

Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos

Omar G. Lizano^{1,2,3,4}, Jorge Amador A.^{2,3,4} y Ricardo Soto^{1,5}

¹Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR); ²Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI); ³Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria; ⁴Escuela de Física; ⁵Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Tel: (506) 207-5320. Fax: (506) 234-2703. Correo electrónico: olizano@cariari.ucr.ac.cr

(Recibido 9-II-2000. Corregido 6-X-2000. Aceptado 7-II-2001)

Abstract: Satellite images were used to study the mangrove distribution patterns in two different climatic regions of Central America: Gulf of Fonseca in Honduras-El Salvador and Sierpe-Térraba in Costa Rica. The Gulf of Fonseca has higher temperature and solar radiation, and lower precipitation, which can explain the higher structural development and species mixing of the Sierpe-Térraba mangrove. In the latter the transition between species or between heights in the same species is clear. The automatic classification made by the Geographic Information System (IDRISI) fits well the field mangrove distribution, but it was necessary to regroup some subdivisions that represent the same land use as identified by transects and an aerial video. Mixed species and clouds produced less satisfactory results in Sierpe-Térraba indicating a need for better satellite image resolution.

Key words: mangrove, remote sensing, climate variability, Golfo de Fonseca, Sierpe-Térraba, Costa Rica, El Salvador.

Las comunidades del mangle en Centro América han sido poco estudiadas. Según Soto y Jiménez (1982), Weyl (1953) describió someramente las comunidades de mangle en la costa de El Salvador. También West (1977) menciona zonación y desarrollo estructural de las comunidades de mangle en Centro América. Godoy (1980) estudió la distribución y composición de un manglar en la costa Pacífica de Guatemala. Otros trabajos que describen los manglares centroamericanos son los de Castro (1989), Anónimo (1989) y Jiménez (1990).

La mayor parte de estos estudios han dado poca atención a la relación entre el desarrollo estructural de las comunidades y los factores ambientales (Soto y Jiménez 1982, Soto y Corrales 1987). Pocos estudios se han realizado hasta el momento que permitan seguir la variación temporal de la cobertura de los

manglares en la región. Salazar de Jurado y Guillén (1995) utilizaron imágenes Landsat-TM para estimar áreas de manglar en El Salvador utilizando una serie temporal. La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo realizó recientemente un estudio para diagnosticar el estado de los recursos naturales y socio-económicos del Golfo de Fonseca (Anónimo 1998). Muy pocos trabajos se han realizado en Centroamérica utilizando sensores remotos que estudien los diferentes tipos de mangle en una región y la relación que tiene su distribución con los parámetros ambientales.

Los países centroamericanos han establecido políticas sobre preservación y utilización de las regiones de manglar. Sin embargo, el mangle lo siguen extrayendo y destruyendo para la construcción de salinas y camaroneras (Terchunian *et al.* 1986), o para el desarrollo de

CUADRO 1

Estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio

Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud m.s.n.m.	Localización	Período			DF
					P	T	BS	
La Unión	13.20	-87.50	20	GF	1970-1993	1970-1993	1970-1993	3.4
Marcovia	13.17	-87.18	10	GF	1972-1991			1.2
Choluteca	13.14	-87.09	39	GF	1963-1994	1964-1994		3.9
Bolivia	09.11	-83.38	950	ST	1970-1985			0.5
Palmar Sur	09.57	-83.27	16	ST	1941-1991	1961-1993		1.1
Coto 47	08.36	-82.59	8	ST	1950-1994	1984-1994	1984-1994	8.1

DF: % de datos faltantes, P: precipitación, T: temperatura, BS: brillo solar, GF: Golfo de Fonseca, ST: Sierpe-Térraba, m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar.

proyectos turísticos en la costa (Mata y Blanco 1994). Por otro lado, el desarrollo urbano e industrial en ciertas zonas está causando mayores tensores ambientales con las descargas de contaminantes, que influyen directamente o indirectamente en las comunidades del manglar y sus comunidades asociadas, y por ende, en la productividad de las aguas de sus regiones. El crecimiento de la población, los cambios en los usos de las tierras adyacentes a los humedales, son las principales responsables del deterioro de estos ambientes (Tabilo-Valdivieso 1997).

Las imágenes de satélite permiten monitorear la variación espacial y temporal de las zonas de mangle y estudiar los diferentes estados de crecimiento de una misma especie de mangle. El muestreo supervisado (muestreo de campo en un tiempo reciente de la toma de la imagen) permite clasificar la imagen completa, de manera que representa el método más económico y de mayor cobertura para mantener un inventario del estado de las comunidades de mangle, como lo demuestran los trabajos de Bartlett y Klemas (1980), Klemas (1981, 1990), Terchunian *et al.* (1986), Hardisky *et al.* (1983), entre otros.

En este artículo se utilizan imágenes de satélite para caracterizar dos manglares en Centroamérica: Golfo de Fonseca (Honduras-El Salvador) y Sierpe-Térraba (Costa Rica). Situados ambos en regiones climáticas distintas, poseen patrones de distribución espacial propios, que pueden ser determinados con tecnología satelital, y cuyas diferencias se pueden relacionar a los parámetros ambientales analizados en este trabajo.

