

INFLUENCIA DEL HABITAT EN LA MORFOMETRIA Y MORFOLOGIA DEL "MANGLE SALADO" *Avicennia germinans* (L.)L. EN EL LITORAL CARIBE COLOMBIANO"

por

Francisco Pinto-Nolla*, Gabriel Naranjo-González**,
Jorge Hernández-Camacho***

Resumen

Pinto-Nolla, F., Naranjo-González, G. & J. Hernández-Camacho. Influencia del hábitat en la morfometría y morfología del "mangle salado" *Avicennia germinans* (L.) L. en el litoral Caribe Colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (74): 481-498, 1995. ISSN 0370-3908.

En la Costa Caribe de Colombia se estudian siete poblaciones diferentes del "mangle salado" *Avicennia germinans* (L.)L..

Especie pionera en condiciones difíciles, hipersalinas o con sustratos arenosos inestables pobres en nutrientes. Dominante en condiciones extremas de aridez, sin aportes importantes de agua dulce como en la Alta Guajira.

Se constató como los manglares reflejan mediante cambios adaptativos medibles las condiciones del medio donde crecen. La composición salina y el pH del suelo y el agua, así como la textura del terreno y los datos climatológicos en medias anuales fueron correlacionados linealmente con las medidas obtenidas para las hojas (área, largo, ancho, largo peciolo) y las características estructurales de las plantas (altura, fuste, DAP). De estas correlaciones se obtuvieron 22 fórmulas de regresión.

Palabras clave: Manglar salado, Caribe, Colombia, Ecología

Abstract

In the Caribbean Coast of Colombia seven different populations of "the salad mangrove" *Avicennia germinans* (L.)L. are studied.

Pioneer specie in difficult conditions, hypersalinity or in soils that are unestable and poor of nutrients. Dominant specie in the high Guajira where the conditions of aridity are extreme: there's no important rains which can offer sufficient fresh water.

It was proved how mangroves reflect the conditions of the babitat where they grow by countable adaptive changes. The salinitiy and the pH of soil and water, as well as the texture of the ground and the climatological date was covered in anual averages that were simply correlated with the measures obtained from the leaves (length, width) and the structural attributes of the plants (width, height, trunk diameter). From this correlations twenty two formulas were obtained.

Key words: Salad mangrove, Caribe, Colombia, Ecology.

* Organización Yulukairú. A. A. 77671. Bogotá D.C.

** Cra. 36 No. 8A-96, Medellín.

*** Instituto Nacional de Recursos Naturales y del Ambiente.
Inderena. Bogotá, D.C.

Introducción

Avicennia germinans (L.)L. (sinonimia *Avicennia nitida* (L.)Jacq) se encuentra distribuida en las costas de África Occidental, costa Atlántica de América e Islas del Caribe y costa Pacífica de América e Islas Galápagos. En Colombia se encuentra en ambas costas y se conoce por los siguientes nombres comunes: Costa Caribe: mangle "negro", "salado", San Andrés "black mangrove"; Costa Pacífica: "comedero", "iguanero" y "jeli".

La vegetación refleja el clima, la naturaleza del suelo, la disponibilidad de agua y de nutrientes, así como los factores antrópicos y bióticos. A su vez, la vegetación modifica el ambiente (Matteucci & Colma, 1982). El mangle "salado" *Avicennia germinans* se desarrolla en aguas someras, máximo 50 cm. Tradicionalmente se ha considerado como el género que reemplaza en la sucesión ecológica al mangle "rojo". El mangle "salado" es una especie bastante agresiva, puede desarrollarse en climas áridos y terrenos salinos -resiste un rango amplio de salinidad 0-80 ppm-. Su tasa de renovación es alta ya que presenta una gran cantidad de propágulos llega a ser pionera en la sucesión en playas de arena no consolidada o en aguas hipersalinas, ambientes donde difícilmente se desarrolla otra especie. Generalmente sí el medio es excesivamente adverso, las plantas que germinan son "generaciones fantasmas", que mueren rápidamente, pero pueden lograr floración.

Para poder vivir en suelos anaeróbios, los manglares han desarrollado diferentes adaptaciones; el mangle "salado" *Avicennia*, se caracteriza por sus largas raíces que se extienden horizontalmente con cortos pneumatóforos geotrópicamente negativos; una vez han acumulado aire durante la marea baja, puede subir el agua y cubrirlo temporalmente, ya que su tejido esponjoso lo oxigenará el tiempo necesario, pero generalmente sobresalen del agua permanentemente. Los pneumatóforos pueden partir del tronco hacia el suelo. Cuando los suelos presentan alta percolación y están bien aireados el mangle "salado" puede no presentar pneumatóforos. *Avicennia germinans* crece en suelos arenosos o fangosos, calcáreos o silíceos, anaeróbios o aeróbios. En terrenos lodosos inestables puede desarrollar raíces fulreas de unos 30-50 cm de altura. En el Pacífico colombiano llegan a tener raíces fulreas de 1-2 m de altura en terrenos lodosos.

Los manglares secretan el exceso de sal al medio a través de glándulas localizadas en sus hojas. Esta operación implica un gasto considerable de energía. Entre los secretores, de los más evolucionados es el mangle "salado", *Avicennia germinans*, el cual puede soportar salinidades hasta tres veces la del mar. Es el manglar más tolerante, lo cual le permite vivir en medios como las lagunas salinas del Caribe, donde otros no prosperan (von Prah, 1989). Los manglares pueden desarrollarse en aguas dulces; la salinidad jugaría el papel de eliminar la competencia de las plantas glicófitas. La influencia de las mareas tampoco es un requerimiento fisiológico indispensable, pero juega un papel importante (Walsh, 1974 en Woodroffe, 1983; Odum, 1982). Roles individuales de manglar han sido señalados a gran distancia

de la costa y a una altura apreciable sobre el nivel del mar (van Steenis, 1963, Chapman, 1975 en Woodroffe, 1983; Cuadros H. 5704, Hernández-Camacho, 1991 en Pinto-Nolla & Naranjo-González, 1993).

El estudio de la morfología general de las plantas y de sus partes es indispensable para entender muchos fenómenos en ecología vegetal. Un caso importante es la salinidad que induce cambios en el metabolismo, anatomía y morfología general. Estos cambios se pueden interpretar como adaptaciones de las plantas para resistir el "stress" impuesto por la salinidad (Soto & Corrales, 1987). Numerosas halófitas responden a los niveles altos de salinidad del suelo con un aumento de los solutos en las células para evitar una disminución de la turgencia de éstas. Las concentraciones altas de sales como NaCl reducen la transpiración, posiblemente como resultado de una mayor resistencia estomática y del mesófilo a la pérdida de vapor de agua (Winter, 1973 en Soto & Corrales, 1987).

López-Portillo & Ezcurra (1980) concluyeron que todas las especies de mangle (y halófitas) desalinizan el agua que absorben, aunque con diferente eficiencia. El agua desalinizada es utilizada fundamentalmente en transpiración y por lo tanto es disipada a la atmósfera; el agua del sustrato aumenta su concentración salina bajo todas las especies de mangle.

La salinidad no solo produce cambios en la fisiología, también induce cambios en la morfología de las plantas; los "manglares", especialmente *Avicennia germinans*, reflejan mediante cambios efarmónicos (*sensu* Barnola, 1909 en Font Quer, 1982) las condiciones del medio donde se desarrollen; así las plantas de *Avicennia germinans* que viven en sitios con potenciales hídricos muy bajos (salinidades altas), estarían sometidas a presiones adaptativas y selectivas que modifican su estructura general, las plantas tienden a reducir el área foliar y en sitios ridos con suelos muy salinos crecen manglares de talla reducida (Cintrón *et al.*, 1978, Soto & Corrales, 1987). Las características foliares que favorecen la fotosíntesis, como la conductividad foliar alta, los niveles de hidratación altos y las áreas foliares grandes, también generan altas tasas de transpiración por tanto no son viables en un ambiente escaso en agua dulce (Nestler, 1977, Longstreth & Novel, 1979, Orians & Solbrig, 1977, Hardisky *et al.*, 1983 en Soto & Corrales, 1987).

Arnon & Johnson (1942) no observan grandes diferencias en el crecimiento de los manglares a valores de pH entre 4 y 8 (En Schnetter, 1986). Los valores del pH en las áreas de manglares deben extenderse de zonas ligeramente ácidas hasta zonas ligeramente básicas (Schnetter, 1986). Pannier & Pannier (1974) encontraron para los manglares de Venezuela que los suelos tienen un rango de pH entre 4,8 y 8,8 (en Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1983b). Los suelos poblados de *Rhizophora* presentan un pH más básico que los de *Avicennia* cuando están saturados de agua, pero al secarse los suelos de *Rhizophora* se hacen más ácidos. Según Hesse (1961) el pH de los suelos de *Rhizophora* es de 6,6, mientras que el de *Avicennia* es de 6,2, al secarse los suelos de *Rhizophora* pueden alcanzar valores de 3,0,

pero los suelos más maduros pueden alcanzar valores aún mas bajos de pH 2,2 (en Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1983b). Schnetter (1986) no observó mayores diferencias entre las biomásas de plántulas de *Avicennia germinans* en cultivo hidropónico a valores de pH entre 5,7 y 8, pero el conjunto de mayor cantidad de materia seca, tallos ms vigorosos y mayor grado de ramificación mostró un crecimiento mejor bajo un pH ligeramente básico.

Estudios ecológicos de los manglares realizados en otros países del área del Caribe y del Pacífico Centro y Suramericano, donde se ha considerado a *Avicennia germinans* son: Thom (1967), Chapman (1969), Pulver (1976), Cintrón *et al.* (1978), (1980), Horna (1980), López & Ezcurra (1980), Lugo (1980), Lugo *et al.* (1981), López-Portillo & Ezcurra (1989). Soto & Corrales (1987), Soto (1988) para la Costa Pacífica de Costa Rica son los primeros en evidenciar la relación del clima y la salinidad con el crecimiento de *Avicennia germinans*.

Los trabajos con referencia a las especies de mangle en Colombia son: Cuatrecasas (1958), Schnetter (1969), García-Barriga (1975), Hernández & Müllen (1978), Hernández-Camacho (1976), Hernández-Camacho *et al.* (1980), Escallón & Rodríguez (1981; 1986), Calderón (1983), von Prahl (1984), Araujo & Polanía (1985), Viña (1986), Schnetter (1986), Ochoa *et al.* (1988), von Prahl (1989), von Prahl *et al.* (1990), Pinto-Nolla & Naranjo-González (1993).

Se recogieron hojas de mangle salado *Avicennia germinans*, así como muestras de suelo y agua, con el fin de determinar las condiciones en que crece *Avicennia germinans* y las causas de las diferencias que presenta *A. germinans* y las otras especies de mangle en cuanto a su morfometría, morfología, fisionomía y distribución en la misma o en diferente localidad.

Area de estudio

La Costa Caribe de Colombia, tiene características tropicales: alternancia de un definido período seco que ocurre de diciembre a marzo y un período más o menos seguro de lluvias de abril a noviembre (usualmente estas lluvias no se presentan en la mayoría de la Costa Caribe), en medio del cual se intercala un "veranillo de San Juan" que es una estación seca, corta y menos definida en julio y agosto. Por esta razón climática, las aguas superficiales del Caribe resultan ms cálidas (>27 °C) y más salinas que las del Pacífico (IGAC, 1967). En cuanto a las mareas el mar Caribe en Colombia oscilan entre los 20-30 cm rara vez exceden los 50 cm (Bula-Meyer, 1990).

Las estaciones de muestreo fueron Bahía Portete (Guajira); Isla de Salamanca (Magdalena); Ciénaga del Totumo (Atlántico), Ciénaga de Juan Polo, la Isla de Tierrabomba y Bahía de Barbacoas (Bolívar); y Tolú en el Golfo de Morrosquillo (Sucre). De esta forma queda representada casi la totalidad de la Costa Caribe Colombiana, con sitios tan áridos como la Alta Guajira (promedio de lluvias anual 200 mm/año) o mas lluviosos

como es la región del Golfo de Morrosquillo (media anual 1300 mm/año) (Fig. 1).

La Bahía de Portete, tiene 80 km² y una estrecha boca de comunicación al mar. La costa está bordeada en su mayor parte por densas formaciones de manglares *Rhizophora mangle* L. y *Avicennia germinans* quien es la especie más abundante. La Bahía es somera, presenta una profundidad máxima de 20 m y más del 60% del fondo está a menos de 9 m. En un área relativamente pequeña encontramos aguas claras y turbias, costas rocosas, playas arenosas y fangosas, costas bordeadas por manglares, extensas áreas pantanosas temporales, lagunas de manglar, corales, praderas de algas y fanerógamas marinas (Garzón-Ferreira, 1989). En una región como Bahía Portete, pasan años sin lluvias, las cañadas son cauces secos, el aporte de agua por escorrentía cuando llueve es mínimo; pero como en otras zonas de climas desérticos las fluctuaciones son exageradas con años excepcionales de lluvias torrenciales generalmente por un período corto (Fig. 2A).

