

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

"DETERMINACION DE LA EDAD Y TASA DE CRECIMIENTO DE *Rhizophora mangle* L. POR MEDIO DEL ESTUDIO ANATOMICO DE LA MADERA EN LOS ESTEROS DE SAN JOSE CHIQUIRIN, MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ



PRESENTADA A AL HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MARTIN SALVADOR SANCHEZ CRUZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 1992

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

BL
01
T(1469)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

DR. ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Efraín Medina G.
VOCAL I	Ing. Agr. Mynor Estrada R.
VOCAL II	Ing. Agr. Waldemar Nufio R.
VOCAL III	Ing. Agr. Carlos Motta de P.
VOCAL IV	Br. Elía Raymundo Raymundo
VOCAL V	P.A. Francisco Ibarra
SECRETARIO	Ing. Agr. Marco Romilio Estrada

Guatemala, noviembre de 1992

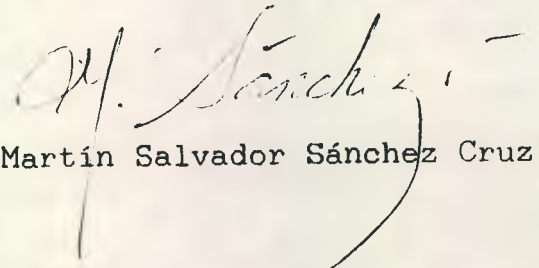
Señores Junta Directiva
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos

Respetables señores:

Como requisito previo, de conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para optar al título de INGENIERO AGRONOMO, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, tengo el honor de someter su consideración el trabajo de tesis titulado:

"DETERMINACION DE LA EDAD Y TASA DE CRECIMIENTO DE *Rhizophora mangle* L. POR MEDIO DEL ESTUDIO ANATOMICO DE LA MADERA EN LOS ESTEROS DE SAN JOSE CHURIRIN, MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ."

Agradeciendo su gentil aprobación, me suscribo de ustedes como su atento y seguro servidor.



Br. Martín Salvador Sánchez Cruz

ACTO Y TESIS QUE DEDICO

A Dios

Principio y fin de todo lo existente

A mi Abuelita
Carmen Dorantes Vda. de Silva

Que ahora descansa en la gloria del Señor

A mis Padres
Irma Isabel del Carmen Cruz Dorantes de Sánchez
Salvador Sanchez Loarca

Con amor, respeto y admiración

A mi Esposa e Hijito
Ana María Camey Martínez de Sánchez
Xavier de Jesús Sánchez Camey

Con amor y devoción

A mi Amigo
Mynor Raúl Otzoy Rosales

Con fraternidad

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades administrativas del Centro Universitario del Sur-Occidente CUNSUROC

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar P.
M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

Por su amistad apoyo y confianza

A los Ingenieros Agrónomos Mynor Raúl Otzoy Rosales y Juan Humberto Gozález

Por su paciente y prolija asesoría

A el Ing. Agr. Sergio Gozález

Por su desinteresada y eficaz ayuda

A mis compañeros docentes de la carrera de Agronomía Tropical del CUNSUROC

Por su amistad y lealtad

A el personal técnico de DIGEBOS y en especial a los Técnicos Estrada Vela y Gil Soberanis

Por su amistad y confianza brindada para trabajar en sus proyectos

A la familia Ibarra de San José Churirín

Que me acogió y ayudó durante toda la fase de campo del proyecto

TABLA DE CONTENIDOS

I.	RESUMEN	1
II.	INTRODUCCION:	3
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	5
IV.	MARCO TEORICO:	5
1.	Marco Conceptual:	5
1.1	Biología del Manglar:	5
1.1.1	Suelo de los Bosques Manglares:	6
1.1.2	Zonas de Vida Vegetal y Productividad del Manglar:	7
1.1.3	Red Alimenticia del Manglar:	9
1.1.4	Tipos de Bosque Manglar:	10
1.1.5	Procesos Seriales en los Manglares:	12
1.2	Estado de los Bosques Manglares en Guatemala:	13
1.2.1	Fuente de Productos Forestales:	14
1.2.2	Estabilización de Costas:	15
1.2.3	Filtro de Contaminantes:	15
1.2.4	Acuicultura:	15
1.2.5	Protección de la Vida Silvestre y Pesca:	16
1.2.6	Recreación:	17
1.2.7	Otros Usos Potenciales:	17
1.2.8	Consecuencias del Mal Uso de los Manglares:	17
2.	Marco Referencial:	18
2.1	Métodos para la Estimación del Crecimiento de Arboles Individuales y de Masas Forestales:	18

2.2	<u>Crecimiento de Arboles Individuales:</u>	21
2.3	<u>Crecimiento de Masas Forestales Homogéneas:</u>	27
2.4	<u>Crecimiento de Rhizophora spp:</u>	28
2.5	<u>Características de la Madera de Rhizophora mangle:</u>	30
V.	<u>OBJETIVOS:</u>	32
VI.	<u>HIPOTESIS:</u>	33
VII.	<u>METODOLOGIA:</u>	33
1.	<u>Ubicación Política y Geográfica:</u>	33
2.	<u>Vías de Acceso:</u>	33
3.	<u>Zona de Vida Vegetal y Suelo:</u>	34
4.	<u>Actividad Económica</u>	34
5.	<u>Bosques manglares:</u>	35
6.	<u>Definición de la Muestra:</u>	39
6.1	<u>Determinación del Tamaño de Parcela:</u>	39
6.2	<u>Método de Muestreo y Forma de las Parcelas:</u>	40
6.3	<u>Determinación del Número de Parcelas:</u>	40
7.	<u>Levantamiento del Muestreo:</u>	41
7.1	<u>Delimitación y Marcado de las Parcelas:</u>	41
7.2	<u>Diámetro a la Altura del Pecho:</u>	42
7.3	<u>Altura Total:</u>	42
7.4	<u>Altura de las Raíces Fúlcreas:</u>	42
7.5	<u>Conformación del Tronco Principal:</u>	43
8.	<u>Análisis del Muestreo:</u>	43
8.1	<u>Distribución de Frecuencias por Clase Diamétricas:</u>	43
8.2	<u>Análisis por Regresión:</u>	44

9.	<u>Toma de Discos:</u>	45
9.1	<u>Elección de los Arboles a Nivel de Gabinete:</u>	45
9.2	<u>Tala y Selección de los Arboles a Nivel de Campo:</u>	45
9.3	<u>Corte Marcado y Etiquetado de los Discos:</u>	46
10.	<u>Análisis de los Discos:</u>	46
10.1	<u>Lectura de los Discos:</u>	46
10.1.1	<u>Análisis Macroscópico:</u>	46
10.1.2	<u>Análisis Microscópico:</u>	47
10.1.2.1	<u>Subdivisión de los Materiales:</u>	47
10.1.2.2	<u>Ablandamiento de los Bloquecillos:</u>	48
10.1.2.3	<u>Deshidratación de los Bloquecillos:</u>	48
10.1.2.4	<u>Aclarado:</u>	49
10.1.2.6	<u>Infiltración:</u>	49
10.1.2.6	<u>Encasillado:</u>	51
10.1.2.7	<u>Seccionamiento:</u>	51
10.1.2.8	<u>Tinción:</u>	52
10.1.2.9	<u>Montaje Final:</u>	53
10.2	<u>Cubicación de los Arboles Tumbados:</u>	55
10.3	<u>Elaboración de Tarifas para la Estimación del Volumen:</u>	56
10.4	<u>Análisis Fustal:</u>	56
VIII.	<u>RESULTADOS Y SU DISCUSION:</u>	57
1.	<u>Determinación del Tamaño de Parcela:</u>	57
1.1	<u>Número de Parcelas Muestreadas por Rodal:</u>	58
2.	<u>Relaciones Alométricas de Rhizophora mangle:</u>	59

2.1	<u>Relaciones Alométricas Determinadas para la Plantación de 0.792 Años:</u>	60
2.1.1	Relación DAP-HRF:	60
2.1.2	Relación HT-DAP:	61
2.1.3	Relación HRF-Crecimiento del Vástago:	61
2.2	<u>Relaciones Alométricas Determinadas para la Plantación de 2.812 Años:</u>	62
2.2.1	<u>Arboles Ramificados:</u>	62
2.2.1.1	Relación HT-DAP:	62
2.2.1.2	Relación HRF-HT:	63
2.2.2	<u>Arboles no Ramificados:</u>	63
2.2.2.1	Relación HT-DAP:	63
2.2.2.2	Relación HRF-HT:	64
2.2.2.3	Relación Volumen con y sin Corteza-DAP y HT:	64
2.2.2.4	Relación Factor Volumétrico de Forma-DAP:	65
2.2.2.5	Relación Porcentaje de Corteza-DAP:	65
2.3	<u>Relaciones Alométricas Determinadas para la Plantación de 4.792 Años:</u>	66
2.3.1	<u>Arboles Ramificados:</u>	66
2.3.1.1	Relación HT-DAP:	66
2.3.1.2	Relación HRF-HT:	67
2.3.2	<u>Arboles no Ramificados:</u>	67
2.3.2.1	Relación HT-DAP:	67
2.3.2.2	Relación HRF-HT:	68
2.3.2.3	Relación Volumen con Corteza y sin Corteza-DAP y HT:	68

2.3.2.4	<u>Relación Factor Volumétrico de Forma-DAP:</u>	69
2.3.2.5	<u>Relación Porcentaje de Corteza DAP:</u>	70
3.	<u>Análisis Anatómico:</u>	71
3.1	<u>Análisis Macroscópico:</u>	71
3.2	<u>Análisis Microscópico:</u>	74
4.	<u>Crecimiento de Arboles Individuales:</u>	76
4.1	<u>Crecimiento por Clase Diamétrica:</u>	76
4.2	<u>Análisis Fustal:</u>	77
5.	<u>Crecimiento de Masas Forestales:</u>	82
IX.	<u>CONCLUSIONES:</u>	85
X.	<u>RECOMENDACIONES:</u>	92
XI.	<u>BIBLIOGRAFIA:</u>	95
	ANEXOS	101

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1	<u>Fórmulas para el Cálculo de la Tasa de Crecimiento:</u>	20
Cuadro 2	<u>Criterios Utilizados por Coster para Definir Anillos de Crecimiento en Arboles Tropicales:</u>	25
Cuadro 3	<u>Ritmo de Crecimiento del Diámetro, Altura y Volumen de un Arbol a lo Largo de su Vida:</u>	27
Cuadro 4	<u>Incremento Medio Anual y Volúmenes Acumulados con Respecto a la Edad en Diversas Plantaciones de Rhizophora spp.</u>	29
Cuadro 5	<u>Estimaciones Varias del Crecimiento de Rhizophora spp.</u>	30
Cuadro 6	<u>Propiedades Físicas y Mecánicas de R. mangle</u>	31
Cuadro 7	<u>Resumen de las Características de las Plantaciones Estudiadas</u>	38

Cuadro 8	<u>Tipos de Agrupación del DAP para su Análisis</u>	44
Cuadro 9	<u>Criterios para la Identificación de Discontinuidades Estructurales en la Madera</u>	54
Cuadro 10	<u>Pruebas de Medias Entre Diferentes Tamaños de Parcela</u>	58
Cuadro 11	<u>Tasas de Crecimiento y Volúmenes Base para el Cálculo del Crecimiento de Árboles Individuales</u>	77

TABLA DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de la Región Manglar de San José Mazatenango, Suchitepéquez	34
Figura 2	Relación Altura de las Raíces Fúlcreas DAP Plantación de 0.792 años	60
Figura 3	Relación Altura Total DAP Plantación de 0.792 años	61
Figura 4	Relación HRF Crecimiento del Vástago Plantación de 0.792 años	61
Figura 5	Relación Altura Total DAP Árboles Ramificados Plantación de 2.812 años	62
Figura 6	Relación HRF Altura Total Árboles Ramificados Plantación de 2.812 años	63
Figura 7	Relación Altura Total DAP Árboles no Ramificados Plantación de 2.812 años	63
Figura 8	Relación HRF Altura Total Árboles no Ramificados Plantación de 2.812 años	64
Figura 9	Tarifa de Doble Entrada para Volumen con y sin Corteza Plantación de 2.812 años	64
Figura 10	Relación Factor Volumétrico de Forma DAP Plantación de 2.812 años	65
Figura 11	Relación Porcentaje de Corteza DAP Plantación de 2.812 años	65
Figura 12	Crecimiento por Clase Diamétrica Plantación de 4.792 años	76

Figura 13	Análisis Fustal de la Plantación de 2.812 años	78
Figura 14	Análisis Fustal de la Plantación de 4.792 años	79
Figura 15	IMA e ICA del Arbol Medio de la Plantación de 4.792 años	81
Figura 16	Crecimiento del Volumen con Corteza de las Masas de 2.812 y de 4.792 años	83
Figura 17	Tasa de Crecimiento de las Plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años	84
Figura 18	Distribución de Volúmenes con y sin Corteza de la Plantación de 2.812 años	85
Figura 19	Distribución de Volúmenes con y sin Corteza de la Plantación de 4.812 años	85

"DETERMINACION DE LA EDAD Y TASA DE CRECIMIENTO DE *Rhizophora mangle* L. POR MEDIO DEL ESTUDIO ANATOMICO DE LA MADERA EN LOS ESTEROS DE SAN JOSE CHURIRIN, MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ."

"A METHOD FOR STABLISHING THE AGE AND GROWTH RATE OF *Rhizophora mangle* L. ON THE BASIC OF THE WOOD STRUCTURE AT SAN JOSE CHURIRIN SWAMPS, MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ."

I. RESUMEN:

La presión de consumo que se ejerce sobre los manglares está determinando la rápida disminución de su superficie. Para evitar la extinción y al mismo tiempo lograr un uso sostenido, de los mismos, es necesario investigar su tasa de crecimiento y las relaciones alométricas necesarias para su manejo silvícola. Este estudio fue realizado en los esteros de la aldea de San José Churirín, Mazatenango, Suchitepéquez y tuvo como objetivos 1) Determinar el área mínima de parcela para muestrear plantaciones jóvenes de *Rhizophora mangle* L. 2) Determinar las relaciones alométricas de árboles jóvenes de *Rhizophora mangle* L. 3) Determinar la factibilidad de aplicar el análisis fustal para la estimación del crecimiento de *Rhizophora mangle* L. y 4) Estimar el crecimiento de *Rhizophora mangle* L. tanto en árboles individuales como en plantaciones jóvenes.

Para la determinación de las relaciones alométricas y de la tasa de crecimiento de *R. mangle* se mostraron tres plantaciones de edades conocidas con precisión (0.792, 2.812 y 4.792 años). Para cada una de las plantaciones muestreadas se midió la altura total, la altura de las raíces fúlcreas y el diámetro a la altura del pecho, se tomaron además discos de edades conocidas (1, 2, 3 y 4 años) a tres árboles medios de cada clase diamétrica. A nivel de gabinete se calcularon las relaciones alométricas. A nivel de laboratorio los discos fueron examinados macroscópica y microscópicamente.

Como conclusiones se tiene que no existen diferencias significativas en los diferentes tamaños de parcela; en las relaciones alométricas, el diámetro a la altura del pecho (DAP) de las plántulas, después de su plantación, está determinado por la longitud de la porción de la radícula que queda sumergida en el fango; la altura total de los árboles, como sucede con cualquier otra especie forestal, está en función del DAP; el factor volumétrico de forma no es constante sino que varía en función del DAP; los árboles ramificados tienden a ser más grandes en altura y en área basal en relación a los no ramificados; el porcentaje de corteza puede ser controlado por medio de la manipulación de la densidad del rodal; acerca de la aplicación del análisis fustal, se determinó que los anillos de color claro se inician con los solsticios y que los anillos de color oscuro se inician con los equinoccios y que pueden emplearse para estimar la edad y tasa de crecimiento, en cuanto al crecimiento de árboles individuales en la plantación de 2.812 años los árboles crecieron en altura 2.06 m por año y en grosor 0.68 cm por año, mientras que en la plantación de 4.792 años los incrementos en altura fueron de 1.34 m por año y en grosor de 0.73 cm por año; el patrón de crecimiento volumétrico puede ser lineal o exponencial dependiendo del tamaño de la plántula al momento de su siembra; las plántulas más grandes crecen más a lo largo de su vida y finalmente la tasa de crecimiento de las masas boscosas se puede estimar por medio de una fórmula calculada en este estudio. Dentro de las recomendaciones tenemos que una parcela de 25 m² es suficiente para muestrear plantaciones jóvenes; para obtener un crecimiento óptimo de las plántulas el cuello de las mismas debe de quedar a una altura de 23 cm; para estimar el volumen de un árbol es mejor emplear el factor volumétrico de forma $[FVF=80.38*(DAP^{-0.413})]$, también se recomienda emplear los anillos de color pardo oscuro para la estimación de la edad de los árboles; y finalmente las fórmulas para estimar la tasa de crecimiento de las masas boscosas no deben emplearse para proyecciones de más de 9 años (año 1994).