MATERIALES Y METODOS

Datos meteorológicos: El método utilizado para analizar las estaciones meteorológicas es una mezcla de análisis exploratorio de datos (Graedel y Kleiner 1985) con un estricto control de calidad de la información en donde los valores extremos o sospechosos, o los físicamente muy poco probables, fueron eliminados. En este trabajo solo se presentan resultados para los análisis climatológicos de la precipitación en 3 estaciones del Golfo de Fonseca (de 8 consideradas) y 3 de Sierpe-Térraba (de 6 consideradas) (Fig. 1). El análisis se complementa con temperatura y brillo solar para algunas de estas estaciones en cada una de las zonas de manglares. El Cuadro 1, integra las características de las estaciones, los parámetros utilizados y los períodos usados para el análisis.

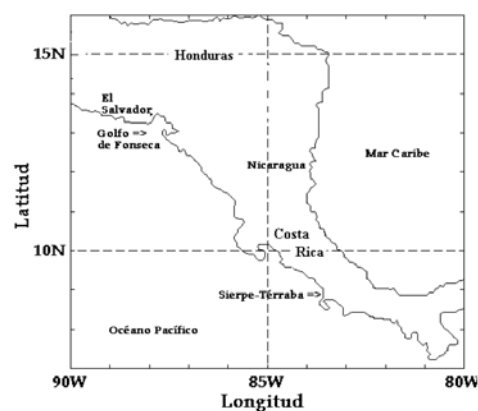


Fig. 1. Localización de las zonas de manglar utilizadas en este estudio, Golfo de Fonseca (Honduras-El Salvador) y Sierpe-Térraba (Costa Rica).

La imagen Spot-2 del Golfo de Fonseca, Honduras: Es una imagen multispectral de 1990 (Cuadro 2, Cambell 1987).

CUADRO 2

*Características del radiómetro de los satélites
Multiespectrales Spot y Lansat TM*

Longitudes de onda (μm)		
Spot-2	Lansat TM	Tipo de radiación
Banda 1: 0.50 - 0.59	Banda 1: 0.45 - 0.52	violeta-azul
Banda 2: 0.61 - 0.68	Banda 2: 0.52 - 0.60	verde
Banda 3: 0.79 - 0.89	Banda 3: 0.63 - 0.69	rojo
	Banda 4: 0.76 - 0.90	infrarrojo cercano
	Banda 5: 1.55 - 1.75	infrarrojo medio
	Banda 6: 10.40 - 12.50	infrarrojo lejano o térmico
	Banda 7: 2.08 - 2.35	infrarrojo medio

Ancho de barrido: Spot-2 60 km, Lansat TM 185 km
Resolución: Spot-2 20 m, Lansat TM 30 m

Los puntos de control fueron obtenidos de las hojas cartográficas (1:50 000) publicadas por el Instituto Geográfico Nacional de Honduras. Módulos del Sistema de Información Geográfica (SIG) y procesador de imágenes IDRISI para Windows, versión 1.0, fueron utilizados para georeferenciar la imagen.

La imagen original, en formato bite-binario, constaba de 3 470 filas y 5 400 columnas. Fue recortada a 2 238 filas y 1 162 columnas, seleccionando la porción de manglar que se identificaba de la imagen. Para ello se utilizó el programa Rowmajor del paquete de procesamiento de imágenes ANIMA (Amador *et al.* 1993) del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI). Luego fue procesada bajo el ambiente de IDRISI para Windows, con el cual se realizó todo el análisis de la imagen. Utilizando las 3 bandas xs1, xs2 y xs3 de la imagen Spot-2 se generó una imagen compuesta. Los sitios de entrenamiento fueron seleccionados alrededor de áreas accesibles por carretera o caminos. Como los límites de la región de manglar son claramente distinguibles con respecto al agua y tierra, se digitalizaron los bordes de esta vegetación, y con los valores espectrales correspondientes al agua, se construyó una máscara para realzar la vegetación de manglar exclusivamente. La imagen resultante fue clasificada utilizando los módulos de IDRISI.

Las imágenes de Sierpe-Térraba: Originalmente se utilizó una imagen Lansat TM (Cuadro 2) de 1987 que cubría la Península de Osa la cual fue georeferenciada y clasificada automáticamente con el paquete IDRISI. Luego de una primera visita de campo, se hizo necesario revisar una imagen más reciente. Utilizando una imagen de satélite Lansat TM de 1994, se construyó una imagen compuesta con los canales 2, 3 y 4, y se clasificó con el paquete IDRISI para diferenciar unidades vegetativas en la región del manglar. Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando las bandas 1, 2 y 3 del satélite Lansat TM, fue necesario aplicar para distinguir los límites del manglar. Con la primera componente del ACP se digitalizaron los bordes del manglar y se construyó una máscara para realzar el manglar solamente.

Las posiciones en coordenadas de latitud y longitud fueron obtenidas con un posicionador de satélite (GPS) para identificar los transectos realizados en las distintas zonas de la región.

RESULTADOS

Análisis Climatológico Básico

Golfo de Fonseca

Precipitación: Todas las estaciones utilizadas en el análisis (Fig. 2) muestran una distribución bimodal de la precipitación con un máximo relativo en junio y un máximo absoluto en setiembre. noviembre y abril son meses de transición del período lluvioso al seco y del seco al lluvioso, respectivamente. El período prácticamente seco tiene una duración de 4 meses y se extiende desde diciembre a marzo. En julio principalmente, la precipitación disminuye de forma marcada estableciendo el período denominado veranillo o canícula. (Magaña *et al.*, 1999).