La Isla de Salamanca es una barra de arena que se extiende al oriente de Barranquilla, sus límites están formados por el río Magdalena en el oeste, el mar Caribe en el norte, la Ciénaga Grande de Santa Marta en el sur y la conexión entre el mar y la ciénaga en el este. La carretera Barranquilla-Ciénaga, modificó el régimen estuarino y las diferentes bocas que presentaba el Delta del Magdalena en esta área. Actualmente todo el manglar original que ocupaba el terreno entre Caño Clarín y la Ciénaga Grande de Santa Marta se encuentra muerto, salvo una angosta faja de *Avicennia germinans* en el manglar noroccidental de la isla.

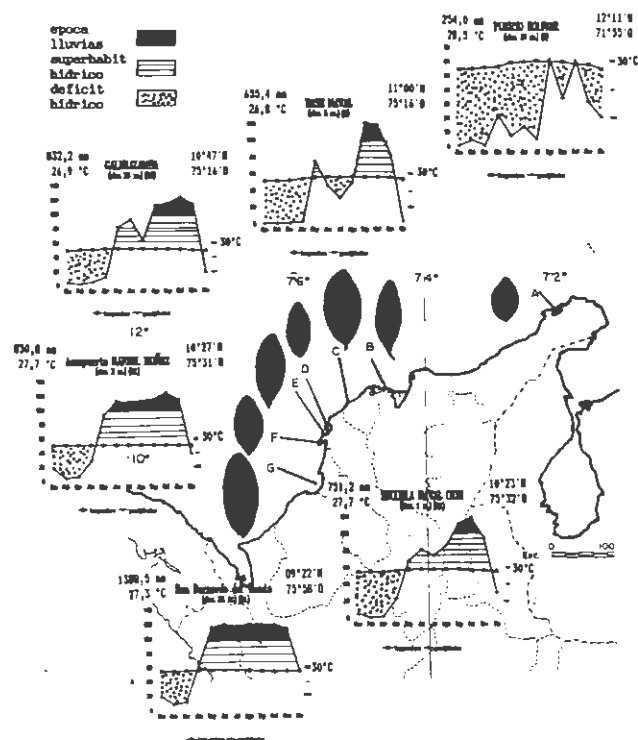


Figura 1. Localidades de estudio, la hoja promedio por estación en escala 1:5 y los climógramas. A-Bahía de Portete; B-Isla de Salamanca; C-Ciénaga del Totumo; D-Ciénaga de Juan Polo; E-Isla de Tierrabomba; F-Bahía de Barbacoas; G-Tolú, Golfo de Morrosquillo.

La ciénaga del Totumo tiene una superficie de 15 km², se encuentra comunicada con el mar por una pequeña boca de unos 20 m de ancho, la cual actualmente está regulada por una bocatoma, por esto sus aguas son dulces, ya que recibe el agua de numerosos arroyos. En las tierras colindantes a la Ciénaga del Totumo se encuentra vegetación higrotropofítica en suelos arcillosos (Fig. 2B).

La ciénaga de Juan Polo presenta un área total de 515 Km², con dos cauces principales: el arroyo Tabacal y el Hormiga. La ciénaga se puede dividir en dos zonas: la occidental que muestra a *Rhizophora mangle* ocupando áreas adyacentes al cuerpo de agua de la ciénaga y conforme se aleja de la orilla da paso a *Avicennia germinans*, especie que se presenta en mayor porcentaje, casi hasta la orilla del mar en donde se observa alguna vegetación de marismas (*Sesuvium*, *Batis*); la especie *Laguncularia racemosa* se encuentra en pequeños parches, asociada tanto a *Rhizophora* como a *Avicennia*. La zona oriental presenta menor área de mangle, escasa presencia de *L. racemosa*, aparece *Conocarpus erecta* hacia las partes secas, un mejor desarrollo de la vegetación de marismas y presencia de vegetación subxerofítica (Carrvajal & Cabezas, 1989) (Fig. 2C).

La Isla de Tierrabomba se encuentra frente a la Bahía de Cartagena en la boca la Bahía. La costa occidental de la Isla de Tierrabomba es ligeramente sinuosa, muy rocosa y escarpada. La costa en casi todo su recorrido presenta a lo largo el afloramiento de una plataforma de caliza madreporica pleistocénica, que se encuentra de +1 a +3 metros sobre el nivel del mar, aunque en algunas zonas ha desaparecido por causas tectónicas (Royo & Gómez, 1950 en Ramírez & de la Pava, 1981).

La Bahía de Barbacoas se localiza al sur de la ciudad de Cartagena, en donde desemboca el Canal del Dique. Estos manglares no permiten la entrada directa de los vientos, lo que hace que la superficie del agua se observe casi estática. De la Bahía de Barbacoas se seleccionó el sector meridional, por la boca de "Arroyo Hondo", el cual comunica la Ciénaga del mismo nombre con la Bahía. Se presume que anteriormente la topografía incluía una barra arenosa, la cual facilitó el desarrollo de *Avicennia germinans*, la erosión de dicho accidente, produjo cambios en las condiciones del hábitat; al final quedó un bosque de características comunes a los de cuenca y, en su parte interior, a un bosque mixto ribereño-cuenca, donde *Rhizophora mangle* domina sobre la orilla de los caños. Detrás se observan ejemplares en ecesis de *Laguncularia racemosa* y *Pelliciera rhizophorae*, y más hacia el interior se encuentra dominando *A. germinans* (Araujo & Polanía, 1985) (Fig. 2D).

Tolú y Coveñas fisiográficamente pertenece a la llanura costera aluvial de Morrosquillo, que por ser extremadamente plana, presenta gran cantidad de ciénagas y lagunas costeras, donde los agentes principales son el mar y las inundaciones de agua dulce durante las épocas de invierno. Los manglares de la región presentan una sucesión de tipo clásico (Davis, 1940), circundando las masas de agua un *Rhizophoretum*, seguidamente un *Avicennietum* y un *Laguncularietum*, con bosques que se extendían anteriormente por vastas zonas, que hoy en día se ven muy reducidas, debido a la tala de los bosques y relleno de ciénagas para construcción de complejos turísticos y áreas para ganadería (Fig. 2E). Para una descripción más detallada de las localidades se recomienda ver Pinto-Nolla & Naranjo-González (1993).

Metodología

Se establecieron siete estaciones de muestreo en los meses de abril y mayo de 1990. Se utilizó la metodología de Cintrón & Schaeffer-Novelli (1983a) para las siguientes variables: transecto perpendicular a la línea de costa para hacer un perfil de la vegetación, cobertura a partir de cuadrantes de 5x5 m; altura de los árboles, DAP, longitud y anchura máximas de las láminas foliares. Además de estas características: diámetro copa, grado máximo de ramificación, longitud peciolo, número de nervios secundarios, textura foliar, altura emergida de los pneumatóforos (medida a partir del suelo), área foliar y área pastoreada, la distancia media entre los nudos de la plántula.

Para la ubicación geográfica se utilizaron mapas 1:25.000, 1:150.000 y 1:250.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Los datos climáticos tales

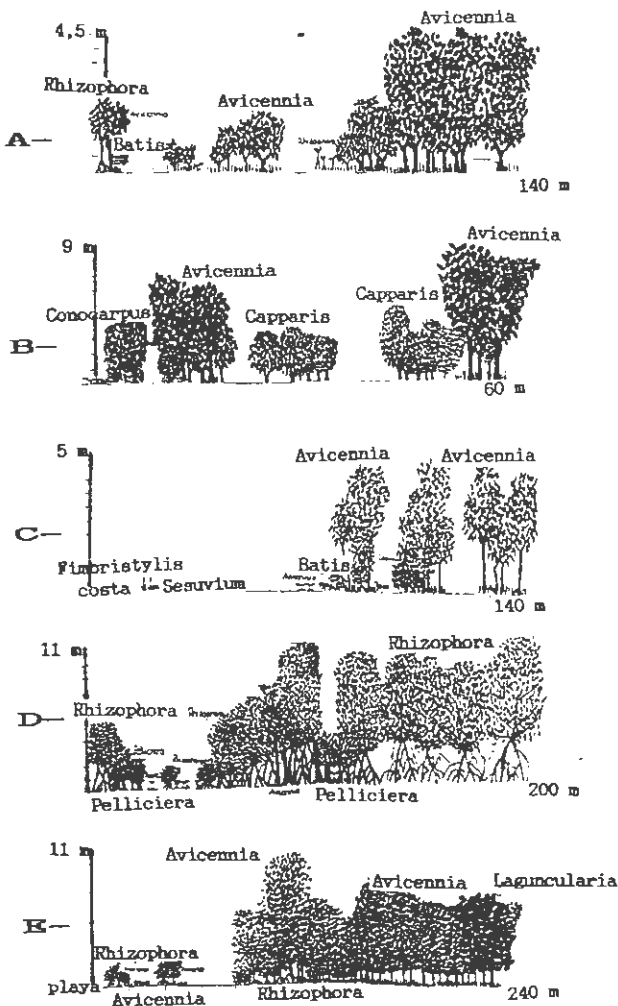


Figura 2. Cortes de perfil de la vegetación de las estaciones. A-Bahía de Portete. B-Ciénaga del Totumo. C-Ciénaga de Juan Polo. D-Bahía de Barbacoas. E-Golfo de Morrosquillo.

como pluviosidad, temperatura, radiación solar, evaporación, velocidad del viento y humedad relativa, fueron tomados de los registros Instituto Colombiano de Hidrología Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT). Para los climogramas la parte negra corresponde a la época de lluvias, las líneas verticales a cuando la precipitación sobrepasa la evaporación y la parte punteada es cuando hay déficit hídrico.

Recolección de muestras: se recogieron 50 cañas de sol maduras de cada árbol muestreado, así como de los arbustos y plántulas, para un total de 34 plantas de *Avicennia germinans* referenciadas con todas las observaciones y medidas ya anotadas. Las muestras de suelos (40-muestras) y agua (22 muestras) de las regiones estudiadas fueron tomadas en bolsas plásticas y frascos

sellados. En el campo se midió el pH con papel indicador MERCK con una precisión de 0,2. Las muestras de suelos y agua fueron analizadas en Bogotá, se consideraron las siguientes variables: pH, humedad, materia orgánica total, Cl^- , SO_4^{2-} , CaCO_3 , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y la conductividad. La salinidad se determinó tanto en el suelo como en el agua como la suma de los cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) y los aniones (Cl^- y SO_4^{2-}) (en el agua se corroboró el valor obtenido con la conductividad); las sales de cloruro, sodio, potasio, magnesio, sulfuros y calcio comprenden el 99 por ciento de la composición química del agua marina (Hamilton & Snedaker (eds), 1984). La determinación granulométrica de los suelos fué llevada a cabo en el Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en Bogotá; se utilizó la clasificación según los criterios sedimentológicos pro-

Tabla 1. Correlaciones lineales simples y múltiples en *Avicennia germinans* (L.) L. entre variables morfométricas y factores climáticos y características del suelo y el agua en la COSTA CARIBE COLOMBIANA.