II. INTRODUCCION:

Los manglares son formaciones boscosas que se desarrollan en los esteros de las regiones tropicales y subtropicales del globo terráqueo. En Guatemala los bosques manglares ocupan un área relativamente pequeña, de aproximadamente el 0.16% de la superficie total del país, distribuida en la costa del Pacífico y en algunos sectores de la costa Atlántica.

La importancia de los manglares puede resumirse en tres aspectos: 1) Actúan como filtro de las escorrentías que llegan al mar, 2) Subsidian los ecosistemas litorales exportando materia orgánica y 3) Constituyen el hábitat de muchas especies animales. En este sentido, la calidad y cantidad de la pesca artesanal en Guatemala está influenciada por la extensión de bosques manglares existentes.

Por las condiciones abióticas existentes en los esteros, como por ejemplo la abundancia de sales de sodio provenientes de las constantes inundaciones del mar, únicamente los mangles son capaces de producir bosques en ellos. Esto ha provocado que durante milenios, los esteros en el trópico y en subtrópico se encuentren ocupados predominantemente por especies manglares.

El hombre utiliza los manglares como fuente de madera para construcciones rústicas, para combustible y como fuente de tanino para curtiembre.

En Guatemala se practica una extracción selectiva en los manglares, la cual pesa principalmente sobre Rhizophora mangle L. (mangle colorado). La explotación de los manglares ha sido tan intensa, que algunas pequeñas masas boscosas han desaparecido, o en los casos más benignos, la comunidad se ha

corrido hacia una etapa seral en donde predominan especies de mangle económicamente menos deseables.

La mayoría de los estudios realizados en Guatemala sobre los bosques manglares han consistido principalmente en la caracterización y localización de los mismos; pero en ningún estudio se ha profundizado en aspectos que ayuden a definir los parámetros necesarios para diseñar planes de manejo adecuados.

Para la conservación y aprovechamiento adecuado de los bosques manglares es imprescindible la aplicación de planes de manejo. En la elaboración de un plan de manejo se perfila como punto fundamental de partida, el conocimiento de la tasa de crecimiento de la masa boscosa.

La tasa de crecimiento se puede determinar fácil y rápidamente aplicando el análisis fustal a árboles con anillos de crecimiento, pero en el caso de los árboles tropicales que no muestran características en el leño que puedan interpretarse como límites de crecimiento para períodos de tiempo conocidos, existen metodologías que implican marcajes y mediciones sucesivas de grupos de árboles por períodos de varios años.

El presente trabajo se concretó en cuatro aspectos: 1) Determinar el tamaño óptimo de parcela para muestrear plantaciones jóvenes de R. mangle, 2) Determinar las relaciones alométricas de árboles jóvenes de R. mangle, 3) Efectuar un análisis fustal de los árboles de R. mangle y 4) Determinar la tasa de crecimiento de árboles individuales y de masas forestales de R. mangle en sus primeros años de desarrollo.

El estudio se efectuó en plantaciones puras de R. mangle, con edades que oscilaron entre los 0.792 y 4.792 años, ubicadas en los esteros de la aldea de San José Churirín, Mazatenango, Suchitepéquez.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Para el uso sostenido de los bosques manglares es necesario aplicar planes de manejo adecuados. Para la elaboración de estos planes de manejo es imprescindible el conocimiento de la tasa de crecimiento y de las relaciones alométricas de las especies involucradas.

En las regiones templadas del globo la determinación de la tasa de crecimiento en los árboles puede efectuarse fácilmente estudiando los anillos anuales de crecimiento. En los árboles tropicales que se desarrollan en condiciones climáticas estables, como el mangle, rara vez se definen verdaderos anillos de crecimiento. Sin embargo la madera de diversas especies de árboles tropicales ha mostrado diferentes características que pueden variar con periodicidad radial, las cuales, pueden ser correlacionadas con los ciclos climáticos anuales.

Para el caso de R. mangle se desconoce absolutamente todo lo referente a su tasa de crecimiento y relaciones alométricas, lo que impide la elaboración de planes de manejo para su uso y conservación. Sin embargo A. Fanh y T. Swain (22,57) han observado discontinuidades concéntricas en el leño. Queda entonces investigar si estas discontinuidades pueden utilizarse en vez de los anillos verdaderos de crecimiento para la determinación de la edad y tasa de crecimiento de R. mangle.

IV. MARCO TEORICO:

1. Marco Conceptual:

1.1 Biología Del Manglar:

Los manglares son formaciones boscosas que se desarrollan en los esteros de las regiones tropicales y

subtropicales. En los esteros ocurre la mezcla de agua dulce, proveniente de las escorrentías de las cuencas hidrográficas, con el agua salada proveniente de las inundaciones periódicas del mar. Esto determina un ambiente muy dinámico. En el que suceden a la vez los procesos de erosión y sedimentación.

1.1.1 Suelo de los Bosques Manglares:

La mayoría de los suelos de los bosques manglares son suelos orgánicos que permanecen total o parcialmente inundados, por lo que la descomposición de los detritus que se acumulan sobre ellos es por vía anaeróbica. Esto permite la acumulación de sulfatos lo que a la vez disminuye los valores de pH (11). La acidez del suelo provoca la precipitación de la mayoría de los nutrientes en formas no asimilables, mientras que el hierro y el aluminio pasan a la solución del suelo, formando compuestos tóxicos para la vegetación. En estas condiciones se favorece la formación de piritas bisulfatadas que se acumulan en el suelo (30). Otro elemento que se acumula en los suelos de los manglares es el fósforo que es acarreado por las escorrentías hacia el mar. El ingreso de cloruro de sodio en las inundaciones del mar, acarrea condiciones de salinidad y sodicidad como la elevación del potencial osmótico, la defloculación de las partículas del suelo, toxicidad, etcétera (11). Es evidente que las particularidades descritas plantean problemas fisiológicos que actúan como factores de selección, pudiéndose enumerar además de los ya nombrados, la poca firmeza del sustrato, la carencia de nutrientes, la falta de oxigenación en las raíces y las variantes del potencial redox (38). Esta situación hace de los

esteros uno de los ambientes más hostiles para el desarrollo de la vegetación.

1.1.2 Zonas de Vida Vegetal y Productividad del Manglar:

Según Holdridge, citado por Lugo (38), la temperatura y la precipitación son los principales factores limitantes para el desarrollo de las comunidades vegetales. En este sentido, los trópicos húmedos deberían ser las zonas en donde se presentasen las comunidades vegetales más complejas del globo. Los bosques manglares se sitúan dentro de esta zona de vida, pero como se mencionó anteriormente, el ambiente edáfico se muestra tan adverso, que la comunidad paga los gastos fisiológicos y anatómicos de adaptación perdiendo complejidad y productividad. Fisionómicamente los manglares son bosques con un estrato arbóreo o a lo sumo con dos (6), mostrando características de comunidades serales (37), como el poseer cocientes de productividad-respiración mayores que la unidad y una baja diversidad. Incluso a nivel mundial la diversidad es baja ya que solamente existen 90 especies capaces de vivir en las condiciones depresoras de los esteros, de las cuales 55 son mangles (11), distribuidas en 8 familias y 12 géneros (53), las que en su mayoría se localizan en el Asia Tropical. En Guatemala existen únicamente 4 especies, las cuales forman casi siempre estratos puros (42,49). No se puede equiparar a los manglares con el bosque tropical, que por ejemplo en Panamá fija 11,972 gramos de materia seca por metro cuadrado por año (30). Sin embargo los bosques manglares no son tan improductivos como pudiera pensarse, ya que según Snedaker (53) fijan 5,110 gramos de materia seca por metro cuadrado por año, llegando a

ser hasta siete veces más productivos que el fitoplacton (11). Odum (44,56) clasifica a los esteros como una de las comunidades más productivas del planeta superando incluso a la agricultura intensiva. Esto se debe a que superadas las barreras de adaptación a las condiciones ecológicas de los esteros, los árboles gozan de un ambiente extraordinariamente uniforme, altamente subsidiado y libre de la competencia extraespecífica, fatal para los mangles en ambientes no salinos (24). Según Penman (49) cuando un vegetal no se encuentra limitado por nutrientes, ni por agua, su crecimiento ya no estará definido por su fisiología sino que por el clima. En otras palabras, el crecimiento será función directa de la cantidad de energía recibida, por ejemplo Lugo (37) determinó que un bosque manglar ribereño dentro del clima ecuatorial de Panamá produjo 10,147 gramos de materia seca por metro cuadrado por año, mientras que un manglar ribereño en la región subtropical de la Florida, produjo solamente 8,760 gramos de materia seca por metro cuadrado por año. El sostenimiento de esta continua productividad se debe, como ya se mencionó, al subsidio que el ecosistema obtiene por el flujo y reflujo de las aguas que en él intervienen, al aportar nutrientes, proveer una fuente continua de agua y ventilación para las raíces de los productos tóxicos de la respiración anaeróbica (38).

El crecimiento y desarrollo de los manglares depende de la calidad y distribución del agua que a ellos llega, observándose que en las regiones más lluviosas es donde el manglar logra mayor complejidad (11,37,38,53). Una disminución en la productividad o incluso el desaparecimiento del manglar, puede deberse a el cese del flujo y reflujo de las aguas, al exceso de

sedimentación o a contaminantes, principalmente hidrocarburos (11).

1.1.3 Red Alimenticia del Manglar:

Los manglares, como la mayoría de los ecosistemas pantanosos, subsidian a otros ecosistemas exportando partículas de materia orgánica con alto contenido proteico. El enriquecimiento de las partículas es un fenómeno resultante de la descomposición de las hojas, proceso que puede iniciarse incluso antes de la abscisión, por el ataque de hongos y bacterias. Cuando una hoja de mangle senesce y cae al agua es rápidamente invadida por un hongo, un Phycomiceto (Phytophthora vesiculata), el cual posee esporas natátiles que nadan directamente a las rajaduras de la cutícula y a los estomas y poros de la hoja, luego estas emiten hifas através de las paredes celulares hasta los protoplastos para consumir selectivamente los carbohidratos que necesita, hasta agotarlos, proceso que se consuma en 2 o 3 semanas. El Phycomiceto coexiste y luego es sustituido por otros hongos sin esporas natátiles que por medio de la deriva han logrado adherirse a la hoja. Protozoos y bacterias se asocian con los nuevos hongos, que han colonizado la hoja, formando sobre la superficie una película gelatinosa de color café. Esta película atrae a nemátodos, gusanos marinos y copépodos que se alimentan de ella. A este nivel los cangrejos pueden alimentarse y romper la hoja en pequeños fragmentos. Estos fragmentos se infectan cada vez más por bacterias y hongos que consumen selectivamente los carbohidratos de la misma, hasta llegar a consumirlos totalmente. Mientras la digestión de los carbohidratos se produce por una larga sucesión de hongos y bacterias, se aglomeran más nemátodos, gusanos y

copépodos, alimentándose de los hongos y bacterias. Es por eso que conforme las partículas son consumidas, los carbohidratos disminuyen, y por consecuencia, el volumen también. Sin embargo la concentración de los depredadores primarios aumenta relativamente, por lo que resulta mayor cantidad de proteína porcentualmente por partícula, que cuando se inició su descomposición. Este mismo fenómeno sucede cuando las partículas son comidas y excretadas, los excrementos presentan porcentualmente mayor concentración de proteína. En este ambiente, siempre hay un organismo que puede aprovechar las excretas de otro, de tal manera que las partículas se comen y se reutilizan constantemente. Las larvas de crustáceos valiosos entran en estos ciclos de concentración de proteínas y junto con otros organismos forman parte de la cadena alimenticia que continúa con peces pequeños, los cuales alimentan a peces más grandes, que a su vez serán consumidos por aves o por otro depredador final como el hombre mismo. Los flujos y reflujos de las aguas del estero transportan a las partículas en descomposición hacia el mar, en donde son ampliamente aprovechadas en redes alimenticias similares a las ya descritas.

1.1.4 Tipos de Bosque Manglar:

Como ya se mencionó las especies presentes en un manglar suelen agruparse formando estratos puros y en muy pocas ocasiones se mezclan, esto indica que existen diferentes tipos de bosque manglar que pueden ser clasificados por su florística y por su fisionomía. Lugo y Snedaker (37,53) reconocen seis tipos estructurales de bosque manglar en base a la geomorfología, topografía, salinidad y patrones de transporte de las aguas. a) El bosque ribereño se

localiza en el borde de los ríos y canales de los esteros, es un fuerte exportador de materia orgánica. Se desarrollan en él todas las especies, pero predominan los mangles rojos. Es el tipo de bosque más productivo. b) El bosque de cuenca se desarrolla en tierras internas en donde las mareas llegan muy rara vez y por esta razón exportan materia orgánica estacionalmente, predominan en él los mangles negros que cubren el suelo con neumatóforos. Estos bosques son los que siguen en productividad a los bosques ribereños, y con frecuencia pueden presentar el desarrollo exuberante de epífitas. c) El bosque de borde se encuentra de frente a el mar, soporta fuertes mareas y la acción del oleaje. Es un fuerte exportador de materia orgánica, y es el tercero en cuanto a productividad, predominan en él los mangles rojos caracterizados por sus raíces zancudas. d) El bosque sobreinundado se establece sobre islotes que son cubiertos por la mayoría de las mareas altas. Ocupa el cuarto lugar en productividad. Sin embargo exporta cantidades significativas de materia orgánica. En los demás aspectos, es muy similar al bosque de borde. e) El bosque de hamaca es una modificación del bosque de cuenca, en condiciones ambientales cercanas al límite de tolerancia de los manglares, son pobres exportadores de materia orgánica y ocupan el penúltimo lugar en productividad. Casi todas las especies de mangle pueden estar presentes. f) El bosque enano se encuentra sometido a condiciones muy precarias por lo que pueden sucumbir al más mínimo cambio ambiental. Son los menores productores, y predominan en ellos los mangles negros o los mangles rojos.

1.1.5 Procesos Serales en los Manglares:

Los bosques manglares han sido tratados clásicamente como comunidades serales que pueden culminar ya sea en ecosistemas terrestres, marinos, dulceacuícolas ó hipersalinos (24,33,42,44,47,58). Lugo (37) discute si los bosques manglares son comunidades estables o serales: "Como quiera que sea, el avance hacia el mar termina cuando la energía de las olas y de las mareas sobrepasa la influencia de los factores que promueven la sedimentación. En estas localidades y en otras líneas costeras donde las condiciones no favorecen la acrecentación, los manglares pueden crecer, reproducirse y mantenerse por períodos prolongados de tiempo. ¿Son estos manglares también serales?" Dentro de los factores que promueven la sucesión se menciona a la profundidad de la lámina de agua y la disponibilidad de nutrientes y como factores que detienen o destruyen la sucesión están los vientos, huracanes, olas, fuego y el uso antropológico. La estabilidad de un bosque manglar depende de que estos dos grupos de factores se mantengan en equilibrio.

Cintrón, Lugo, Pool y Morris (8) estudiaron el proceso de sucesión en los manglares de las zonas áridas de Puerto Rico. El modelo propone como especie pionera a R. mangle. Transcurrido un tiempo en las tierras más internas se incrementa la sedimentación y la salinidad del suelo, lo que permite que el bosque de R. mangle sea sustituido por un bosque próspero de Avicennia nitida. Conforme la sedimentación y la salinidad se incrementan aún más el vigor del bosque A. nitida disminuye paulatinamente. El último estadio se da cuando la salinidad ya no permite el desarrollo de manglares y se pasa a un ambiente hipersalino.

Generalmente el bosque más estable queda dividido en fajas. En las zonas más cercanas al agua queda una franja de *R. mangle* seguida por otra, casi siempre mucho más ancha, conformada por un bosque poco próspero de *A. nitida*. La última faja queda en las tierras más internas en donde se establece el ambiente hipersalino bordeado por varios árboles muertos de *A. nitida*.

1.2 Estado de los Bosques Manglares en Guatemala:

En Guatemala, los bosques manglares se encuentran principalmente en la costa Sur, bordeando los esteros y lagunas cercanas a la playa y en la costa Nor-oriental, ocupan un área muy limitada. Según J. de la Cruz (13) de acuerdo al sistema del Dr. Leslie Holdridge, la zona de vida vegetal ocupada por los manglares es el bosque seco tropical basal.

Solamente cuatro especies conforman los bosques manglares guatemaltecos, predominando *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Avicennia nitida* Jacq. (madre sal) y *Laguncularia racemosa* (L.) Gaert (mangle blanco). La cuarta especie *Conocarpus erecta* L. (botoncillo) se presenta en bajas densidades. Morales (42) reporta que para el año 1978 existía en Guatemala una cobertura de bosques manglares de 160.86 kilómetros cuadrados, (aproximadamente el 0.15% del territorio nacional), con una tasa de degradación del 3.58% entre los años de 1974 y 1978.