Los valores medios para los totales anuales de precipitación varían alrededor de 1 000 mm por año o poco más en las zonas adyacentes más altas al este del Golfo y aumenta hacia las zonas costeras del mismo a valores cercanos a los 1 800 mm anuales.

Por los análisis realizados para otras estaciones en las cuencas principales de los ríos que desembocan en el Golfo (Río Goascorán,

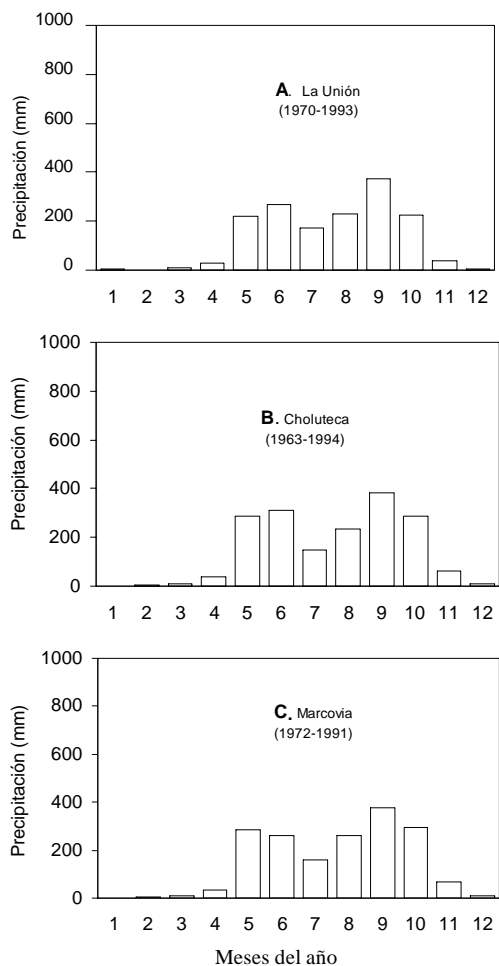


Fig. 2. Precipitación media mensual en las estaciones del Golfo de Fonseca. A. La Unión. B. Choluteca. C. Marcovia.

Río Nacaome y Río Grande de Choluteca) se puede indicar que en estas cuencas en general los valores medios anuales de precipitación no sobrepasan los 1 800-2 000 mm por año y en general la precipitación anual disminuye hacia las tierras más altas cercanas a las cadenas montañosas en el centro de Honduras.

La implicación de esta distribución especial de la precipitación en los alrededores del Golfo de Fonseca es que una buena estimación del agua dulce disponible en las zonas costeras no sobrepasa el equivalente de 2 000 mm anuales.

Temperatura: La temperatura media mensual (Fig. 3, arriba y centro) muestra una variación

máxima anual de 2-3 °C. Las temperaturas medias más altas se presentan en abril (cerca de 30 °C) y disminuyen a valores cercanos a 27-28 °C durante la época de máxima precipitación (setiembre).

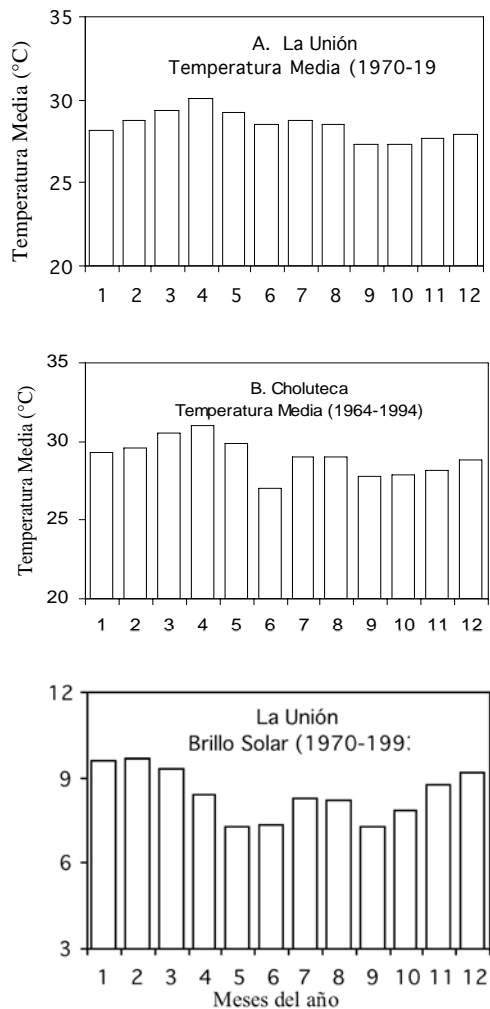


Fig. 3. Temperatura media mensual en las estaciones del Golfo de Fonseca. A. La Unión. B. Choluteca. C. Brillo solar en La Unión.

Brillo Solar: El máximo de horas de brillo solar se presenta en febrero y no coincide con el mes más seco que es enero (Fig. 3, abajo). Este máximo es ligeramente menor a las diez horas por día y en casi toda la región durante la época seca de diciembre a marzo las horas de brillo solar son en general mayores a 8.5 horas por día.

