De hecho, en el cubrimiento que se hizo en este proyecto existen zonas de las que no fue posible obtener información, aunque se conoce en ellas la presencia de estas algas; tal es el caso de la zona comprendida entre la Bahía - de San Quintín y la Punta Baja.

Considerando las imágenes útiles, a partir de ellas se obtuvieron como producto final mapas temáticos en formato digital en los que se muestra la distribución de Macrocystis -- pyriferá (L.) C. Ag., dentro del área de estudio.

Todos los mapas generados fueron almacenados en cintas magnéticas, lo que permite su recuperación en cualquier momento, ya sea para graficarlos en papel electrostático o para -- obtener de manera automática las estimaciones de las áreas cubiertas por los mantos. Por otro lado, también se almacenaron en cintas magnéticas productos intermedios como son las - clasificaciones, por ejemplo, además de la información complementaria generada como resultado de los distintos procesos -- aplicados a cada imagen, lo que permitirá realizar posteriores manipulaciones. En el Apéndice 1 se anexa una tabla que

reporta datos sobre cada una de las imágenes que se procesaron durante el proyecto. También, en la Dirección General de Geografía, se cuenta con un archivo conformado con los listados de computadora que se obtuvieron durante el análisis de cada una de las imágenes; se archivaron aquellos listados que contienen información considerada como necesaria para hacer repetibles todos los procesos.

Con respecto a la validez de los productos cartográficos generados, su verificación se llevó a cabo del 19 al 23 de agosto de 1983. Durante esta verificación se hizo un reconocimiento aéreo de la totalidad de la zona de estudio, comparando lo observado en el terreno contra lo representado en los productos cartográficos. Como otro elemento de verificación, se tuvo la publicación de Guzmán del Proo (1971), en la que se reportó un estudio sobre la distribución de los mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., en la Península de Baja California. Comparando dicho trabajo con los resultados de esta tesis, se observó que en la mayoría de los casos (74 de 83) coinciden en cuanto a los mantos y localidades reportados, con excepción de 9, en 3 de las cuales no se tiene cubrimiento con imágenes y las 6 restantes no fueron detectadas.

Durante la verificación de campo se visitaron un total de 83 localidades para las que los productos cartográficos reportaban la presencia de mantos.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la verificación de campo. En un principio, del total de 83 localidades verificadas se tuvieron 61 aciertos o sea un 72.3%; el error total, sumando omisión y comisión fue del 27.7%, siendo de -- omisión el 10.9% y de comisión el 16.8% (ver Apéndice 2). Se encontró que los errores de comisión son debidos principalmente a confusiones espectrales de los mantos de estas algas con zonas de descarga de ríos y con aguas poco profundas. Considerando que los errores de comisión fueron debidos a confusiones espectrales fácilmente localizables e identificables, y - que este tipo de errores contribuían mucho a alterar los re-- sultados de las estimaciones de áreas, se decidió editar los productos finales de modo tal que estos errores fueran elimi-- nados, por lo que despues de dicha edición todos los errores de comisión fueron removidos y en dos de ellos no se encontró una explicación de su origen. Con todo lo dicho anteriormen-- te los valores de precisión de los productos finales quedan - de la siguiente manera:

T A B L A 1'

Total de localidades reportadas (LT)	71
Localidades para las que existe cubrimiento (LC)	66
Número de aciertos (NA)	61
Número de errores de omisión (EO)	6
Número de errores de comisión (EC)	0
Número de localidades donde no hay cubrimiento (NC)	3
Porcentaje de acierto total (NA/LC)	90.9
Porcentaje de error total (EO+EC/LC)	9.1
Porcentaje de error por omisión (EO/LC)	9.1

' Ver Apéndice 2

Se considera que estos valores tienen representatividad estadística porque se derivaron a partir de datos de un censo, es decir, se verificó la totalidad de los sitios de distribución de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., dentro de la zona de estudio.

Una vez que los productos finales fueron editados para remover los errores de comisión, se hicieron nuevas estimaciones de áreas y determinación de posiciones geográficas para cada manto dentro de cada una de las localidades reportadas como acierto.