#	VAR.DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTES			CDM r^2	g.l	ECUACION ESTIMADA
		X_1	X_2	X_3			
	Y						
1	área foliar	LARGO	*	*	0.76	27	$Y = -12,1 + 4,42X$
2	área foliar	ANCHURA	*	*	0.74	27	$Y = -19,44 + 11,55X$
3	área foliar	LARxANC	*	*	0.94	27	$Y = -0,53 + 0,77X$
4	área foliar	LARGO	ANCHURA	*	0.92	26	$Y = -24,94 + 2,77X_1 + 6,96X_2$
5	área foliar	SAL %ag	*	*	0.43	17	$Y = 38,98 - 3,75X_1$
6	área foliar	mPRE/100	SAL %ag	pHagua	0.68	15	$Y = 66,42 + 1,27X_1 - 2,07X_2 - 6,06X_3$
7	largo foliar	mHUM REL	M.ORG. suelo	SAL %ag	0.89	14	$Y = -17,89 + 0,34X_1 - 0,03X_2 - 0,29X_3$
8	largo foliar	SAL %ag	*	*	0.81	17	$Y = 10,11 - 0,52X_1$
9	anchura foliar	Na+/K+ suelo	SAL %ag	*	0.65	15	$Y = 5,39 - 0,02X_1 - 0,28X_2$
10	anchura foliar	SAL %ag	*	*	0.53	16	$Y = 5,16 - 0,32X_1$
11	ancho/largo foliar	mBS/100	Arena gruesa	*	0.78	25	$Y = -0,33 + 0,03X_1 + 0,0022X_2$
12	longitud peciolo	HUMEDAD RELATIVA	*	*	0.81	16	$Y = -36,77 + 0,50X_1$
13	# nervios secundarios	mPRE/100	*	*	0.41	26	$Y = 8,01 + 0,48X_1$
14	grado textural	HUM REL	*	*	0.52	16	$Y = 39,53 - 0,43X_1$
15	grado textural	HUM REL	pHs	*	0.78	25	$Y = 35,33 - 0,45X_1 + 0,94X_2$
16	altura	SAL %ag	*	*	0.33	17	$Y = 6,02 - 0,59X_1$
17	DAP	SAL %ag	pHag	*	0.63	12	$Y = 39,59 - 1,8X_1 - 3,06X_2$
18	FUSTE	Arena fina	SAL %ag	*	0.70	11	$Y = 2,03 - 0,02X_1 - 0,14X_2$
19	FUSTE	SAL %ag	*	*	0.53	12	$Y = 1,76 - 0,18X_1$
20	área pastoreada	SAL %ag	*	*	0.45	11	$Y = 4,07 - 0,54X_1$
21	distancia entre nudos	SAL %ag	*	*	0.85	4	$Y = 6,83 - 0,53X_1$
22	altura pneumatóforos	pHs	HUMEDAD	*	0.54	23	$Y = 45,08 - 5,91X_1 + 0,66X_2$

puestos por Vernet (1982): grava (+2 cm), grnulo (2 cm-2 mm), arena gruesa (500 μ-2 mm), arena media (160 μ-500 μ), arena fina (63 μ-160 μ), finos (- 63 μ).

La identificación de la flora se realizó en el Jardín Botánico de Cartagena "Guillermo Piñeres" (JBGP) y en el Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de Bogotá (COL) (Tabla 2).

La ordenación de datos y tratamiento estadístico se trabajó en Hoja de Cálculo Lotus 123 y programa Statgraf. Se determinaron medias, máximos y mínimos, desviación estandar, número mínimo de muestras; igualmente se calcularon regresiones lineales simple, parcial y múltiple y el coeficiente de correlación producto-momento simple CCS, parcial CCP y múltiple CCM de Pearson para lograr las mejores estimaciones estadísticas. Para graficar las correlaciones se hizo análisis cluster con ligamiento promedio (UPGMA) (Fig. 3) y de componentes principales (Fig. 4). Para los CCS se realizó el test de significación y se establecieron límites de confianza, con la prueba de t de "Student" (95%) para test de una cola, la Z de Fisher y la transformación de Z de Hotelling (1953) que alcanza a ser válida para muestras $n \geq 10$, (en Daniel, 1984). Para los CCM se estableció su significación con el test F de Fisher, (99%). Para los coeficientes de regresión y correlación parcial (r) se estimó la confianza con la prueba de t de student para un límite de confianza del 99%.

Resultados

Area foliar

El clima tiene influencia en el área foliar del mangle "salado". La humedad relativa presentó un valor significativo ($r^2=0,75$) de correlación positiva con el área foliar, en tanto que la precipitación tiene apenas una correlación directa de $r^2=0,18$.

Con la salinidad intersticial del agua, Soto & Corrales (1987) para Costa Rica estiman una correlación negativa con el área foliar de *Avicennia germinans*, con un $r=71,2\%$ y $84 \text{ gl } Y=+1,59 -0,0104X$. La correlación de la salinidad del agua con el área foliar para el Caribe colombiano fue inversa y con un $r=65\%$; $Y=38,98-3,75X$ 17 gl (Tabla 1, Fig. 5A). La mejor correlación múltiple ($r^2=0,68$) se logra con tres variables: la precipitación media anual (relación directa), la salinidad y el pH del agua (relación inversa) con 15 gl (Tabla 1, Fig. 5H). Las áreas foliares máximas encontradas fueron la Ciénaga del Totumo -Atlántico- ($50,4 \text{ cm}^2$) y en la región de Tolú -Sucre- ($45,9 \text{ cm}^2$); los menores valores fueron en Bahía Portete -Guajira- ($12,0 \text{ cm}^2$) y la Ciénaga de Juan Polo -Bolívar- ($11,5 \text{ cm}^2$).

Longitud foliar

Lugo et al. (1981) determinaron una relación inversa entre la salinidad del agua y la longitud de las hojas de *Rhizophora mangle* ($r^2=0,57$; 17 gl) al comparar hojas colectadas en Puerto Rico, Haití y La Florida. El coeficiente de determinación de la longitud foliar de *Avicennia germinans* con la salinidad del agua encontrado no es muy alto ($r^2=0,30$) -relación inversa- (Fig. 5B); en tanto que Soto & Corrales (1987) obtuvieron un $r^2=0,82$ para *A. germinans* en la Costa Pacífica de Costa Rica. Se logró un buen $r^2=0,86$; 14 gl , con las variables humedad relativa media/anual (relación directa), contenido de materia orgánica del suelo (relación inversa) y la salinidad del agua (relación inversa) (Tabla 1, Fig. 5I). La longitud foliar media para la Costa Caribe Colombiana fue de $8,47 \pm 0,28 \text{ cm}$. Los valores medios máximos se encontraron en Tolú ($11,5 \text{ cm}$), Ciénaga del Tótumo ($10,6 \text{ cm}$) y en Isla de Salamanca ($10,0 \text{ cm}$). Las más pequeñas se encontraron en Bahía Portete ($5,0 \text{ cm}$).

Anchura foliar

La longitud y la anchura foliar de *Avicennia germinans* en la Costa Caribe Colombiana presentan una

Dendrograma: Unión promedio-UPGM (Correlación de Pearson)

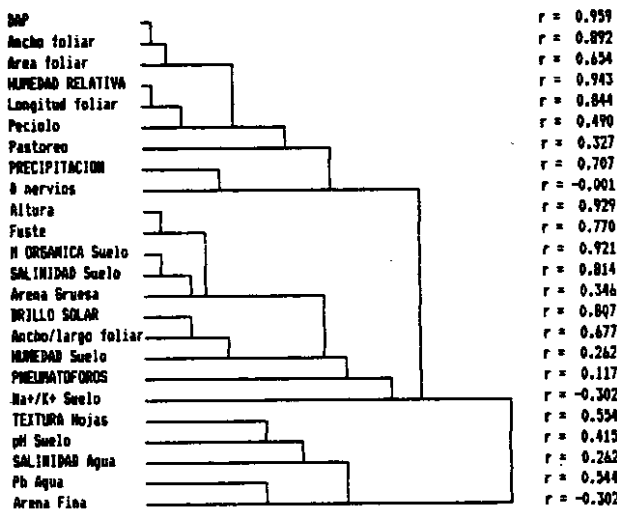


Figura 3. Dendrograma de similitud entre las variables ambientales y las medidas morfométricas de *Avicennia germinans* según el coeficiente de correlación de Pearson.

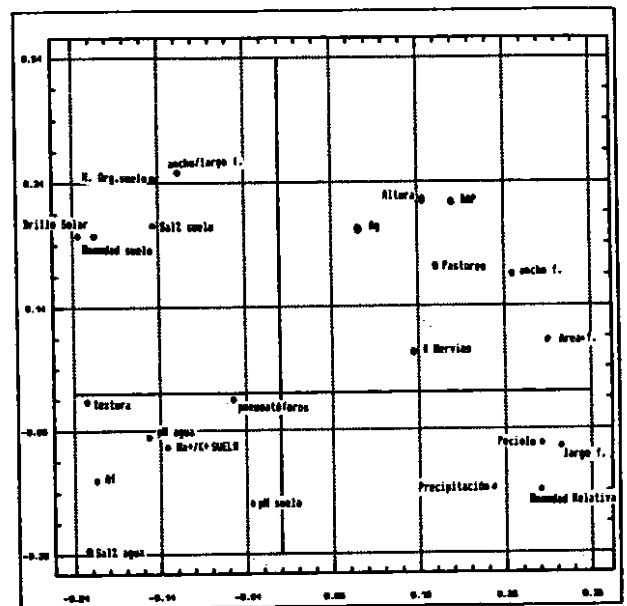


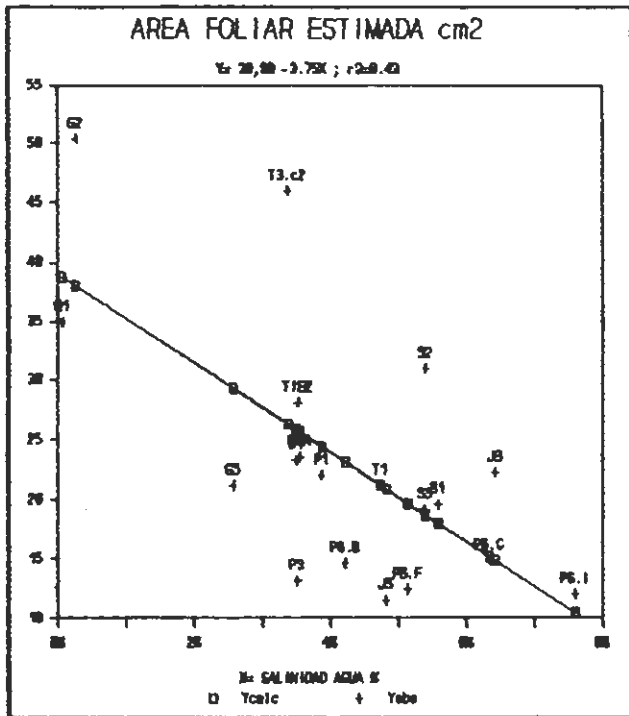
Figura 4. Análisis de componentes principales de las variables según el grado de correlación.

TABLA 2a. Flora de los manglares de la Costa Caribe Colombiana

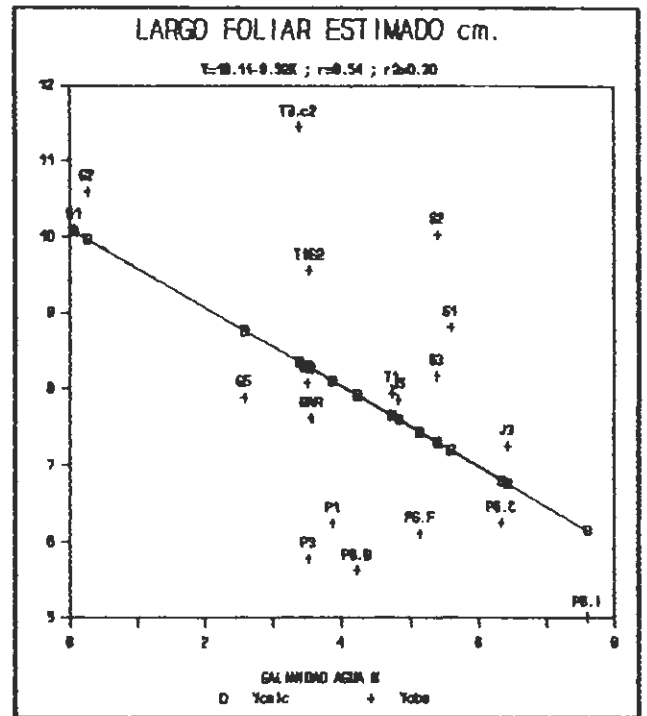
PLANTAS ASOCIADAS A LOS MANGLARES DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA		
Las plantas que se presentan a continuación fueron recolectadas en los meses de marzo a mayo de 1990 en diferentes localidades donde se desarrolla el "manglar salado" <i>Avicennia germinans</i> en la Costa Caribe Colombiana.		
LISTADO DE PLANTAS ORDENADO ALFABETICAMENTE		
POR FAMILIAS, GENEROS Y ESPECIES		
FAMILIA	GENERO-ESPECIE	UBICACION
Acanthaceae	<i>Ruellia paniculata</i> L.	Ciénaga del Totumo
Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i> L.	B. Portete y C. de Juan Polo
Amaranthaceae	<i>Alternanthera ficoidea</i> (L.) R.Br.	Ciénaga del Totumo
Asclepidaceae	<i>Phumeria pudica</i> Jac.	Isla de Tierrabomba
Avicenniaceae	<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	B. Portete, I. Salamanca, C. Totumo, C. Juan Polo, Barbacoas y Tolú.
	MANGLE SALADO	
Batidaceae	<i>Batis maritima</i> L.	B. Portete, I. Salamanca C. Juan Polo e I. Tierrabomba
	VERDOLAGA DE PLAYA	
Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i> L.	Ciénaga del Totumo
	TOTUMO	
Capparidaceae	<i>Capparis flexuosa</i> L. <i>Capparis</i> sp.	Isla de Tierrabomba Ciénaga del Totumo
Chenopodiaceae	<i>Heterostachys vitteriana</i> (Moq.) Tandon <i>Salicornia fruticosa</i> L.	Bahía de Portete Ciénaga de Juan Polo
Combretaceae	<i>Conocarpus erecta</i> L.	C. Totumo, Tierrabomba y Tolú
	MANGLE ZARAGOZA	
Laguncularia	<i>racemosa</i> (L.)	Salamanca, Totumo, Tierrabomba y Tolú
	MANGLE AMARILLO	
Terminalia	<i>catappa</i> L.	Tolú (G. de Morrosquillo)
	ALMENDRO	
Compositae	<i>Ambrosia cumanensis</i> H.B.K. <i>Spilanthes mens</i> Jacquin	Ciénaga del Totumo Ciénaga del Totumo