A principios de la década de los cincuenta el gobierno del presidente Jacobo Arbenz emitió el decreto 901 (Ley de Reforma Agraria) con el objeto de tornar productivas las tierras ociosas. Grandes extensiones de la compañía frutera UFCO (United Fruit Company) fueron expropiadas. Una de las consecuencias de la turbulencia política generada fue la

colonización y parcelamiento de la mayor parte de la costa Sur, que en esa época se encontraba cubierta por selva virgen. También en esos momentos el cultivo de la caña de azúcar y algodón tomaron gran auge en las tierras bajas, tal y como sucedió con el café y el hule en las regiones de la bocacosta. El impacto ecológico se hizo evidente cuando a mediados de los años setenta la selva había desaparecido por completo. Los manglares y otros humedales pagaron tributo a esta ola expansiva de la frontera agrícola, como lo demuestra Morales (42) ya que entre 1969 y 1974 se perdieron 68.985 kilómetros cuadrados de bosque manglar, equivalentes al 27.80% de los bosques existentes en 1965 y entre 1974 y 1978 se perdieron otros 4.36 kilómetros cuadrados. Otros factores que se aunaron con la expansión de la frontera agrícola en la destrucción del mangle fueron la industria del tanino y la producción de sal. En la actualidad la industria del tanino y la producción de sal por cocción son ilícitas por el proyecto de ley que veda la tala del mangle, salvo para consumo familiar. Las salinas ahora compiten con los manglares por extensión superficial.

Aparentemente la importancia del mangle en Guatemala ha quedado reducida a su mínima expresión, pero los manglares prestan aún múltiples servicios a la sociedad.

1.2.1 Fuente de Productos Forestales:

Los bosques manglares son en la mayoría de los casos los únicos bosques remanentes en las regiones cercanas a la playa. La mayoría de las comunidades portuarias satisfacen sus necesidades energéticas preferencialmente con leña de mangle rojo. Así también en la construcción de viviendas rurales rústicas se utiliza preferencialmente mangle rojo para vigas y viguetas. También las viguetas de mangle rojo son

empleadas para el secado de hojas de tabaco ya que les transfieren un aroma peculiar que mejora su precio de venta. El mangle blanco es preferido para la obtención de púrdigas y pilotes; y el madre sal pocas veces es empleado dada su baja densidad y durabilidad. A pesar de la veda para la corta del manglar, existen numerosos taladores fortuitos que evaden a las autoridades y comercian el mangle en forma de carbón, tanino, tablas, horcones, durmientes, postes, pilotes, vigas, viguetas, púrdigas, etcétera, aprovechando y fomentando mitos acerca de la durabilidad y propiedades de la madera del mangle. La tala ilegal suele ser un problema mayor que la tala para uso familiar.

1.2.2 Estabilización de Costas:

Los bosques manglares ofrecen protección a las líneas costeras tanto de marejadas y tormentas como de crecientes e inundaciones de los ríos. Toda infraestructura que se sitúe detrás de los manglares estará mejor protegida que si se sitúa frente o sobre de ellos (11,24).

1.2.3 Filtro de Contaminantes:

Diversos contaminantes acarreados por los ríos pueden ser degradados, o al menos precipitados y fijados en los sedimentos de los esteros (11), evitando su paso a el mar y a otros ecosistemas.

1.2.4 Acuicultura:

Los crustáceos peneidos son habitantes usuales de los manglares. En los últimos años la exportación de camarones ha comenzado a ser un reglón importante.

Para no depender de las condiciones azarosas que implica la pesca, varios empresarios decidieron aprovechar la potencialidad de los esteros para criar sus propios camarones y tener así un mejor control de la producción. Ahora en casi cada región manglar es posible observar estanques e instalaciones para la crianza de camarones.

1.2.5 Protección de la Vida Silvestre y Pesca:

Los manglares son notables en albergar una macrofauna altamente diversa, especialmente aves acuáticas. Otros miembros de la fauna son serpientes, lagartos, iguanas, mapaches, pumas y venados. Dentro de los artrópodos encontramos miríadas de mosquitos, hormigas, termitas, cangrejos y camarones. Pero lo que quizás llama más la atención es que los manglares proveen de alimento y hábitat al 75-90% de todas las especies de importancia económica de la pesca artesanal (11,38,42). Casi todas las especies de la fauna de los ríos y del litoral marino llegan a desovar en los esteros en busca de una concentración salina específica que no se encuentra ni en el mar, ni en el agua de los lagos y ríos. Un caso típico es el de los crustáceos como los camarones y cangrejos, los cuales viven en el estero mientras están en etapas larvarias y migran hasta cuando son adultos, otros pasan toda su vida en los esteros como las ostras y los mejillones. Peces marinos con frecuencia se adentran en los esteros en busca de presas para su alimentación. Además los manglares exportan partículas de materia orgánica que son aprovechadas por los organismos del área (litoral del mar).

1.2.6 Recreación:

Es bien conocido el atractivo turístico que presentan las playas del Pacífico. Los esteros son sitios en donde pueden realizarse muchas actividades recreativas como pesca deportiva, natación, exploración, etcétera.

1.2.7 Otros Usos Potenciales:

Aparte de los servicios que actualmente los manglares prestan a la sociedad Guatemalteca, existen otros que potencialmente podrían desarrollarse y que a continuación se mencionan: a) Producción de astillas para pulpa o bien directamente la producción de pasta de celulosa, b) Apicultura, c) Acuicultura abierta o confinada en jaulas o en estanques (ostras, mejillones y peces comestibles u ornamentales), d) Medicamentos, e) Forrajes y f) Minería de sedimentos (11).

1.2.8 Consecuencias del Mal Uso de los Manglares:

Los manglares pueden ser administrados de muy diversas maneras para aprovechar al máximo sus beneficios, pero si se les maneja inadecuadamente los resultados pueden ser desastrosos. Por ejemplo, si los manglares son talados y drenados para la agricultura, los bisulfatos del suelo se oxidan rápidamente produciendo una alta acidez y las áreas quedan perdidas tanto para la agricultura como para la regeneración del manglar. Si se reducen demasiado los bosques por obras de desarrollo, se corre el riesgo de disminuir o acabar la pesca del lugar. La mala ubicación de la infraestructura puede también ser la causa de su propia destrucción, al ser embatida por fenómenos naturales y no contar con la protección amortiguadora de los

bosques manglares; un ejemplo de dicha situación acontece en Bahía de Bengala, Bangladesh en donde el azote de los huracanes ocasiona frecuentemente la pérdida de muchas vidas humanas (1,4,51).

En Guatemala al abrirse todas las tierras posibles a la agricultura, se aumentó la erosión, y con ello finalmente la sedimentación de los esteros. Esta tasa de sedimentación incrementada convirtió a varios esteros en ecosistemas terrestres y a otros los corrió a una etapa seral en donde predomina el madre sal, económicamente menos deseable que el mangle rojo. Por aparte la sobrexplotación de los manglares disminuyó su volumen y ha comprometido su regeneración. También la pesca artesanal se ha visto afectada al disminuir el volumen de peces atrapados, al no poderse realizar la actividad durante todo el año y por la desaparición de algunas especies de peces.

2. **Marco Referencial:**

2.1 **Métodos para la Estimación del Crecimiento de Arboles Individuales y de Masas Forestales:**

Si se desea seguir gozando de los beneficios que los manglares aportan, es indispensable elaborar planes de manejo para su conservación y posterior desarrollo. La elaboración de un plan de manejo silvícola con miras de rendimiento sostenido plantea como punto de partida conocer el crecimiento de la masa forestal. Sin el conocimiento del crecimiento se podría sobrexplotar el bosque, lo que produciría su degradación y disminución de su volumen, o si se le subexplota la actividad forestal podría resultar no rentable (3,5,17,27,29,35,36,54,60,61).

La estimación del crecimiento puede efectuarse por métodos indirectos o directos. En los métodos indirectos se utiliza la masa forestal por medio de un inventario y se calcula una tasa de crecimiento obtenida de otras mediciones. Para el cálculo de la tasa de crecimiento puede efectuarse un conteo de anillos en núcleos extraídos con el barrenado de Pressler (no hay necesidad de talar el árbol), o en discos (secciones transversales del tronco, lo que implica la tala del árbol). Si el conteo de anillos de crecimiento se efectúa a diferentes niveles puede aplicarse un análisis fustal. En caso de no existir anillos de crecimiento pueden realizarse mediciones repetidas a intervalos más o menos largos de los árboles representativos de la masa forestal. Existen tres fórmulas que rinden resultados rápidamente midiendo árboles tipo. Una condición indispensable es que los árboles presenten anillos de crecimiento. Las fórmulas de Sneider y Wahlenberg calculan una tasa de crecimiento para cada una de las clases diamétricas y la fórmula de Borggreve calcula una tasa de crecimiento única para toda la masa. Otras dos fórmulas para el cálculo de la tasa de crecimiento son la de Pressler y las del interés simple y compuesto, con éstas no es necesario que los árboles presenten anillos de crecimiento y pueden aplicarse a árboles individuales y a grupos de árboles, el inconveniente es que deben efectuarse dos mediciones separadas por un período de 1-5 años (3,29,35,38,60,61). En el cuadro 1 se resumen las fórmulas empleadas para el cálculo de la tasa de crecimiento.

Cuadro 1 Fórmulas para el Cálculo de la Tasa de Crecimiento:

Nombre	Fórmula	Nomenclatura
Scheiner	$P\% = \frac{400}{n \cdot D}$	P% = Tasa crecimiento
Wahlenberg	$P\% = \frac{40R}{D}$	n = No. anillos en el último cm del DAP
Borggreve	$P\% = 100 \cdot \frac{\sum 4D}{\sum D^2}$	D = DAP con corteza en centímetros
Pressler	$P\% = \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \cdot \frac{200}{N}$	R = Grosor en cm de los últimos 10 anillos
Interés Simple	$P\% = \frac{V_2 - V_1}{N \cdot V_1} \cdot 100$	V ₁ = Volumen al inicio del período
Interés Compuesto	$P\% = ((V_2/V_1) - 1)^{1/N} \cdot 100$	V ₂ = Volumen al final del período
		N = Período en años

Fuente: VALLE DAWSON, C.H. 1982. Vademecum forestal. Gua. Dirección General de Servicios Agrícolas, 289 p.

Los métodos directos para medir el crecimiento son el inventario forestal continuo y las muestras dinámicas. En esencia ambos métodos son similares, la diferencia radica en que en el primero se utilizan parcelas grandes, mayores de una hectárea y se trata de cubrir un porcentaje del área total, previamente determinado. En el segundo se utilizan parcelas pequeñas, menores de una hectárea (36,61). El crecimiento se mide por la fórmula siguiente:

$$C = V_2 - V_1 + E - I$$

En donde:

C = Crecimiento

V₁ = Volumen en el primer inventario

V₂ = Volumen en el segundo inventario

E = Volumen de la extracción y agotamiento

I = Ingreso (árboles jóvenes que en el primer inventario no fueron medidos por no alcanzar el diámetro mínimo prefijado, pero que por su crecimiento lograron alcanzar el diámetro mínimo en el segundo inventario).

El período entre las mediciones puede oscilar entre 1-20 años. Los datos obtenidos son bastante exactos, pero los métodos tienen el inconveniente de ser muy costosos y de requerir muchos años para rendir resultados.

Otros métodos son el cálculo del crecimiento por la fórmula Mantel, el adelanto entre clases diamétricas, por diferencia de tarifas o por tablas de rendimiento. Todos estos métodos son aplicables en regiones donde la actividad forestal es una tradición y los bosques se encuentran ordenados y normalizados, y además existen tarifas y tablas de rendimiento por especie, región e índice de sitio.

Fahn, Barley, Longman, Mariaux y Tomilson (22,58) proponen marcar periódicamente el cámbium con procedimientos que dejen trazas rastreables y que permitan efectuar un análisis de incrementos en los árboles sin anillos de crecimiento. Entre los procedimientos de marcaje se encuentran los isótopos radioactivos, tintes como el azul de metileno, alfileres y heridas pequeñas.

2.2 Crecimiento de Arboles Individuales:

El árbol crece en altura, diámetro, volumen y casi siempre en valor comercial (35,36,61). El crecimiento del árbol es el resultado de la acción recíproca de los meristemas primarios y secundarios. El meristemo primario proviene directamente del embrión y se localiza en el ápice de la planta, como su nombre lo indica da lugar al cuerpo primario del vegetal. Los meristemas secundarios son el

felógeno y el cámbium, los cuales son laterales y se derivan ya sea directamente del meristemo primario o por desdiferenciaciones de tejidos del cuerpo primario. Del felógeno se origina la peridermis y el cámbium produce centripetamente xilema secundario y centrifugamente floema secundario. Generalmente el cámbium produce mayor cantidad de xilema que de floema, de tal manera que xilema es el tejido que constituye el mayor volumen del cuerpo secundario. Alrededor de la médula y del xilema primario se acumulan bandas concéntricas de xilema secundario producidas durante los períodos de crecimiento. Hacia el exterior del cámbium el floema y la peridermis sufren desgarres y obliteraciones al ser desplazados con cada incremento producido, quedando funcionales únicamente las células del floema secundario más cercanas al cámbium. La peridermis no muestra incrementos desmedidos a pesar de poseer meristemo propio y de aceptar adiciones del floema primario y secundario, porque sufre constantemente descamaciones de las células más externas. Conforme el cuerpo secundario crece y madura se diferencian en él distintas zonas. En el xilema secundario (madera) se diferencia el duramen y la albura. El duramen es el xilema secundario más viejo, se encuentra depositado al centro del tronco, en él se encuentran células impregnadas con sustancias terminales del metabolismo que no han podido ser excretadas, tales como lignina, minerales, pigmentos, aceites, breas, etc. En este sentido las células del duramen presentan una coloración generalmente más oscura que la albura y han perdido la capacidad de transporte de savia, por lo que cumplen únicamente con la función de sostén. La albura es el xilema secundario más joven y se encuentra alrededor del duramen. En la albura las células no se encuentran impregnadas con diversas sustancias por lo que se notan más claras en color y son capaces de cumplir tanto con las funciones de transporte de savia y de sostenimiento mecánico. En los casos donde en el

xilema secundario existe abundante parénquima axial puede darse además la función de almacenamiento de agua y de carbohidratos. Circunvalando al xilema secundario se encuentra el cámbium conformado por una delgada capa de células meristemáticas (principalmente de una a dos células de espesor), el cual, como ya se mencionó origina los tejidos secundarios de conducción. Por fuera del cámbium encontramos la corteza (con mucho menos espesor que el xilema secundario) la cual puede ser subdividida en corteza interna y corteza externa. La corteza interna está conformada por el floema secundario y fracciones del córtex, mientras que en la corteza externa encontramos la peridermis o un ritidoma y fragmentos del córtex.

Para determinar en qué época del año suceden los eventos descritos es necesario estudiar la fenología de los árboles y en especial la fenología del cámbium vascular.

Las fenología de los árboles de la región templada con respecto a las variaciones estacionales ha sido extensamente estudiada. Panshin, Harold, Daniel, Helms y Baker (17,26,46) indican que el inicio y la intensidad de la actividad del cámbium pueden estar controlados por el fotoperíodo y por diferentes concentraciones de auxina. El inicio de la primavera rompe las condiciones desfavorables para el crecimiento de las plantas al incrementarse la temperatura, la duración del día y la disponibilidad de agua; determinando el cese de la dormancia en las yemas y la expansión de los brotes. La actividad de las yemas apicales produce auxina que se distribuye basípetamente en el árbol, por lo que el inicio de la actividad cambial (o "aflojamiento de la corteza") también se presenta basípetamente. La intensidad de la actividad de cámbium es heterogénea a lo largo del tronco, porque la distribución de la auxina no es homogénea, recibiendo mayor concentración de

la hormona la sección del tronco que está inmediatamente debajo de la copa que la sección de la base. Esto explica la forma casi cilíndrica y no cónica de los troncos por debajo de la copa. Durante el otoño al disminuir la temperatura y la duración del día finaliza el período de crecimiento del árbol. Este patrón estacional determina la formación de un anillo de crecimiento con dos bandas alternas, una de leño temprano producido durante la primavera y el verano, (madera de baja densidad con células grandes de pared fina) y otra de leño tardío producido a finales del verano y principios del otoño, (madera de alta densidad con células pequeñas de pared gruesa). El grosor, la densidad y otras estructuras del anillo de crecimiento pueden correlacionarse fácilmente con las variaciones del clima ocurridas durante el período de crecimiento, evidenciándose más esta tendencia en los árboles que crecen en las regiones áridas que en los árboles que crecen en regiones húmedas (20).

En el trópico a diferencia de la región templada se desconoce el comportamiento fenológico de la mayoría de las especies. El punto de vista tradicional es que la actividad cambial es continua y más o menos sin variaciones durante todo el año, careciéndose de anillos de crecimiento (16,17,18,19,26,28,29,38,46,55). Sin embargo investigadores como Coster (1927-8) en Java, Amobi (1973) en Nigeria y Alvin en Brasil citados por Tomilson y Longman (58) y Koriba (1958), Njou (1963), Mariaux (1967, 1969 y 1970), Détiene y Mariaux y Tomilson (1975 y 77) citados por Fahn, Barley, Longman, Mariaux y Tomilson (22), han demostrado que la actividad del cámbium en los trópicos es periódica. Factores como el fotoperíodo (duración del día), composición del espectro fotomagnético recibido y la temperatura aún con pequeñas variaciones, pueden inducir periodicidad en el crecimiento del cuerpo secundario, sin importar el estado de

desarrollo de la copa (22,58). Incluso si el crecimiento del árbol fuese ininterrumpido éste no tiene porque ser constante (58). Fahn et. al. (22) sugieren que los árboles tropicales poseen anualmente dos períodos de máxima actividad cambial. Sin embargo la periodicidad en el crecimiento no implica forzosamente la formación de anillos de crecimiento, por ejemplo Coster citado por Fahn et. al. (22), observó que solamente algunas especies de la región seca de Java con un período de ausencia de hojas y de inactividad cambial, presentaron anillos de crecimiento. Mariaux (39) indica además que la interpretación de los anillos de crecimiento en los árboles tropicales que los poseen es dificultosa, ya que los anillos son obscuro en la madera juvenil y en los árboles oprimidos de crecimiento lento. Coster citado por Fahn et. al. (22) anota que los anillos de crecimiento en los árboles tropicales pueden no estar definidos por dos bandas alternas, una de leño temprano y otra de leño tardío, sino que por otras discontinuidades estructurales como las citadas en el cuadro 2.