La estimación del área ocupada por el recurso no debe ser tomada como una cuantificación estrictamente hablando, --

sino que este dato da una estimación de área de cada manto en hectáreas y permite realizar consideraciones de distribución y abundancia de estas poblaciones. Lo anterior se debe a que a pesar de que la energía dentro del rango del infrarrojo cercano (0.7 a 1.1 micrones) tiene cierta capacidad de penetración en el agua dependiendo de su turbidez, en general solo permite la detección de aquellas partes del manto cuyas láminas terminales flotan sobre la superficie, por lo que los individuos jóvenes no serán detectados y por lo tanto no será estimada el área que ocupan. Además, existen diferentes densidades tanto intra como extrapoblacionales y esto también afecta el resultado de las estimaciones. Debido a lo anterior, la metodología no puede dar como resultado medidas de producción de biomasa, pero si permite proponer como áreas de cosecha del recurso aquella donde se hayan detectado los mantos de mayor tamaño, más accesibles y que no hayan sido recorridos recientemente permitiendo, de este modo, su recuperación.

Comparando simultáneamente los resultados de Guzmán del Proo (1971), los del procesamiento de imágenes y los de la verificación de campo, que fueron obtenidos los tres en distintas fechas, se concluyó que parece existir una tendencia general a la disminución del recurso. Un ejemplo de esto es el caso de los mantos que se marcan como error de comisión para

la localidad número 66, Bahía del Sur, en Isla Cedros (ver -- Apéndice 2). Este manto inicialmente fue reportado por Guzmán del Proo (1971); posteriormente en este trabajo fue detectado al analizar una imagen de 1978; en una imagen correspondiente a 1980 aparece más reducido en tamaño y ya no se le observó - en 1983 durante la verificación de campo. Buscando posibles explicaciones para este comportamiento se averiguó con personal de la Secretaría de Pesca y personas en Ensenada, Baja California, relacionadas con esa actividad, que ha habido en -- éstos últimos años un aumento en la temperatura del agua en esa zona, lo que podría ocasionar una disminución en la extensión de los mantos (McPeak, 1984). Esta explicación, aún -- cuando no es el resultado de observaciones sistemáticas, parece tener cierto fundamento, ya que la literatura reporta a la temperatura del agua como el principal factor limitante en la distribución de estas algas (Chapman, 1970). También Mel -- (1976), reporta que ligeros aumentos en la temperatura del agua han ocasionado destrucción masiva de mantos de Macrocytis pyrifera (L.) C. Ag., al Sur de California, Estados Unidos. Es la idea de quienes esto escriben, que otro factor -- que pudiera contribuir a esto es el hecho de que al no considerar a los mantos como zonas protegidas, éstos se ven constantemente afectados por el tráfico de embarcaciones. Esto -- se deduce de la observación de que alrededor de las islas, -- como son Isla Todos Santos, Isla San Martín e Islas San Beni-

to, los mantos se hallen mejor representados que en la parte continental, lo que se atribuye a que en las inmediaciones de las primeras la actividad humana es menos intensa. Otra observación es el hecho de que para estas islas lo visto en el terreno corresponde casi exactamente con lo observado en los productos cartográficos, por lo que suponemos que en estas zonas no ha habido un cambio sustancial en cobertura de los mantos en el tiempo.

Con el objeto de cumplir con el segundo de los objetivos de este proyecto: explorar las posibilidades de establecer un sistema de información sobre recursos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., se ha establecido una base de datos digitales y se ha estructurado el principio de un sistema de consulta.

Dado que la información final generada por este trabajo son imágenes digitales referidas a la proyección cartográfica UTM, es posible almacenarlas y recuperarlas a través de sistemas computarizados, haciendo referencia a ellas o a segmentos de ellas mediante un sistema de coordenadas geográficas. El sistema de referencia geográfico elegido es el de las coordenadas de la proyección cartográfica UTM, ya que por constar de unidades métricas es fácilmente manejable. El almacenaje se hizo en cinta magnética por considerarse que éste es un sistema de consulta no intensiva, por lo que no tiene caso --

mantener la base de datos en dispositivos de almacenaje de -
más rápido acceso pero más costosos, como son los discos.

Habiéndose establecido las bases principales para la ob-
tención de información acerca de la localización y extensión
de los mantos de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., que son :
una secuencia metodológica estandar y un sistema de almacena-
miento y recuperación de datos, se puede considerar que son -
diversas las ventajas que ofrece el uso de estas técnicas, --
pues además de proporcionar la localización y extensión de --
los mantos dentro del rango de distribución en el que se pre-
sentan, con tamaños y densidades susceptibles de explotación,
también nos brindan la oportunidad de registrar posibles cam-
bios en la distribución y densidad del recurso analizando, --
con dichas bases, imágenes de fechas más recientes.

Esto posibilita el determinar cuales deberán ser las -
condiciones más adecuadas para su manejo y explotación, esta-
bleciendo vedas de recuperación y declarándolo un recurso pro-
tegido por las autoridades competentes.