TABLA 2b. Flora de los manglares de la Costa Caribe Colombiana

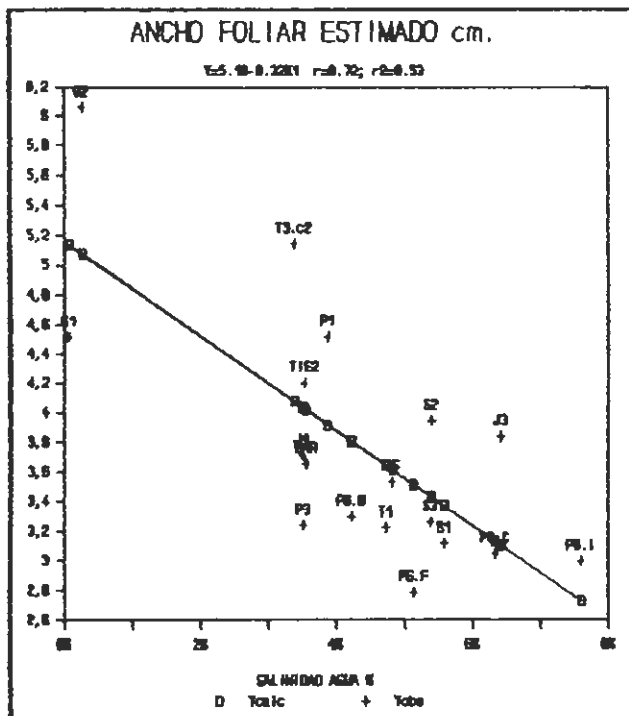
PLANTAS ASOCIADAS A LOS MANGLARES DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA			
FAMILIA	GENERO-ESPECIE	NOMBRE COMUN	UBICACION
Cyperaceae	<i>Fimbristylis cymosa</i> R.Br. <i>Fimbristylis</i> sp.		Isla de Tierrabomba Isla de Tierrabomba
Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce dioica</i> (Kunt.) Millspaugh <i>Croton</i> sp.		Ciénaga del Totumo Ciénaga del Totumo
Gramineae	<i>Cenchrus</i> sp. <i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene <i>Sporobolus pyramidatus</i> (Lam.) Hitchc.		Ciénaga del Totumo Ciénaga de Juan Polo Ciénaga de Juan Polo
Malvaceae	<i>Bastardia viscosa</i> H.B.K. <i>Malvastrum americanum</i> (L.) Torrey		Ciénaga del Totumo Ciénaga del Totumo
Menispermaceae	<i>Cissampelos acutigera</i> Tr. & Pl. cf.		Ciénaga del Totumo
Mimosaceae	<i>Desmontus virgatus</i> (L.) Willd <i>Senegalia tamarindifolia</i> (L.) B. & R. <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC		Ciénaga del Totumo Tolú (G. de Morrosquillo) Ciénaga del Totumo
	TRUPILLO		
Passifloraceae	<i>Passiflora foetida</i> L.		Isla de Tierrabomba
Pelliceraceae	<i>Pelliciera rhizophorae</i> T. & P.		Bahía de Barbacoas
	MANGLE PIÑUELO		
Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i> (L.) Jacq.		Tolú (G. de Morrosquillo)
	UVITO DE PLAYA		
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i> L.		B. Portete, Salamanca, C. Totumo, C. Juan Polo, Barbacoas y Tolú.
	MANGLE ROJO		
Rubiaceae	<i>Morinda toioc</i> L.		Isla de Tierrabomba
Sapindaceae	<i>Paullinia</i> sp. cf.		Ciénaga del Totumo
Solanaceae	<i>Lycium tweedianum</i> Griseb. <i>Solanum campechiense</i> L.		Bahía de Portete Ciénaga del Totumo



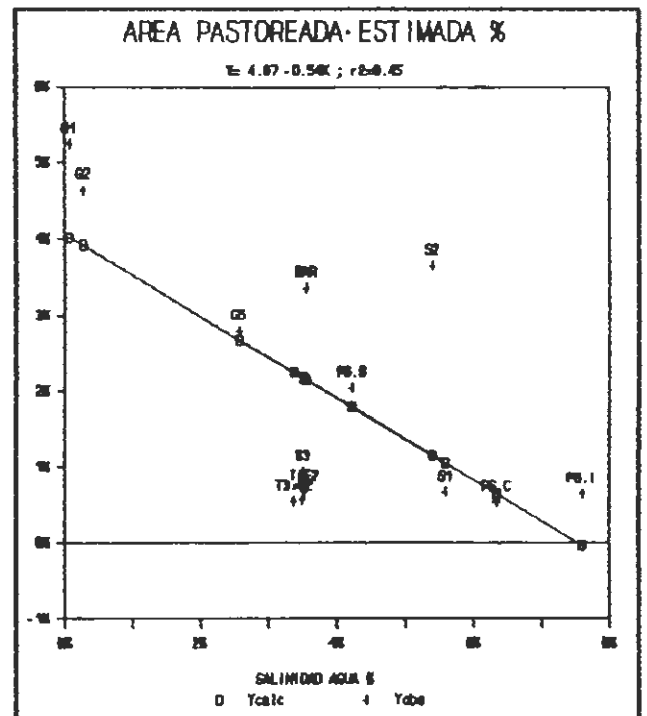
A
 Area foliar (Y) estimada en función de la salinidad del agua (X); $Y=38,98-3,75X$, $r^2=0,43$.



B
 Largo foliar (Y) estimado en función de la salinidad del agua (X); $Y=10,11-0,52X$, $r^2=0,30$.

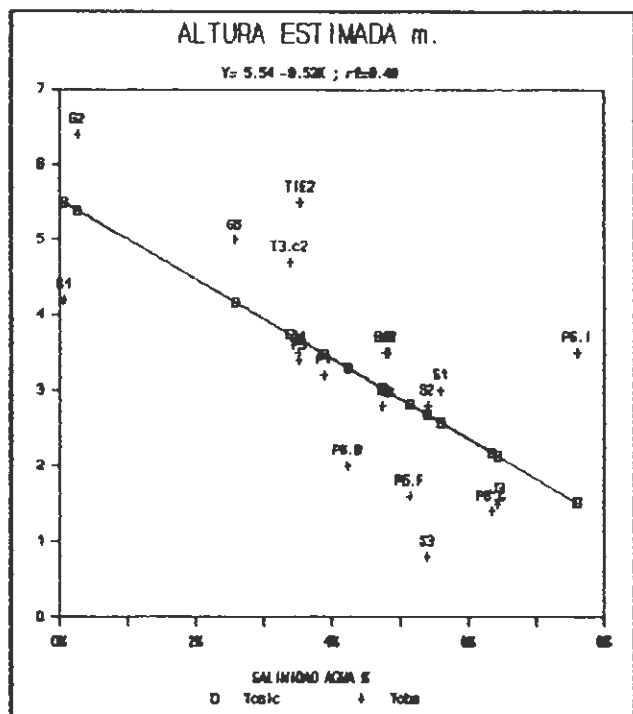


C
 Anchura foliar (Y) estimada en función de la salinidad del agua (X) $Y=5,16+0,32X$, $r^2=0,53$.

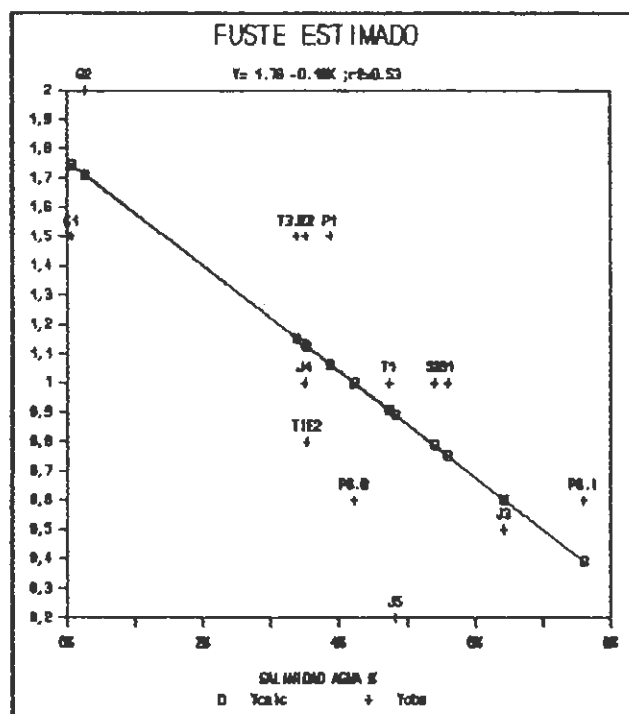


D
 % de área pastoreada foliar (Y) estimada en función de la salinidad del agua (X); $Y=4,07-0,54X$, $r^2=0,45$

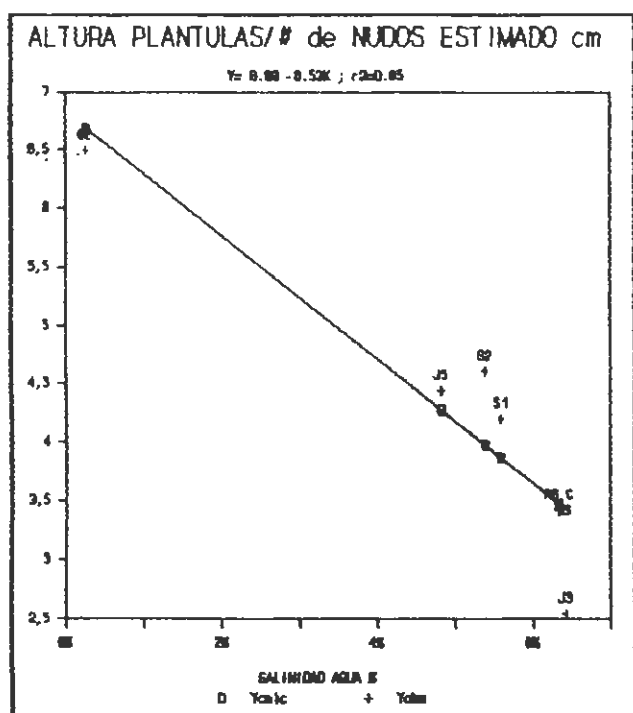
Figura 5. Estimación de diferentes medidas morfométricas de *Avicennia germinans* según la salinidad del agua del sustrato.



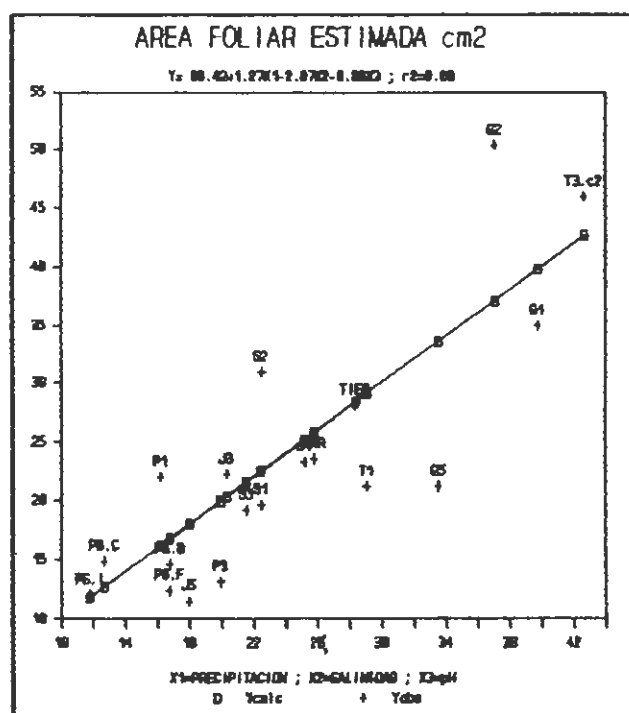
E Altura (Y) estimada en función de la salinidad del agua (X); $Y = 5,54 - 0,53X$, $r^2 = 0,48$.



