

ECOLOGIA DEL MANGLAR EN UNA ZONA ARIDA: EXPOSICION  
AL OLEAJE Y ESTRUCTURA DEL MANGLAR  
GILBERTO CINTRÓN, CARLOS GOENAGA y JOSÉ GONZÁLES-LIBOY  
Departamento de Recursos Naturales, Area de Investigaciones Científicas, San Juan  
Estado Libre Asociado de Puerto Rico

SYNOPSIS

Observations in a mangrove lined coast in south-western Puerto Rico (rainfall 800-1,000 mm; evaporation 1,900-2,200 mm; mean annual temperature 25°C; and average tidal range 0.3 m) have shown that the degree of structural development of the mangrove forest is closely related to wave exposure. In exposed coastal segments, sand berms formed by wave action within the outer fringe prevent water flow towards the inner forest, resulting in high salinities. The berms are higher in areas where the outer mangrove fringe has been destroyed by storms or other causes. Dead mangrove stands are found behind these areas and salinities reach 75-80‰. We suggest that the mangrove fringe contributes to dissipate wave energy over a broad area which reduces the high of the berm. The presence of absence of "blowholes" in the seagrass (*Thalassia*) bed is an index of the degree of protection that the coast receives. The "thickness" of the mangrove fringe is also related to the degree of shelter: it is "thin" in high energy segments, "thick" in coastal segments subject to intermediate energy and "thin" again in the most sheltered locations. In the outlying cays mangrove development follows a similar pattern: the outer exposed cays (essentially coral islands mantled by coarse sands) are devoid of mangrove cover or have stunted trees (generally *Laguncularia*; canopy height, 2 m). Islands which are less exposed are colonized by *Rhizophora* which frequently forms overwashed forests (canopy height, 8-9 m). In the most sheltered areas, *Rhizophora* colonizes the shallow banks, forming islands which soon develop an inner hypersaline lagoon due to the accumulation of material in the outer edges and the accumulation of salt in the interior. The wave energy level reaching a given section of the coast is therefore an important factor which determines the degree of structural development of the mangrove forest. High energy levels are associated with erosion, destruction or deposition of berms which affect mangrove development. Low energy levels, however, are associated with a rapid process of island maturation, aging and death due to rapid salt accumulation.

Introducción

Desde 1973 hemos tenido un interés especial en los manglares del Suroeste de Puerto Rico debido a un derrame de petróleo ocurrido allí (Zoe Colocotroni, 18 de marzo de 1973) y a la necesidad posterior de evaluar el impacto del petróleo en ese sistema. Los estudios que realizamos luego del derrame mostraron que las características y grado de desarrollo de estos manglares son muy diferentes a los de la costa norte (Lugo & Cintrón, 1975; Cintrón et al. 1975, 1978) donde prevalece un clima mucho más húmedo.

Debido a la aridez, alta evaporación y falta de escurrimiento, los bosques de cuenca de la región suroeste no están bien desarrollados. Sin embargo, la relativa protección de la costa por un sistema de arrecifes de coral permite el asentamiento del manglar en la misma orilla donde se desarrollan franjas extensas e islotes de manglar.

Como resultado de la discontinuidad de los arrecifes hay segmentos de la costa con poca o ninguna protección al embate del oleaje. Existe, además, un gradiente de exposición al oleaje como función de la distancia de los islotes de la costa.

Estas variables nos han permitido hacer observaciones relacionadas con el desarrollo del manglar en un ambiente árido sujeto a diferentes grados de exposición al oleaje. Se reúnen en adición observaciones relacionadas con la formación y desarrollo de islotes de manglar en la región.

Clima y Oleaje

En este estudio se reúnen observaciones hechas en la costa suroeste de Puerto Rico (Latitud 18° N) donde la precipitación anual fluctúa entre los 800 y 1000 mm y la evaporación entre los 1900 y 2200 mm. La temperatura media anual es de 25° C. El área cae dentro de la clasificación de: clima subtropical seco. Esta región no recibe aportes de escurrimiento excepto durante periodos inusitados de precipitación. La amplitud de la marea es pequeña con un promedio de 0.3 m.

La dirección dominante del oleaje es del este (46% del tiempo) ya que la región está protegida por el norte por la masa insular. Los periodos cortos ( $\leq 5$  segundos) predominan el 20% del tiempo, los moderados (6-9 segundos) 22% y los largos ( $> 9$  segundos) el 4%. El oleaje de esta dirección es difractado y refractado al aproximarse a la costa. Olas del sureste ocurren el 9% del tiempo (6% = 5 seg, 3% 6-9 seg) y del sur un 5% (4% = 5 seg, 1% 6-9 seg) (U.S. Naval Oceanog. Off., 1962).

Los periodos de calma ocurren menos del 1% del tiempo debido a la regularidad de los vientos alisios. Olas entre 2.4 y 3.7 m ocurren menos del 3% del tiempo. Los oleajes fuertes frecuentemente están asociados con los huracanes que atraviesan la región, los cuales pueden generar olas con periodos de 10 segundos y alturas de 3.7 m (U.S. Naval Oceanographic Off., 1958). Luego de ser refractado y difractado por los arrecifes el oleaje en el inte-

rior de la plataforma es menor de 0.3 m.

Para propósitos de la investigación, el área de estudio fue dividida en segmentos de acuerdo a la exposición al oleaje. Se emplearon tres criterios para la determinación del grado de exposición. Estos son:

- a) la orientación en relación al oleaje
- b) el resguardo ofrecido por arrecifes y en menor grado
- c) la distancia al borde la plataforma insular. Los segmentos son como sigue (Véase Fig. 1):
  - 1) Segmentos Protegidos
    - i) Bahía Salinas (franja)
    - ii) Pitahaya (franja)
  - 2) Segmentos Moderadamente Expuestos
    - i) Islote de Caballo Blanco
    - ii) Islote de Enrique
    - iii) Bahía Sucia, este (franja)
  - 3) Segmentos Expuestos
    - i) Cayos exteriores de Laurel, Media Luna, Turumote, San Cristóbal

Bahía Salinas

Rodales de manglar protegidos ocurren en las márgenes de Bahía Salinas, cuya orientación es contraria a la dirección prevaleciente del oleaje. Aquí la plataforma insular es ancha (11 km) y oleajes del cuadrante suroeste ocurren con muy poca frecuencia.

Pitahaya

En esta área se encuentran los manglares más desarrollados de la región. Aquí el manglar alcanza un grosor de un kilómetro y se extiende por 6.5 km de costa. Este manglar se desarrolla al resguardo del Arrecife Margarita, un arrecife "banco-barrera" localizado a 1.5 km de la costa y paralelo a la misma.

Islotes de Caballo Blanco y Enrique

Sobre la plataforma insular existe un gradiente de exposición al oleaje donde la energía se disipa en dirección de la costa la cual está protegida por arrecifes y cayos (Fig. 2). Los islotes de la plataforma interior e intermedia tales como el Islote de Caballo Blanco y en menor grado Enrique, reciben protección de los arrecifes exteriores.

Bahía Sucia (este)

Bahía Sucia, aunque expuesta al oleaje proveniente del sureste, recibe su protección por su distancia desde el borde la plataforma (14 km en dirección al eje de la bahía) y por la reducción en profundidad de la plataforma. Un espolón del Arrecife Margarita se extiende hacia el oeste y da protección adicional a la bahía. Este espolón tiene una profundidad mínima de 7.3 m.

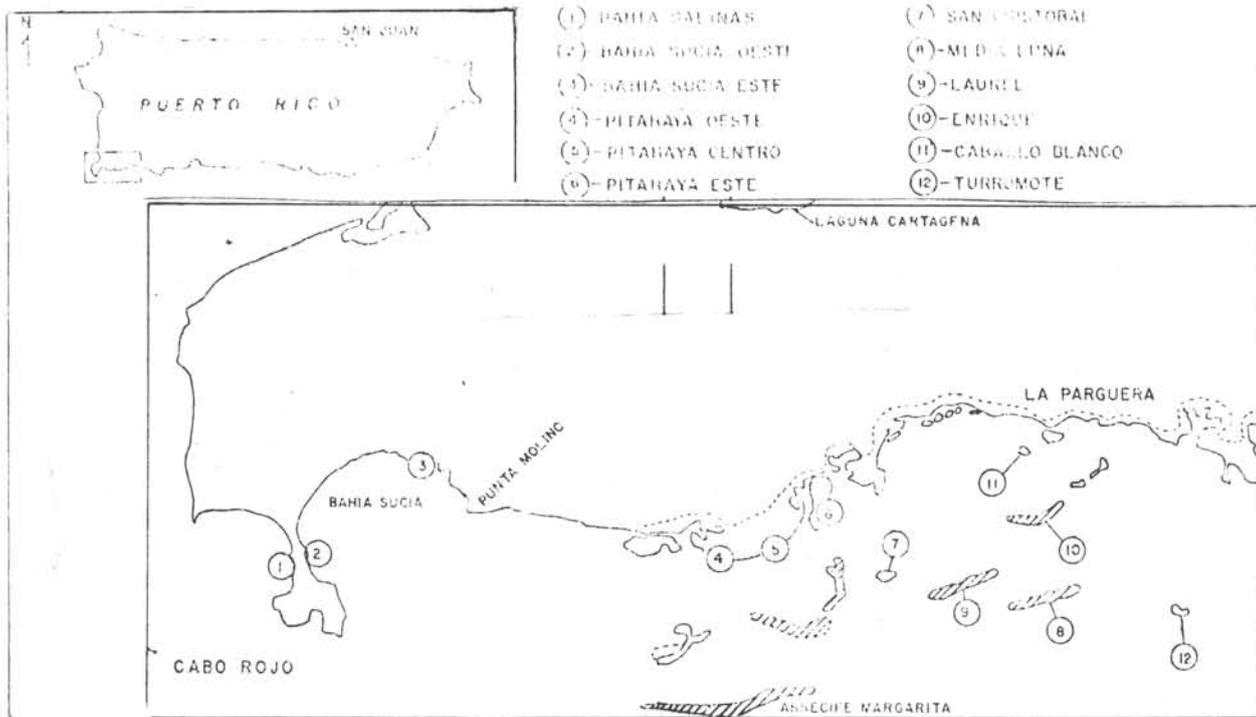


Fig. 1 - Mapa del área de estudio mostrando los lugares mencionados en el texto.