Como era de esperar, los mínimos de brillo solar (alrededor de 7 horas por día) se presentan en mayo, junio y setiembre, los meses con más precipitación. Durante el verano, el brillo solar aumenta a valores cercanos a las ocho horas diarias.

Sierpe-Térraba

Precipitación: La distribución estacional de la precipitación al norte (Estación Bolivia) de las zonas de manglares Sierpe-Térraba presenta indicios de una función bimodal al igual que en el Golfo de Fonseca (Fig. 4). Sin embargo hacia el este y sur (Estaciones de Palmar Sur y Coto 47), no se observan una forma definida de distribución y el verano es apenas perceptible o desaparece del todo. El mes más lluvioso es octubre y no se observa una época seca como en

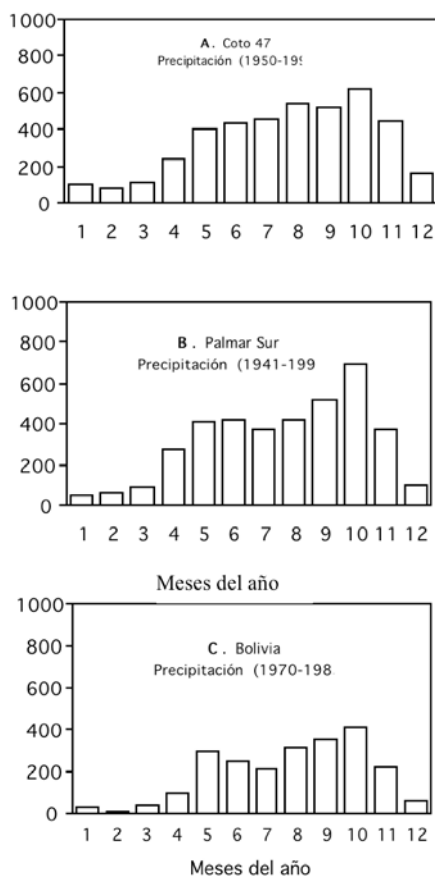


Fig. 4. Precipitación media mensual en las estaciones Sierpe-Térraba. A. Coto 47. B. Palmar Sur. C. Bolivia.

el caso del Golfo de Fonseca. El período menos lluvioso va de diciembre a marzo-abril, época en la que sin embargo la cantidad de lluvia total es al menos del orden de la mitad de la precipitación total anual de cualquier punto analizado en el Golfo de Fonseca. El período con más lluvia se extiende por cerca de 7 meses (mayo a noviembre) y la cantidad total de cualquier par de meses de este período es del mismo orden del total anual en el Golfo de Fonseca. Los totales anuales medios de precipitación aumentan desde las regiones al norte del manglar hacia las áreas al este y sur del mismo. Estos valores van desde alrededor de 2 500 mm anuales al norte hasta valores cercanos a 3 500-4 000 mm en el manglar y 5 000 o más al sur del mismo. Es importante recalcar la gran diferencia en la disponibilidad de agua dulce entre los manglares del Golfo de Fonseca y la región de Sierpe-Térraba, siendo la de esta última, aproximadamente, el doble o más que la de la primera zona.

Temperatura: La temperatura media mensual de la zona de Sierpe (Fig. 5, arriba y centro) presenta un rango menor que la del Golfo de Fonseca y oscila alrededor de los 27 °C. No se observan diferencias importantes de la temperatura media entre los meses más lluviosos y los menos lluviosos. Los meses de marzo-abril son ligeramente más cálidos que los otros meses del año.

Brillo Solar: Se observa una notable diferencia en las horas de brillo solar (Fig. 5, abajo) y por ende en la cantidad de radiación solar directa recibida entre Sierpe y el Golfo de Fonseca. En Sierpe, los máximos se presentan en enero-febrero (los meses menos lluviosos) con valores de 8.5 - 9 horas por día pero en los meses más lluviosos las horas de brillo solar decrecen a valores ligeramente mayores a 4 horas por día.

Imágenes de satélite

Golfo de Fonseca, Honduras-El Salvador: Los grupos de la clasificación automática son correlacionados con las distintas especies, crecimientos, cobertura, etc. del manglar. Estos grupos fueron examinados en giras de campo, en la

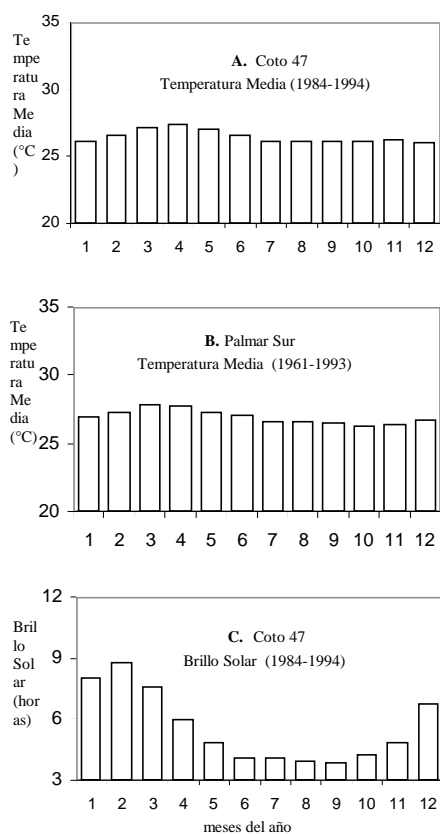


Fig. 5. Temperatura media mensual en las estaciones de Sierpe-Térraba. A. Coto 47. B. Palmar Sur. C. Brillo solar en Coto 47.