F Fuste (Y) estimado en función de la salinidad del agua (X); $Y = 1,76 - 0,18X$, $r^2 = 0,53$.



G Distancia entre-nudos en plantulas (Y) estimada en función de la salinidad del agua (X); $Y = 6,83 - 0,53X$, $r^2 = 0,85$.



H Area foliar (Y) según la Precip.(X_1), la sal (X_2) y el pH del agua (X_3); $Y = 66,42 + 1,27X_1 - 2,07X_2 - 6,06X_3$; $r^2 = 0,68$.

Figura 5. Estimación de diferentes medidas morfométricas de *Avicennia germinans* según diferentes variables ambientales.

correlación con un $r^2=46\%$ (1712 gl), que es relativamente bajo ya que se esperaba que a mayor largo foliar aumentase proporcionalmente la anchura de la hoja, lo que no sucede. La anchura foliar demuestra tener una significativa correlación inversa con la salinidad del agua ($r^2=0,53$) (Tabla 1, Fig. 5C). Para la costa Pacífica en Costa Rica, Soto & Corrales (1987), determinaron un $r^2=0,80$ para la regresión entre el ancho y la salinidad del sustrato. Si se escogen como variables independientes la relación Na^+/K^+ en el suelo y la salinidad en el agua se logra una correlación inversa con un $r^2=0,65$; 15 gl) (Tabla 1, Fig. 5J). La anchura promedio para la Costa Caribe Colombiana fué de $3,81 \pm 0,04$ cm. El valor máximo de anchura foliar se presenta en la Ciénaga del Totumo (6,06 cm.) y el mínimo en la Ciénaga de Juan Polo (2,2 cm).

Relación anchura foliar/longitud foliar

El valor mayor se encuentra en Bahía Portete ($r^2=0,72$) donde la hoja es de forma ovoide y el menor valor en Salamanca ($r^2=0,26$) donde la hoja tiende a la forma lanceolada. Ochoa *et al.* (1988) determinaron un promedio de longitud y anchura de las hojas de *Avicennia* en la Ciénaga Grande de Santa Marta de $9,33 \times 3,96$ cm, este tamaño, según estos autores, evidencia el "stress" al cual está sometido los manglares en la ciénaga ya que están dentro del rango de los hallados para un bosque árido de Puerto Rico (Cintrón *et al.*, 1978). Los valores medios de longitud y anchura para Salamanca encontrados fueron $9,38 \times 3,44$ cm. La mejor correlación múltiple se obtuvo con el brillo solar media/anual y la proporción de arena gruesa en el sustrato ($r^2=0,78$; 25 gl) (Tabla 1, Fig. 5K).

Longitud del peciolo

La longitud del peciolo presenta correlación directa con la longitud ($r^2=0,55$) y el área foliar ($r^2=0,42$), y en menor medida con la anchura foliar ($r^2=0,29$). Con la humedad relativa existe una correlación positiva $r^2=0,81$ (Tabla 1, Fig. 5L). El valor mayor en la Costa Caribe Colombiana se encontró en la Isla de Salamanca (8 mm). La longitud más corta de peciolo se encontró en Bahía Portete y Ciénaga de Juan Polo (1 mm)

Número de nervios secundarios en la hoja

Presenta alguna relación directa con los demás parámetros morfométricos foliares; con la longitud ($r^2=0,36$) y con el área foliares ($r^2=0,30$). La precipitación media/anual alcanza una correlación positiva con el número de nervios secundarios de ($r^2=0,41$; 25 gl) (Tabla 1, Fig. 5LL). Los valores máximos se obtuvieron en Tolú (18) y el mínimo en Bahía Portete (7).

Grado textural

El grado textural muestra una significativa correlación inversa con la longitud ($r^2=0,53$), el área ($r^2=0,45$) y la anchura ($r^2=0,36$) foliares y la longitud del peciolo ($r^2=0,35$).

La mejor correlación -inversa- se obtuvo con la humedad relativa, media/anual, $r^2=0,63$; 16 gl; y con la humedad relativa y el pH del suelo ($r^2=0,78$; 25 gl) (Tabla 1, Fig. 5M). La textura más coriácea fue en la Isla de Tierrabomba (8) y en la Guajira (7) y la más cartácea se encontró en Tolú y en la Ciénaga del Totumo (1).

Area foliar pastoreada

Ochoa *et al.* (1988), estimaron un promedio de 15,06% de área pastoreada para *Avicennia germinans* en la Ciénaga Grande de Santa Marta. En tanto que Escallón & Rodríguez (1981) dan un porcentaje del 10% en el manglar del Parque Nacional Natural de Sanquianga (dominado por *Rhizophora harrisonii*). El mayor herbivorismo que se encontró en la Costa Caribe Colombiana para *Avicennia germinans* se observó en la Ciénaga del Totumo (5,24%) y el menor en Tolú (0,48%) y en Bahía Portete (0,52%). Obtuvimos que el área pastoreada foliar dependía inversamente de la salinidad del agua ($r^2=0,45$; 17 gl) (Tabla 1, Fig. 5D). Remarcamos como en la Bahía de Barbacoas el mangle "piñuelo" *Pelliciera rhizophorae* no presentaba ningún ataque en las hojas de los insectos u hongos; en tanto que las hojas del mangle "rojo", "blanco" y "salado" -*Rhizophora*, *Laguncularia* y *Avicennia* respectivamente-, se encontraban bastante deterioradas.

Altura

La altura de *Avicennia germinans* se relaciona directamente con la longitud ($r^2=0,34$), la anchura ($r^2=0,33$), el área ($r^2=0,40$) y la textura ($r^2=0,31$) foliares. La salinidad del agua tiene un coeficiente de correlación negativo ($r^2=0,48$; 16 gl) con la altura (Tabla 1, Fig. 5E). Cintrón *et al.* (1978) estimaron un $r^2=0,72$ (30 gl) de correlación entre la salinidad (X) del agua intersticial y la altura (Y) de los manglares de las costas áridas de Puerto Rico e islas adyacentes ($Y=16,58-0,20X$). Las mayores alturas fueron las de Tolú (9,5 m), Arroyo Hondo -Bahía de Barbacoas- (8,7 m), Ciénaga del Totumo (8 m). Los árboles más pequeños se observaron en Bahía Portete (2 m) y en la Ciénaga de Juan Polo (3,5 m). La influencia de la salinidad en el gradiente de la altura de las plantas del manglar "salado", en relación de la salinidad del sustrato en una localidad determinada, ha sido documentado para la costa Pacífica de Costa Rica por Jiménez (1981) y Soto & Jiménez (1982) (en Soto & Corrales, 1987).

Diámetro altura del pecho (DAP)

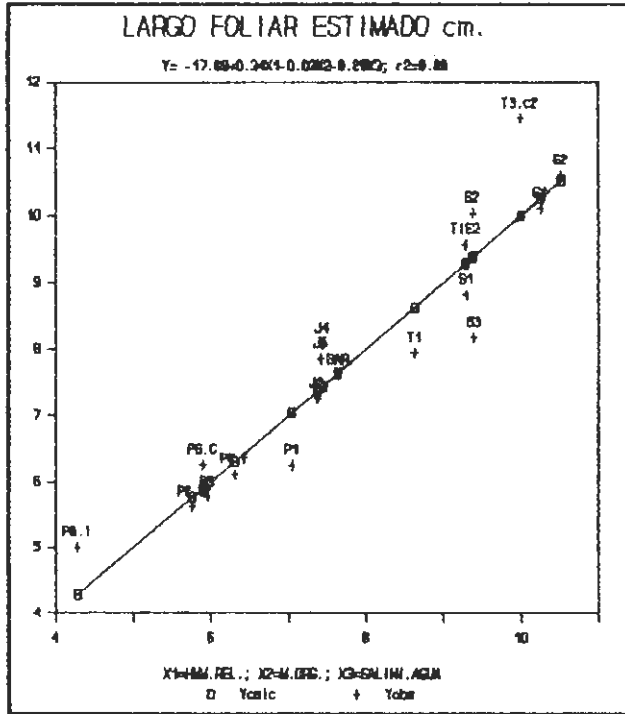
El DAP tiene una significativa correlación positiva con la altura ($r^2=0,77$), con el fuste ($r^2=0,51$), con el diámetro de la copa ($r^2=0,52$), y menor con el área foliar ($r^2=0,40$).

La regresión simple de la salinidad del agua con el DAP tiene un $r^2=0,54$. Si se utilizan la salinidad y el pH del agua (relación inversa) se logra obtener un $r^2=0,63$ (Tabla 1, Fig. 5N).

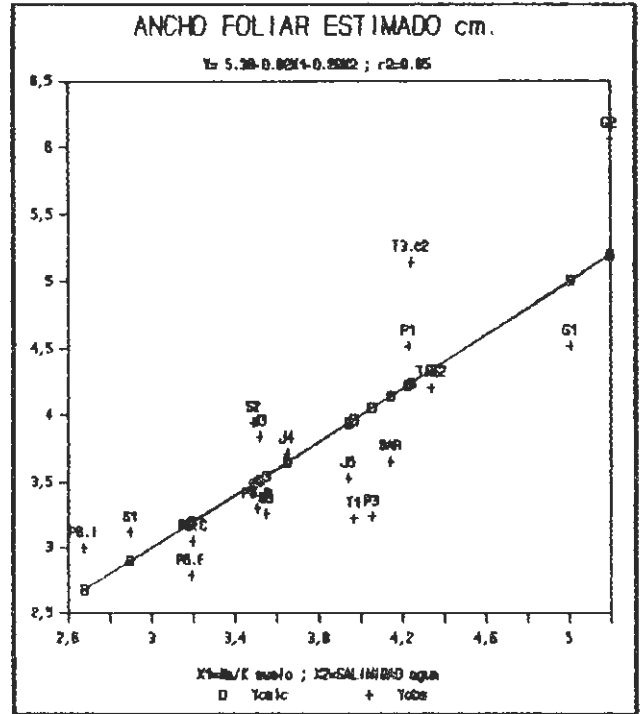
Los valores máximos de DAP se encuentran en Tolú (38,2 cm) y en la ciénaga del Totumo (30,56 cm). Los mínimos en Bahía Portete (6,37 cm), ciénaga de Juan Polo (2,55 cm) y Tolú (2,55 cm).

Fuste

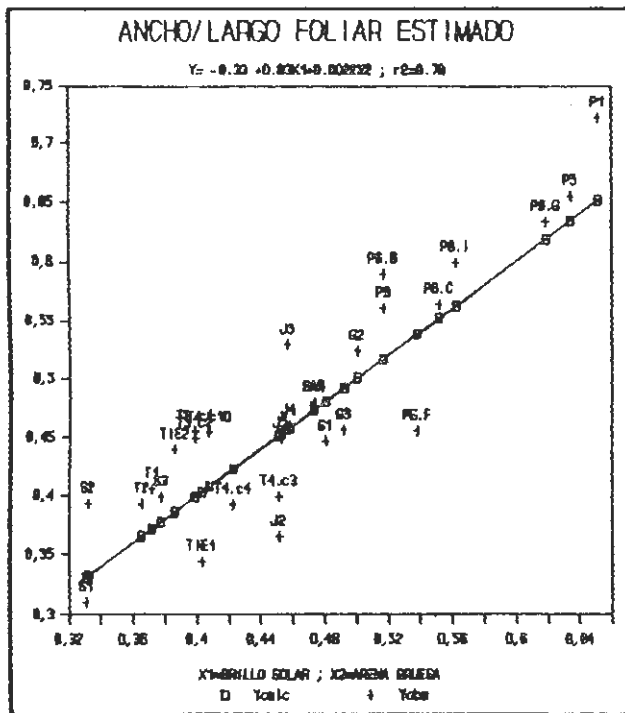
El fuste tiene una buena relación directa con la altura ($r^2=0,73$) pero no tan alta como podría esperarse. De la correlación del fuste y la salinidad del agua se



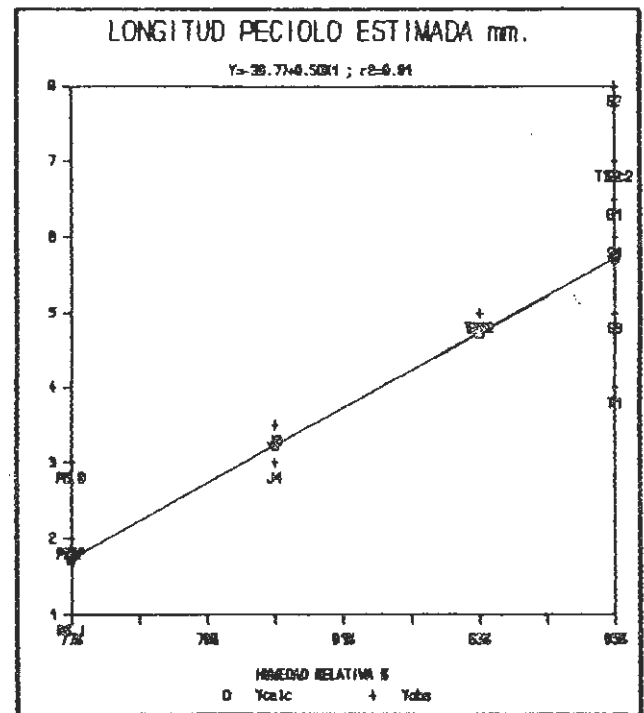
I Largo foliar (Y) según la HR (X_1), la M. Orgánica suelo (X_2) y la Sal del agua (X_3); $Y = -17,89 + 0,34X_1 - 0,03X_2 - 0,29X_3$, $r^2 = 0,88$.