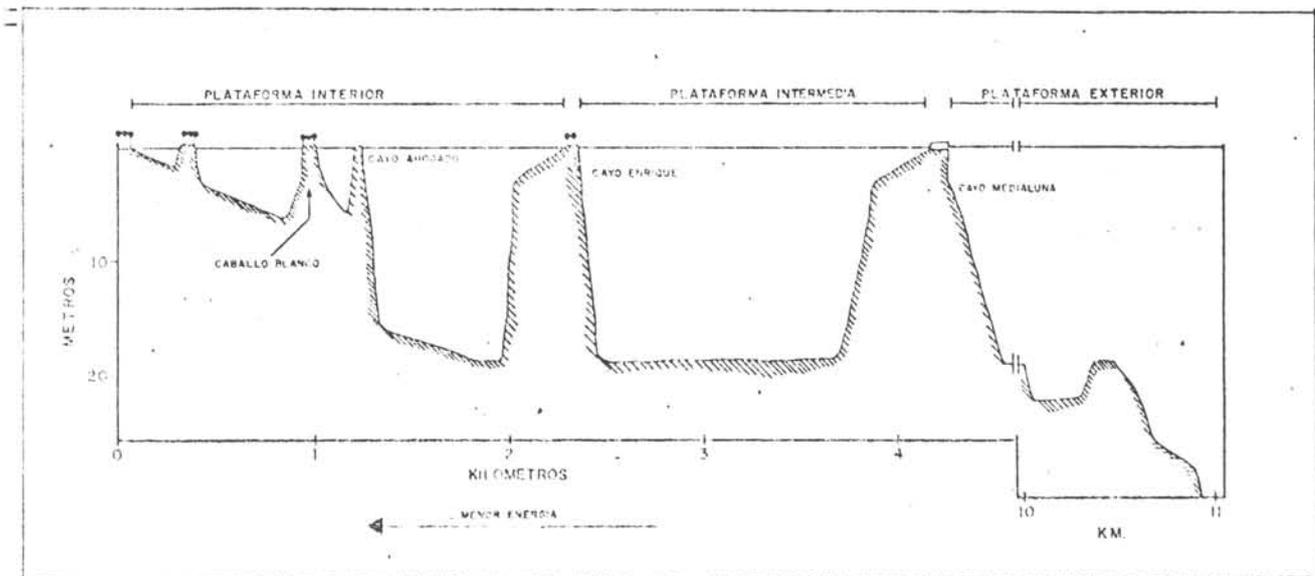


Fig. 2 - Esquema ilustrativo de los diferentes grados de exposición al oleaje en la plataforma insular del suroeste de Puerto Rico.

**Cayos Exteriores**

Estos islotes quedan expuestos al oleaje sin ninguna protección.

Otros segmentos de la costa quedan aún más protegidos por la fisiografía de la costa o por estar en la parte interna de los manglares (canales, lagunas). Bahía Montalva, hacia el este, es una de estas áreas y observaciones hechas allí previamente (Cintrón *et. al.* 1975; 1978) serán empleadas para suplementar este trabajo.

**Métodos**

Perfiles de nivelación a lo ancho de franjas, islas e islotes se hicieron empleando un nivel de precisión. A lo largo de estos perfiles se midió la salinidad superficial e intersticial empleando un refractómetro de mano. La salinidad intersticial se muestreó

introduciendo en el terreno un tubo cuyo extremo inferior es sellado pero con perforaciones a los lados. Luego de introducir el tubo en el suelo se succionaba el agua dentro del mismo y se dejaba llenar nuevamente. Dicho proceso se repetía hasta obtener salinidades estables. Esta técnica permitió el muestreo de la salinidad intersticial aun bajo la presencia de agua superficial. La profundidad de muestreo (de agua intersticial) fue aproximadamente 20 cm.

La altura de la vegetación se midió utilizando un medidor óptico de distancia. Los diámetros de los árboles (diámetro de la altura del pecho d.a.p.) se midieron en áreas seleccionadas a lo largo de los transectos, donde quedaron representados entre 30 y 50 diámetros tomados al azar en el espacio más próximo al punto seleccionado. La profundidad de la turba se midió perforando el terreno con una barrena de mano.

Se empleó la fotografía aérea disponible para la región (1936, 1951, 1963, 1971 y 1977) para evaluar cambios en las áreas de manglar y patrones de asentamiento.

Los datos de nivelación fueron referidos al plano de referencia que es el nivel medio de la marea baja (n.m.m.b.) o "mean low water". Para ese fin se emplearon las predicciones diarias de las tablas de marea (National Oceanic and Atmospheric Administration, 1978).

Los análisis granulométricos fueron hechos según la metodología de Folk (1974).

**RESULTADOS Y DISCUSION**

**Segmentos Protegidos: Franjas**

Los segmentos de costa más protegidos muestran un perfil de elevación gradual hacia el interior. Perfiles hechos en Bahía Salinas (Fig. 3) muestran la ausencia de obstrucciones al flujo. En estos rodales la altura de copa alcanza 18 m y los árboles tienen un diámetro grande (15 cm d.a.p.). Asimismo, la franja de árboles de mayor diámetro es ancha. El sustrato es turba con un grosor de un metro y que alcanza elevaciones de + 0.26 m a + 0.38 m sobre el nivel medio de la marea baja. La salinidad en la franja de manglar no excede de 45‰ (estas salinidades permanecieron estables durante el periodo de abril a agosto de 1978). La Figura 3 muestra como en Bahía Salinas la franja de *R. mangle* se extiende hasta los 50 metros. De 50 a 65 metros el bosque es mixto, conteniendo individuos de *Rhizophora*, *Laguncularia* y *Avicennia*. A los 70 metros un lomo de arena separa el manglar del salitral. Detrás de esta estructura las salinidades intersticiales aumentan rápidamente alcanzando 170‰ a pocos metros de distancia. En la parte trasera del salitral, las salinidades descienden

a valores de 60‰, dando a lugar una población de *Avicennia germinans*.

El sector protegido de Pitahaya (Figs. 4, 5 y 6) se caracteriza también por la ausencia de obstrucciones al flujo y por la anchura de la franja. El nivel del suelo aquí es de + 0.14 a + 0.28 sobre n.m.m.b. (Tab. I). En dos de estos perfiles (Figs. 4 y 5) se nota un descenso en la altura de copa a pesar de la leve variación en la salinidad del suelo a lo largo del perfil. Esta reducción está asociada con una reducción en el d.a.p. de la vegetación (Fig. 7). En el perfil central (Fig. 6) las salinidades son bajas (42‰) y estables hacia el interior y no hay diferencia significativa en el diámetro de los árboles hacia el interior (Fig. 7).

**Segmentos Moderadamente Expuestos: Islotes**

En la Figura 8 se muestra un perfil del Islote de Caballo Blanco, el cual hemos considerado como moderadamente expuesto. La altura de copa (10 m) es mayor que la de los islotes más protegidos antes descritos por Cintrón *et al.* (1978). Esos islotes apenas alcanzan alturas de copa mayores de cuatro metros.

La elevación del piso de este manglar es un poco menor que el promedio de los suelos de *R. mangle* (+0.10 m contra +0.26 m sobre n.m.m.b.) y los de las islas antes mencionadas (Montalva +0.18 m n.m.m.b.). La salinidad intersticial no excedió 48‰. No se halló variación en el diámetro de los árboles a lo ancho del perfil. El d.a.p. promedio fue de 14.9 cm.

El Arrecife de Enrique, en un lugar más expuesto, posee un manglar bien desarrollado con altura de copa de 8 a 9 m y

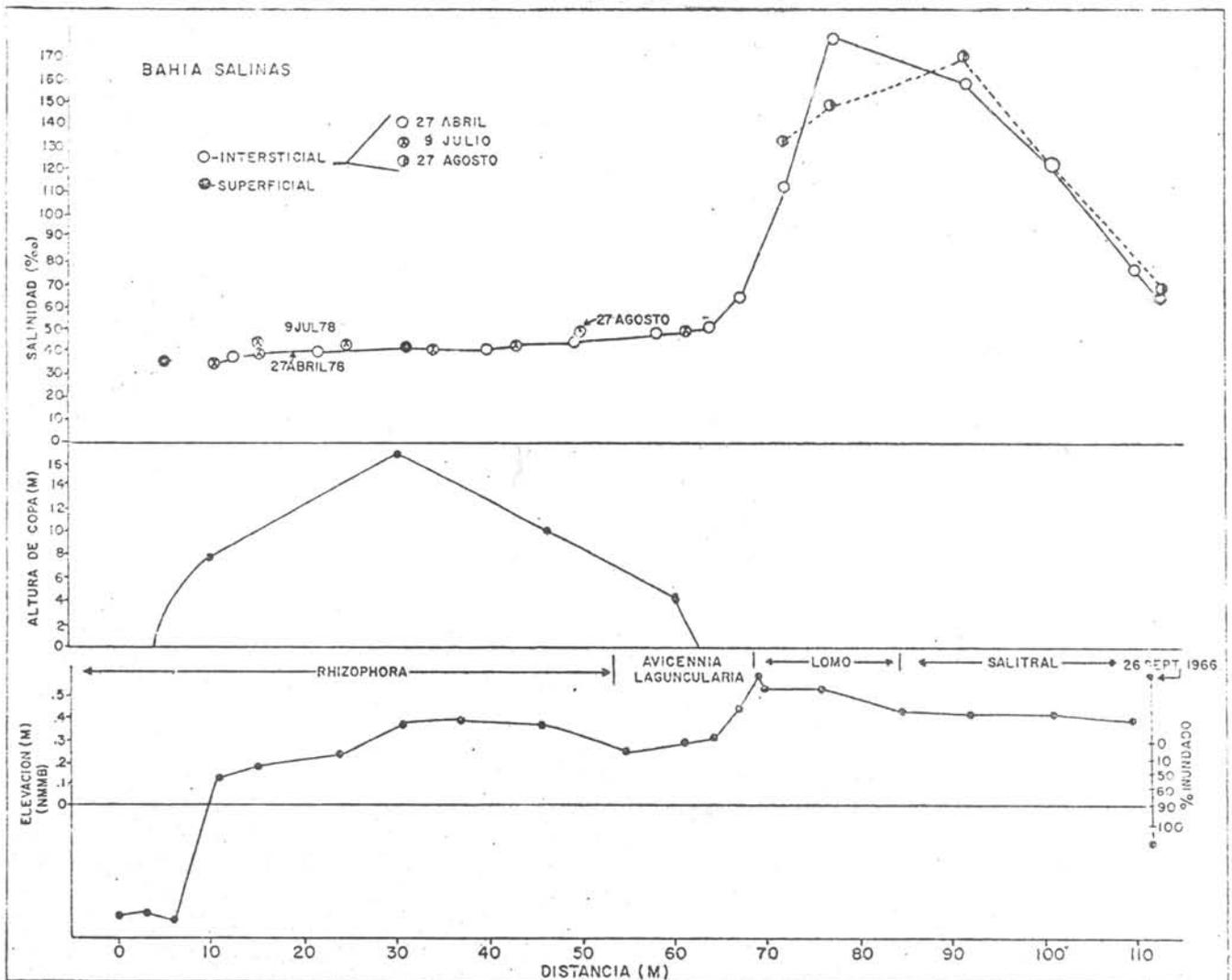


Fig. 3 - Variaciones de salinidad, altura de copa y elevación del terreno a lo largo de un transecto de 110 m en Bahía Salinas, Puerto Rico.