parte de Honduras, alrededor de la Bahía Chismuyo, donde se realizaron transectos en Punta Santa Elena, Isla Chocolate, en la zona fronteriza con El Salvador y en Puerto La Unión en El Salvador (recuadros en Fig. 6-b). El reagrupamiento final se muestra en la Fig. 6-b, donde se presentan los grupos o clusters que tienen patrones claramente identificables y que correspondieron a distintas especies vegetativas. Estos grupos son mostrados en el Cuadro 3. Es de importancia recalcar que los grupos clasificados como “borde”, aunque sería de valor identificarlos, no representan el principal objetivo de este estudio. Son regiones, que aunque están mezcladas con especies de mangle, no representa una unidad o estructura única de mangle, y presenta una variedad y alteración humana.

Sierpe-Térraba, Costa Rica: Las especies de mangle en esta zona son muy mezcladas y no tan claramente diferenciadas como en la región del Golfo de Fonseca, Honduras. La clasificación automática de IDRISI de una imagen del 87 de esta región fue originalmente revisada en el campo. Como las observaciones preliminares no parecían concordar con esta clasificación, una imagen más reciente: 1994, fue adquirida y analizada con más muestreo de campo. Los grupos correspondientes a pastos o potreros y el helecho *Acrostichum aureum* correlacionaron mejor con las distribuciones creadas por la clasificación de IDRISI. Sin embargo, algunas agrupaciones aún presentaban cierta duda. Algunos patrones sólo se lograban forzando la clasificación con distintos números de grupos para emular las distribuciones observadas en el campo. Se descubrió además, que la existencia de nubes en la imagen saturaba los valores espectrales, y que esto obligaba a los módulos de IDRISI a una clasificación determinada bajo estas condiciones, y que no necesariamente reflejaba lo que en el campo se observaba. Se procedió a enmascarar los valores espectrales que correspondían a las nubes, teniendo cuidado de no alterar los valores restantes de la imagen, y que de seguro no correspondían a nubes, pero cuyo valor era similar. Se realizó una nueva imagen compuesta, que a simple vista cambió su respuesta espectral (Figs. 7 a y b). Se clasificó esta imagen nuevamente, y se obtuvo una distribución más acorde con las observaciones. Los patrones de esta imagen se compararon con la imagen TM de 1987 (que no tiene nubes), y muestran estructuras similares. Además, estas imágenes se compararon con una fotografía aérea tomada en 1992 alrededor de Sierpe, y los patrones son similares a los mostrados por la última clasificación de la imagen del 94. Utilizando la primera componente del ACP realizado a esta imagen (Fig. 8-a), con la cual se distingue claramente los límites del mangle, se digitalizó y se enmarcó la vegetación que no correspondía a mangle. Utilizando esta máscara se obtuvo la imagen clasificada que se muestra en la Fig. 8-b, como resultado de un reagrupamiento final, cuya clasificación se da en el Cuadro 4.

CUADRO 3

Grupos diferenciados del manglar en el Golfo de Fonseca

Grupo	Característica
1	Agua u otro: corresponde a zonas de agua u otra vegetación que no es manglar y que se han excluido del análisis. Area de cobertura 770.8 km ² .
2	R rac >6m: <i>Rhizophora racemosa</i> alto (alturas mayores de 6 metros) . Area de cobertura 105.3 km ² .
3	R/A/L <4m: <i>Rhizophora racemosa</i> forma enano mezclado con <i>Rhizophora mangle</i> , <i>Avicennia germinans</i> y <i>Laguncularia racemosa</i> (éstas dos últimas en pequeñas porciones, menor del 5%). La comunidad en general es menor de 4 metros. Area de cobertura 59.2 km ² .
4	A ger 1-4m: <i>Avicennia germinans</i> con alturas entre 1 y 4 metros. Area de cobertura 30.4 km ² .
5	A ger <1m: <i>Avicennia germinans</i> con alturas menores de 1 metro. Area de cobertura 6.7 km ² .
6	RoB: Este grupo puede representar parches de <i>Rhizophora mangle</i> puros, entre 6 y 7 metros, que se encuentran usualmente en los bordes del manglar que dan hacia el agua. Se encontró también que este mismo grupo puede representar a otro tipo de arboles altos (que no son mangle), y que se encuentra hacia el interior del manglar y que tiene una reflectancia igual que el mangle mas alto. Area de cobertura 7.3 km ² .
7	SDoBOR: suelo desnudo, lodazales o comunidades del borde. Se encuentra que la reflectancia de estos grupos son similares, por lo que se han agrupado. Las comunidades del borde han sido alteradas por el hombre y usualmente se presentan en ellas regiones de lodo, pastos y mangle. En algunas regiones visitadas en Llano Largo (frontera con El Salvador) se identificó una zona del borde con una cobertura del 90% de <i>Conocarpus erectus</i> , y el restante 10% a <i>Avicennia germinans</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Prosopis juliflora</i> ; sin embargo, esta estructura varía para otras regiones. Se encontró <i>Avicennia bicolor</i> en algunas zonas de éstas regiones. En otros se encontró una cobertura en 95% de <i>Avicennia germinans</i> enano (<50 cm), copa ancha y plana, y el 5% restante, en <i>Conocarpus erectus</i> enano y <i>Laguncularia racemosa</i> enano . Todos estos dispersos entre lodo. Pero de nuevo, esta es una zona de bastante alteración humana. Area de cobertura 22.4 km ² .
8	A ger <50cm: <i>Avicennia germinans</i> con alturas menores de 50 centímetros y muy dispersos entre suelo descubierto. Area de cobertura 13.0 km ² .