J Anchura foliar (Y) estimada según la relación Na/K suelo (X_1) y de la salinidad del agua (X_2); $Y = 5,39 - 0,825X_1 - 0,28X_2$, $r^2 = 0,65$.

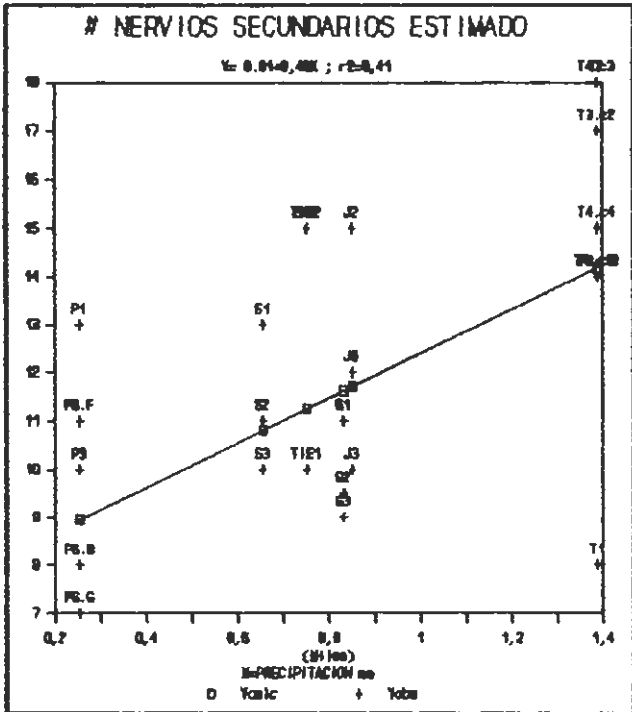


K Relación Ancho y Largo foliar (Y) según el brillo solar (X_1) y la arena gruesa (X_2); $Y = -0,33 + 0,83X_1 + 0,0022X_2$, $r^2 = 0,78$.

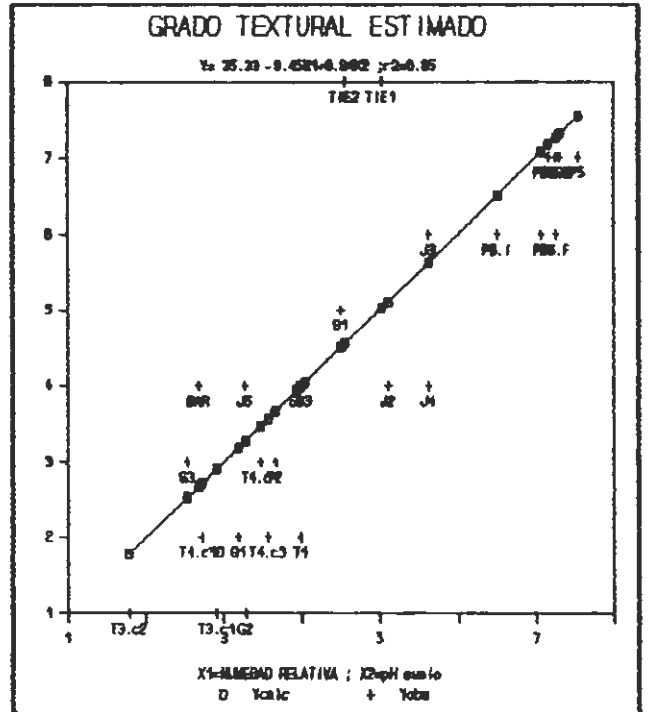


L Longitud del peciolo de las hojas (Y) estimada en función de la humedad relativa media anual (X); $Y = -36,77 + 0,50X$, $r^2 = 0,81$.

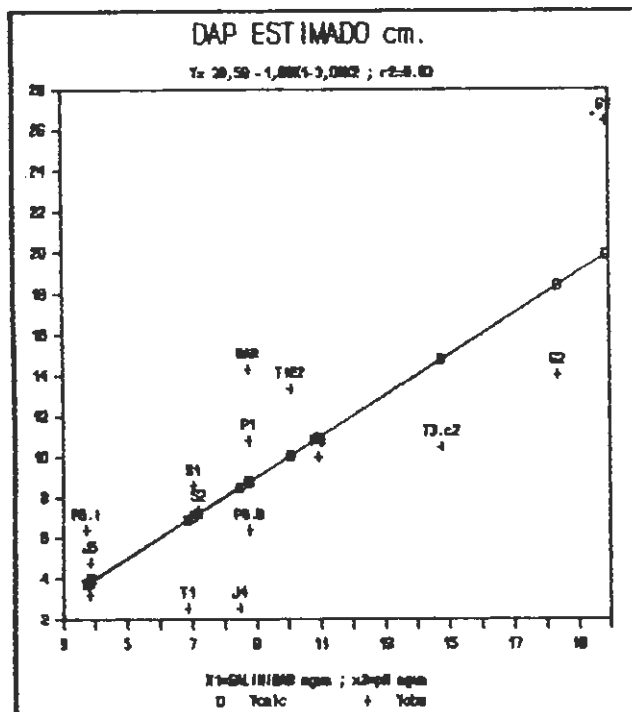
Figura 5. Estimación de diferentes medidas morfométricas de *Avicennia germinans* según diferentes variables ambientales.



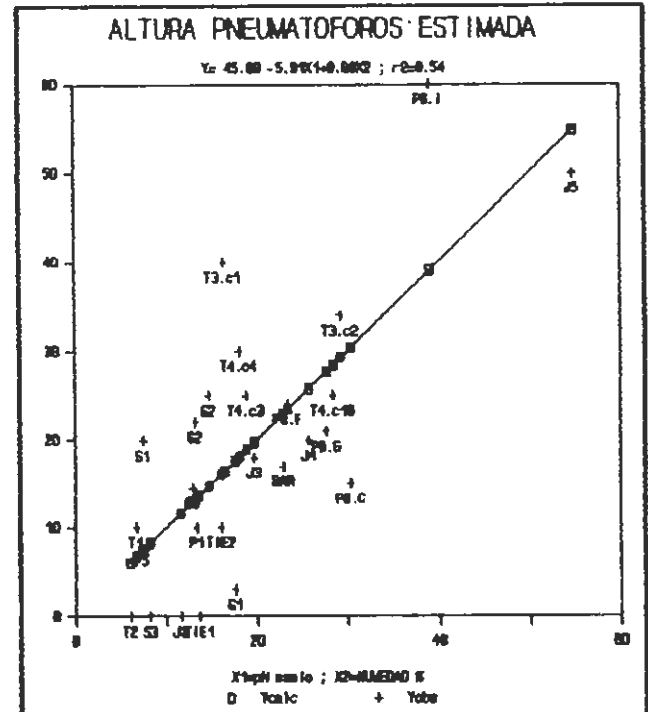
L N° de Nervios secundarios de las hojas (Y) estimados en función de la precipitación media anual (X); $Y=8,01+0,48X$, $r^2=0,41$.



M Grado Textural de las hojas (Y) estimado según la humedad relativa (X_1) y el pH del suelo (X_2); $Y=35,33-0,45X_1+0,94X_2$, $r^2=0,65$.



N DAP (Y) estimado en función de la salinidad del agua (X_1) y el pH del agua (X_2); $Y=38,58-1,88X_1-3,06X_2$, $r^2=0,63$.



N Pneumatóforos (Y) estimados según el pH del suelo (X_1) y la humedad del terreno (X_2); $Y=45,08-5,91X_1+0,66X_2$, $r^2=0,54$.

Figura 5. Estimación de diferentes medidas morfométricas de *Avicemia germinans* según diferentes variables ambientales.

obtiene un $r^2=0,53$; 12 gl (Tabla 1, Fig. 5F). La correlación múltiple de la proporción de arena fina y la salinidad del agua (relación inversa) con el fuste presenta un $r^2=0,70$; 11 gl. Los fustes más altos se encontraban en la Bahía de Barbacoas (5-6 m), pero en general el fuste para la costa Caribe Colombiana es entre 1 y 2 m.

Distancia entre-nudos en plántulas

Esta relación (longitud tallo plántula/# nudos plántula), presenta una correlación inversa alta con el diámetro de la copa de los árboles de la zona ($r^2=0,75$) y con el área foliar ($r^2=0,59$). Con esta variable se obtuvo una estimación altamente significativa a partir de la salinidad del agua -relación inversa- ($r^2=0,85$; 5 gl) (Tabla 1, Fig. 5G). El valor mayor se encontró en la ciénaga del Totumo (6,5 cm), y la menor en la ciénaga de Juan Polo (1,92 cm) (Tabla 1).

Altura pneumatóforos:

La altura de los pneumatóforos se relaciona con la humedad del terreno (relación directa) y el pH del sustrato (relación inversa) $r^2=0,54$ (Tabla 1, Fig. 5Ñ). Los pneumatóforos más largos se encontraron en Bahía Portete (60 cm) y en la ciénaga de Juan Polo (50 cm).

Discusión y conclusiones

Soto & Corrales (1987) en su estudio en los manglares del Pacífico en Costa Rica sugirieron una relación del tamaño de las hojas de *Avicennia germinans*, no solo con la salinidad sino también con el clima.

Suelos

Cuando se habla de suelos en una zona de manglar, se espera encontrar suelos inundados, al menos durante las mareas altas, con las características que el estado anaeróbico implica; pero en la costa Caribe Colombiana debido a las bajas precipitaciones y/o a la dependencia del caudal de los ríos, los manglares presentan una marcada diferencia entre los meses de invierno (lluvias) y verano, encontrándose en el verano terrenos que no reciben ningún aporte de agua, hasta desecarse casi totalmente, cambiando así completamente sus características químicas con respecto a la época de lluvias al recuperar el estado aeróbico. A excepción de Tolú y la ciénaga del Totumo que presentan suelos desarrollados en planicies aluviales, las demás regiones presentan suelos de las formas litorales, suelos desarrollados en playas, marismas y barras marinas (IGAC, 1988). De los puntos muestreados habían algunos sumergidos como en Bahía de Portete, pero la mayoría se encontraban emergidos y algunos como en Tolú y ciénaga del Totumo estaban completamente secos (hasta 3 % de humedad), observándose el resquebrajamiento característico de los suelos arcillosos al secarse. El nivel freático del agua se encontraba a más de 30 cm donde posiblemente las raíces de los árboles de gran porte (>10 m) de altura podría alcanzarla, pero hay que tener en cuenta que en general el mangle "salado" extiende, varios metros, sus raíces superficialmente (a unos 30 cm de profundidad) en forma radial alrededor del tronco y así alcanzan el agua

que se encuentra a una distancia considerable del árbol. Los manglares mostraron en este estudio la gran diversidad de sustratos en los cuales puede desarrollarse. Variando, según la especie, el éxito en cada diferente tipo de suelo. Así tenemos como el "manglar salado" *Avicennia germinans* se desarrolla desde playas de arena suelta hasta suelos maduros bien consolidados. En general los suelos fueron de textura de arena media o arena fina con una mayor o menor proporción de materiales arcillosos.

El agua

Los manglares se encuentran ligados a los terrenos inundables en las costas; de las características químicas del agua depende el grado de desarrollo de un rodal de mangle. La resistencia a la salinidad les permite desplazar a las plantas glicófitas. De hecho, donde las condiciones climáticas son favorables (Pacífico Colombiano) los manglares se desarrollan hasta donde alcance la influencia de la marea, unos 15 a 30 km río arriba, donde son remplazados por los bosques de "guandal" que son bosques que se desarrollan entre los manglares costeros y la selva pluvial en terrenos inundados por agua dulce.