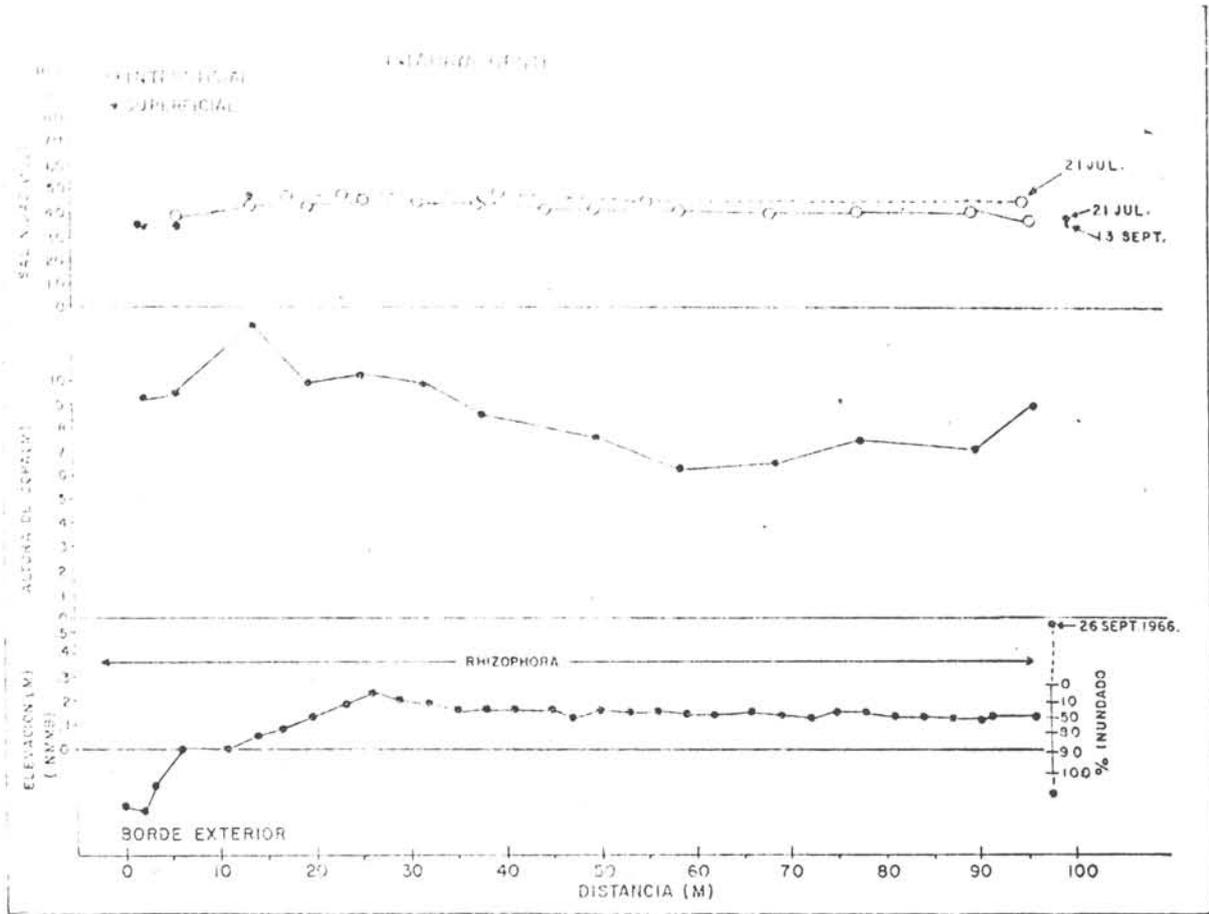


Fig. 4 - Variaciones de salinidad, altura de copa y elevación del terreno a lo largo de un transecto de 100 m en Pitahaya (oeste), Puerto Rico. La vegetación es exclusivamente *Rhizophora mangle*.

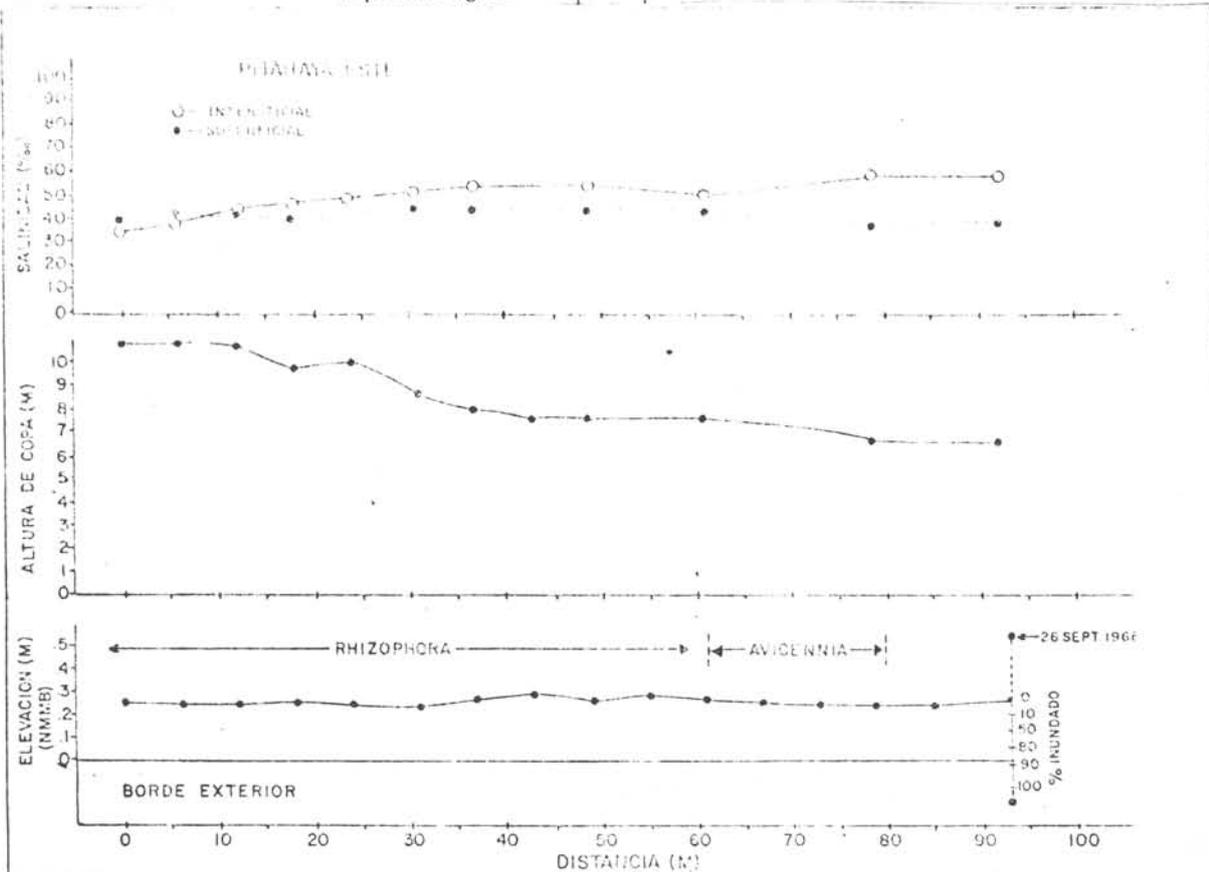


Fig. 5 - Variaciones de salinidad, altura de copa y elevación del terreno a lo largo de un transecto de 93 m en Pitahaya (este), Puerto Rico.

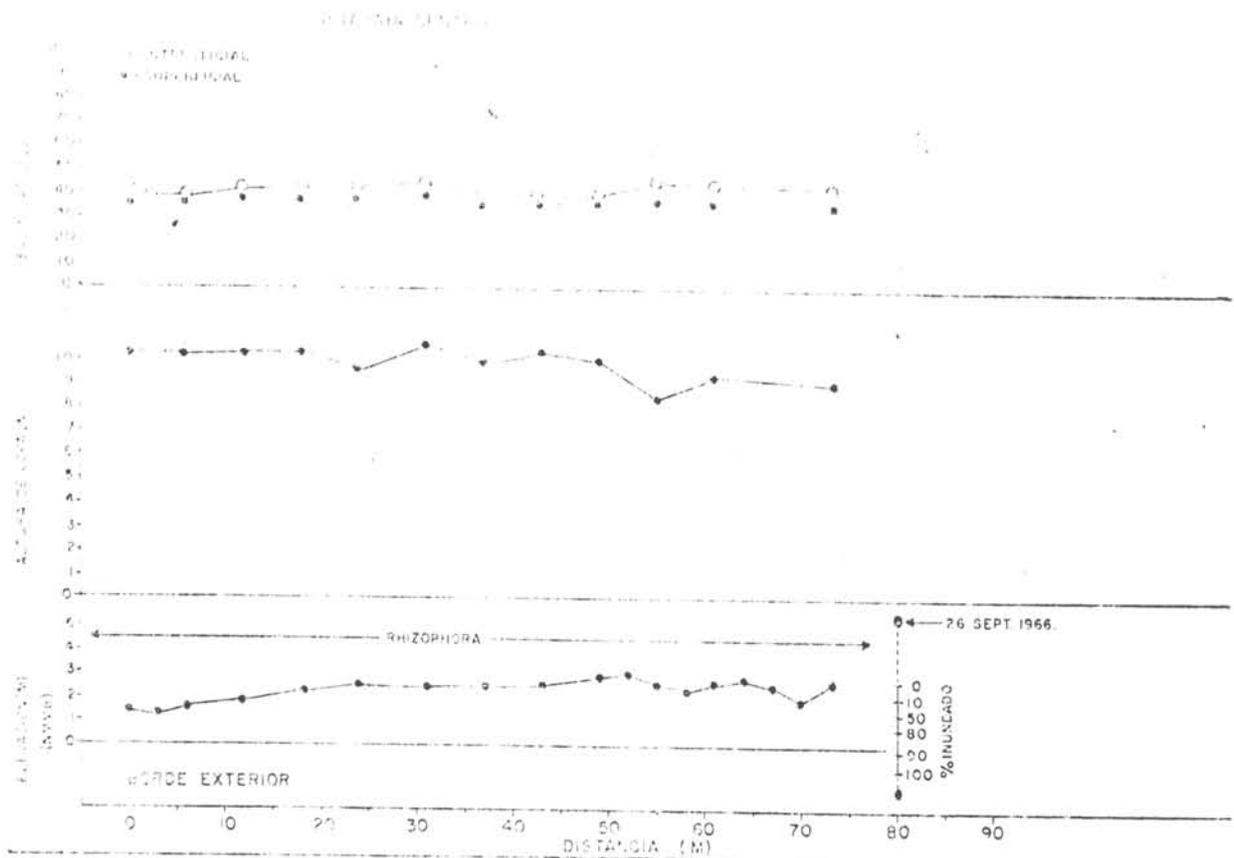


Fig. 6 - Variaciones de salinidad, altura de copa y elevación del terreno a lo largo de un transecto de 74 m en Pitahaya (centro), Puerto Rico.