Cuadro 2 Criterios Utilizados por Coster para Definir Anillos de Crecimiento en Arboles Tropicales:

No.	Criterio
1	"Reducción del diámetro radial de las últimas fibras formadas.
2	Una banda de parénquima estrecho completamente rodeada de tronco.

Fuente: FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K.A.; MARIAUX, A. 1980. Anatomía de la madera: Posibles contribuciones de la anatomía de la madera para la determinación de la edad de los árboles tropicales. *In* Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA, p. 31-43.

Cuadro 2 (Continuación) Criterios Utilizados por Coster para Definir Anillos de Crecimiento en Arboles Tropicales:

No.	Criterio
3	Una banda angosta de fibras en su mayoría sin vasos o parénquima, que generalmente representa la primera madera formada.
4	Una periodicidad en el ancho de las bandas alternantes de fibras y parénquima.
5	Periodicidad en el diámetro de los vasos y en la distribución. Frecuentemente muchos vasos grandes aparecen en la madera tierna, pero con relativa frecuencia los vasos en el centro del anillo, de crecimiento son los más grandes. Algunas veces agregados de vasos angostos se ven en la madera madura, mientras que en la madera tierna están presentes vasos más grandes separados unos de otros. En algunos casos, la madera es muy pobre en vasos."

Fuente: FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K.A.; MARIAUX, A. 1980. Anatomía de la madera: Posibles contribuciones de la anatomía de la madera para la determinación de la edad de los árboles tropicales. In *Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales*. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA, p. 31-43.

Además se debe de tomar en consideración que los anillos que se logren observar podrían estar reflejando cambios periódicos internos o externos anuales o nó, por lo que conduciría a error si se interpretan como incrementos anuales directamente, sin ninguna corrección, tal y como se hace con los verdaderos anillos de crecimiento (22). La posibilidad de encontrar alguna discontinuidad distinta al anillo de crecimiento puede estar también relacionada con la complejidad del leño. Según Fahn (21) cuanto más complejo es un leño, más evolucionado es. Los sistemas vasculares primitivos están compuestos principalmente por fibras y traqueidas y si poseen vasos, los elementos traqueales son similares a las traqueidas, largos con extremos ahusados y

con placas perforadas foramidales o escalariformes, en consecuencia su estructura es más simple y homogénea.

La rapidez de crecimiento del diámetro, de la altura y del volumen de un árbol varía de acuerdo a diversos factores como el sitio y la fertilidad del suelo, el clima y sus variaciones, la edad, el acervo genético y la competencia. Un árbol suele crecer de acuerdo a un patrón de crecimiento como el que Veilon (61) presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3 Ritmo de Crecimiento del Diámetro, Altura y Volumen de un Arbol a lo Largo de su Vida:

Elemento de Crecimiento	Período del Arbol			
	Muy joven	Joven	Maduro	Viejo
Altura	Muy rápido	Rápido a mediano	Lento	Ninguno
Diámetro	Lento	Rápido	Regular	Muy lento
Volumen	Ninguno	Rápido	Rápido	Lento

Fuente: VEILON, J. P. 1965. I Curso de ordenación forestal. C.R., IICA, p. 1-25 (Programa forestal)

2.3 Crecimiento de Masas Forestales Homogéneas:

El crecimiento de masas forestales se expresa en términos de volumen o de área basal. En los bosques puros y coetáneos la competencia intraespecífica es intensa y fuerza a que se establezca una especie de carrera por llegar a ocupar una situación dominante en el dosel ("carrera hacia el cielo") (27). Al madurar el bosque sólo los árboles dominantes y codominantes logran culminar su desarrollo, mientras que los árboles oprimidos son eliminados; esto implica una reducción drástica de la densidad conforme

transcurre el tiempo. A pesar del agotamiento intenso los bosques homogéneos logran formar una curva sigmoideal de incrementos (29) al concentrar su crecimiento en algunos individuos que al final de su período de desarrollo alcanzan proporciones masivas. Al inicio la densidad de la plántulas es alta, pero dada su pequeña talla gozan de crecimiento libre. En poco tiempo los arbolitos logran cerrar copas y comienza la competencia por iluminación y espacio adecuados. En esta fase el crecimiento de la masa es mínimo y poco apreciable. En la segunda etapa la competencia se encuentra bien establecida y persisten en el bosque muchos individuos oprimidos. El crecimiento en esta fase es rápido, de tipo lineal o exponencial. Finalmente cuando el bosque llega a su madurez, la densidad se encuentra muy reducida y sólo se encuentran árboles grandes. En esta última etapa el crecimiento comienza a decrecer y termina estabilizándose como una curva logarítmica.

2.4 Crecimiento de *Rhizophora* spp:

Tomilson y Longman (58) estudiaron la fenología de *Rhizophora mangle* en Nueva Zelandia y Queensland. El modelo de crecimiento esperado era continuo, en el cual no presenta latencia y los renuevos no poseen articulaciones, además se esperaba que el patrón de ramificación también fuese continuo, en donde cada nudo presenta una rama. Sin embargo el patrón de ramificación fue curiosamente discontinuo, sin encontrarse una explicación del fenómeno. Otros investigadores como Aksornkoae y Christensen (1,2,11) han estudiado el crecimiento de *Rhizophora* spp. en diversas localidades, aplicando un enfoque silvicultural. De los resultados puede deducirse que el máximo período de crecimiento de los bosques de *Rhizophora* spp. oscila entre los 14 y 20 años, con excepciones como las reportadas para Bangladesh y algunos sitios del Asia Tropical en donde la

fase de crecimiento exponencial se retrasa hasta alrededor de los 50 años. El volumen que puede llegar a acumular un bosque manglar es muy variable y parece depender del índice de sitio y de la zona de vida vegetal. En los cuadros 4 y 5 se presentan algunos resultados de estimaciones del crecimiento de *Rhizophora* spp. en diversas partes del mundo.

Cuadro 4 Incremento Medio Anual y Volúmenes Acumulados con Respecto a la Edad en Diversas Plantaciones de *Rhizophora* spp.

Sitio	Especie	Edad años	IMA m ³ /Ha/año	Volumen m ³ /Ha
Bangladesh	-----	50-160	1.9	-----
Malasia	<i>Rhizophora</i> sp.	20-30	8-10	
Malasia	<i>R. apiculata</i>	30	5.11	153.2
Asia Tropical	-----	20-29	9.1-9.8	-----
Asia Tropical	-----	39-43	10.6	-----
Matang	-----	-----	3.5-7.8	-----
Tailandia	<i>R. apiculata</i>	-----	16	-----
Tailandia	<i>R. apiculata</i>	9	8	72.3
isla Puket		11	8.6	94.3
Chanthanburi		12	11.5	138.0
		13	12.8	165.8
		14	15.7	220.4

Fuente: AKSORNKOAE, S. 1985. Ordenación de manglares en Tailandia, Malasia e Indonesia. Ed. Bo Christensen. FAO (Italia). Estudio FAO medio ambiente no. 4. 64 p.

Cuadro 5 Estimaciones Varias del Crecimiento de Rhizophora spp.

País	Variable	Valor
Papua y Nueva Guinea	Area basal	30 m ² /Ha
Guatemala	IMA altura IMA diámetro	1.25 m/año 0.85 cm/año
Florida	Edad para máxima biomasa	30 años
Asia tropical	Edad corta	20-40 (100) años
Bangladesh	Edad corta	50-160 años

Fuente: INFORME SOBRE EL MANEJO DE LOS MANGLARES EN MALASIA. 1983. Unasyuva (Italia) 35(139):11-15.

JIMENEZ, G.; KNOX, D. 1989. Mangle colorado: Reforestación una guía práctica. [Trifoliar] Instituto Guatemalteco de Turismo, Gua.

2.5 Características de la Madera de Rhizophora mangle:

En el cuadro 6 se presentan las características físico-mecánicas que J. Morales (42) determinó para R. mangle.

Cuadro 6. Propiedades Físicas y Mecánicas de R. mangle

No.	Propiedad	Valor
1	Peso específico en volumen seco al aire	0.95-1.12
2	Peso por pie cúbico	60-70 lb

Fuente: MORALES, J.V. 1979. Importancia nacional del uso y manejo racional, para la conservación del mangle (Rhizophora mangle L.) en el litoral del pacífico. Tesis Ing. Agr. Gua., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 98 p.

Cuadro 6. (Continuación) Propiedades Físicas y Mecánicas de R. mangle

No.	Propiedad	Valor
3	Resistencia máxima en compresión paralela al grano	950 Kg/cm ²
4	Tensión normal al grano	40 Kg/cm ²
5	Módulo de ruptura en flexión estática	2,000 Kg/cm ²
6	Módulo de elasticidad	245,000 Kg/cm ²

Fuente: MORALES, J.V. 1979. Importancia nacional del uso y manejo racional, para la conservación del mangle (Rhizophora mangle L.) en el litoral del pacífico. Tesis Ing. Agr. Gua., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 98 p.

Observamos que la madera de mangle con frecuencia alcanza densidades mayores que la unidad por lo que tiende a hundirse en el agua, también se observa que la diferencia entre la resistencia paralela al grano y la resistencia normal al grano es bastante amplia. Mientras que la madera resiste grandes esfuerzos paralelos al grano, lo que la hace idónea para vigas y viguetas en construcciones rústicas, posee poca resistencia paralela al grano lo que la hace apacecer como débil al utilizarla como poste, esto también explica la facilidad con que se raja para leña.

De las características macroscópicas se reporta información principalmente para el color de la madera. T. Swain (57) indica que el color puede deberse a depositaciones o a impregnaciones de la madera con derivados fenólicos del grupo de las procianidinas (taninos condensados) o por taninos hidrosolubles. Particularmente Morales (47) reporta que el duramen es rojizo a rojizo obscuro y en algunas ocasiones purpurino, mientras que la

albura se presenta amarillenta, parduzca o rosada. Por aparte J.S. Bunt en una comunicación personal citada por Tomilson y Longman (58), cuando estudiaban la fenología de Rhizophora mangle L., observó que "en ningún ambiente hay anillos anuales o discontinuidades estructurales producidas en la madera. Sin embargo las muestras de madera de Queensland muestran fluctuaciones regulares en el color de la madera. Si son o no producidas anualmente queda aún por ser investigado. Si son anuales, tienen el mismo valor que el crecimiento anatómico de los anillos en la determinación de las edades."

V. OBJETIVOS:

1. Determinar el área mínima de parcela para muestrear plantaciones jóvenes de Rhizophora mangle L.
2. Determinar las relaciones alométricas de árboles jóvenes de Rhizophora mangle L.
3. Determinar la factibilidad de aplicar el análisis fustal para la estimación del crecimiento de Rhizophora mangle L.
4. Estimar el crecimiento de Rhizophora mangle L. tanto en árboles individuales como en plantaciones jóvenes.

VI. HIPOTESIS:

1. Hipótesis nula:

No existe correlación entre los anillos concéntricos de color observados en el leño de Rhizophora mangle L. y la edad de los árboles.

2. Hipótesis alternativa:

Existe correlación entre los anillos concéntricos de color observados en el leño de Rhizophora mangle L. y la edad de los árboles.

VII. METODOLOGIA:

1 Ubicación Política y Geográfica:

La aldea de San José Churirín pertenece al municipio de Mazatenango, del departamento de Suchitepéquez. Es una aldea situada en la playa justo en el vértice sur-occidental del departamento, colindando al occidente con el departamento de Retalhuleu, con el río Sís-Icán de por medio.

La localización geográfica de la aldea es a $91^{\circ}-38'$ de longitud oeste y a $14^{\circ}-4'$ de latitud norte. Su altitud es de aproximadamente 5 metros sobre el nivel del mar.

2 Vías de Acceso:

La aldea de San José Churirín dista de la cabecera departamental, Mazatenango, aproximadamente 80 kilómetros. La carretera que comunica ambos poblados es de terracería, de una vía y transitable en tiempo bueno o seco. La misma carretera que conduce a San José Churirín es la que comunica con las

poblaciones de Bolivia, Venecia, Tahuexco, Japón Nacional y San Carlos Málaga al tomar su desvío correspondiente. Esta misma carretera puede ser abordada desde Mazatenango o desde San José el Idolo. Otra vía de acceso a la aldea es viajar a la población de Tulate que consta con carretera asfaltada y después caminar por la playa hacia el oriente 6 kilómetros y cruzar el río Sis-Icán.

3 Zona de Vida Vegetal y Suelo:

La aldea se encuentra dentro del bosque seco tropical basal (13). La biotemperatura es de 27°C y la precipitación de 800 mm distribuidos irregularmente a lo largo de todo el año, pero principalmente entre los meses de mayo a octubre. De la vegetación original quedan únicamente los manglares, ya que los demás bosques, que se desarrollaban sobre tierra seca, han sido sustituidos en su totalidad por cultivos.

Los suelos litorales son de naturaleza esquelética y no presentan ningún desarrollo hacia su madurez. Están constituidos por arena volcánica que ha sido acarreada por los ríos y escorrentías de tierra adentro. Donde no hay influencia del oleaje ni de las mareas los suelos corresponden a una consociación de oxisoles y vertisoles. Los suelos cenagosos de los manglares son principalmente una mezcla de detritus con limos y arenas.

4 Actividad Económica:

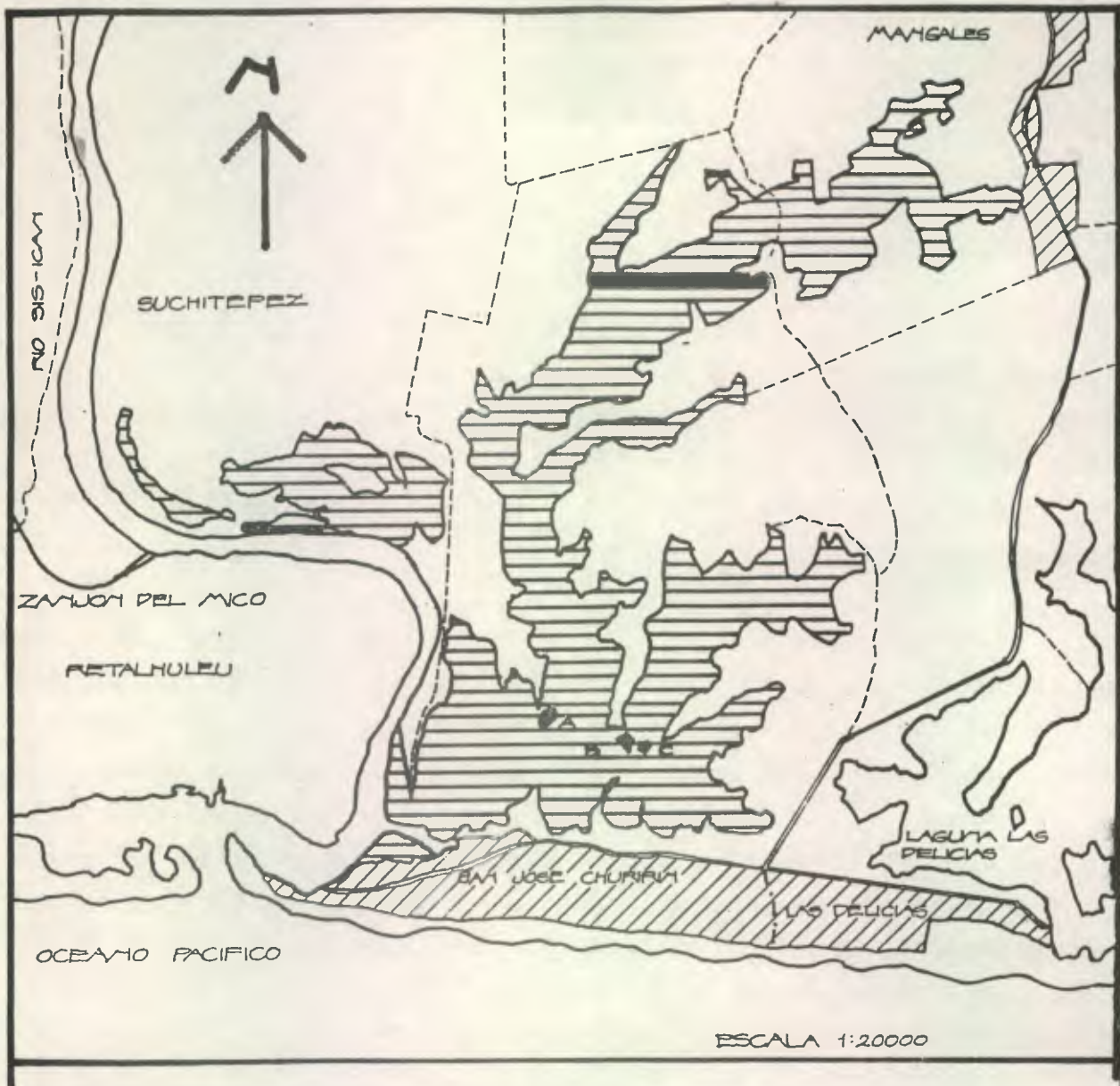
Los habitantes de San José Churirín se dedican principalmente a la pesca artesanal y a la agricultura de subsistencia. Existe una cooperativa que pesca en alta mar y que comercia su producto en el interior del país. Los demás habitantes viven de lo que pescan en el estero y de sus cosechas, comerciando de éstas últimas el remanente, para la compra de

vestido y medicamentos. Los principales cultivos son maíz, ajonjolí, maní y melón. Las salinas y el cultivo de camarones se encuentran en las aldeas vecinas de Tahuexco y de las Delicias en donde existen lagunas saladas.