Por otro lado, la disponibilidad de productos tales --
como son los mapas obtenidos en este trabajo, permite a los -
investigadores interesados en la Biología de estas algas (o -
de otros organismos que forman parte de la comunidad, de la -
cual Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag., es la especie dominan-

te), establecer sitios en donde sea más factible llegar directamente a los mantos y estudiarlos, en un área de distribución tan extensa. Asimismo, sería adecuada una labor de divulgación de la importancia del recurso por parte de las autoridades y a todos los niveles, para promover de esta manera su preservación.

X CONCLUSION Y PERSPECTIVAS

Haciendo un análisis global de este proyecto, se puede concluir que este trabajo es solo una base para el inventario general de Macrocystis pyrifera (L.) C. Ag. Como ya se vió, - todavía hay lagunas en el cubrimiento con imágenes de la zona de interés que requieren ser resueltas. Por otra parte, se observó que los cambios anuales y estacionales en la distribución y extensión de los mantos son muy marcados, de modo tal que un proyecto de observación sistemática que no cuente con posibilidades de adquisición de imágenes casi en tiempo real, verá limitadas sus posibilidades de proveer información sobre cambios referentes a la extensión de los mantos. Sin embargo, en lo que toca a la observación de los cambios en la distribución del recurso, los sistemas de Teledetección, dadas sus capacidades de cobertura sinóptica y repetitiva, ofrecen las opciones más amplias y económicas.

Quedan como perspectivas la adquisición de nuevas imágenes que permitan, además de completar el cubrimiento del área de distribución de estas algas, realizar comparaciones con el fin de establecer las fluctuaciones en tamaño y ubicación de los mantos al paso del tiempo. Así mismo, con el lanzamiento de nuevos satélites con mayor poder de resolución sobre el terreno (LANDSAT D y SPOT), se podrán realizar estudios más detallados, no solo de este recurso sino también, de otros re-

cursos naturales en nuestro país como son estudios forestales, agrícolas, urbanos, geológicos, hidrológicos, etc., a nivel regional, lo que permitirá llevar a cabo una actualización de la cartografía tradicional y de los estudios ya realizados -- con estas nuevas técnicas.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

XI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arredondo, G.S. 1981. Estudio Sobre la Factibilidad de Detectar y Cuantificar Mantos de Sargazo Mediante Técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes Multiespectrales.- Pub. Int. DGG. s/n México.
- Behie, C. & Comillon, P. (eds.). 1981. Remote Sensing, a -- Tool for Managing the Marine Environment: Eight Case -- Studies. Univ. of Rhode Island. Marine Technical Report 77.
- Bold, H.C., Alexopoulos, C. & Delevoryas, T. 1980. Morphology of Plants and Fungi. Ed. Harper & Row. 98-115 pp.
- Cameron, F. 1950. The Use of Aerial Photography in Seaweed -- Surveys. Photogrammetric Engineering 16 (4): 493-501.
- Chapman, J.V. 1970. Seaweed and their Uses. Methuen & Co. -- London. 394 pp.
- Días, C.A. 1981. Estudio de Factibilidad para la Industriali- zación de las Algas Marinas Cafés. Instituto Nacional de Pesca, Sec. de Pesca. México.
- Fischer, W.A. (ed.). 1975. History of Remote Sensing, in -- Reeves, R.G. (ed.): Manual of Remote Sensing. Amer. Soc. of Photogramm. Falls Church, Virginia. 27-50 pp.
- Graham, M.H. et. al. 1980. ELAS: A Geobased Information Sys- tem. NASA/NSTL/ERL. Report 183.
- Guzmán del Proo, S.A. 1971. El Sargazo Gigante (Macrocystis pyrifera) y su Explotación en Baja California. Rev.Soc.

Bot. México.

- Jensen, R.J., Tinney, L.R. & Estes, J.E. 1976. Maximum-likelihood Classification of Kelp Resources from LANDSAT -- Computer Compatible Tapes. Proc. William T. Pecora Symp. Amer. Soc. of Phot. 201-212 pp.
- Jensen, R.J., Estes, J.E. & Tinney, L.R. 1980. Remote Sensing Techniques for Kelp Surveys. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 46 (6): 743-755.
- Kelly, M.G. & Conrod, A. 1969. Aerial Photographic Studies of Shallow Water Benthic Ecology. Chapter 12, in P.O. Johnson Ed., Remote Sensing in Ecology. Univ. of Georgia Press: 173-184.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. 1979. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons. New York. 612 pp.
- Macomber, T.R. 1981. Mapping Submerged Aquatic Vegetation in Chesapeake Bay, in Behie, G. & Comillon, P. Op. Cit. 9-15 pp.
- McPeak, K.H. & Glants, A.D. 1984. Harvesting California Kelp Forests. Oceanus, 27:1. 19-29 pp.
- Mel. M.R. 1976. Seasonal Aerial Survey of Kelp Beds in Southern California. Proceedings Fall ASP/ACSM Convention. Seattle, Washington: 436-450.
- North, W.J. 1963. An Ecological Study of Kelp Beds in the Vicinity of Canyon de las Encinas. San Diego County. State Water Quality Control Board.