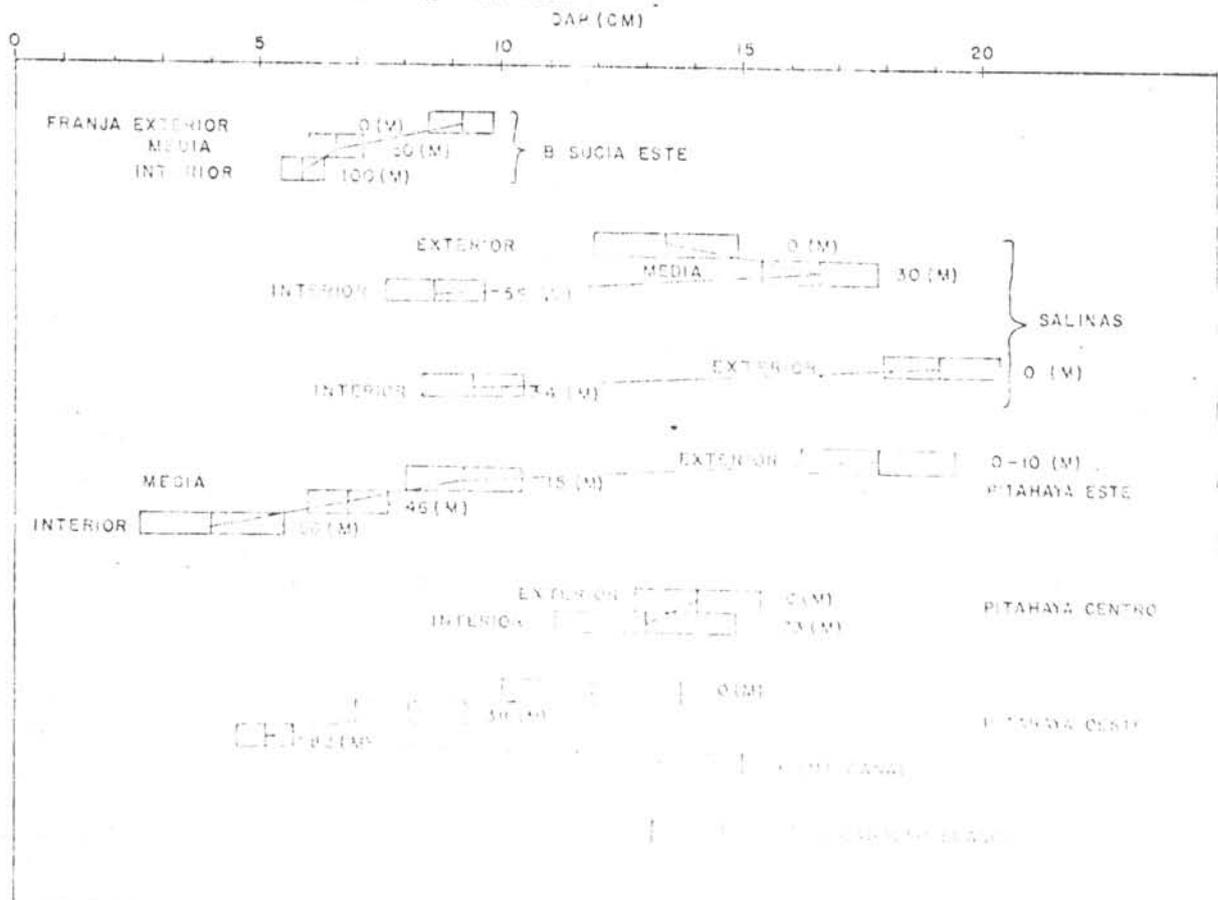


Fig. 7 - Relación de los diámetros a la altura del pecho (d.a.p.) en las diferentes áreas de estudio. Las barras unidas por una línea representan una misma franja. Las barras indican los límites de confianza y el promedio.

Tabla I. Características de elevación, salinidad intersticial y especies dominantes en las diferentes áreas de estudio. Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar del promedio.

Localización	Elevación (m) sobre nmmb		Salinidad Intersticial	Especie Dominante
	Máxima	Promedio	Máxima (‰)	
<b>Plataforma Exterior:</b>				
Turrumote	+1.25	+0.60	36	Lg (a)
Media Luna	+0.95	+0.60	37	Lg, Av, Rb (b)
Laurel	+0.40	+0.25	36	Lg (b)
Laurel	+0.70	+0.65	38	Lg (c)
San Cristóbal	+0.50	+0.20	37	Rh, Lg (b)
	$\bar{X} = 0.76 (.16)$	$\bar{X} = 0.46 (.10)$	$\bar{X} = 38$	
<b>Plataforma Intermedia e Interior:</b>				
Enrique	+0.70	- .15	36	Rh
Enrique	+0.25	- .10	36	Rh
Caballo Blanco	-	+ .10	48	Rh
	$\bar{X} = 0.48 (.18)$	$\bar{X} = - .05 (.08)$	$\bar{X} = 48$	
<b>Plataforma Interior:</b>				
Montalva #1	+0.27	+0.25	50	Rh
Montalva #3	+0.20	+0.15		Rh
Montalva #4	+0.18	+0.14		Rh
	$\bar{X} = 0.22 (.03)$	$\bar{X} = 0.18 (.03)$	$\bar{X} = 50$	
<b>Franjas:</b>				
Bahía Sucia	-	+0.25	45	Rh
Bahía Sucia	-	+0.26	40	Rh
Bahía Sucia	-	+0.27	48	Rh
Bahía Sucia (oeste)	-	+0.24	36	Rh
Bahía Salinas	-	+0.38	42	Rh
Bahía Salinas	-	+0.26	48	Rh
Pitahaya Este	-	+0.28	53	Rh
Pitahaya Centro	-	+0.24	46	Rh
Pitahaya Oeste	0.24	+0.14	48	Rh
St. Thomas U.S.V.I.	-	+0.24	36	Rh
	-	$\bar{X} = +0.26 (.02)$	$\bar{X} = 53$	

(a) Árboles con d.a.p. de 20 cm y copa de 6m.; (b) Árboles achaparrados, copa < 3 m.; (c) Árboles con d.a.p. de 12 cm y copa de 8 m.; Lg - *Laguncularia*; Av - *Avicennia*; Rh - *Rhizophora*

un d.a.p. de 14 cm. La elevación del piso fue la más baja registrada (de -0.10 m a -0.15 m por debajo del n.m.m.b.). La salinidad intersticial máxima anotada fue de 36‰, similar a la superficial de las aguas adyacentes. Al igual que en el islote anterior no se halló variación en el diámetro de los árboles.

#### Segmentos Moderadamente Expuestos: Franjas

Observaciones previas (Cintrón *et al.* 8, 1977) en el sector este de Bahía Sucia mostraron la presencia de un lomo constituido por acumulaciones de arenas calcáreas (principalmente placas de *Halimeda*) y hojas de *Thalassia* dentro de la franja externa del manglar. La altura del lomo varía entre 10 y 20 cm y causa fuertes gradientes de salinidad hacia el interior. La Figura 9 muestra la salinidad, altura de copa y elevación del terreno a lo largo de un transecto en el área de Bahía Sucia. Un aumento rápido en salinidad es evidente hacia el interior del manglar, donde se registran concentraciones de 60‰ en la franja de *Rhizophora mangle*. Estas altas salinidades están asociadas con una vegetación achaparrada (4 m) y con un gran número de árboles muertos. La parte exterior de la franja contiene los árboles de mayor tamaño (7 m). Similarmente, el d.a.p. disminuye hacia el interior, reduciéndose de 9.2 cm a 5.7 cm.

La Figura 10 muestra un perfil hecho a lo largo de un rodal de árboles muertos en la misma área. Este lugar carece de árboles en el exterior encontrándose en su lugar una pequeña ensenada que forma una "playa" cuya berma separa la parte interna del manglar de las aguas de la bahía. Esta berma está constituida tam-

bién de acumulaciones de *Thalassia* y arenas calcáreas. La salinidad intersticial en el rodal de árboles muertos detrás de la berma es mayor de 65‰ mientras que la salinidad superficial es poco más de 50‰. El suelo del manglar está al nivel del plano de referencia de la marea (n.m.m.b.). La Figura 11 muestra en detalle tres secciones transversales de esta berma. La cresta alcanza su mayor elevación (+0.72 m) en el centro y disminuye en elevación hacia los lados (+0.50 m). La primera cresta del corte central está compuesta por una cuña de hojarasca de *Thalassia*. La cresta del montículo de arena del mismo corte tiene una altura de +0.68 m. Hacia los lados este y oeste la berma se reduce aún más en el interior de la franja viva de mangle (+0.38 m o menos). La acumulación de arena separa efectivamente la parte interior del manglar de la influencia de la marea. El drenaje sólo puede ocurrir lateralmente vía la franja viva exterior de manglar. Obviamente este flujo lateral no es suficiente para evitar alzas en la salinidad y consecuente mortandad.

Todavía desconocemos la razón de la ausencia de la franja exterior. Posiblemente el oleaje haya contribuido a erosionar la franja perdiéndose los árboles y formándose la ensenada y su berma. Pedazos de turba en la ensenada indican claramente que ha habido pérdida de la franja exterior.

#### Segmentos Expuestos: Islotes y Franjas

De las áreas estudiadas, las más expuestas carecen en su mayoría de manglares desarrollados aunque árboles de *Laguncularia recemosa* se encontraron en Turrumote (altura de copa

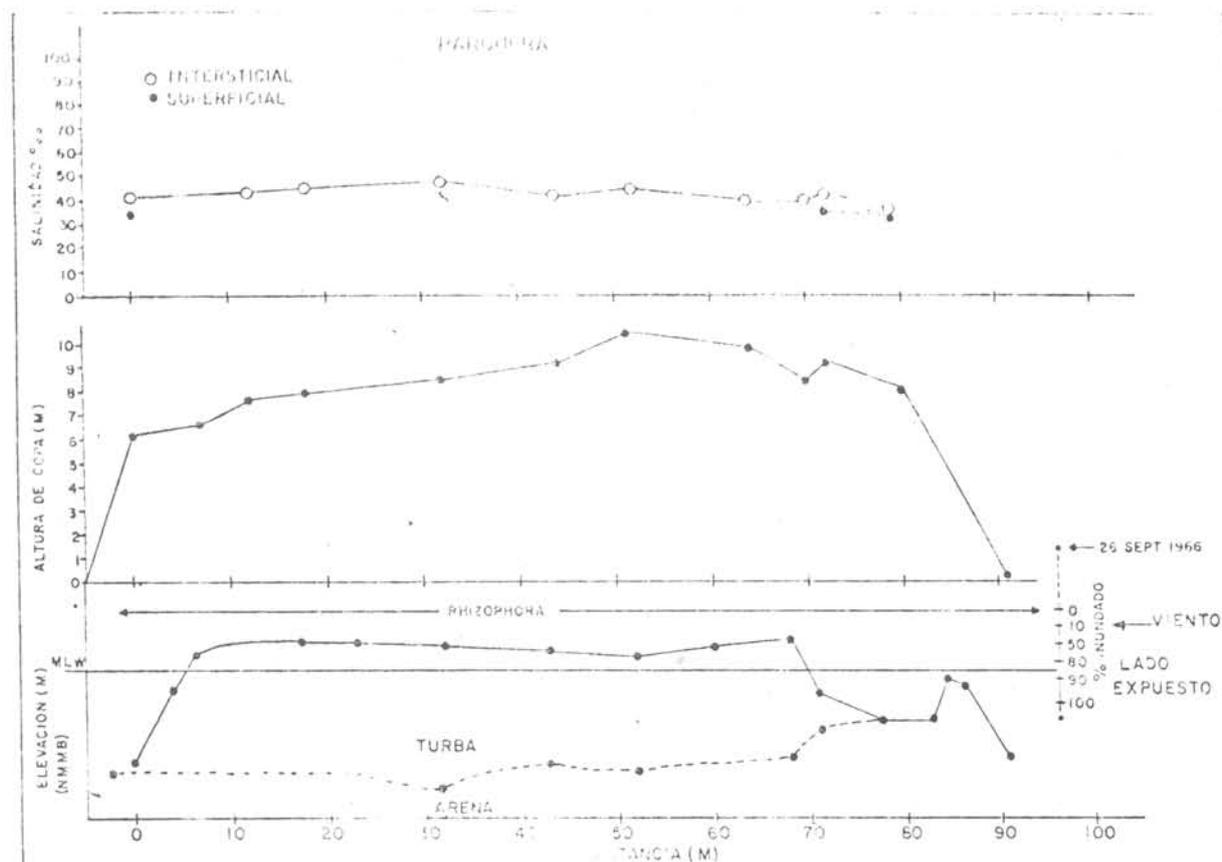


Fig. 8 - Variaciones de salinidad, altura de copa y elevación del terreno a lo largo de un transecto de 90 m en La Parguera, Puerto Rico.

de 6 m, d.a.p. 20 cm). En otros lugares expuestos *L. racemosa* junto con *R. mangle* puede formar mechones de poca estatura y cubierta.