CUADRO 4

Grupos diferenciados del manglar en Sierpe-Térraba, Costa Rica

Grupo	Característica
1	Agua u otro: corresponde a zonas de agua u otra vegetación que no es manglar y que las hemos excluido del análisis. Area de cobertura: 658.3 km ² .
2	P/R: <i>Pelliciera rhizophorae</i> (70%) mezclado con <i>Rhizophora racemosa</i> (30%). Arboles entre 8 y 12 metros. Usualmente domina hacia el borde del agua. Area de cobertura: 58.4 km ² .
3	R/P: <i>Rhizophora racemosa</i> dominante (70%) mezclado con <i>Pelliciera rhizophorae</i> (30%) Arboles entre 8 y 10 metros. Situados usualmente detrás del grupo 2, hacia el interior del manglar. Area de cobertura: 33.7 km ² .
4	Helecho: <i>Acrostichum aureum</i> . Area de cobertura: 35.3 km ² .
5	R: <i>Rhizophora racemosa</i> , parches puros. Area de cobertura: 12.3 km ² .
6	Potrero o pastos: zona donde probablemente se ha sustituido el mangle por este uso de la tierra. Area de cobertura: 13.3 km ² .
7	PA/R: <i>Pelliciera rhizophorae</i> alto (80%), árboles con alturas mayores de 12 m, mezclados con <i>Rhizophora racemosa</i> (20%). Area de cobertura: 6.4 km ² .

DISCUSION

Los regímenes climáticos juegan un papel importante en las distintas distribuciones, alturas y porcentaje de mezcla entre las especies de mangle en las regiones estudiadas, tal y como también ha sido mencionado por Jiménez (1990)

para estos manglares de Centroamérica o por Soto y Corrales (1987) para los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica. Las variables climáticas que se analizan en este trabajo de las regiones de manglar muestran claramente que la región del Golfo de Fonseca en Honduras-El Salvador es más seca, con menor aporte de agua

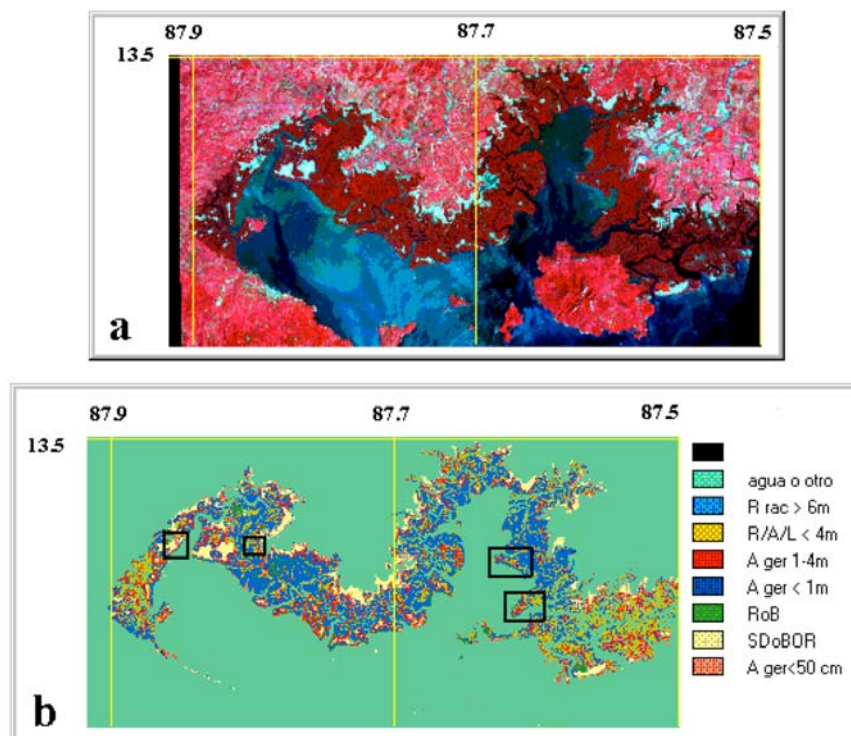


Fig. 6. Imágenes de satélite Spot-2 del Golfo de Fonseca. A. Imagen compuesta. B. Clasificación de la región del manglar. R rac: *Rhizophora racemosa*, R/A/L: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, A ger: *Avicennia germinans*, RoB: *Rhizophora mangle* o bosque, SDoBOR: Suelo desnudo o borde.