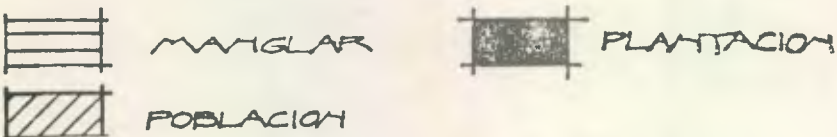
5 **Bosques Manglares:**

La aldea por su posición geográfica se encuentra en una zona de intercambio de aguas entre las escorrentías del río Sis-Icán, con un caudal de estiaje de 40 m³/seg y las mareas. La poca altitud del lugar permite la formación de esteros rodeados de pantanos de agua salobre en donde se desarrollan bosques manglares.

Para estimar la superficie cubierta por bosques manglares se emplearon las fotografías aéreas No. 198-200 del rollo No. 88 tomadas a escala 1:20,000 en febrero de 1988 por Aereofoto Centroamericana S.A. En la figura 1 (página siguiente) se observa la localización y conformación de las áreas manglares de San José Churirín y en los anexos 2, 3 y 4 se puede observar con detalle la conformación de cada una de las plantaciones estudiadas (a: Plantación de 4.792 años, b: Plantación de 2.812 años y c: Plantación de 0.792 años). El área total de 130.56 ha se encuentra dividida en tres sectores de 115.68, 12.64 y 2.24 hectáreas respectivamente.



REFERENCIAS:



A = Plantación de 4.792 años, B = Plantación de 2.812 años
 C = Plantación de 0.792 años.

Figura 1 Ubicación de la Región Manglar de San José Churirín

Los habitantes de la aldea mantienen relaciones cordiales con la Dirección General de Bosques (DIGEBOS), de tal manera que ha sido posible efectuar diversos proyectos conservacionistas. Cabe resaltar que la reforestación de claros en los manglares es ya una tradición en la aldea y por ello es fácil localizar rodales de edad conocida con los que fue posible trabajar.

Los rodales electos para el estudio mostraron las características siguientes: a) La edad de la plantación debe conocerse con precisión, b) La plantación debe ser 100% pura y coetánea de *Rhizophora mangle* L., c) El tipo fisionómico-estructural de la plantación debe corresponder a un "manglar ribereño" (37,53), d) Poseer un área mínima de 500 metros cuadrados (45,3), e) Poseer una poligonal regular que minimize el efecto de borde y f) No haber sufrido extracciones.

De acuerdo a lo anterior se localizaron tres plantaciones que llenaron todos los requerimientos descritos anteriormente. La primera plantación ubicada fue plantada durante la tercera semana de septiembre de 1985, contando con 4.792 años al momento de la toma de discos. La segunda plantación elegida fue plantada en la primera quincena del mes de septiembre de 1987, contando con 2.812 años al momento de la toma de discos. La última área escogida fue plantada el 16 de septiembre de 1989, la cual tenía una edad de 0.792 años al momento de la corta. La ubicación de las tres reforestaciones elegidas puede ser visualizada en la figura 1. En el cuadro 7 se resume la información descriptiva correspondiente a las plantaciones estudiadas.

Cuadro 7 Resumen de las Características de las Plantaciones Estudiadas:

Característica	Edad de las Plantaciones		
	0.792	2.812	4.792
Area total	616.82 m ²	2126.95 m ²	2352.79 m ²
Densidad por Ha	26900	10933	14080
% Sobrevivencia	64.56 %	26.24 %	33.79 %
Area basal m ² /Ha	0.9630	11.2480	17.5160
% Corteza	-----	23.502 %	21.610 %
HT media en m	0.6248	5.6278	6.6134
HRF media en m	0.2045	0.8573	1.2845
Volumen medio m ³	0.0000159	0.00284	0.00376
Volumen total CC m ³	0.4218	28.6840	53.8336
Volumen total SC m ³	-----	21.1940	43.0320
% Arboles sinuosos e inclinados	-----	1 %	0 %
% Arboles ramificados y sinuosos	-----	2 %	0 %
% Arboles inclinados	-----	4 %	6 %
% Arboles ramificados	-----	19 %	22 %
% Arboles bien conformados	-----	62 %	67 %

Fuente: elaboración del autor.

La plantación de 0.792 años por su temprana edad es diferente de las otras plantaciones, mientras que entre las plantaciones de 2.812 años y de 4.79 años no parece haber mucha diferencia.

El porcentaje de árboles defectuosos en las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años es similar a pesar de que en la plantación de 2.812 años se observaron más tipos de defectos. El principal defecto que sufren los árboles de mangle es la ramificación ya que este es el que acapara el mayor porcentaje. La inclinación de los árboles no es un defecto frecuente aunque el suelo sea inestable porque el sistema de raíces fúlcreas logra una buena sustentación.

6. Definición de la Muestra:

6.1 Determinación del Tamaño de Parcela:

Para la determinación del tamaño de parcela, se aplicó el principio del Relevé o metodología para determinar el área mínima de parcela en estudios ecológicos (40). En el rodal de mayor área se trazó en el centro una parcela base, de 25 m², a todos los árboles dentro de la parcela, se le midió el diámetro a la altura del pecho (DAP)¹. Se calculó la media y la desviación estándar de los datos obtenidos. Como paso siguiente, se trazó otra parcela de 25 m², adyacente a la primera. También a los árboles de la segunda parcela se les midió el DAP; se calculó nuevamente la media y la desviación estándar, pero ahora con los datos acumulados de la primera y segunda parcelas, de tal manera que ambas conformaron una parcela de 50 m². Se prosiguió con el mismo proceso hasta haber conformado una parcela de 100 m².

¹ El término diámetro a la altura del pecho (DAP) se entiende como el diámetro que el tronco alcanza a 1.30 m de altura. En la presente investigación se adoptó el término DAP, por tradición en el léxico forestal, para referirse a el diámetro que el tronco alcanza a la altura de la última raíz fúlcrea.

Utilizando pruebas de medias, se estableció la ocurrencia de diferencias significativas (con un 10% de error) entre los promedios de las parcelas de diferentes dimensiones.

En el momento que se determinó que no hubo diferencia significativa entre los promedios de dos parcelas consecutivas, se escogió el área de la parcela menor para decidir las dimensiones de las parcelas del estudio.

6.2 Método de Muestreo y Forma de las Parcelas:

Dada la difícil movilización dentro de los pantanos de mangle se prefirió trabajar sin premuestreo, adoptándose el muestreo sistemático, debido a que este método se ajusta mejor a la condición anteriormente descrita (36,61). También el factor de movilización determinó la adopción de una parcela rectangular, similar a un transecto, para el muestreo de las plantaciones. Porque permite avanzar en una sola dirección, quedando muestreados todos los árboles transpuestos en la marcha, sin tener que regresar para medir árboles pendientes.

6.3 Determinación del Número de Parcelas:

Debido a que se decidió eliminar el premuestreo, el número de parcelas a muestrear por rodal estuvo determinado por el área de los mismos. El criterio adoptado fue el de no muestrear menos del 10% del área total del rodal.

Sobre los planos de los rodales electos se trazaron todas las parcelas posibles que pudiesen quedar dentro de las poligonales y se asignó a cada una un número correlativo. En cada rodal la primera parcela en ser muestreada fue electa al azar entre las diez primeras.

Después se continuó muestreando a cada diez parcelas a partir de la primera, hasta haber agotado todas las parcelas del rodal.

7. Levantamiento del Muestreo:

El levantamiento fue efectuado en diciembre de 1989. A nivel de campo se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total (HT), la altura de la raíces fúlcreas (HRF)² y se estimó la configuración del tronco principal.

7.1 Delimitación y Marcado de las Parcelas:

Las parcelas fueron delimitadas a nivel de campo con cordel plástico, previamente medido y marcado con nudos de acuerdo con las dimensiones de la parcela de muestreo. Con el fin de evitar confusiones de ubicación, en caso de extraviarse el cordel plástico, se marcaron todos los árboles de la parcela, en el tronco principal, con pintura amarilla.

Cada árbol fue etiquetado inmediatamente después de ser medido. En cada etiqueta se consignó una clave, compuesta de tres números separados por un guión; el primer número indicaba la edad en años del rodal, el segundo, el número de parcela y el tercero, el número de árbol. La etiqueta se ató a una rama o a una raíz fúlcrea.

² Se entiende como órgano fúlcreo todo aquel órgano que ayuda a el sostenimiento de la planta, como los zarcillos, agujones, raíces tabulares y raíces zancudas. Los árboles de mangle logran su sustentación en el fango por medio de un sistema de raíces zancudas que se producen a diferentes alturas sobre los fustes.

Las etiquetas fueron manufacturadas con cartulina manila y atadas con cáñamo. Los números fueron anotados con lápiz tipo HB.

7.2 Diámetro a la Altura del Pecho:

El término "diámetro a la altura del pecho" (DAP), fue adoptado por su popularidad de la terminología forestal convencional; pero en el caso de R. mangle, DAP se interpretó como el diámetro, en centímetros, alcanzado por el tallo, en el punto inmediato superior de inserción de la última raíz fúlcrea.

Dentro de las parcelas se midieron todos los árboles, con calibrador o en su defecto con cinta diamétrica. En el caso de árboles con tallos múltiples se midieron todos los vástagos por separado.

7.3 Altura Total:

La altura total es la máxima elevación alcanzada por la copa, en metros, sobre el nivel del suelo. En el muestreo, dependiendo de las facilidades de trabajo, se estimó la altura total al 30-50% de los árboles de cada parcela. La medición de la HT se efectuó con una regla de Krieger inverso.

7.4 Altura de las Raíces Fúlcreas:

La altura de las raíces fúlcreas (HRF), es la máxima elevación, en metros, alcanzada por el tallo en el punto donde se inserta la última (o la más joven) raíz adventicia zancuda. La medición de la HRF fue simultánea a la medición de la HT. De acuerdo a la conveniencia se utilizó directamente un metro o la regla de Krieger inverso.

7.5 Conformación del Tronco Principal:

La conformación del tronco principal se calificó de acuerdo a las desviaciones que el mismo presentara con respecto a un modelo, en el cual, el tronco es vertical, recto y sin ramificaciones. Los términos empleados fueron: inclinado, sinuoso y ramificado respectivamente.

8. Análisis del Muestreo:

El análisis del muestreo tuvo como fin primordial determinar los árboles representativos del crecimiento de las masas boscosas muestreadas y codificar los datos para facilitar su interpretación y utilización en los análisis de resultados subsecuentes. Para el efecto se agruparon datos del DAP en distribuciones de frecuencias y se correlacionaron las tres variables mensuradas (DAP, HT Y HRF) por medio del análisis de regresión.

8.1 Distribución de Frecuencias por Clases Diamétricas:

Se elaboraron distribuciones de frecuencias para los datos correspondientes al DAP de cada uno de los rodales estudiados. Para el cálculo de las clases diamétricas se asumió como límites del rango, el mayor y menor de todos los árboles de todos los rodales muestreados. De esta manera las clases fueron las mismas para todos los rodales, lo cual facilitó su comparación e interpretación. Para los árboles ramificados se asumió un DAP hipotético resultante de las sumatorias de todas las áreas basales de sus vástagos y un DAP medio.

8.2 Análisis de Regresión:

Se correlacionó el DAP y la HT; el DAP y la HRF; la HT y la HRF. Cada par de variables correlacionadas se sometieron 5 veces al análisis de regresión por la situación especial que imponen los árboles ramificados. Cada árbol ramificado posee dos datos utilizables para el DAP, el DAP calculado de la sumatoria de las áreas basales de las ramificaciones y el DAP promedio. Además, el comportamiento de los árboles no ramificados puede ser diferente del de los árboles no ramificados. En el cuadro 8 se muestra como se agruparon los datos del DAP para someterlos al análisis de regresión.

Cuadro 8 Tipos de Agrupación del DAP para su Análisis:

No	Tipo de Agrupamiento
1	DAP no ramificados + DAP promedio ramificados
2	DAP no ramificados + DAP de la sumatoria de los ramificados
3	DAP no ramificados
4	DAP promedio ramificados
5	DAP de la sumatoria de los ramificados

Fuente: elaboración del autor.

Una agrupación similar se adoptó para el caso de la HT y la HRF. Con las regresiones ya calculadas se procedió a estimar los valores de HT y de HRF faltantes.

9. Toma de Discos:

9.1 Elección de los Árboles a Nivel de Gabinete:

Se eligieron tres árboles para cada clase diamétrica cuyo DAP coincidiera con la marca de clase, que la HT se aproximase a la altura media de sus clases diamétricas y que no tuviesen defectos. Después de buscar los tres mejores árboles representativos se buscaron otros árboles que pudiesen fungir como árboles suplentes en el caso de pérdida de los electos originalmente.

9.2 Tala y Selección de los Árboles a Nivel de Campo:

La tala se efectuó en junio de 1990. Se buscó preferencialmente a los árboles seleccionados a nivel de gabinete en base al número anotado en su etiqueta. Se recurrió a los árboles suplentes únicamente en el caso de que el árbol seleccionado no fuese localizado o que el mismo tuviese deformidades no reportadas. Si la etiqueta de los árboles seleccionados y de los suplentes se deterioró irremediablemente, se procedió a efectuar una segunda medición, para establecer que árboles presentaban los diámetros medios.

La tala fue selectiva y se trató de causar el menor daño posible a los árboles vecinos. Se eliminó todo el sistema de raíces fúlcreas y las ramas laterales del tallo principal. El tronco fue trasladado a tierra firme en secciones según su conviniera para su transporte. Para el efecto se utilizó una motosierra para poda de frutales Sthill 011 AV de 13" de longitud de espada.

9.3 Corte Marcado y Etiquetado de los Discos:

Para determinar el sitio de corte de los discos, se asumió un crecimiento uniforme en los primeros años de vida del árbol. La altura alcanzada a una edad determinada se calculó individualmente por medio de proporciones. Los discos cortados representan secciones de exactamente uno, dos, tres y cuatro años de edad.

Cada disco cortado fue etiquetado indicándose de qué rodal provenía, la edad del mismo, el número del árbol, la edad calculada de la sección, la altura a que fue tomada la sección y el grosor de la corteza. Los discos provenientes de un mismo árbol fueron almacenados juntos, (previo descortezamiento), dentro de una bolsa rústica de tela de algodón (manta). Las bolsas también fueron identificadas con una etiqueta en donde se indicó el número del rodal, la edad del mismo, el número del árbol, la altura total y la clase diamétrica a la cual pertenecía. Las bolsas con los árboles de un mismo rodal se transportaron juntas dentro de un costal.

10. Análisis de los Discos:

10.1 Lectura de los Discos:

10.1.1 Análisis Macroscópico:

Se procedió a pulir los discos en su cara superior con una sierra circular de corte fino. Las caras pulimentadas de los discos fueron observadas bajo una lupa de 7X. Para observar mejor los anillos se probaron tres soluciones: a) Yoduro de potasio al 1%, b) Permanganato de potasio al 1% y c) Agua destilada. Los mejores resultados se obtuvieron con frotos

frecuentes de agua destilada. Se trazó en los discos, con lápiz HB, un diámetro medio, y sobre él se marcó el límite de los anillos observados. Para medir el grosor de los anillos se utilizó un calibrador con vernier de 0.1 mm de precisión, se anotó la identificación respectiva del disco, el diámetro de la médula y el grosor de los anillos, de adentro hacia afuera (centrifugamente).

Para determinar si los anillos de color podían ser utilizados como indicadores de crecimiento, se correlacionó el número de anillos con la edad respectiva de los discos por medio de una regresión lineal. Si el coeficiente de correlación fue mayor que 0.90 se aceptó utilizar los anillos de color como indicadores del crecimiento.