#### Granulometría

Los datos granulométricos de dos perfiles en Bahía Salinas se muestran en las Tablas II y III. La turba (89% materia orgánica) es mayormente producto de la masa del sistema radicular y la acumulación de detrito autóctono, y la misma yace sobre un substrato compuesto mayormente de arenas calcáreas. Estas arenas consisten de fragmentos de concha, coral y picas de *Halimeda*, el componente más importante. El elemento terrígeno es mínimo en las muestras que se examinaron (residuo insoluble <10%). El tamaño promedio de los sedimentos analizados varió de 0.23 phi a 6.56 phi.

En la plataforma intermedia y exterior los sedimentos son más gruesos y carecen de fracciones finas y acumulación orgánica. En el Cayo Enrique, por ejemplo, los sedimentos contenían un 66% de arena, 31% grava y 3% ciéno. El contenido orgánico fue de 25%. Los parámetros que describen estos sedimentos se muestran en la Tabla IV.

En las partes más resguardadas se examinaron los sedimentos de varios islotes y el fondo adyacente (cubierto de *Thalassia*). Las características de estos sedimentos se describen en la Tabla V. En estas islas notamos un patrón similar de asentamiento del manglar donde este forma una turba (92% materia orgánica) sobre un substrato arenoso. La profundidad de la turba es de poco más de un metro. Los tamaños para los sedimentos subyacentes de tres de estas islas fueron 0.32, 1.21 y 1.55 phi. El tamaño promedio de los sedimentos en la plataforma exterior de la isla era de 2.21 phi.

La Tabla VI resume los promedios de grava, arena, ciéno y arcilla de muestras tomadas en los bordes del manglar, salitrales, islotes y suelos subyacentes del manglar. Nótese la ausencia de sedimentos finos en los islotes de la plataforma intermedia y exterior.

Los suelos de los bosques de *R. mangle* son casi exclusivamente orgánicos y de poca elevación (Tab. 1). En cambio, se encontraron bosques de *A. germinans* en los márgenes de los sa-

litrales, creciendo sobre suelos arenosos y a mayores elevaciones (+0.40 m sobre el n.m.m.b.). *A. germinans* ocupa frecuentemente las faldas de los lomos que separan las franjas de *R. mangle* del salitral. Esta especie invade los terrenos arenosos del salitral cuando las salinidades son menores de 90‰.

#### Gradiente del Oleaje: Desarrollo de las Franjas

Hemos discutido estos segmentos de costa según su grado de protección del oleaje. En las áreas protegidas el manglar desarrolla su altura de copa máxima (18 m) y sus mayores diámetros (d.a.p. 15 cm). Es también aquí donde la zona de árboles de mayor diámetro alcanza su grosor máximo. Asimismo, las salinidades intersticiales muestran solo un leve incremento hacia el interior, nunca sobrepasando concentraciones de 50‰/oo.

No obstante, cuando el grado de protección excede el antes mencionado (tal como en las franjas más internas que bordean los canales interiores), la energía del oleaje y la marea se disipa a tal grado que la escasa circulación causa acumulaciones de sal y posiblemente otras sustancias nocivas en el interior. Datos preliminares señalan que existen en el manglar fuertes gradientes de  $H_2S$  (de 6 mg/l cerca de los bordes a 27 mg/l en el interior). De igual modo, la concentración de amoníaco aumenta de 2.21 ppm en los bordes a 2.94 ppm en las partes internas. Hay carencia de formas oxidadas de nitrógeno lo cual es indicio de condiciones reducidas en las aguas intersticiales.

Al igual que en los islotes más resguardados encontramos que en estas partes más protegidas existen también fuertes gradientes estructurales (altura de copa y d.a.p.) y zonas de mangle muerto.

En las franjas moderadamente expuestas pueden formarse lomos que impiden la circulación hacia el interior. Las condiciones de crecimiento son más rigurosas y el manglar por lo general tiene menor diámetro y altura de copa. Además, el diámetro se reduce drásticamente detrás de la estrecha franja exterior. En el interior de estas franjas hay comúnmente vegetación de poca altura y frecuentemente se observan casos de mortandades masivas.

Observamos además que brechas en la franja exterior de esta región están asociadas con centros de mortandad en el interior. Se pudo constatar que el lomo de arena que se extiende a

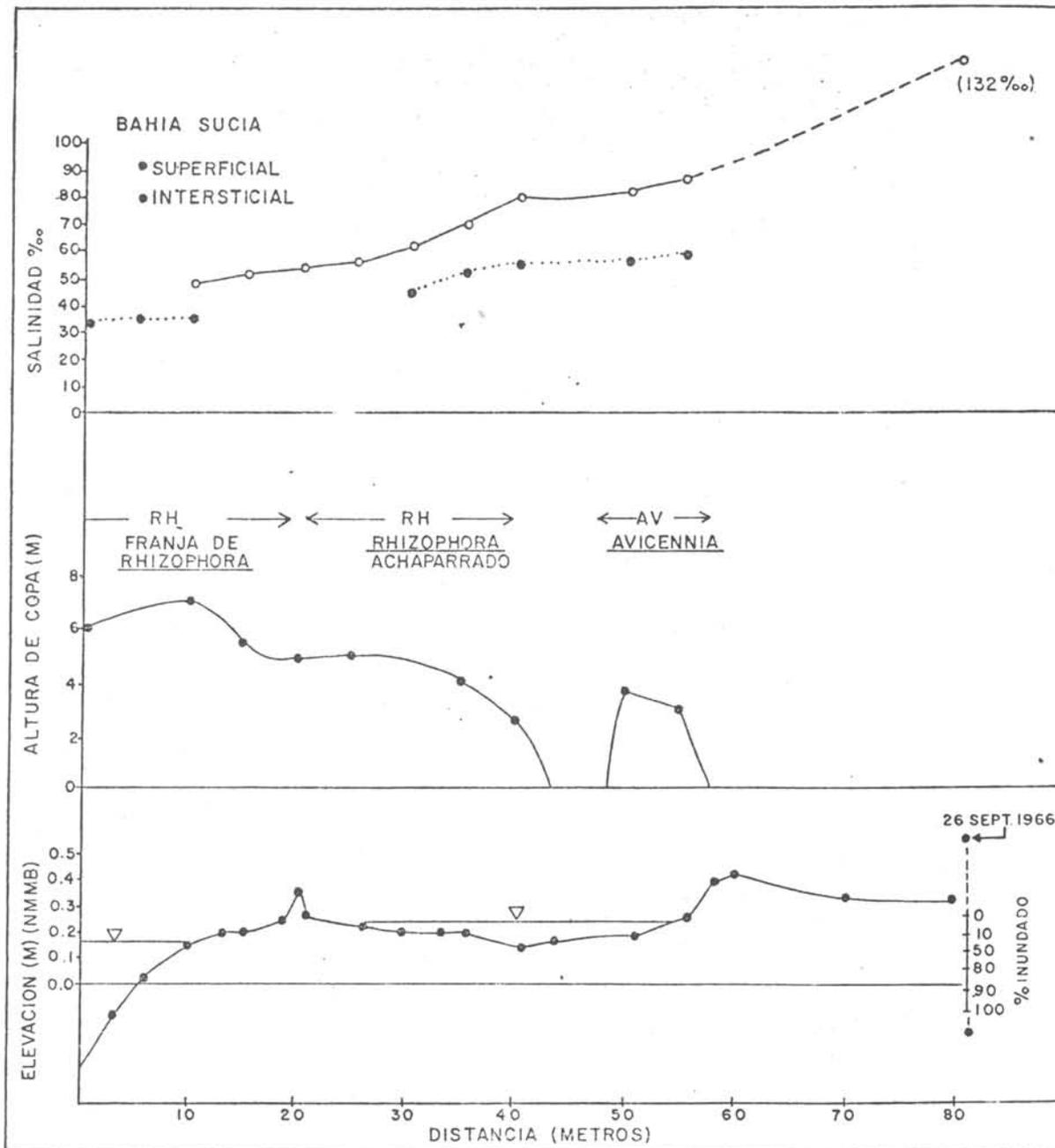


Fig. 7 - Variaciones de salinidad, altura de copa y elevacion del terreno a lo largo de un transecto de 80 m en Bahía Sucia (este), Puerto Rico.

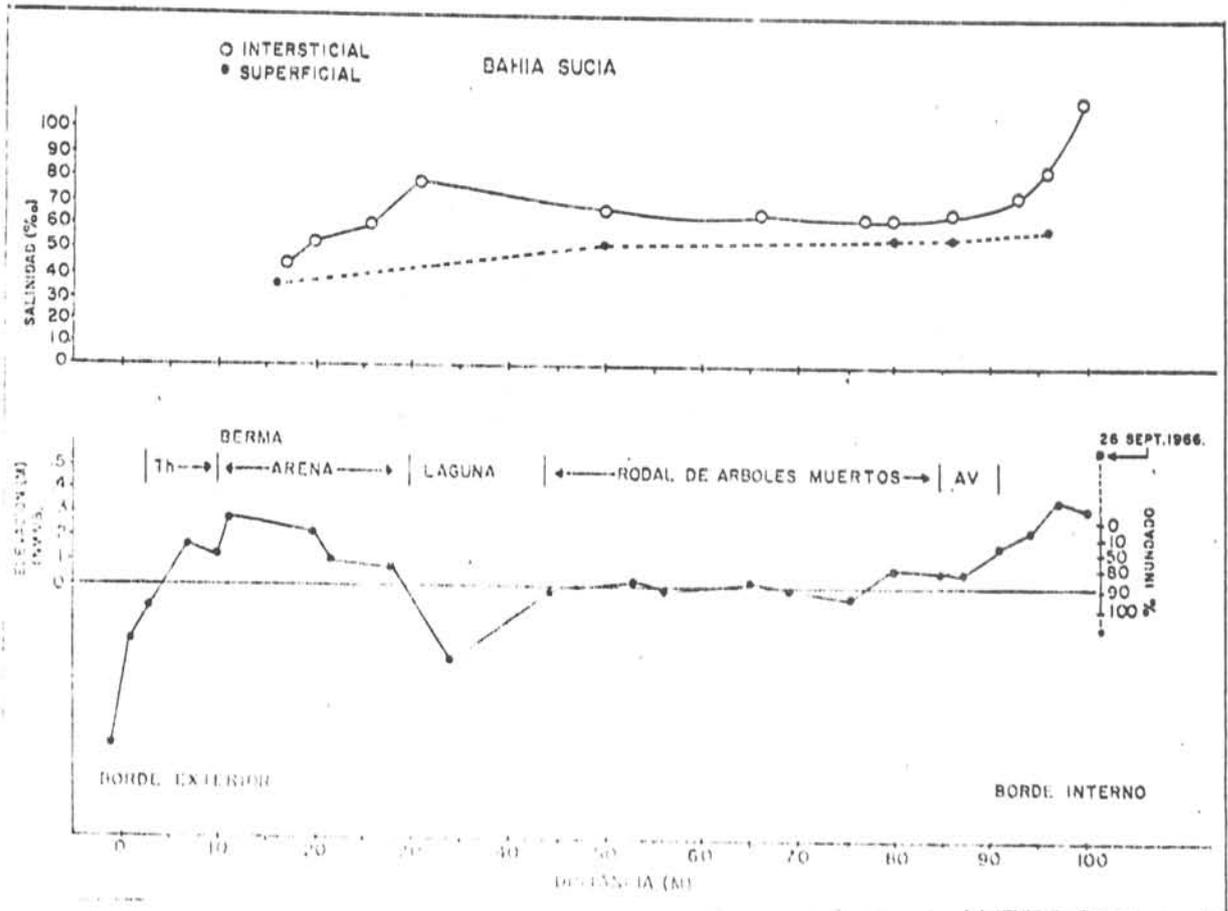


Fig. 10 - Variaciones de salinidad y elevación a lo largo de un transecto en Bahía Sucia. Nótese la presencia de la berma cerca del borde exterior. TH = acumulación de hojas de *Thalassia testudinum*; AV = *Avicennia germinans*.