dulce y más irradiada que la región de Sierpe-Térraba en Costa Rica. El análisis de la respuesta biológica del manglar ante estos parámetros, explica las distribuciones y el desarrollo estructural que hemos encontrado, siendo el manglar del Golfo de Fonseca menos desarrollado que el de Sierpe-Térraba, y en donde el medio más salino influencia los procesos fisiológicos del manglar, estableciendo una distribución espacial (Soto y Jiménez 1982) bien distinguible en las especies (o mezcla de especies) presentes. Mientras que bajo regímenes menos variables, como en Sierpe-Térraba, donde no se observa una época seca, con una precipitación para los meses menos lluviosos del orden de magnitud del total anual en el Golfo de Fonseca, con un aporte de agua dulce del doble o más, la mezcla entre especies es mucho mayor y se hace difícil hablar de unidades vegetativas, como también lo menciona Asch y Solano (1991). Correlacionado a estas condiciones climáticas y distribuciones espaciales de especies de mangle, la utilización

de imágenes de satélite se hace más eficaz para caracterizar la vegetación costera en ambientes climáticos más variables, como en el Golfo de Fonseca, que para regiones menos variables, como en Sierpe-Térraba. Adicionalmente, la resolución o tamaño de pixel de la imagen de satélite utilizada, puede ser importante al caracterizar vegetación costera, donde como en el caso de Sierpe-Térraba, una mayor resolución podría limitar mejor las distintas unidades vegetativas en la zona. Es necesario asociar grupos a porcentajes de las especies involucradas, donde en los transectos se determinen densidades y/o otras características de las especies encontradas a lo largo del manglar. El análisis además, deberá extenderse a otras zonas no revisadas en este estudio, donde hay otras especies de mangle presentes, como reportan Ash y Solano (1991) y Mainardi (1996). El uso de sensores remotos en estas regiones requiere de un cuidadoso método de clasificación con observaciones de campo.

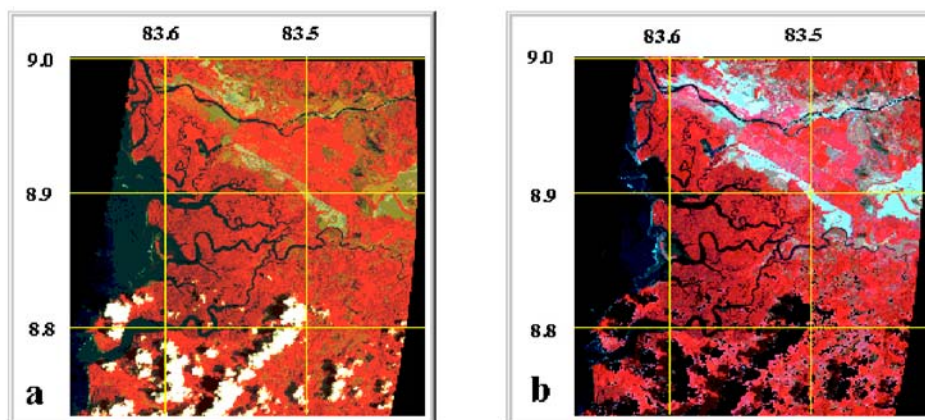


Fig. 7. Imágenes de satélite Lansat TM de Sierpe-Térraba. A. Imagen compuesta con nubes. B. Imagen compuesta sin nubes.

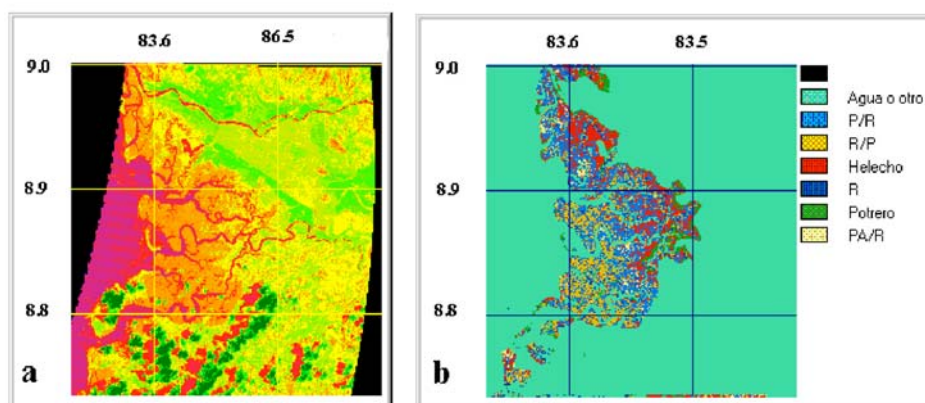


Fig. 8. A. Imagen con la componente 1 del ACP. B. Clasificación de la región de manglar de Sierpe-Térraba. P/R: : *Pelliciera rhizophorae* y *Rhizophora racemosa*, R/P: *Rhizophora racemosa* y *Pelliciera rhizophorae*, R: *Rhizophora racemosa*, PA/R: *Pelliciera rhizophorae* alto y *Rhizophora racemosa*.

Este método de clasificación representa una herramienta muy valiosa para mantener un inventario de la distribución espacial y temporal de las zonas de manglar (Klemas 1981) que los organismos gubernamentales podrían utilizar para proteger este recurso tan importante para la productividad marina, y de la cual depende una gran cantidad de los pobladores de nuestras costas.