10.1.2 Análisis Microscópico:

El análisis microscópico consistió en la observación de secciones finas de fragmentos representativos del leño de R. mangle para determinar si existe alguna discontinuidad estructural que pueda correlacionarse con los anillos de color o con la edad y crecimiento del árbol. Este análisis se aplicó a los discos cortados a la altura que alcanzó el árbol a la edad de un año. Para poder observar el material con microscopio fue necesario prepararlo por medio de una serie de pasos que a continuación se describen.

10.1.2.1 Subdivisión de los Materiales:

Para obtener las secciones finas, se utilizó uno de los tres discos de cada clase diamétrica. Con formón y martillo se obtuvo un bloquecillo en

donde la sección transversal mostraba forma rectangular. El largo del rectángulo estuvo determinado por el radio medio del disco y el ancho fue fijado en un centímetro. El grosor del bloquecillo dependió del grosor del disco, ya que en este estado fue imposible cortar los discos transversalmente por la dureza de la madera.

10.1.2.2 Ablandamiento de los Bloquecillos:

Para ablandar los bloquecillos, se procedió primero a hidratarlos, hirviéndolos en agua durante una hora. Cuando los bloquecillos se enfriaron a temperatura ambiente (dentro del agua) se les trasladó a una solución de ácido hidrófluorídrico al 48% en un recipiente plástico de cierre hermético. Los bloquecillos permanecieron en el ácido un mes o hasta que adquirieran consistencia herbácea. Pasado ese tiempo, se procedió a lavar los bloquecillos en un flujo continuo de agua por dos días; de esta manera ya fue segura su manipulación. Estando los bloquecillos blandos ya fue posible adecuar su profundidad a un centímetro y emparejar sus bordes radiales para su encasillamiento en parafina. Para el efecto se empleó una cuchilla nueva de cortapapel.

10.1.2.3 Deshidratación de los Bloquecillos:

Se llevó a cabo transvasando los bloquecillos en una serie de soluciones de alcohol etílico de concentración ascendente. En las soluciones al 30%, 40%, 50%, 60% y 70% los bloquecillos permanecieron 12 horas; mientras que en la

soluciones al 80% y 95% y en alcohol absoluto, permanecieron 24 horas. La fase en alcohol absoluto se repitió una vez.

10.1.2.4 Aclarado:

El traspaso de los bloquecillos a solventes de la parafina o aclarado, se llevó a cabo por medio de inmersiones en cuatro soluciones de acetona y xileno (xilol). La primera fue una solución de tres partes de acetona y una de xilol; la segunda fue a partes iguales de acetona y de xilol, la tercera fue de una parte de acetona y tres de xilol y la cuarta en xilol puro. Los bloquecillos permanecieron en cada una de estas soluciones 24 horas. En el caso del xilol puro se procedió igual que con el alcohol absoluto al repetir la inmersión en xilol nuevo una vez más.

10.1.2.5 Infiltración:

Para la infiltración en parafina se trasladaron los bloquecillos a dos frascos con tapadera ancha de rosca con un volumen de 250 mililitros y se llenaron con xilol hasta la mitad y se colocaron en un horno de convección a 35°C. Se agregó a los beakers una alícuota de 5 mililitros de parafina derretida (la cual se logra aproximadamente con una cuchara sopera), la cual al contacto con el xilol se solidificó. Para volver agregar otra cucharada de parafina se esperó que la primera se disolviera completamente en el xilol manteniendo los frascos tapados y dentro del horno de convección. Cuando la solución de xilol con parafina ya no permaneció líquida a 35°C se elevó

la temperatura del horno a 67°C y se dejó así por 24 horas en este paso ya se dejó a los frascos sin tapadera. Después se prosiguió agregando parafina por cucharadas varias veces al día. Cuando la solución alcanzó el límite del volumen del frasco se descartó la mitad de la misma y se continuó agregando parafina por el mismo procedimiento. El objeto de esta metodología fue sustituir completamente de entre los tejidos el xilol por parafina pura. Por medio del sentido del gusto es fácil detectar trazas de xilol en la parafina, por lo que para verificar si el xilol estaba suficientemente eliminado, se mascó un disquillo de parafina de los frascos, el cual se formó vertiendo una cucharada de parafina fundida en agua a temperatura ambiente. El proceso de sustitución del xilol por la parafina se consideró finalizado cuando ya no se detectó el sabor del xilol en los disquillos de parafina.

Para la infiltración final de los bloquillos se les trasladó a parafina preparada según la fórmula de Hance (14,50) dándoseles dos días de inmersión dentro del horno de convección a 67°C. Para preparar la fórmula de Hance se obtiene primero una solución de 20 gramos de goma cruda ("hule crepé") en 100 gramos de parafina humeante. Luego se prepara una segunda solución en donde a 100 gramos de parafina se le mezclan 5 gramos de la solución hule-parafina y un gramo de cera de abejas.

10.1.2.6 Encasillado:

Para dejar los bloquecillos dentro de una maqueta sólida de parafina, se preparó un molde con cartulina gruesa, el cual fue empapado en parafina antes de su utilización, luego se vertió a los bloquecillos dentro del molde con suficiente parafina para cubrirlos completamente. Luego se procedió a acomodarlos rápidamente con un par de agujas de disección calientes. Para facilitar la solidificación de la parafina se dejó flotar al molde con los bloquecillos y la parafina en un recipiente con agua a temperatura ambiente. Cuando la parafina estuvo solidificada se sumergió al molde con pesos y se le dejó así por 24 horas. Seguidamente se quitó la cartulina y se subdividió la maqueta de parafina en bloques que contenían cada uno una muestra lista para ser seccionada. El fraccionamiento de la maqueta se efectuó con la ayuda de un cuchillo caliente.

10.1.2.7 Seccionamiento:

Para que las mandíbulas del micrótopo pudiesen sostener adecuadamente al bloque de parafina fue necesario montarlo y orientarlo sobre una moldura de madera. Las molduras de 2X2X3 cm fueron elaboradas con madera porosa (caoba) y se les trató previamente ebulliéndolas en parafina. Sobre la cara de las molduras, donde se fijó el bloque, se oradó un retículo de canalillos.

Los cortes se efectuaron con un micrótopo de deslizamiento, dándole a la cuchilla un ángulo de corte de 0-10 grados. El grosor de las secciones

fue de 10 μ . Para poder obtener secciones radiales después de las transversales fue necesario reinfiltrar, orientar y montar a los bloquecillos. Al formarse la cinta de corte se escogió con la ayuda de una lupa la mejor sección (que estuviese entera, sin separarse el espécimen de la parafina, de grosor uniforme y sin gradas) y se le colocó sobre una gota de adhesivo previamente depositada sobre un portaobjetos. El adhesivo se preparó disolviendo un gramo de gelatina en 90 mililitros de agua a 35°C y agregando después 10 mililitros de formaldehído al 40%, finalmente se filtró con un paño de tela rústica. Para expandir la sección se pasó el portaobjetos sobre la llama de un mechero, pero se procuró que el calentamiento no llegase a fundir la parafina. Cada portaobjeto fue identificado con una mezcla de partes iguales de tinta china y adhesivo aplicada con plumilla. La mezcla después de ser calentada, resiste bastante bien todos los procesos de tinción.

10.1.2.8 Tinción:

Las secciones fueron teñidas con safranina disuelta en agua al 1% y verde claro amarillento (verde rápido) al 1% en alcohol etílico al 95%. Se utilizaron dos cajas de tinción con capacidad para 18 laminillas.

Para eliminar la parafina de la sección se le sumergió durante 5 minutos en xilol, luego en un serie de concentración descendente de alcohol etílico y agua (alcohol absoluto, al 70% y 30%) pasando también 5 minutos dentro de cada una de

las soluciones, y finalmente se pasó en agua destilado por un período de 2 minutos. La primera tinción se llevó a cabo en safranina durante 12 horas, pasado ese tiempo se lavó el material en agua hasta que esta no saliera manchada de rojo. Nuevamente los tejidos tuvieron que ser deshidratados pasando por la batería de soluciones de concentración ascendente de alcohol (50% y 90%, 5 minutos en cada una). La segunda tinción fue en verde claro amarillento durante dos minutos. En este punto los tejidos estaban sobreteñidos y fueron destañados para que los colorantes revelaran su "afición" a los diferentes compuestos constituyentes de la célula vegetal. El proceso se inició con un baño de acetona pura el cual se repitió una vez (acetona I y acetona II, 5 minutos en cada una) y luego en carbol-xilol (1 volumen de fenol fundido mezclado con 4 volúmenes de xilol) durante 12 horas. Después se examinó la sección bajo el microscopio y si se encontraba muy roja se repetía la tinción en verde claro amarillento con todos los pasos de revelado subsecuentes; y si la sección se mostraba muy verde se repitió el proceso de revelado (destinción) a partir de la acetona I.

10.1.2.9 Montaje Final:

Cuando la sección mostró una tinción satisfactoria se le preparó para su montaje final. Primero se sumerge a la sección en tres baños de xilol puro (5 minutos en cada uno) y se le aplicó una gota de bálsamo del Canadá, seguida por el asentamiento del cubreobjetos. Para que el bálsamo del Canadá logre cementar bien, se colocó el montaje horizontalmente en un horno a 53°C durante dos

días. En las observaciones microscópicas se hizo énfasis en buscar discontinuidades estructurales periódicas en el leño que se pudiesen correlacionar con la edad de acuerdo a los criterios anotados en el cuadro 9.

Cuadro 9 Criterios para la Identificación de Discontinuidades Estructurales en la Madera

No.	Criterio
1	Presencia de verdaderos anillos de crecimiento. Las células del leño tardío pequeñas y de pared celular gruesa se alternan con las células del leño temprano grandes y de pared celular fina.
2	El diámetro de las fibras formadas al final de un período de crecimiento es menor con relación a las demás.
3	Presencia de una capa estrecha de parénquima flanqueada tanto afuera como adentro de fibras y vasos.
4	El grosor de las bandas alternas de parénquima y fibras muestra variaciones periódicas.
5	Al inicio de un período de crecimiento se produce una banda estrecha de fibras sin vasos, ni parénquima.
6	Variaciones periódicas en el grosor y distribución de los vasos: a) Los vasos más grandes se encuentran al centro del anillo de crecimiento, b) Vasos grandes en la madera tierna y vasos angostos en la madera madura, c) Madera tierna muy pobre en vasos.

Fuente: FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K.A.; MARIAUX, A. 1980. Anatomía de la madera: Posibles contribuciones de la anatomía de la madera para la determinación de la edad de los árboles tropicales. In *Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales*. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA, p. 31-43.

Cuadro 9 (Continuación) Criterios para la Identificación de Discontinuidades Estructurales en la Madera

No.	Criterio
8	Dilatación tangencial de los radios en el límite de un período de crecimiento.
7	Variaciones en la longitud de las fibras. Las fibras en los extremos de un anillo de crecimiento suelen ser más cortas que las fibras en el centro del anillo de crecimiento.

Fuente: FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K.A.; MARIAUX, A. 1980. Anatomía de la madera: Posibles contribuciones de la anatomía de la madera para la determinación de la edad de los árboles tropicales. In Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA, p. 31-43.

De encontrarse discontinuidades estructurales periódicas, las mismas también se correlacionaron con la edad de la sección por medio de una regresión lineal. Para demostrar si la estructura del leño es radialmente homogénea se aplicó una adaptación del análisis de dispersión (40) de los elementos xilemáticos. Por último para demostrar si un cambio estructural coincide con los anillos de color observados se efectuó una comparación de radios.

10.2 Cubicación de los Árboles Tumbados:

Los fustes de todos los árboles tumbados fueron cubicados con y sin corteza, utilizando los datos consignados junto con los discos. La fórmula utilizada fue la de Smalian (35):

$$V = L \cdot (A_1 + A_2 / 2)$$

En donde:

V = Volumen de la troza (m^3)

L = Largo de la troza (m)

A₁ = Area en un extremo de la troza (m^2)

A₂ = Area en el otro extremo de la troza (m^2)

El volumen del fuste de cada árbol fue la sumatoria de los volúmenes de cada una de sus trozas.

10.3 Elaboración de Tarifas para la Estimación del Volumen:

Se elaboraron tarifas de doble entrada (diámetro en centímetros y altura en metros) para el cálculo del volumen total del fuste con y sin corteza, en m^3 para cada uno de los rodales estudiados. La tarifa se calculó utilizando los datos de los árboles cubicados aplicando el análisis de regresión.

Teniendo ya calculadas las tarifas se procedió a estimar los volúmenes de todos los árboles medidos en el muestreo y con los valores volumétricos se procedió a calcular el volumen total de la masa forestal que hay dentro de las parcelas estudiadas.

10.4 Análisis Fustal:

Después de verificar la correlación entre la edad y el número de anillos de color se procedió a efectuar un análisis fustal promediando los datos de la cubicación para cada clase diamétrica. Después para estimar el crecimiento promedio de la masa se calculó un análisis fustal para las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años con medias ponderadas en base a las frecuencias de tallos por clase diamétrica. Del análisis fustal se calculó el incremento

medio anual (IMA)³ y el incremento corriente anual (ICA)⁴ a partir de los 1.5 años hasta la edad al momento de la tala a intervalos de 0.5 años. Con los análisis fustales de cada clase diamétrica se calculó la tasa de crecimiento para cada período de 0.5 años a partir de los 1.5 años, en base a la fórmula del interés simple. Luego aplicando el análisis de regresión se calculó una ecuación para predecir la tasa de crecimiento para el próximo año para cada clase diamétrica. Con la predicción de las tasas se calculó el crecimiento de la masa para el próximo año (para junio de 1991). Finalmente se calculó por medio del análisis de regresión como varía la tasa de crecimiento con respecto a la edad del rodal y se propuso un modelo de crecimiento en base a la fórmula del interés compuesto.

VIII. RESULTADOS Y SU DISCUSION:

1. Determinación del Tamaño de Parcela:

El relevé modificado se repitió dos veces. Para la determinación del tamaño de parcela se efectuó una prueba de medias aplicando la "t de student" entre los diferentes tamaños de parcela consecutivos (25, 50, 75 y 100 m² respectivamente). Como no se encontró diferencia significativa se intentó de nuevo con una prueba de "F" que también resultó no significativa. Los resultados de las pruebas de medias se presentan en el cuadro 10.

³ El incremento medio anual IMA se define como el volumen entre el número de años de vida del árbol o de la masa forestal.

⁴ Se define como incremento corriente anual al volumen que el árbol o la masa forestal formó en un año dado.

Cuadro 10. **Pruebas de Medias Entre Diferentes Tamaños de Parcela**

Area m ²	Primera repetición				Segunda repetición					
	Sp ²	Tc	Tt	Sig	Sp ²	Tc	Tt	Sig		
25-50	0.79	0.27	1.64	NS	1.28	0.33	1.64	NS		
50-75	0.74	0.11	1.64	NS	1.62	1.22	1.64	NS		
75-100	0.76	0.09	1.64	NS	1.71	0.71	1.64	NS		
Area m ²	Primera repetición					Segunda repetición				
	No	Media	FC	FT	Sig	No	Media	FC	FT	Sig
25	30	3.05				15	4.28			
25-50	61	3.10	1.3	1.9	NS	30	4.15	1.4	2.5	NS
50-75	73	3.09	1.1	1.9	NS	42	3.78	1.3	2.1	NS
75-100	76	3.10	1.0	1.8	NS	53	3.59	1.1	1.8	NS

Fuente: elaboración del autor.

A pesar de que las pruebas arrojaron resultados no significativos se adoptó una parcela de 50 metros cuadrados por representar el 10% del área mínima recomendada por Alder y por Paijmans y Rollet (3,45).

Las dimensiones de la parcela de muestreo fueron de diez por cinco metros.

1.1 **Número de Parcelas Muestreadas por Rodal:**

La plantación de 4.792 años mostró un área de 2352.79 m² por lo que le correspondían 4.7 parcelas, lo que en la práctica fue equivalente a 5 parcelas muestreadas.

La plantación de 2.812 años con un área de 2126.95 m² le correspondían 4.2 parcelas equivalentes a 4 parcelas; pero en la práctica por la inaccesibilidad de esta plantación se muestrearon 3 parcelas.

La plantación de 0.792 años con un área de 616.82 m² le correspondían 1.23 parcelas y se muestrearon 2.

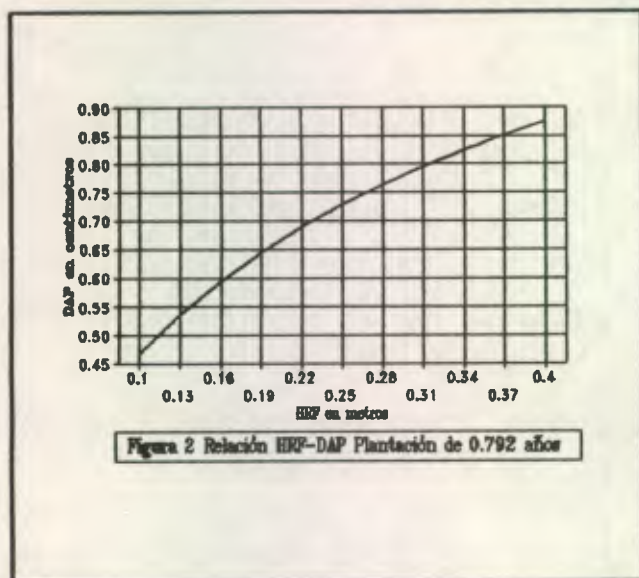
2. Relaciones Alométricas de *Rhizophora mangle*:

Los arbolitos de la plantación de 0.792 años mostraron relaciones alométricas diferentes con respecto a las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 porque la altura de las raíces fúlcreas no estuvo en función de las dimensiones de la planta, sino que en función de la profundidad de plantación. Por aparte los árboles de las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años mostraron relaciones alométricas similares tanto en el tipo de relación como en los modelos de regresión aplicados.