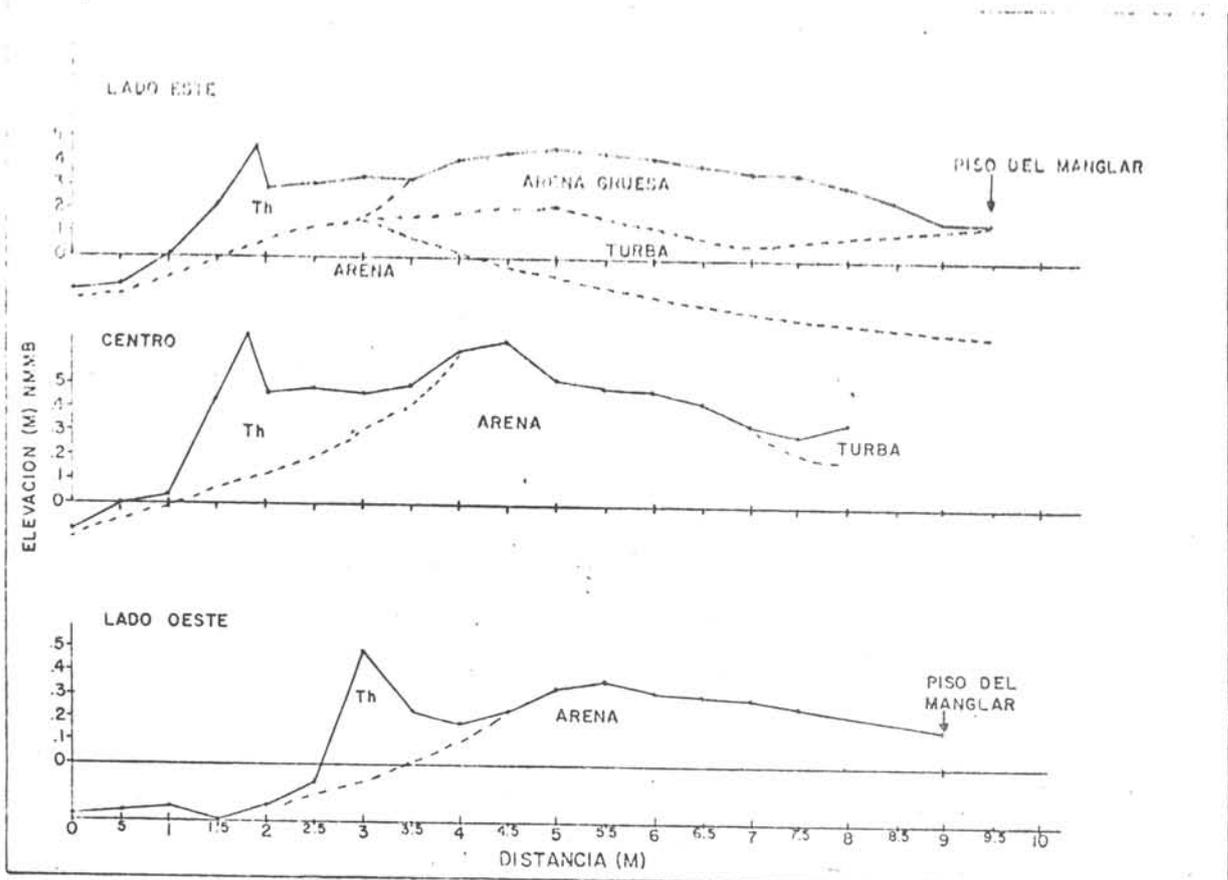


Fig. 11 - Variaciones en elevación a lo largo de tres transectos en una ensenada desprovista de vegetación. La localización de los perfiles se indica en la Figura 12 (c).

Tabla II – Características granulométricas y parámetros estadísticos de los sedimentos en una franja de manglar de Bahía Salinas. El perfil indica el lugar de la muestra.

Localización	% Grava	% Arena	% Cieno	% Arcilla	Mat. Orgánica %	Arena Lodo	Media $\phi$	Dev. Est. $\phi$	"Skew"	"Kurt"
1	6.74	45.24	31.36	16.66	8.08	1.08	3.66	3.40	.27	2.01
2	6.16	45.00	21.77	27.07	15.53	1.05	4.26	3.84	.14	1.58
3	1.54	18.53	60.44	19.49	26.09	0.25	5.50	2.49	-.30	3.04
4					92.19					
5					88.58					
6	2.75	71.32	13.08	12.86	25.17	2.86	3.00	3.10	.96	2.89
7	16.01	53.08	14.96	15.95	18.72	2.23	2.65	3.72	.71	2.30
8	4.82	45.67	23.82	25.70	1.33	1.02	4.11	3.76	.24	1.70
9	1.75	48.91	30.40	18.94	30.61	1.03	4.29	3.07	.39	2.35
10	1.80	42.27	26.24	29.69	—	0.79	4.59	3.83	.04	1.54
11	1.43	14.91	42.78	40.88	29.32	0,20	6.56	2.88	-.67	2.80
12	4.21	51.15	19.62	25.01	—	1.24	4.19	3.60	.31	1.79
13	13.07	50.98	14.15	21.80	—	1.78	2.83	4.13	.65	1.79
14	1.65	27.60	29.94	40.82	—	0,41	6.03	3.27	-.35	1,90
15	9.11	28.68	38.71	23.49	—	0,61	4.52	3.55	-.29	1,96

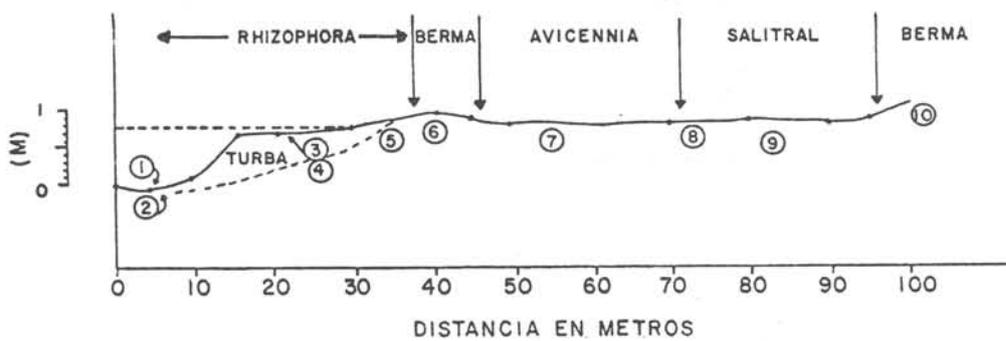


Tabla III – Características granulométricas y parámetros estadísticos de los sedimentos en una franja de manglar de Bahía Salinas. El perfil indica el lugar de la muestra.

Localización	% Grava	% Arena	% Cieno	% Arcilla	Mat. Orgánica %	Arena Lodo	Media $\phi$	Dev. Est. $\phi$	"Skew"	"Kurt"
1	0.05	96.03	3.92	0.0	17.72	24.51	2.88	.86	-1.00	4.23
2	7.00	77.06	7.13	8.81	12.24	5.27	1.88	2.94	1.44	4.40
3					90.09					
4	4.73	88.22	3.91	3.14	14.10	13.19	1.05	2.09	2.43	9.63
5	8.12	46.05	11.72	34.11	48.93	1.18	4.25	4.29	0.09	1.39
6	7.38	78.05	7.57	7.00	17.60	5.86	1.63	2.81	1.62	4.89
7	4.43	40.88	15.94	38.76	13.07	0.83	4.86	4.10	-0.06	1.36
8	11.53	55.16	14.34	18.97	16.27	2.00	2.71	3.90	0.74	2.03
9	3.09	24.13	34.11	38.66	-	0.37	5.79	3.49	-0.48	2.19
10	4.50	95.50	0.00	0.00	3.48	0	0.23	0.80	0.16	4.30

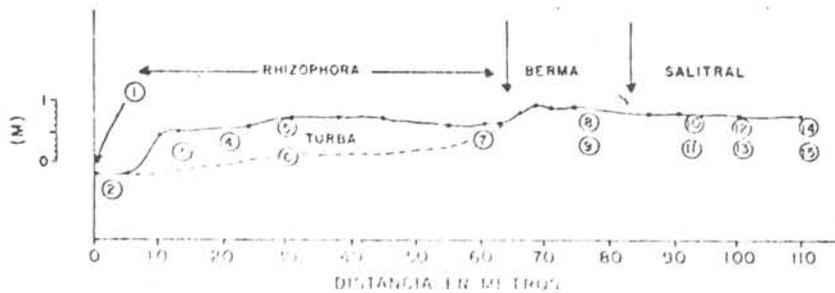


Tabla IV – Comparación de las características granulométricas y parámetros estadísticos de los sedimentos de los cayos e islotes de la plataforma intermedia y exterior.

Localización	% Grava	% Arena	% Cieno	% Arcilla	% Mat. Orgánica	Arena Lodo	Media $\phi$	Des. Est. $\phi$	"Skew"	"Kurt"
Montalva	38.99	49.44	5.69	5.89	-	7.64	0.32	3.61	0.80	3.22
Montalva	15.06	78.74	3.69	2.52	-	15.11	1.21	2.19	1.40	6.40
Fondo de <i>Thalassia</i>	1.45	80.32	10.76	7.47	-	4.49	2.21	2.72	1.39	4.37
Montalva (Turba)	-	-	-	-	92.0	-	-	-	-	-
Isla Av	6.35	82.80	6.91	3.93	-	8.22	1.55	2.32	1.65	6.17

Tabla V — Comparación de las características granulométricas y parámetros estadísticos de los sedimentos de los cayos e islotes de la plataforma interior.

Localización	% Grava	% Arena	% Cieno	% Arcilla	% Mat. Orgánica	Arcilla Lodo	Media $\phi$	Des. Est. $\phi$	"Skew"	"Kurt"
Cayo Enrique	8.22	91.78	0.0	0.0	0	0.0	1.01	1.39	.12	2.06
Cayo Enrique	31.15	66.20	2.65	0	24.96	36.78	-.05	2.02	.19	2.47
Cayo Enrique	3.89	96.11	0	0	0	0	1.20	1.15	-.08	2.63
Cayo Enrique	23.50	76.50	0	0	6.12	0	-.27	1.38	-.13	4.02
San Cristóbal	11.54	88.46	0	0	0	0	.46	1.07	.08	2.80
San Cristóbal	15.27	84.73	0	0	0	0	.03	.87	.27	2.84
Arrecife Coral	8.23	91.77	0	0	0	0	.74	1.10	-.08	2.43
Cayo Laurel	12.11	87.89	0	0	0	0	.36	.94	-.04	2.72
Media Luna	31.15	68.85	0	0	0	0	-.46	1.01	-.09	2.51
Turumote	22.86	77.14	0	0	0	0	-.17	1.15	-.05	3.02

Tabla VI — Promedio de las fracciones de grava, arena, cieno y arcilla en los sedimentos al borde exterior de los manglares, en los sedimentos subyacentes, en los salitrales y en los islotes de la plataforma intermedia y exterior. Se indican los límites de confianza.