RESUMEN

Se utilizaron imágenes de satélite para estudiar los patrones de distribución del manglar en dos regiones climáticamente distintas en

Centroamérica: el Golfo de Fonseca en Honduras-El Salvador y Sierpe-Térraba en Costa Rica. El Golfo de Fonseca tiene una mayor temperatura y radiación y una menor precipitación, lo cual explican el mayor desarrollo estructural del manglar de Sierpe-Térraba. En el anterior, la transición entre especies, o entre alturas de una misma especie, es clara. La clasificación automática realizada con el Sistema de Información Geográfica IDRISI ajusta bien con la distribución observada del manglar. Solo fue necesario reagrupar subdivisiones que representaban el mismo uso de suelo, tal como se identifica en transectos y en un vídeo aéreo. La mezcla de

especies y la presencia de nubes produce resultados menos satisfactorios en Sierpe-Térraba, lo cual indica la necesidad de imágenes de satélite con mayor resolución.

REFERENCIAS

- Amador, J.A., Burgos, A., Soley, F.J., Serpas, G. & A. Vargas. 1993. Remote Sensing at the Centre for Geophysical Research, University of Costa Rica. *Int. J. Remote Sensing*, 14(12): 2391-2401.
- Anónimo. 1998. Proyecto Regional Conservación de los Ecosistemas Costeros del Golfo de Fonseca (PROGOLFO). Diagnóstico del Estado de los Recursos Naturales, Socioeconómicos e Institucionales de la Zona Costera. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. Área de Humedales y Zonas Costeras. UICN/ORMA. 73 p.
- Anónimo. 1989. Secretaría de Recursos Naturales (SRN). Los manglares de Honduras. Un sistema único y complejo. Secretaría de Recursos Naturales. Dirección de Recursos Naturales Renovables. Unidad de Promoción, Educación y Divulgación. Tegucigalpa, Honduras. 4 p.
- Asch, C. & O. Solano. 1991. Clasificación y perspectivas del manejo de los humedales de Térraba-Sierpe. Tesis. Escuela de Ciencias Geográficas. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Bartlett, D.S. & V. Klemas. 1980. Evaluation of remote sensing techniques for surveying coastal wetlands. CRS-2-80, College of Marine Studies, University of Delaware, Newark, Delaware.
- Campbell, J. B. 1987. Introduction to remote sensing. The Guilford Press. New York. 551 p.
- Castro, A. 1989. Informe general sobre los manglares de Panamá y su relación con la productividad pesquera. Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables. Dirección Nacional de Desarrollo Forestal. Departamento de Manejo de Bosques Naturales. 7 p.
- Godoy, J. C. 1980. Distribución, composición florística y análisis estructural del manglar de las Lisas. Tesis de Grado, Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Graedel, E. & B. Kleiner. 1985. Exploratory analysis of atmospheric data. In Murphy, A.H. & R. K. Kats (eds). Probability statistics and decision making in the atmospheric sciences. West View Press. London. 545 p.
- Hardisky, M. A., V. Klemas & F. C. Daiber. 1983. Remote sensing salt marsh, biomass and stress detection. *Adv. Space Res.* 2(8): 219-229.
- Jiménez, J. A. 1990. The structure and function of dry weather mangroves on the Pacific coast of Central America with emphasis on *Avicennia bicolor* forests. *Estuaries*. 13(2): 182-192.
- Klemas, V. 1990. Remote sensing of physical, and biological properties of coastal waters, estuaries and wetlands. Resumen presentado en la Conferencia Espacial de las Américas. San José, Costa Rica.
- Klemas, V. 1981. Technology transfer to developing countries: future use of remote sensing in biological marine resource development. CRS-1-82. College of Marine Studies, University of Delaware. Newark, Delaware.
- Mainardi, V. 1996. El Manglar de Térraba-Sierpe en Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico No. 284. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 91 p.
- Magaña, V., J. A. Amador & S. Medina. 1999. The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate*. 12: 1577-1588.
- Mata, A. & O. Blanco. 1994. La cuenca del Golfo de Nicoya, un reto al desarrollo sostenible. Universidad de Costa Rica. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San José, Costa Rica. 235 p.
- Salazar de Jurado, M. & R. Guillén. 1995. Estimación de las áreas de manglares en los principales bosques salados de El Salvador, mediante el uso de teledetección satelital para 1987-88 y 1994. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). El Salvador. 18 p.
- Soto, R. & J. A. Jiménez. 1982. Análisis fisonómico estructural del manglar de Puerto Soley, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 30(2): 161-168.
- Soto, R. & L. F. Corrales. 1987. Variaciones de algunas características foliares de *Avicennia germinans* (L.) L. (Avicenniaceae) en un gradiente climático y de salinidad. *Rev. Biol. Trop.* 35(2): 277-285.
- Tabilo-Valdivieso, E. 1997. El Beneficio de los Humedales en América Central: el potencial de los humedales para el desarrollo. Elier Tabilo-Valdivieso. San José, Costa Rica. 48 p.
- Terchunian A., V. Klemas, A. Segovi, A. Alvarez, B. Vasconez & L. Guerrero. 1986. Mangrove mapping in Ecuador: the impact of shrimp pond construction. *Environ. Management.*, 10(3): 345-350.
- West, R. C. 1977. Tidal salt-march and mangle formations of Middle and South America. In Capman, V. J. (ed.). *West Coastal Ecosystems*. Elsevier Scientific Publishing Company. N. Y. 428 p.
- Weyl, R. 1953. In des Mangroves, El Salvador. *Natur. Volk.* 83: 120-130.