- Pirie, D.M. & Murphy, M.J. 1975. California Coastal Processes Study. SRT Project X-098 Final Report. NASA Johnson -- Space Center. Houston Texas.
- Reeves, R.G. (ed.). 1975. Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia. 2: 2145.
- Rouse, J.W. et. al. 1973. Monitoring Vegetation Systems in -- the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. Vol. 1. 309-317 pp.
- Sabins, F.F. 1978. Remote Sensing Principles and Interpreta-- tion. Freeman, San Francisco. 426 pp.
- Scagel, F.R. et. al. 1977. El Reino Vegetal. Ed. Omega. Barce_lona. 194-224 pp.
- Taranik, J.V. 1978. Characteristics of the LANDSAT Multispec-tral Data System. U.S. Geological Survey Open-file Re-- port 78-187. Sioux Falls, South Dakota. 75 pp.
- Welch, R.I. 1969. The Use of Color Aerial Photography in Wa-- ter Resources Management. New Horizons in Color Aerial Photography: A Seminar. American Society of Photogra-- mmetry. Falls Church, Virginia: 315-346.
- Wiegand, C.L. et. al. 1973. Vegetation Density as Deduced -- from ERTS-1 MSS Response. Third ERTS Symposium. NASA -- SP-351. Vol. 1. 93-116 pp.

XII A P E N D I C E S

APENDICE 1

Tabla sinóptica que muestra los identificadores de las imágenes, fecha de toma de los datos y - archivos digitales producidos durante el proyecto.

CLAVE PARA LA INTERPRETACION DE
LA TABLA SINOPTICA

- Columna 1 - Identificador de la imagen
- Columna 2 - Fecha de Toma de la imagen
- Columna 3 - Orbita (Path)
- Columna 4 - Paso (Row)
- Columna 5 - Porcentaje de nubes en la imagen
- Columna 6 - 9 - Archivos útiles con que se cuenta
- Columna 10 - Materiales tabulares en archivo
- Inciso 1 - Encabezado de la cinta (en que se describen sus
- Inciso 2 - Parámetros de entrenamiento y estadísticas con
asignación de clases para indización
- Inciso 3 - Puntos de control para corrección geográfica
- Inciso 4 - Coeficientes de mapeo y coordenadas LANDSAT y
UTM del archivo
- Inciso 5 - Localización y cuantificación de áreas ocupadas
por sargazo

TABLA SINOPTICA DE LOS DATOS RELACIONADOS CON PROCESOS Y ARCHIVOS DEL PROYECTO SARGAZO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	DL 104	100578	36	43	10					
	DLC 105	110578	36	44	10					
	DLC 111	021379	37	43	00					
	DLC 116	091280	38	42	10					
	DL 117	100278	38	43	10					
1	DL 121	082878	39	41	00	CFGA78	GA78.IDX	GA78SMM.GEO	GA78CPF.XF	12345
2	DLC 121A	060680	39	41	10	CFGJ80	GJ80.IDX	GJ80SMM.GEO	GJ80CPF.XF	12345
3	DLC 121B	092280	39	41	00					
4	DLC 121C	102880	39	41	00					
5	DL 122	110878	39	42	20					
6	DL 125	102278	40	40	20	CFE078	E078.IDX	E078SMM.GEO	E078CPF.XF	12345
7	DLC 125A	091480	40	40	10	CFES80	ES80.IDX	ES80SMM.GEO	ES80CPF.XV	12345
8	DLC 125B	102980	40	40	10					
9	DL 126	081178	40	41	20	CFFA78	FA78.IDX	FA78SMM.GEO	FA78CPF.XF	123455
10	DLC 126A	092380	40	41	20					
11	DL 129	083078	41	39	30					
12	DLC 129A	053080	41	39	10					
13	DL 130	112878	41	40	10	CFDN78	DN78.IDX	DN78SMM.GEO	DN78CPF.XF	12345
14	DL 132	032975	42	38	00					

15	DL	132A	092575	42	38	10	CFAS75	AS75.IDX	AS75SMM.GEO	AS75CPF.XF	12345
16	DL	132B	031476	42	38	10					
17	DLC	132C	092279	42	38	30					
18	DLC	132D	082980	42	38	10	CFAA80	AA80.IDX	AA80SMM.GEO	AA80CPF.XF	12345
19	DL	133	113076	42	39	00	CFBN76	BN76.IDX	BN76SMM.GEO	BN76CPF.XF	12345
20	DLC	134	061481	43	37	00					

APENDICE 2**Localidades Visitadas en la Verificación de Campo
y Relación de Aciertos y Errores**

Localidades Visitadas en la Verificación de Campo y Relación
de Aciertos y Errores.