	Grava %		Arena %		Cieno %		Arcilla %	
	Promedio	lc (95%)	Promedio	lc (95%)	Promedio	lc (95%)	Promedio	lc (95%)
Sedimentos borde exterior	4.28	4.00	68.75	28.15	14.99	14.07	12.0	12.74
Sedimentos subyacentes	13.90	11.50	67.09	15.98	8.57	4.26	11.20	10.47
Salitrales	5.21	2.33	46.45	13.20	22.89	7.52	25.36	7.67
Islotes, Plataforma intermedia y exterior	16.79	6.99	82.94	7.33	0.27	0.61	0.00	0.00

lo largo de la costa tiene su mayor altura en la cabecera de estas pequeñas ensenadas. Las aguas exteriores quedan eficazmente separadas del manglar interior donde se encuentran áreas de manglar muerto. Un modelo ilustrando la formación de este fenómeno aparece en la Figura 12. Actividades como la tala de árboles de la franja exterior, o el recubrimiento de las raíces por sustancias tales como petróleo que puede causar la muerte parcial o total de los árboles, pueden iniciar la muerte de porciones internas debido a la formación de estas acumulaciones de arena. En esta misma región hemos observado el recubrimiento, muerte y abscisión de las raíces exteriores debido al recubrimiento por petróleo. Aunque algunos árboles sobreviven el recubrimiento, la pérdida de las raíces debilita su arraigo y los hace más propensos a la erosión.

En las áreas donde no hay brechas, las raíces entrelazadas del manglar contribuyen a reducir la altura de la berma amortiguando la energía del oleaje e favoreciendo la deposición de sedimentos sobre un área horizontal mayor.

La formación de estas bermas dentro de la franja de manglar aparenta ser el resultado de exposición a oleajes poco frecuentes pero severos. A base del estudio del material aerofotográfico disponible pudimos notar un aumento gradual en las áreas de manglar hasta 1964. Desde esa fecha se nota, sin embargo, una reducción en las áreas debido a la mortandad en las partes interiores de *R. manglie*. Este cambio sugiere que el patrón de mortandad es el resultado de cambios en años recientes.

Glynn *et al.* (1964) observaron los efectos del huracán Edith (25-27 de septiembre de 1963) en esta región. Aunque la posición más próxima se encontraba a 75 km al suroeste de Cabo Rojo, los vientos generaron oleajes de 2 a 2.4 m de altura el 26 de septiembre.

Según estos investigadores, los arrecifes exteriores contribuyeron a disipar el oleaje a sólo 0.6 m en la plataforma interna. La tormenta causó también una elevación adicional en el nivel del mar de 0.46 m sobre la marea ordinaria. Esta elevación en el nivel del mar causó la inundación de las áreas de manglar más

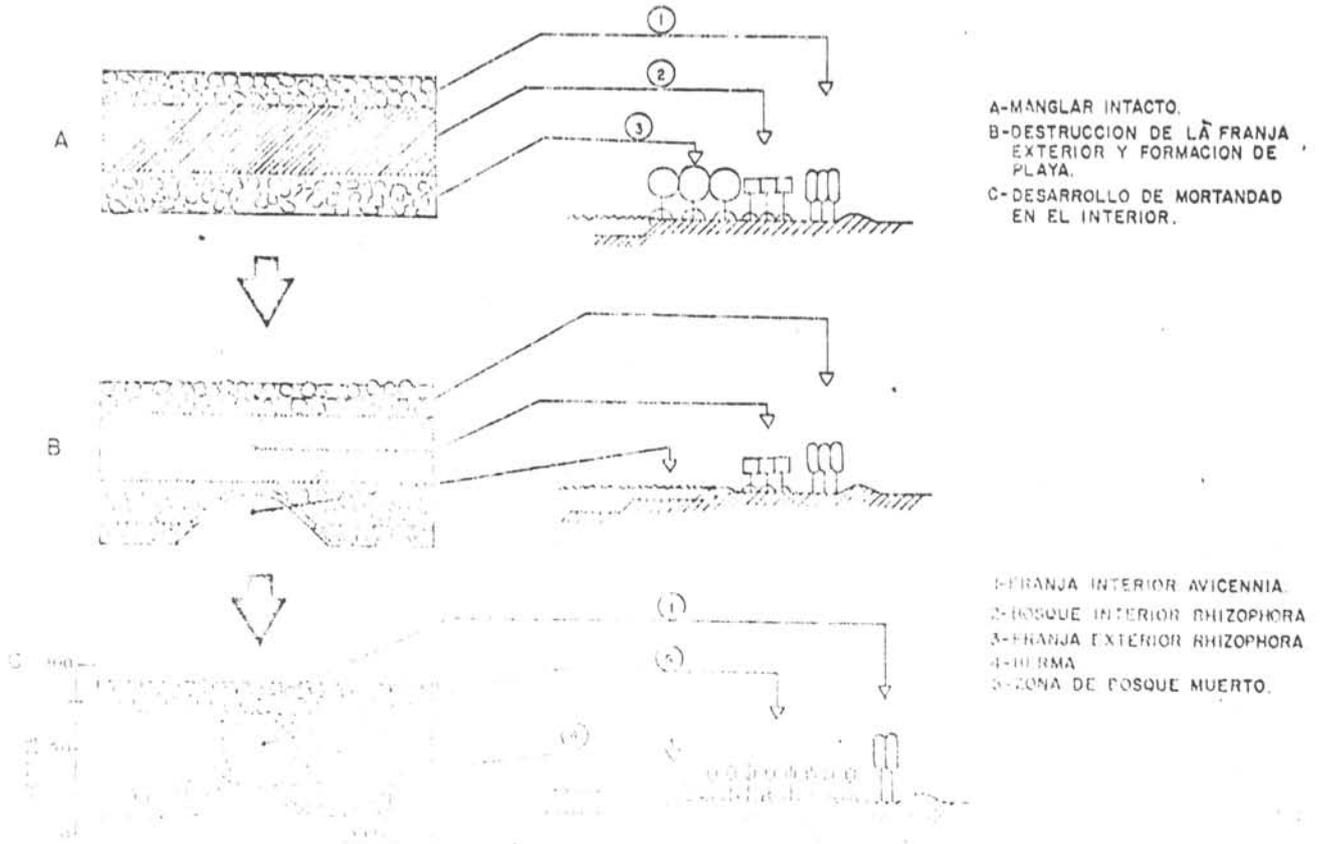


Fig. 12 - Esquema ilustrativo del proceso de destrucción de la franja y la consecuente mortandad del manglar. A. Franja intacta, B. Formación de ensenada y C. Mortandad del manglar debido a la presencia de la berma.

protegidas. En estas áreas no se observó oleaje a diferencia de las áreas más expuestas. Los daños al manglar se limitaron a ciertos grados de defoliación en *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*, los cuales fueron más evidentes en las localidades más expuestas y en la zona donde las hojas menos elevadas fueron cubiertas por la marea.

Aunque Glynn *et al.* (1964) no hicieron observaciones en las franjas más expuestas como Bahía Sucia, es muy posible que las bermas que hoy observamos allí se hayan depositado por esta tormenta. Esto explicaría la reducción en las áreas de manglar en esa bahía desde la década del 1960. En adición, la precipitación pluvial durante esa década fue baja (culminando con una fuerte sequía en 1967) lo cual contribuiría a aumentar la presión ambiental debido a las altas salinidades.

En los segmentos de costa donde la exposición es máxima se reducen altamente las probabilidades de asentamiento de las plántulas debido al fuerte empuje del oleaje y acentuado gradiente de elevación de las playas. Ejemplo de esto es la parte central-oeste de Bahía Sucia donde el manglar está ausente.

#### Gradiente del Oleaje: Islotes y Cayos

En los islotes y cayos observamos una relación similar a las franjas con respecto al grado de protección.

En los lugares más resguardados sobrevienen acumulaciones de sales y sustancias nocivas hacia el interior debido al estancamiento de las aguas y a la baja frecuencia de inundaciones. Ocurre entonces una sucesión de especies o un crecimiento achaparrado del manglar y eventualmente se forma una laguna hipersalada en el centro de la isla (Cintrón *et al.*, 1978).

El mayor desarrollo del manglar ocurre en los islotes con protección intermedia. Estas islas son lavadas periódicamente por las mareas y no se crean problemas de salinidad como en el caso de los islotes antes mencionados.

La vegetación es exclusivamente *R. mangle* con diámetros gruesos (14 cm d.a.p.) y una altura de copa de 8 a 10 m, la cual es mayor que en las islas más protegidas (4 m), pero menor que en la costa.

Nuestras observaciones indican un patrón de desarrollo distinto al encontrado por Stoddart (1962) en las Honduras Británicas en cuanto al rol que juega la vegetación en el desarrollo de algunos islotes. Observamos que en las partes intermedias de la plataforma, los escollos originados de bancos de arenas calcáreas y coronas de *Porites* son colonizados por *R. mangle*. Este patrón de asentamiento en el cual *R. mangle* se establece y se extiende por el banco creando su propio sustrato orgánico ha sido descrito por Welch (1962) y Margalef (1962). El proceso inicial debe ser necesariamente lento debido a la alta frecuencia de inundaciones y el lavado del detrito orgánico. Este lavado, sin embargo, representa un subsidio de energía importante pues impide la elevación de los niveles de sal. No obstante, este subsidio se reduce drásticamente en los lugares más resguardados.

Los cayos más expuestos carecen de vegetación o solo contienen arbustos achaparrados. El sustrato es elevado, arenoso y carente de fracciones finas. Davis (1940) y Chapman (1976) concluyeron que dichas características no son propicias para el asentamiento de *R. mangle*, aunque mechones de poca altura y achaparrados pueden observarse en algunos puntos.

Nuestras observaciones muestran que el crecimiento de la vegetación en estas áreas es lento y la movilidad del sustrato posiblemente contribuye al desprendimiento, abrasión o recubrimiento de las regiones de intercambio de gases (lenticelas). Bajo estas condiciones rigurosas, la vegetación achaparrada no puede contribuir sustancialmente a estabilizar la isla. Aunque *R. mangle* puede establecerse en el resguardo de pequeños bancos de arena, no creemos que la deposición de este material se deba a la presencia de esta planta. Aunque Glynn *et al.* (1964) encontraron fragmentos de coral acumulados sobre islotes ya poblados por manglar, también observaron el asentamiento de *R. mangle* sobre islotes formados por la tormenta Edith.

*Laguncularia racemosa* en cambio puede establecerse exitosamente en el sustrato elevado y arenoso de los islotes exteriores. Chapman (1976) observó la dominancia de esta especie en sustratos arenosos sujetos al oleaje. En nuestra área de estudio *L. racemosa* se encuentra en el interior de los islotes donde alcanza diámetros de 12 cm (d.a.p.) y 8 m de alto Laurel; y 28 m d.a.p. en Cayo Turrumote. La salinidad intersticial en estos cayos

no difiere grandemente de la del mar debido sin duda a la alta permeabilidad de los sedimentos gruesos que componen el sustrato. El rol de la vegetación en estos ambientes lo consideramos "oportunista" ya que los islotes están constituidos por fragmentos (30 cm) que solo pueden moverse bajo condiciones de tormenta.