Los árboles ramificados de las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años fueron estudiados por aparte porque, cuando se les agrupaba con los árboles no ramificados los coeficientes de correlación de las regresiones resultaban ser bajos (entre 0.2 y 0.6). Estudiados por separado los árboles ramificados de los no ramificados los coeficientes de correlación mejoraron considerablemente (entre 0.6 y 0.8).

2.1 Relaciones Alométricas Determinadas para la Plantación de 0.792 Años:

2.1.1 Relación DAP-HRF:



Esta relación se encuentra definida por la ecuación:

$$LNDAP = 0.14 + LNHRF * 0.23 \dots$$

$\dots - (LNHRF)^2 * 0.0706$ la cual se

ilustra en la figura 2 (izquierda). En ella se

ilustra que para esta plantación el DAP (en cm)

estuvo determinado por la altura de las raíces fúlcreas

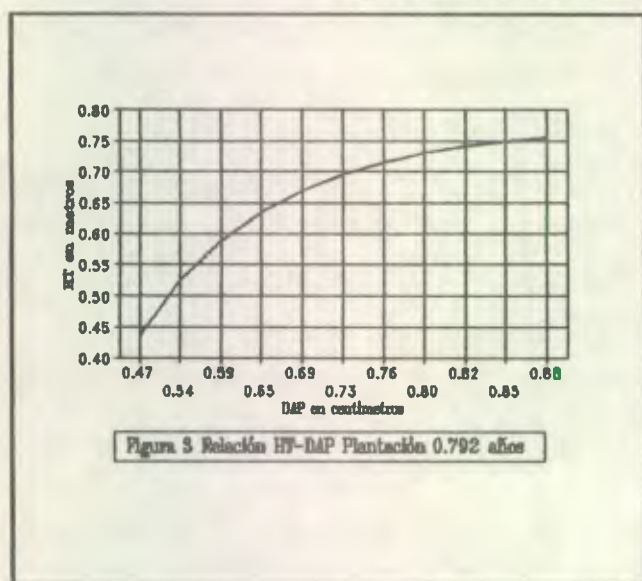
(en m) en un modelo logarítmico. Esto se debió a

que la altura de las raíces

fúlcreas tuvo que ser medida hasta la altura del cuello de la planta; porque los jóvenes arbolitos no habían emitido ninguna raíz zancuda. De donde la altura de las raíces fúlcreas fue más bien una medición de la porción de la radícula que quedaba por fuera del fango. La raíz primaria del mangle se encuentra atrofiada para la absorción de nutrientes, por lo que las raíces secundarias son las que tienen que cumplir con esta función. Entre más enterrada queda una plántula, mayor superficie de contacto tendrá la radícula para emitir raíces secundarias. Por lo anterior el crecimiento de la plántula está en función de la profundidad de plantación ya que a una mayor profundidad, se emitirá una mayor cantidad de raíces secundarias y como consecuencia se tendrá una mayor absorción. El DAP es un buen indicador del vigor de crecimiento de los árboles, por lo que se vió influenciado por la profundidad de plantación o altura

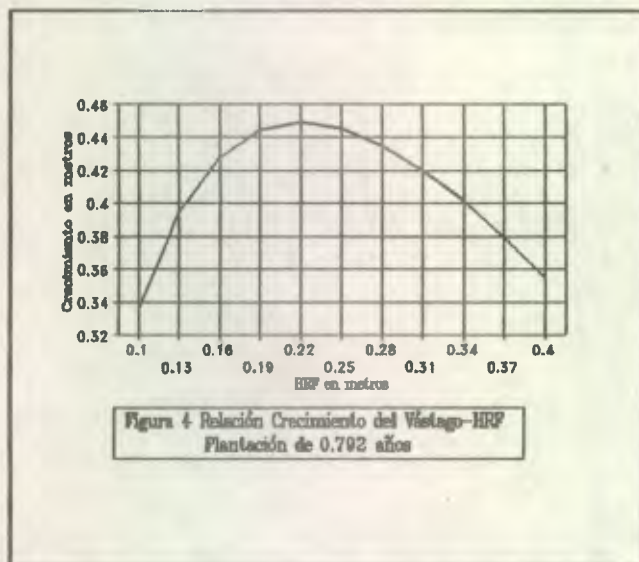
de las raíces fúlcreas para la plantación de 0.792 años.

2.1.2 Relación HT-DAP:



Esta relación se encuentra definida por la ecuación: $HT = -0.5 + 2.68DAP - 1.42DAP^2$ y se encuentra ilustrada en la figura 3 (izquierda). Observamos que el DAP (cm) determina la altura total (m) de la planta. Esta es la ecuación clásica en donde a incrementos regulares del DAP le corresponden incrementos uniformemente desacelerados de la altura.

2.1.3 Relación HRF-Crecimiento del Vástago:



La figura 4 (izquierda) es una interpretación de las dos relaciones alométricas anteriores en donde observamos que el crecimiento del vástago (m) está en función de la HRF (m) ($C.V. = HT - HRF$). Se observa que la relación es de tipo cuadrática en donde los arbolitos con HRF alrededor de los 23 centímetros obtienen los máximos crecimientos de vástago, mientras que los

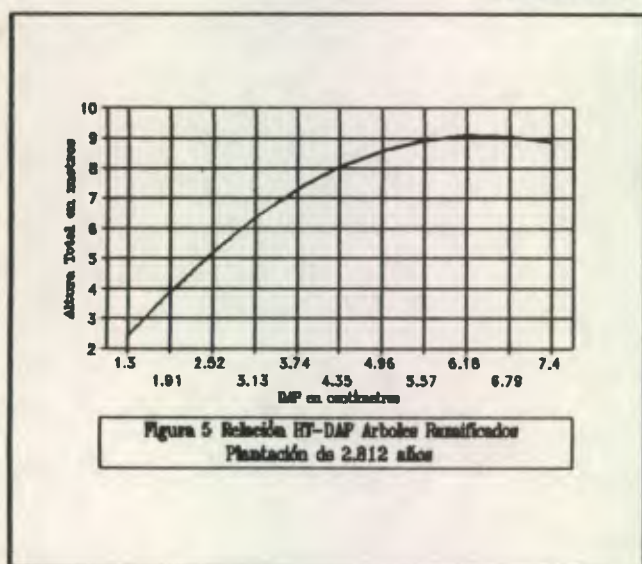
arbolitos de los extremos obtienen los mínimos, particularmente a las HRF correspondientes a 15 y 76 centímetros. Esto se debe a que cuando las plántulas

quedan con alturas de las raíces fúlcreas de 15 centímetros la mayoría de las mareas altas, (en los esteros de San José Churirín), llegan a cubrirlas y los sedimentos acarreados por las mismas se adhieren sobre las superficies de las hojas formando una costra que impide la fotosíntesis; y cuando las plántulas quedan con alturas de las raíces fúlcreas de 76 centímetros o más no logran crecer porque no logran suficiente sustentación en el fango, ni una suficiente emisión de raíces secundarias. Cabe anotar que la inmersión periódica de las plántulas en aguas libres de sedimentos no constituye un problema para su desarrollo (24).

2.2 Relaciones Alométricas Determinadas para la Plantación de 2.812 Años:

2.2.1 Árboles Ramificados:

2.2.1.1 Relación HT-DAP:

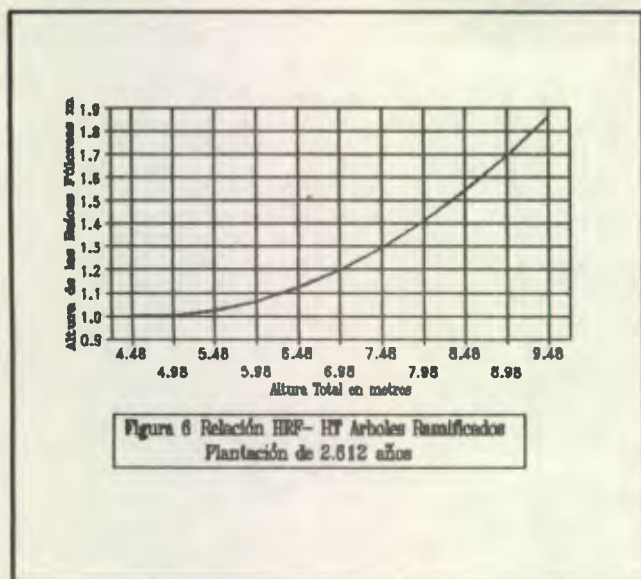


La altura total (m) de los árboles ramificados estuvo en función del DAP promedio (cm) según la ecuación:

$$HT = -1.519 + 3.3241DAP - 0.26DAP^2$$

la cual se ilustra en la figura 5 (izquierda) mostrando el comportamiento típico en donde a los incrementos regulares del DAP le corresponden incrementos uniformemente desacelerados.

2.2.1.2 Relación HRF-HT:



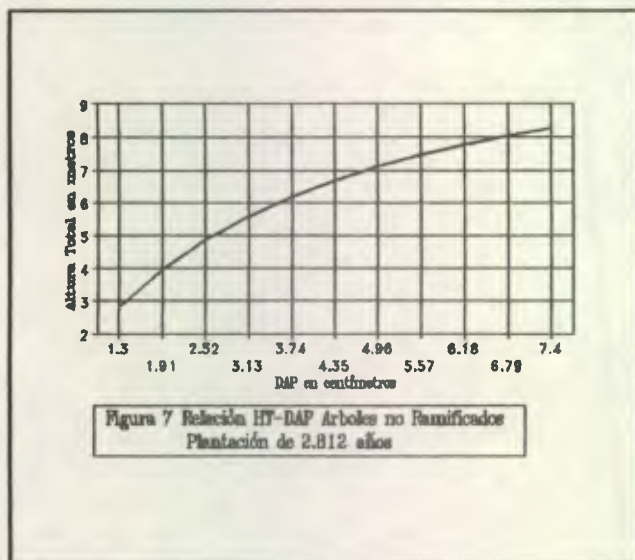
La altura de las raíces fúlcneas (m) estuvo en función de la altura total (m) y no con el DAP y la edad, lo que demuestra que la HRF se encuentra regida por factores mecánicos que determinan la distribución de las hormonas en el fuste. La altura de las raíces fúlcneas puede ser estimada según la ecuación siguiente:

$$HRF=1.8032-0.3463HT+0.0372HT^2$$

siguiendo un patrón de agregación similar al de la altura total, tal y como se ilustra en la figura 6.

2.2.2 Arboles no Ramificados:

2.2.2.1 Relación HT-DAP:

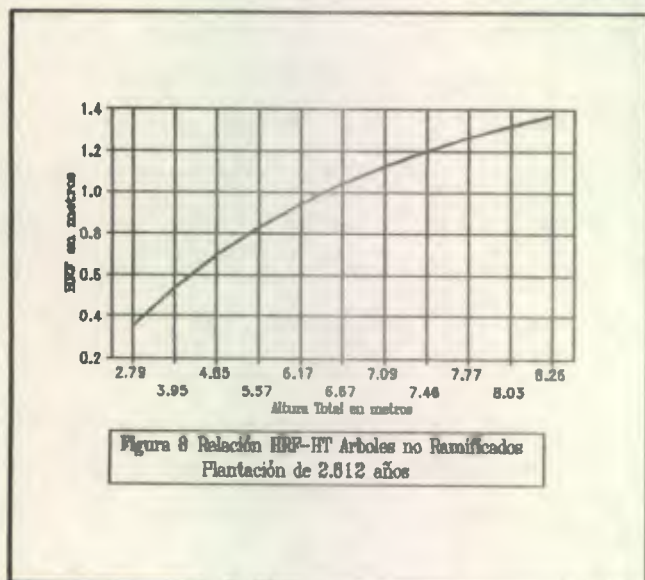


La altura total (m) de los árboles no ramificados estuvo determinado por una ecuación similar a la empleada con los árboles ramificados. Dentro de los rangos muestreados se observa que las alturas totales de los árboles ramificados son más altas que las alturas totales de los árboles no ramificados. La altura total de los árboles no ramificados puede ser estimada

por la siguiente ecuación:

$$HT=-4.2712-1.0048DAP+7.3409(DAP^{0.5}) \text{ (Figura 7).}$$

2.2.2.2 Relación HRF-HT:



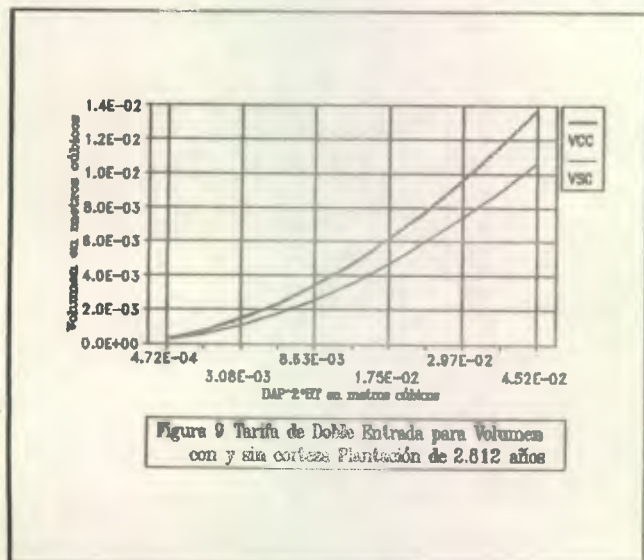
La altura de las raíces fúlcreas (m) al igual que con los árboles ramificados estuvo en función de la altura total (m) de la ecuación:

$$HRF = 0.4 + 0.31HT - 0.54(HT^{0.5})$$

ilustrada en la figura 8. La altura de las raíces fúlcreas de los árboles ramificados, dentro de los rangos del muestreo, es más baja que la altura de las raíces fúlcreas de los árboles no ramificados

dentro de la misma clase diamétrica. En este sentido puede decirse que los árboles ramificados cuentan con al menos un tallo, libre de defectos, más largo (pero más delgado) que los tallos de los árboles no ramificados para una misma clase diamétrica.

2.2.2.3 Relación Volumen con Corteza y Sin Corteza-DAP y HT:

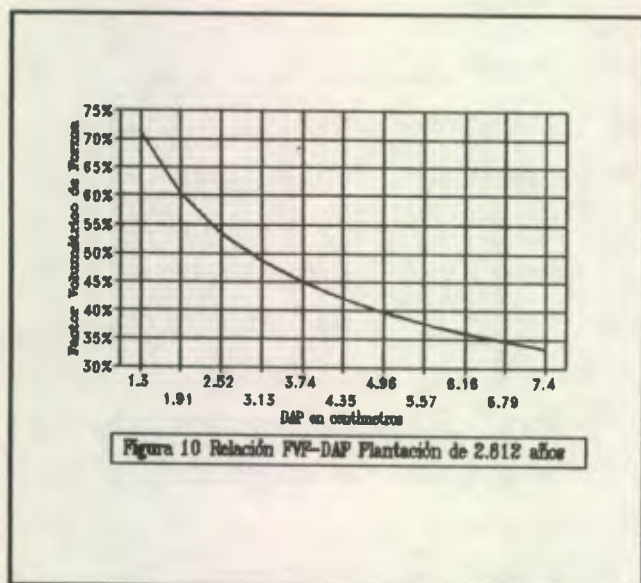


El volumen con y sin corteza en metros cúbicos se correlacionó perfectamente (coeficiente de correlación de 0.99) por medio de una regresión logarítmica con el DAP (m) y la HT (m). Las ecuaciones anotadas a continuación se ilustran en la figura 9 (izquierda).

$$VCC = (((DAP/100)^2 * HT)^{0.85}) 0.17$$

$$VSC = (((DAP/100)^2 * HT)^{0.85}) 0.14$$

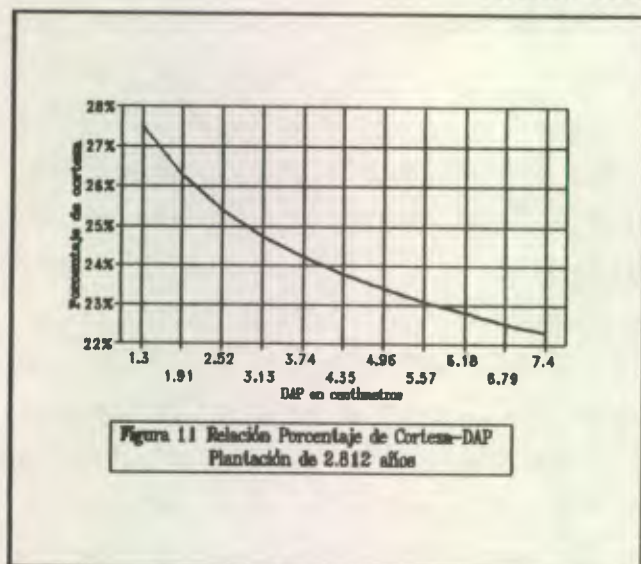
2.2.2.4 Relación Factor Volumétrico de Forma-DAP:



El factor volumétrico de forma (en %) es una relación obtenida de las dos relaciones anteriores por lo que su correlación fue perfecta y su modelo logarítmico. La ecuación $FVF=80.21(DAP^{-0.44})$ ilustrada en la figura 10 nos muestra que el FVF no es constante y varía en función del DAP, notándose que los árboles de las clases diamétricas menores tienden

ser bastante cilíndricos, mientras que los árboles de las clases diamétricas superiores tienden a ser más cónicos.