El grado de influencia del agua varía según la textura granulométrica del terreno. En áreas ocupadas por playas arenosas no consolidadas el agua de las mareas o las precipitaciones no se detiene en las capas superficiales del suelo, sino que se acumula en el nivel freático, el cual subirá o bajará según sea invierno o verano; en estas condiciones normalmente la arena superficial presenta un porcentaje bajo de humedad y la salinidad no es muy alta, por el contrario las aguas freáticas, se encuentran a diversas profundidades, pudiendo presentar salinidades altas, superiores a la media del mar. Esta situación se observa en la ciénaga de Juan Polo (Bolívar) y en la isla de Salamanca. Estos suelos arenosos de fácil percolación se caracterizan por presentar una muy baja salinidad y humedad del suelo superficial, a medida que se aumenta la profundidad aumenta la salinidad. Este tipo de suelos arenosos no son favorables para el desarrollo de los manglares, debido a la poca consolidación del sustrato, pobreza de nutrientes y a pesar que normalmente presentan bajas salinidades superficiales, es frecuente el ascenso de aguas subterráneas muy salinas que matan la vegetación superficial. Bajo estas condiciones la única especie que puede desarrollar plántulas y formas arbustivas reproductivamente activas es el manglar "salado", para quien este tipo de texturas arenosas es favorable, y puede soportar elevadas salinidades. En la ciénaga de Juan Polo (Bolívar) se puede constatar esta función pionera del mangle "salado", quien va colonizando estos playones sin vegetación desarrollándose en forma achaparrada. A medida que pasa el tiempo, si sobrevive, tiende a formar suelos más estables con mayor proporción de materiales finos y materia orgánica que logran mantener mayor humedad, siendo más favorables para el desarrollo de verdaderos árboles de mangle "salado" y de las otras especies de mangle como el "rojo" *Rhizophora* y el "amarillo" *Laguncularia*. En la isla de Salamanca se observa cómo entre el sector sur de la carretera Barranquilla-Ciénaga y el caño Clarín, donde se presenta una mortandad masiva de *Rhizophora*, árboles del mangle "salado" han resistido a la desecación de los

terrenos y la hipersalinidad del suelo, al igual que se observa una gran cantidad de plántulas y arbustos de *Avicennia* en los puntos donde se presenta intercambio bocatomas- de agua entre la parte sur y norte de la carretera, generalmente estas son "generaciones fantasma" o efímeras que no logran sobrevivir después de un tiempo. Así vemos como *Avicennia germinans* domina en las ciénagas de la Isla de Salamanca hacia el mar, en tanto que en la región -de mayor extensión-, de la Ciénaga Grande de Santa Marta es el *Rhizophora mangle* quien domina; esto es debido a la presencia de sustratos lodosos con abundante agua dulce disponible en un área protegida. En la situación que venimos de explicar -suelos de textura arenosa no consolidada-, podemos ver que la función pionera no la tendría *Rhizophora* sino *Avicennia*, debido a las características del sustrato. Ya **Thom** (1967) y **Chapman** en 1969 mediante estudios geomorfológicos en manglares cambiaron el punto de vista de **Davis** (1940) -que explicaba la zonación en los manglares como un proceso sucesional-, estos autores arguyeron que bajo cambiantes condiciones de sedimentación algunas especies pueden desplazar a otras, lo cual en términos sucesionales implicaría una regresión a "estados inmaduros" (**López-Portillo & Ezcurra**, 1987).

En regiones donde hay bosques de mangle bien desarrollados, se encuentran otro tipo de suelos, estos son suelos consolidados de considerable grosor 2-3 m, con alto porcentaje de arcillas y limos orgánicos, estos suelos turbosos a diferencia del caso anterior son impermeables, quedando sumergidos en la época invernal, tornándose así anaeróbios y de carácter ácido, con salinidades menores a la media del mar y generalmente menores a 10 ppm de salinidad. Esta situación la vemos en la Bahía de Barbacoas, que en general se encuentra dominada por *Rhizophora*, con bosques de mangle de tipo de "franja", "riverños" y de "cuenca". En el centro de estas formaciones de "cuenca" tiende a acumularse sal en el sustrato, por lo cual en estos sectores domina *Avicennia*. En el verano, el nivel de las aguas puede bajar hasta descubrir la superficie del terreno; pero dadas las características del sustrato con altísima proporción de materia orgánica, hasta un 70 % en materia seca (la mayoría material vegetal sin descomponer) y alta proporción de arcillas orgánicas, conserva una alta humedad (hasta un 60 %). En estas condiciones el suelo en el verano, a diferencia de los suelos arenosos no consolidados, presenta mayores salinidades en los estratos más superficiales, con la característica que los valores de salinidad son extremadamente altos bajo estas condiciones, como se observa en Bahía de Portete (300 ppm de salinidad en materia seca) y en la Bahía de Barbacoas (250 ppm de salinidad). La gran cantidad de material vegetal, actúa en el suelo como una esponja, acumula gran cantidad de humedad y se satura de sal al correr el agua o al evaporarse. La relación, de la cantidad de restos vegetales con la salinidad del sustrato, se pudo constatar en otros sitios donde, sí bien no se alcanzaban estos valores extremos de salinidad, siempre se encontraba un valor mayor de salinidad en las capas más superficiales.

La tercera situación posible de relación entre la textura del sustrato y el agua, es la que se encuentra en los suelos de la Guajira; estos presentan un alto porcen-

taje de arcilla (20 %), lo que los hace suelos impermeables, pero a diferencia de los otros casos el aporte de agua dulce es excepcional, aunque las mareas logran "lavar" los suelos costeros en las áreas de manglar e impiden así la formación de salitrales. En estas condiciones en los sitios donde el agua forma pequeñas charcas, el agua al evaporarse concentra la sal disuelta, así tenemos como en Bahía de Portete encontramos el máximo valor de salinidad del agua (90 ppm de salinidad), a la cual no sobrevive, mucho tiempo, ni siquiera *Avicennia germinans*; en tanto que el suelo debido a su característica impermeable, no presentaba una salinidad muy alta. Las proporciones relativas de sales en el agua si bien presentan una relación con la salinidad del suelo, no es tan alta como podría esperarse; la salinidad del agua presenta un $r^2=0,37$ con la salinidad del suelo (este valor ignora los valores extremos de salinidad en el suelo que se encontraron por ejemplo en la Bahía de Barbacoas (337,7 ppm), en cuyo caso el coeficiente de determinación r^2 es igual a cero).

Salinidad

El efecto de la salinidad como factor que reduce la tasa de crecimiento y la talla de las especies vegetales de marismas ha sido ampliamente documentada en el campo y en el laboratorio por **Hyder & Greenway** (1965), **Linthurst & Seneca** (1981), **Parrondo, Gosselink & Hopkinsom** (1978), **Smart & Barko** (1978) (en **Soto**, 1988), y en los manglares por **Cintrón et al.** (1978), **Soto & Corrales** (1987) y **Soto** (1988).

Al examinar las hojas del mangle de cada sitio se observan inmediatamente características propias de cada zona; las hojas de *Rhizophora mangle* reducen su tamaño en los sitios más salinos y/o áridos y al igual que las hojas de *Laguncularia* y *Conocarpus* son más suculentas y la textura es más coriácea.

En cuanto a las hojas de *Avicennia* varían características como la forma, tamaño, textura, suculencia, N° de nervios secundarios, longitud del peciolo. Así tenemos que para la Guajira el mangle "salado" presenta una hoja pequeña con tendencia a la forma circular; las hojas redondas pierden calor más eficientemente que las hojas elongadas (**Vogel**, 1968 en **Soto**, 1988). El color en ocasiones es característico según la especie y la región. En regiones áridas y/o hipersalinas *Avicennia germinans* se caracteriza por presentar copas anchas en relación a la altura, ángulos de ramificación obtusos, la mayoría de la proporción de biomasa en raíces y hojas en arbustos y en las ramas y hojas en los árboles, una más temprana y profusa ramificación, una más larga vida de las hojas como una respuesta al "stress" producido por la alta salinidad, bajos potenciales del agua y alta radiación solar (**Soto**, 1988).

La salinidad del agua tiene una gran influencia en el desarrollo de *Avicennia germinans* y tiene correlación negativa con las diferentes variables medidas excepto con la textura foliar cuya correlación fue positiva. La salinidad se refleja en el área foliar (mayor relación con el ancho foliar), en la longitud de la hoja y del peciolo, el grado textural foliar, la altura de la planta, el DAP, el

grado de ramificación y la altura del fuste. La salinidad máxima del agua a la cual se encontró *Avicennia germinans* vivo fué a 76 ppm, a 92,2 ppm se encontraron árboles de 3 m defoliados muertos aún en pie.

La salinidad del suelo presenta alguna relación en general con las características del manglar "salado", no alcanzando a ser estadísticamente significativa en la mayoría de los casos. *Avicennia germinans* tiende a acumular sal en el sustrato, tal como comprobaron López-Portillo & Ezcurra (1980; pag.1849) en un estudio en México anotando "...el agua del sustrato aumenta su concentración salina bajo los bosques de *Avicennia*". Además si los muestreos son hechos en el verano, como en nuestro caso, la salinidad en algunos sitios, suelos "turbosos", pueden ser extremas (>200 ppm). Los árboles que se encuentran en suelos hipersalinos, (aunque no necesariamente el agua intersticial presente valores altos de salinidad), durante el verano presentan poco follaje y hojas en mal estado (baja productividad). En el caso de arbolitos en playas arenosas expuestas a las micromareas del Caribe, donde se forma alrededor de las plantas un sustrato turboso hipersalino, donde las raíces no se desarrollan bien, siendo cortas y retorcidas, con pocos pneumatóforos cortos y deformes, generalmente estos arbolitos (2 m) se caen por el viento o alguna marejada, siendo frecuente observarlos caídos sobreviviendo en un ángulo de 45°.

pH

Schnetter (1986), en cultivo hidropónico de frutos de *Avicennia germinans* procedentes de Turbo y Cartagena, encontró que las plántulas de Cartagena alcanzaban un óptimo desarrollo a un pH de 8, en tanto que las de Turbo ya lo han sobrepasado en ese punto. A pH >8 las plántulas permanecen pequeñas y cloróticas.

En la costa Caribe colombiana el pH del suelo en zonas de manglar osciló entre 4,2 y 7,9 con una media de 6,64. El agua en los sitios donde se desarrollaba el mangle "salado" el pH presentó una media para toda la costa de 7,16 con un máximo 8,51 en la ciénaga de Juan Polo (Cartagena) y un mínimo de 5,8 en Tolú. En la época invernal se pueden esperar valores más bajos del pH.

Se halló una correlación negativa entre el pH del agua con la altura y el DAP (diámetro altura pecho), es decir a mayor pH (más alcalino) disminuye la altura y el DAP. El valor estimado por Schnetter (1986) como óptimo para el desarrollo de *Avicennia germinans* (pH=8) con frutos colectados en Cartagena, corresponde a la media encontrada para la ciénaga de Juan Polo en Cartagena que fué de pH=7,92. El pH del suelo mostró alguna correlación positiva con el grado textural y negativa con la altura de los pneumatóforos (Tabla 1, Fig. 5M).

Relación Na+/K+

López-Portillo & Ezcurra (1987) en México hallaron que cuando las concentraciones del ión Na⁺ aumentan las propiedades físicas y mecánicas del suelo se deterioran, lo que hace menos favorable las condiciones para el crecimiento de las plantas y esto ocasiona que el

costo de producción de biomasa se incremente. En los manglares en Golfo de México se determinó una relación Na⁺/K⁺ de 29/1 en la zona fangosa de *Rhizophora* y de 48/1 en los terrenos altos, menos favorables, ocupados generalmente por *Avicennia*.

En el Caribe Colombiano se encontró para el agua, en los lugares donde crecía el manglar "salado", una proporción media Na⁺/K⁺ de 23/1 con un máximo de 67/1 y un mínimo de 2/1. Los suelos presentaban una proporción Na⁺/K⁺ de 13/1 con un máximo de 46/1 y un mínimo de 1,3/1. Las hojas de *Avicennia germinans* presentaron un valor medio de 6,3/1 con un máximo de 43/1 y un mínimo de 2/1.

La proporción Na⁺/K⁺ presenta alguna relación con el desarrollo del manglar "salado". El Na⁺/K⁺ en el suelo tiene una significativa correlación inversa con la anchura foliar ($r^2=0,65$) (Tabla 1, Fig. 5J). Rains & Epstein (1967), determinaron una proporción Na/K de 40/1 en el suelo que disminuía a 7/1 en las hojas de *Avicennia marina* (López-Portillo & Ezcurra, 1987), esta disminución del ión Na⁺ implica un gasto energético considerable que debe realizar la planta para mantener una proporción adecuada de Na⁺/K⁺ en sus tejidos internos.