ERROR

	LOCALIDAD	ACIERTO	OMISION	COMISION
1	Islas Coronado		X	
2	Popotla	X		
3	Buonavista	X		
4	Punta El Descanso	X		
5	Bahía El Descanso	X		
6	Las Gaviotas	X		
7	Puerto Nuevo	X		
8	Puente La Posta	X		
9	La Bloquera	X		
10	Punta Mezquite	X		
11	Campo López	X		
12	Marisol	X		
13	Sonorabampo		X	
14	Jatay	X		
15	Costa Azúl	X		
16	Punta Salsipuedes	X		
17	Salsipuedes	X		
18	Punta San Miguel	X		
19	San Miguel			Zona de - descarga de río X
20	Punta Sauzal			
21	Playa Ramona	X		

Localidades Visitadas en la Verificación de Campo y Relación
de Aciertos y Errores. (Cont.)

	LOCALIDAD	ACIERTO	ERROR	
			OMISION	COMISION
22	Villa del Mar	X		
23	Villa de las Rosas	X		
24	Isla Todos Santos	X		
25	Cabo Banda	X		
26	Bahía Torres Cano	X		
27	Bahía Papalote	X		
28	Caleta Puerto Escondido			Aguas poco profundas.
29	Puerto Arbolitos	X		
30	Arbolitos			Aguas poco profundas.
31	Bahía Soledad (Norte)	X		
32	Punta Rif	X		
33	Punta la Lobera	X		
34	Punta Santo Tomás	X		
35	El Puerto	X		
36	Cala Salsipuedes	X		
37	Punta China	X		
38	Punta Prieta	X		
39	Punta San José	X		
40	Punta Blanca	X		
41	San Juan de las Pulgas			Zona de - descarga de río

Localidades Visitadas en la Verificación de Campo y Relación
de Aciertos y Errores. (Cont.)

	LOCALIDAD	ACIERTO	ERROR	
			OMISION	COMISION
42	Tampico	X		
43	Punta Cabras	X		
44	El Buey	X		
45	Punta San Isidro	X		
46	Erendira	X		
47	Bocana Erendira			Zona de - descarga de río.
48	Peñasco La Lobera		X	
49	Cabo Colonet	X		
50	Bahía Colonet	X		
51	Bocana San Telmo			Zona de - descarga de río.
52	Punta San Telmo	X		
53	San Francisquito			Aguas poco profundas.
54	Punta San Jacinto			Aguas poco profundas.
55	Isla San Martín	X		
56	Punta Baja			No hay cubri- miento.
57	Isla San Jerónimo			No hay cubri- miento.
58	Arrecife Sacramento			No hay cubri- miento.
59	Punta Canoas		X	

Localidades Visitadas en la Verificación de Campo y relación
de Aciertos y Errores. (Cont.)

	LOCALIDAD	ACIERTO	ERROR	
			OMISION	COMISION
60	Punta Blanco		X	
61	Isla San Benito	X		
	ISLA CEDROS			
62	Cabo San Agustín	X		
63	Piedra Colorada	X		
64	Región Noroeste	X		
65	Región Norte	X		
66	Bahía del Sur			X
	ISLA NATIVIDAD			
67	Roca María	X		
68	Región Sur	X		
69	Región Norte			Aguas poco profundas.
70	Punta Eugenia	X		
71	Punta Falsa	X		
72	La Lobera	X		
73	Punta Quebrada	X		
74	Punta Rompiente	X		
	BAHIA DE TORTUGAS			
75	Punta la Cantina	X		
76	Cabo Tortolo	X		
78	Punta Clambey (Sur)	X		

Localidades Visitadas en la Verificación de Campo y Relación
de Aciertos y Errores. (Cont.)

	LOCALIDAD	ACIERTO	ERROR	
			OMISION	COMISIO
79	San Pablo		X	
80	Isla San Roque			Aguas poco profundas.
81	Isla Asunción (WySW)	X		
82	Punta Asunción (W)	X		
83	Bahía Asunción			Zona de - descarga de río.