Otro factor que contribuye a limitar la invasión de plántulas de los cayos altos es también el pastoreo de éstas por cangrejos (*Ocypode*). Notamos que muchos de los frutos en la orilla de estos cayos habían sido pastoreados por estos animales.

A base de estas consideraciones, se presenta en la Figura 13 un esquema general de los patrones de desarrollo del manglar en las franjas y los islotes.

#### Praderas de *Thalassia* y Estabilidad de los Fondos

Los fondos de escasa profundidad y la transparencia de las aguas en esta región crean condiciones propicias que permiten el establecimiento de grandes praderas de *Thalassia*. Estas praderas se extienden en sectores desde la base del manglar hasta una profundidad de aproximadamente 10 m.

El establecimiento de la pradera es resultado de un proceso de sucesión que comienza con la colonización del fondo por algas

cyanofíceas (*Schizothrix*) y clorofíceas (*Caulerpa*, *Penicillus*, *Halimeda*), seguidas por fanerógamas (*Halodule*, *Syringodium*) y eventualmente *Thalassia*. El grado de estabilización del fondo aumenta con el nivel en la sucesión debido a la mayor efectividad de *Thalassia* de retener sedimentos. Disturbios periódicos (tormentas) pueden abrir "huecos o reventones" que pueden ser apreciados en las fotos aéreas. La densidad de estos "reventones" por lo tanto es un índice del grado de estabilidad de una región.

La Figura 14 muestra un mapa preparado a base de la fotografía aérea del área entre Bahía Sucia y los manglares de Pitahaya. Este sector de costa está desprovisto de manglar y la gran densidad y tamaño de los reventones en la pradera de *Thalassia* indica que este sector está sujeto a severos disturbios. El tamaño de los huecos ha disminuido desde 1937 cuando se tomaron las primeras fotos aéreas de la región. Esto sugiere que los huecos son producidos por procesos sumamente intensos ya que los últimos huracanes de gran intensidad que azotaron la región fueron en 1928 (San Felipe) y en 1932 (San Ciprián).

Sugerimos que el recubrimiento de los fondos por *Thalassia* posiblemente contribuye a estabilizar los sedimentos y a disminuir el movimiento de estos que de otro modo pudieran ser transportados hacia el manglar contribuyendo a la formación de obstrucciones al flujo de agua.

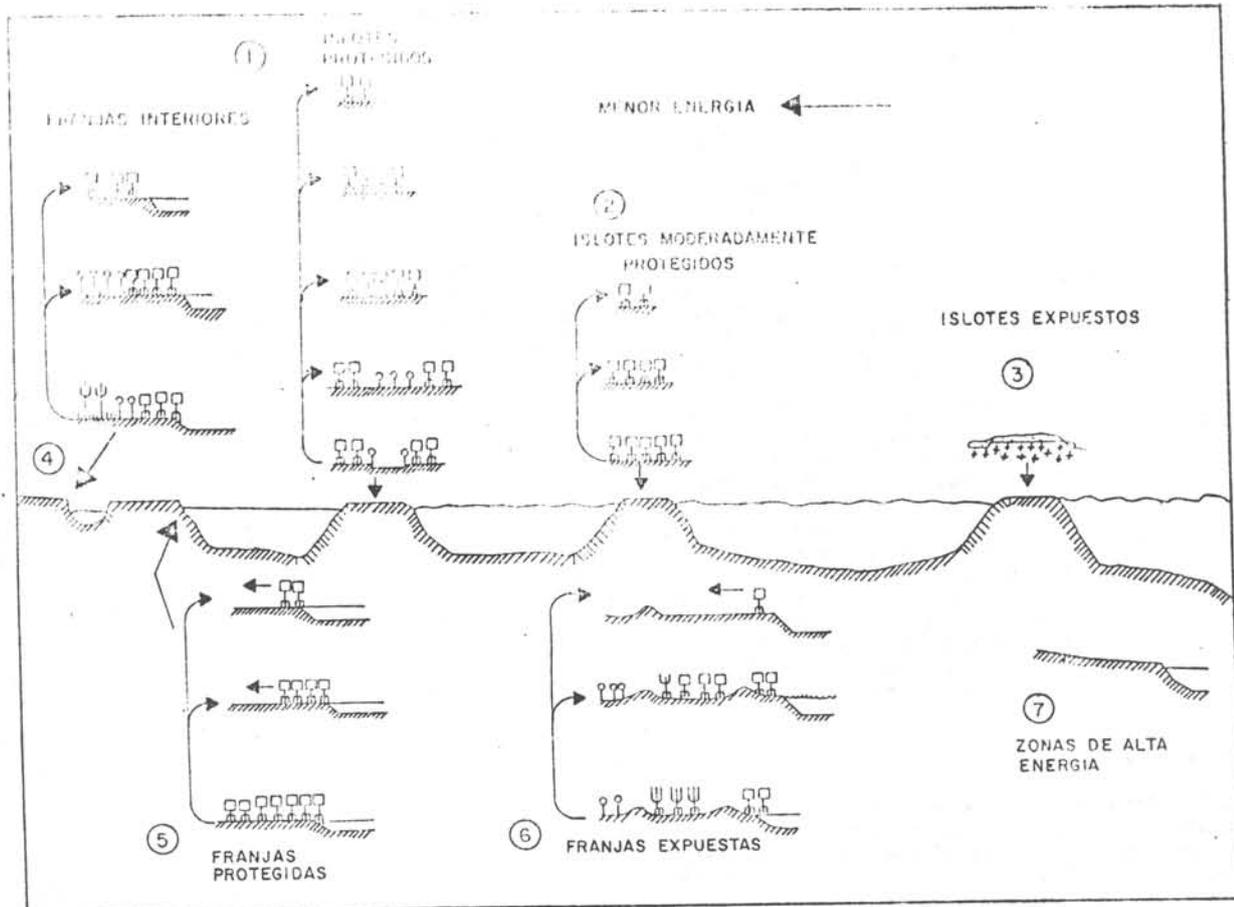
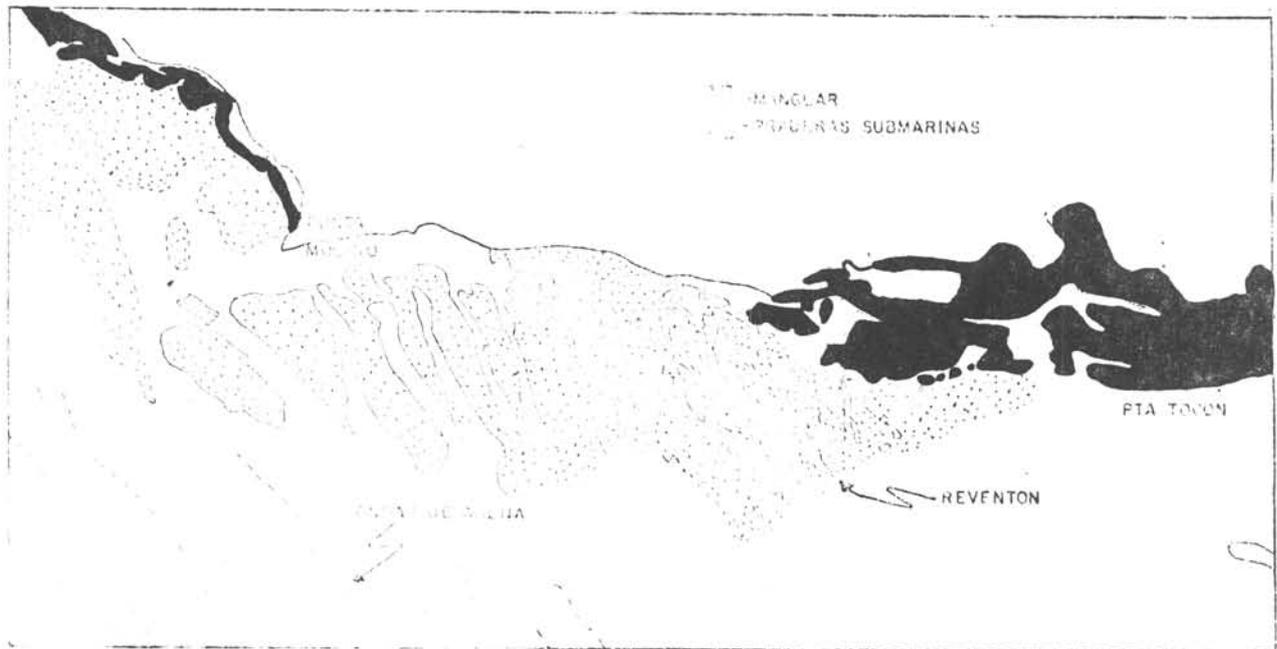


Fig. 13 - Esquema general de los patrones de desarrollo del manglar en las franjas e islotes.



14 Mapa basado en fotografías aéreas que muestra los "reventones" en la pradera de *Thalassia* en el suroeste de Puerto Rico.

#### Referências Bibliográficas

- CHAPMAN, V. J. 1976. Mangrove vegetation. Germany, J. Cramer, 447 p.
- CINTRÓN, G.; LUGO, A. E.; POOL, D. J. & MORRIS, G. 1975. Los manglares de las costas áridas de Puerto Rico. II Simposio Latinoamericano de Oceanografía Biológica, vol. 2, p. 137-150. Cumaná, Universidad de Oriente.
- , 1978. Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotrópica*, 10(2):110-121.
- & GOENAGA, C. 1977. Observaciones sobre las franjas de manglar en zonas áridas. IV Simposio Latinoamericano de Oceanografía Biológica. Guayaquil, Ecuador. (en preparación).
- DAVIS, J. H. 1940. The ecology and geologic role of mangroves in Florida. *Publs. Carnegie Instn.*, (517):303-312. (Papers from the Tortugas Lab., 32).
- FOLK, R. L. 1974. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Texas, Hemphill Publ. Co., 182 p.
- GLYNN, P. W.; ALMODÓVAR, L. R. & GONZÁLEZ, J. G. 1964. Effects of hurricane Edith on marine life in la Parguera, Puerto Rico. *Carib. J. Sci.*, (4):335-345.
- LUGO, A. E. & CINTRÓN, G. 1975. The mangrove forests of Puerto Rico and their management. *In*: Walsh, G.; Snedaker, S. & Teas, H., eds. - *Proc. Int. Symp. Biol. and Management of Mangroves*. Gainesville, Inst. Food Agr. Sci./Univ. of Florida, p. 825-846.
- MARGALEF, R. 1962. Comunidades naturales. *Publ. esp. Inst. Biol. mar., Univ. Puerto Rico*, 469 p.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. 1978. Tides tables high and low water predictions 1978. East coast of North and South America including Greenland. U.S. Department of Commerce.
- STODDART, D. R. 1962. Three Caribbean atolls: Turneffe Islands, Lighthouse Reef, and Glover's Reef, British Honduras. *Atoll Res. Bull.*, (87):1-151.
- U.S. NAVAL OCEANOGRAPHIC OFFICE. 1958. Sailing directions for the West Indies. *Publs. U.S. hydrogr. Off.*, 1(21): 1-557.
- , 1962. Oceanographic atlas of the North Atlantic Ocean, Section IV, Sea and Swell. *Publs. U.S. hydrogr. Off.*, (700):1-227.
- WELCH, B. L. 1962. Aspects of succession in shallow coastal waters of the Caribbean. Ph. D. Dissertation. Duke University. Ann Arbor, Univ. Microfilms, Inc., 126 p.