Conclusiones finales

Los manglares en la costa Caribe Colombiana están sometidos a un clima con pocas lluvias, alta irradiación solar todo el año y fuertes vientos en agosto y enero. Las especies de manglar se desarrollan hasta donde alcance la influencia de la marea; en zonas protegidas con terrenos fangosos o arenosos más o menos desarrollados crecen verdaderos bosques de manglar con toda la diversidad de fauna propia de este ecosistema.

La salinidad y pH del agua, la textura del sustrato y el clima son factores preponderantes en el desarrollo del mangle "salado" *Avicennia germinans* en el Caribe Colombiano, y se ven reflejados en las características morfométricas y morfológicas de sus individuos. De todas formas toda la variabilidad de las características de *Avicennia germinans*, entre las diferentes regiones muestreadas, no puede ser explicada solamente por los factores medio ambientales ya mencionados. Así tenemos que las diferentes poblaciones de *Avicennia germinans* en la costa Caribe Colombiana, presentan patrones fenotípicos propios de cada región. Estos caracteres que pueden ser utilizados a nivel varietal se originan en la larga permanencia de generaciones sometidas al ambiente de cada zona. El grado de aislamiento genético varía según las corrientes costeras dependiendo de la región y de las condiciones locales. El intercambio genético debido a las corrientes costeras dominantes en general fluye en dirección sur-occidental; la contracorriente del Caribe no alcanza más allá de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, ocasionando que la población más aislada sean los manglares de las costas de la Guajira, que presentan la hoja más atípica de *Avicennia germinans* en cuanto a su forma ovoide. La aridez, el clima y la salinidad del medio se refleja en las especies típicas de los manglares. El mangle "rojo" *Rhizophora mangle* reduce el tamaño de sus hojas en los sitios más

salinos y/o áridos y al igual que en el mangle "amarillo" *Laguncularia racemosa* y el "zaragoza" *Conocarpus erecta* las hojas son más suculentas. El mangle "salado" *Avicennia germinans* en las regiones áridas se caracteriza por tener hojas pequeñas con tendencia circular (la hoja típica de la especie es lanceolada), los árboles y arbustos son de copas anchas y ángulos de ramificación obtusos, la mayor proporción de biomasa se encuentra en raíces y hojas (Soto, 1988) y una más temprana y profusa ramificación.

Las variables dependientes tenidas en cuenta, mostraron según su correlación (+ o -), cómo las condiciones para el buen desarrollo de *Avicennia germinans* son precipitación y humedad relativa altas, en suelos desarrollados pueden alcanzar mayor envergadura los árboles. La salinidad intersticial debe ser baja -entre un valor cercano a 0 ppm y unas 40 ppm-, el aumento en la salinidad le permite competir exitosamente con otras especies vegetales, pero el desarrollo óptimo se da en medios donde la salinidad sea cercana a cero. El mangle "salado" soporta grandes oscilaciones en la salinidad, resistiendo valores cercanos a 50 ppm y por períodos cortos (horas, días) valores extremos -80 ppm-. El pH en el cual se desarrolla el mangle "salado" se encuentra cercano al valor neutro (pH 7), valores hallados en verano (mayo 1990) mínimo 5,8 y máximo 8,5. La salinidad y el pH se correlacionan inversamente con los indicadores morfométricos medidos en el mangle "salado", características foliares y estructura del árbol o arbusto; excepto con la textura foliar que presentó una correlación positiva con la salinidad y el pH. El "stress" se refleja en el mangle "salado" en floraciones tempranas, en arbustos de talla reducida, crecimiento deficiente o deforme de tallo, ramificaciones o pneumatóforos, ramificación más temprana, presencia de hongos en hojas o corteza, en sectores anegádizos con abundante agua dulce competencia del helecho *Acrostichum aureum*.

Agradecimientos

Este trabajo es parte de la tesis de grado de Biólogo Marino presentada por Francisco Pinto y Gabriel Naranjo a la Universidad Jorge Tadeo Lozano y dirigida por Jorge Hernández-Camacho. No hubiera sido posible sin la colaboración de las siguientes personas: la determinación taxonómica por parte de los botánicos Hermes Cuadros, Gustavo Lozano, Roberto Jaramillo, Javier Fuertes, Polidoro Pinto y Santiago Díaz. La asesoría química por parte de la Dra. Nuria Nolla. La evaluación de los suelos por el Ingeniero José Pinto. La revisión del texto y dibujos de Clara Giraldo-Tafur. Instituciones como INTERCOR de "Puerto Bolívar", el Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Jardín Botánico "Guillermo Piñeres" de Cartagena y el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.

Bibliografía

Araújo, R. & J. Polanía. 1985. Manglares: estructura, fitosociología y geomorfología en el delta del Canal del Dique (departamentos de Bolívar y Sucre, Colombia). Tesis de grado Biología Marina. UJTL. Bogotá.

- Bula-Meyer, G. 1990. Caribe Colombia -Oceanografía. FEN. Bogotá. p.100-114.
- Calderón-Sáenz, E. 1983. Hallazgo de *Pelliciera rhizophorae* Triana & Planchon (Theaceae) en la costas del Atlántico, con observaciones taxonómicas y fitogeográficas preliminares. Acta Biológica Colombiana. 1 (1): 99-110.
- Carvajal, C. & C. Cabezas. 1989. Cartografía ecológica de la ciénaga de Juan Polo. Inf.U.Jorge Tadeo Lozano, Sec. Cartagena.
- Chapman, V.J. 1969. Lagoons and Mangrove vegetation. in A. Ayala-Casteñares and F.B. Phleger (Eds). Lagunas Costeras, un simposio, UNAM-UNESCO. N°28-30, México. pp.505-514.
- Cintrón, G., A. Lugo, D. Pool & G. Morris. 1978. Mangroves in arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. Biotropica 10 (2): 110-121.
- , A. Lugo & R. Martínez. 1980. Structural and Funcional Properties of Mangrove Forest. Symposium Signalling the Completion of the "Flora of Panama. Panama City, University of Panama.
- , & Y. Schaeffer-Novelli. 1983a. Methods for studying mangrove structure. En Snedaker, S.C. & J.G. Snedaker (edit), The mangrove ecosystem: research methods. (7): 91-113.
- , & Y. Schaeffer-Novelli. 1983b. Introducción a la ecología del manglar. UNESCO. Montevideo, Uruguay. 99 p.
- Cuatrecasas, J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 10 (40): 221-268.
- Daniel, W. 1984. Bioestadística. Ed. Limusa. México. 5 ed. 485p.
- Davis, J. 1940. The ecology and geology role of mangroves in Florida. Carnegie Inst. Washinton publication. 517: 303-412 (papers from the Tortugas laboratory, Vol. 32).
- Escallón, C. & M. Rodríguez. 1981. Introducción al estudio del ecosistema del manglar en el Parque Nacional Natural Sanquianga, Departamento de Nariño. Trabajo de Grado Biología. UNAL. Bogotá. 87 p.
- , & M. Rodríguez. 1986. Aspectos geográficos e importancia ecológica de los manglares con especial referencia a Colombia. Perez-Arbelaezia 1 (2): 225-241.
- Font Quer, P. 1982. Diccionario de Botánica. Ed. Labor S.A. (8) 1445 p.
- García-Barriga, H. 1975. Flora medicinal de Colombia. Botánica Médica. Inst. Cient. Nat. U. N. 2: 496 p.
- Garzón-Ferreira, J. 1989. Contribución al conocimiento de la Ictiofauna de Bahía Portete, Departamento de la Guajira, Colombia. Trianea (Act. Cient. y Técn., INDERENA) 3:149-172.
- Hamilton, L. & S. Snedaker. (Eds.), 1984. Handbook for area mangrove management. United Nations Environment Programme. USA. 123 p.
- Hernández, A. & K. Müllen. 1978. Productividad primaria neta en un manglar del Pacífico Colombiano. Memorias del Primer Seminario sobre el océano Pacífico Sudamericano. M. Velez & R. Beltrán (Eds.) Santiago de Cali, UNIVALLE. 2: 665-690.
- Hernández-Camacho, J.I. 1976. Introducción a la problemática de la conservación y manejo de los manglares en Colombia. Inderena Div. Parques Nacionales y vida silvestre. Bogotá. 51p.
- , P. von Hildebrand & R. Alvarez. 1980. Problemática del manejo de manglares con especial referencia al sector occidental de la ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena, Colombia. Memorias del sem. sobre el estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares, Cali. UNESCO. 364-386.
- Horna, Z.R. 1980. Relación suelo y mangle. (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*). En memorias del Sem. sobre el estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares, Cali. UNESCO. 195-214 p.

- IGAC. 1967. Atlas de Colombia. IGAC, Bogotá. 203 p.
- IGAC. 1988. Suelos y bosques de Colombia. IGAC, subdirección agrológica. Bogotá.
- López-Portillo, J. & E. Ezcurra. 1980. Son los manglares desaladores de agua?, Un análisis ecológico del flujo de agua y la acumulación de sales en los manglares, con énfasis en *Avicennia germinans*. Ciencia y desarrollo. México. 35:181-184 p.
- & E. Ezcurra. 1989. Zonation in mangrove and salt marsh vegetation at Laguna de Meoacán, Mexico. Biotropica 21 (2): 107-114.
- Lugo, A.E. 1980. Mangrove ecosystems: sucesional or steady state? Biotropica 12: 67-72.
- Lugo, A., G. Cintrón & C. Goenaga. 1981. Mangrove ecosystem under stress. En: Stress effects on natural ecosystems. 129-153 p.
- Matteucci, S. & A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. OEA, monografía No. 22, serie biológica. 168 p.
- Ochoa, G., H. von Prhal & G. Manjarres. 1988. Algunas características funcionales del manglar de la ciénaga Grande de Santa Marta, con énfasis en *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*. Memorias VI Seminario Nal.Com.Col. de Oceanografía. 488-499 p.
- Odum, W. 1982. The ecology of the mangroves of south Florida: a community profile. 144 p.
- Pinto-Nolla, F. & G. Naranjo-González. 1993. Influencia de la salinidad y el pH en la morfometría, morfología y ecología del "mangle salado" *Avicennia germinans* (L.)L. en diferentes sectores del litoral Caribe Colombiano. Tesis de Grado Biología Marina, UJTL, 214 p.
- Prahl, H. von. 1984. Notas sistemáticas de las diferentes especies de mangle del Pacífico Colombiano. Cespedesia 18 (49-50): 222-238 p.
- . 1989. Manglares. Ed. Villegas. Bogotá.
- , J.R. Cantera & R. Contreras. 1990. Manglares y hombres del Pacífico Colombiano. Fondo "Jos Celestino Mutis". FEN, Ed. Presencia Bogotá. 193 p.
- Pulver, T.R. 1976. Trasplant techniques for sampling mangrove Trees, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, and *Avicennia germinans*, in Florida. Flor.Mar.Res.Pub. (22) 14p.
- Ramírez, A. & M. de la Pava. 1981. Corales hermatípicos de la Isla de Tierrabomba, Cartagena (Colombia). Estimación de algunos factores de incidencia en la sucesión vertical con anotaciones ecológicas. Tesis de Grado (mimeógrafo), UJTL, Bogotá.
- Schmetter, M.L. 1969. Observaciones ecológicas en Isla de Salamanca (Departamento del Magdalena, Colombia). Caldasia 10 (48): 299-315 p.
- . 1986. La influencia del pH y de la salinidad en el crecimiento de *Avicennia germinans* (L.)L. en cultivo hidropónico. Caldasia 15 (71-75): 381-391 p.
- Soto, R. 1988. Geometry, biomass allocation and leaf life-span of *Avicennia germinans* (L.)L. (Avicenniaceae) along a Salinity gradient in salinas, Puntarenas, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 36 (2A): 309-323 p.
- . & L.F. Corrales. 1987. Variación de algunas características foliares de *Avicennia germinans* (L.)L. (Avicenniaceae) en un gradiente climático y de salinidad. Rev. Biol. Trop. 35 (2): 245-256 p.
- Thom, B.G. 1967. Mangrove ecology and deltaic geomorphology: Tabasco, México. J.Ecol. 55: 301-343 p.
- Vernette, G. 1982. Estandarización de los criterios sedimentológicos para la cartografía de la plataforma continental. Bol. Cient. CIOH, Cartagena. 3-13 p.
- Viña, G. 1986. Impacto del dragado en las zonas de manglar del Canal del Dique. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Dirección de Navegación y Recursos.
- Woodroffe, C.D. 1983. Development of mangrove swamps behind beach ridges, Grand Cayman Island, West Indies. Bull. of Mar. Scien. 33 (4): 864-880.