2.2.2.5 Relación Porcentaje de Corteza-DAP:



El porcentaje de corteza al igual que el factor volumétrico de forma no es constante y está en función del DAP. En la figura 11 se ilustra la ecuación anotada a continuación para el cálculo del porcentaje de corteza

$\%C=28.409(DAP^{-0.1207})$. Los árboles con diámetros pequeños tienden a poseer un mayor porcentaje de corteza que los árboles con diámetros

grandes que tienden a poseer porcentajes de corteza pequeños.

2.3 Relaciones Alométricas Determinadas para la Plantación de 4.792 Años:

Las relaciones alométricas de la plantación de 4.792 años como ya se mencionó anteriormente fueron similares a las relaciones de la plantación de 2.812 años. Los coeficientes en ambas plantaciones fueron distintos, pero los tipos de relación y la manera de agrupamiento de los datos fueron los mismos. Esto le confiere confiabilidad a las relaciones determinadas ya que se repiten de la misma manera en al menos otra plantación. El que los coeficientes fuesen distintos indica que la situación de crecimiento de

los árboles individuales en ambas plantaciones ha sido diferente.

2.3.1 Arboles Ramificados:

2.3.1.1 Relación HT-DAP:

La relación HT (m) DAP total (cm) de la plantación de 4.792 años fue similar a la relación de la plantación de 2.812 años en que la altura total se incrementa uniformemente desacelerada conforme el DAP aumenta regularmente. Se diferencian en que en la plantación de 2.812 años se obtuvo una mejor correlación empleando el DAP promedio y no el DAP total y en que en el último término en la ecuación de la plantación de 2.812 años está elevado al cuadrado y en la plantación de 4.792 años está elevado a la un medio. Sin embargo el coeficiente de correlación de la ecuación cuadrática de la plantación de 4.792 años no se encuentra muy alejado del coeficiente de la ecuación de raíz cuadrada.

La ecuación para la estimación de la altura total para los árboles ramificados de la plantación de 4.792 años es la siguiente:

$$HT = -7.542 - 0.6343DAP + 7.7063(DAP^{0.5})$$

2.3.1.2 Relación HRF-HT:

Para la plantación de 4.792 años la relación HRF (m) y HT (m) se definió mejor con un modelo logarítmico puro y no con un cuadrático como sucedió con la plantación de 2.812 años. Sin embargo los valores obtenidos con el modelo cuadrático y el modelo logarítmico calculados para la plantación de 4.792 años son similares.

La ecuación para estimar la altura de las raíces fúlcrea de la plantación de 4.792 años es la siguiente:

$$HRF = 0.3201 (HT^{0.7387})$$

2.3.2 Arboles no Ramificados:

2.3.2.1 Relación HT-DAP:

La relación HT (m) y DAP (cm) para la plantación de 4.792 años fue logarítmica y en la plantación de 2.812 años fue de raíz cuadrada. Esto como ha sucedido con otras relaciones no tiene inconveniente ya que las ecuaciones logarítmicas y de raíz cuadrada calculadas para la plantación de 4.792 años arrojan resultados similares, se escogió el modelo logarítmico por poseer un mayor coeficiente de correlación pero este no se alejaba demasiado del coeficiente de la ecuación de raíz cuadrada.

En la plantación de 4.792 años se notó también que los árboles ramificados, (dentro de los rangos muestreados), mostraron mayores alturas totales que los árboles no ramificados.

La ecuación calculada para la estimación de la altura total de los árboles de la plantación de 4.792 años es:

$$HT = 3.4482 (DAP^{0.5209})$$

2.3.2.2 Relación HRF-HT:

La relación entre la HRF (m) y la HT (m) para las plantaciones de 4.792 años y de 2.812 años tiene un comportamiento paralelo con las relaciones de la altura total tratadas en el inciso inmediato anterior.

En la plantación de 4.792 años también sucedió que los árboles ramificados mostraron fustes libres de defectos más altos (pero también más delgados) que los árboles no ramificados.

La ecuación para el cálculo de la altura de las raíces fúlcreas de la plantación de 4.792 años es:

$$HRF = 0.6464 + 0.391HT + 0.0079HT^2$$

2.3.2.3 Relación Volumen con Corteza y sin Corteza-DAP y HT:

Las ecuaciones para la estimación del volumen con y sin corteza en metros cúbicos son logarítmicas tanto para las plantaciones de de 2.812 años y de 4.792 años con correlaciones perfectas y las

mismas son:

$$VCC = 0.1862 (DAP^2 * HT)^{0.8468}$$

$$VSC = 0.1892 (DAP^2 * HT)^{0.818}$$

2.3.2.4 Relación Factor Volumétrico de Forma- DAP:

El factor volumétrico de forma de la plantación de 4.792 años fue prácticamente idéntico al de la plantación de 2.812 años con correlación perfecta, indicando que los árboles con diámetros pequeños son más cilíndricos que los árboles con diámetros grandes. Esta relación es aún más consistente que las ecuaciones para calcular el volumen directamente porque además de referirse a la misma relación con correlación perfecta los coeficientes son prácticamente los mismos. De donde se puede calcular el volumen de cualquier árbol de mangle sin temor a sufrir demasiadas desviaciones como sucedería si se emplearan las fórmulas directas que funcionan bien únicamente para las plantaciones estudiadas y dentro de los rangos del muestreo. El único inconveniente es que el cálculo del volumen por medio de esta vía es más trabajoso, ya que primero hay que calcular el factor volumétrico de forma y después el volumen del cilindro con los datos del DAP y de la HT para finalmente obtener el volumen cónico real del fuste.

La ecuación calculada para estimar el factor volumétrico de forma para la plantación de 4.792 años es:

$$FVF = 80.5437 (DAP^{0.38271})$$

2.3.2.5 Porcentaje de Corteza-DAP:

Al igual que en la plantación de 2.812 años el porcentaje de corteza fue una relación calculada a partir de las ecuaciones anteriores por lo que mostró un modelo cuadrático con transformaciones logarítmicas con correlación perfecta.

También en la plantación de 4.792 años los árboles con diámetros pequeños mostraron mayor porcentaje de corteza que los árboles con diámetros grandes.

También es posible observar que los árboles con diámetros pequeños en la plantación de 4.792 años acumulan mayor porcentaje de corteza que los árboles con diámetros pequeños de la plantación de 2.812 años, mientras que los árboles con diámetros grandes de la plantación de 4.792 años acumulan menor porcentaje de corteza que los árboles con diámetros grandes de la plantación de 2.812 años. En consecuencia la plantación de 4.792 años acumula menor porcentaje de corteza que la plantación de 2.812 años, pero si en la plantación de 4.792 años hubiese una densidad tal que solamente se encontrasen árboles con diámetros pequeños, sería entonces la plantación de 4.792 años la que acumularía mayor porcentaje de corteza, que la plantación de 2.812 años.

Otras de las influencias que tiene la densidad sobre el porcentaje de corteza es que a menor densidad se tienen árboles con diámetros más grandes y curvas más planas, es decir, que cuando la competencia en los bosques no es muy intensa el porcentaje de corteza se mantiene constante y no

variable para todos los árboles.

La ecuación calculada para el porcentaje de corteza de la plantación de 4.792 años es:

$$\%C = 42.9459 - 10.3135 \text{ LNDAP} - 1.1271 (\text{LNDAP})^2$$

3. Análisis Anatómico:

El análisis anatómico de los discos tuvo como principal objetivo determinar la posibilidad de efectuar el análisis fustal en árboles de Rhizophora mangle L. El análisis fustal se utiliza para calcular el crecimiento de árboles forestales, apoyándose en la lectura de los anillos de crecimiento. R. mangle no presenta anillos de crecimiento, pero si de color. Queda entonces determinar si estos anillos se producen periódicamente lo que establecería su validez para estimar la edad y el crecimiento, como ocurre con los verdaderos anillos de crecimiento (58). Para el efecto se aplicó un análisis macroscópico y otro microscópico a la madera de los discos fechados de R. mangle, obtenidos en el muestreo.

3.1 Análisis Macroscópico:

En el análisis macroscópico de los discos se observaron anillos alternos de color pardo oscuro y claro tal y como lo reportan Fahn y Tomilson (22,58). Estos anillos fueron fácilmente visibles en la madera recién cortada, pero en los discos secos fue necesario pulimentarlos y frotarlos constantemente con agua y utilizar una lupa de 5 aumentos para poder observarlos de nuevo. Se observó también que si se utilizaban aumentos mayores, se hacía más difícil observar el límite entre los anillos de color en vez de hacerse más claro por la mejor resolución.

Los anillos de color claro mostraron límites

irregulares, mientras que los anillos de color oscuro mostraron bien definido su límite externo. En todos los discos se observaron "anillos falsos" que no llegaban a completar la circunvalación del disco.

Para correlacionar la edad de los discos con el número de anillos se contabilizaron los anillos de color oscuro, teniéndose por entendido que cada anillo de color oscuro le corresponde, internamente, un anillo de color claro. Cuando se correlacionaron todos los discos observados se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.84, lo que invalidaba la utilización de los anillos de color como indicadores de la edad. Pero como los anillos suelen ser muy difícilmente observables en los árboles jóvenes y en los árboles oprimidos tal y como lo indica Mariaux (39), se decidió repetir la prueba de correlación con la exclusión de los árboles oprimidos. En el segundo intento se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.95 para los árboles no oprimidos (clases diamétricas II-V), mientras que para los árboles oprimidos (clase I) el coeficiente de correlación fue de 0.82. Con esto se comprueba lo indicado anteriormente por Mariaux (39) ya que la correlación del número de anillos con la edad en los árboles oprimidos no fue suficientemente alta (mayor de 0.9) porque los anillos de color no fueron fácilmente observables, por tratarse de árboles muy jóvenes y porque sus incrementos radiales son minúsculos. Los árboles no oprimidos mostraron una buena correlación entre la edad y el número de anillos. De donde se puede estimar que al año se producen 4 anillos, dos de color pardo oscuro alternando con dos de color pardo claro. La producción de más de dos anillos anuales no es un obstáculo para la validez de los mismos como indicadores de la edad y el crecimiento ya que según Chowdhury citado por Fahn et. al. (22) el 25% de las especies tropicales presentan anillos no necesariamente anuales los cuales

podrían relacionarse con el clima subecuatorial o subtropical (los cuales presentan más de una temporada lluviosa al año) (20,22). Fanh et. al. (22) consideran que la utilización de los anillos de crecimiento de los árboles tropicales debe efectuarse con precaución, aplicando las correcciones necesarias cuando éstos no sean anuales. La ecuación $Edad = (\# \text{ anillos pardo oscuro} / 2.08) + 0.09$ calculada para estimar la edad del árbol en base al número de anillos de color pardo oscuro se desvía un poco del modelo ideal en donde $Edad = \# \text{ anillos pardo oscuro} / 2$. El que la correlación no fuese perfecta se debió a que para estimar la edad de los discos se asumió un crecimiento lineal en altura para los árboles y en la realidad fue exponencial. Sin embargo el cálculo de la edad para los anillos funcionó aceptablemente porque el período de tiempo estudiado fue breve y el tramo de la curva de crecimiento exponencial pudo ser explicado por la ecuación de una recta.

Para que los 4 anillos de color producidos al año, tengan validez para la estimación del crecimiento, se requiere que estén ligados por lo menos con 2 eventos astronómicos de repetición periódica de al menos 2 veces al año.

La tala de los árboles se efectuó en junio de 1990, fecha que coincide con el solsticio de verano (21 de junio). En cuatro discos fue posible observar un halo de apenas una décima de milímetro de color claro, sobre el último anillo de color oscuro. Esta observación sugiere el fin de la formación de un anillo de color oscuro y el inicio de un anillo de color claro. Considerando que al año ocurren 2 solsticios y 2 equinoccios en forma alterna, se puede correlacionar la formación de los anillos de color claro y oscuro con estos eventos astronómicos. Esto se apoya en que los árboles de mangle crecen en un ambiente con

disponibilidad uniforme de nutrientes, agua y temperatura. De donde el crecimiento de los árboles de mangle está en función de la energía recibida (47) y la energía está en función del ángulo de inclinación, es decir, de la posición del sol. Además como Fahn et. al. (22) indican, en los trópicos, pequeñas variaciones en el fotoperíodo, pueden inducir periodicidad radial en la madera. Así los solsticios de verano y de invierno (21 de junio y 22 de diciembre respectivamente) se correlacionan con el inicio de un anillo de color claro y los equinoccios de primavera y de otoño (20 de marzo y 24 de septiembre respectivamente) se correlacionarían con el inicio de un anillo de color oscuro.

Por lo anteriormente discutido queda aceptada la hipótesis alternativa reconociendo a los anillos de color observados en la madera de R. mangle como indicadores de la edad y tasa de crecimiento. Se acepta también que anualmente se producen 4 anillos de color relacionándose el inicio de la formación de éstos con los solsticios para los anillos de color claro y con los equinoccios para los anillos de color oscuro.

3.2 Análisis Microscópico:

El análisis microscópico demostró no tener ningún valor para reconocer los anillos de color, ni para determinar ninguna característica con periodicidad radial en la madera. Como se mencionó anteriormente al incrementarse la resolución el límite de los anillos de color se hacía cada vez más inaparente. Esto se debió a que los anillos de color son producidos por impregnaciones de tanino en la madera, de diferente composición química, pero en concentraciones similares. Esta aseveración se basa en el empleo de una solución de permanganato de potasio al 1%, la cual, se

emplea tradicionalmente para determinar la presencia de taninos en los cortes histológicos. Se esperaba que la solución revelase zonas de mayor y de menor concentración de taninos en la madera, esperando que los anillos de color pardo oscuro se tiñesen más intensamente que los anillos de color claro. Pero al aplicar la solución los tejidos se tiñieron uniformemente revelando la misma concentración de taninos en toda la madera y borrando prácticamente los anillos de color de los montajes. Además se determinó que la estructura de las células de los anillos de color oscuro fue exactamente la misma de las células de los anillos de color claro. Algunas irregularidades en la estructura del leño se relacionaron con el color, pero fueron más bien accidentales y no regulares, afectando pequeños sectores de las secciones vistas. Algunas de estas irregularidades son a) Sectores de color oscuro se relacionan con áreas de leño carente de vasos, b) Sectores de color claro se relacionan con áreas de aglomeración de vasos y c) Arcos semicirculares claros u oscuros se relacionan con el inicio de las ramificaciones de los radios secundarios.

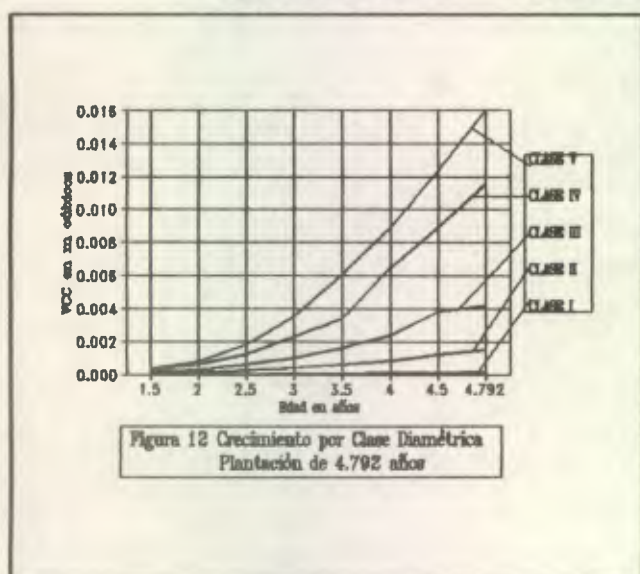
Por aparte la estructura del leño de R. mangle mostró ser uniforme y relativamente primitiva por poseer una distribución uniforme de sus componentes vasculares y elementos del vaso con placas perforadas inclinadas y escalariformes y diámetros tangenciales pequeños.

Se efectuaron pruebas para determinar el patrón de distribución de los elementos vasculares dividiendo la desviación estándar entre la media de la distancia de los elementos medida a partir de la médula sobre un radio primario. Los cocientes obtenidos fueron siempre menores que la unidad (0.48) lo que demuestra que el patrón de distribución fue regular (40).

4. Crecimiento de Árboles Individuales:

El crecimiento de árboles individuales fue **estimado** por medio del estudio de la tasa de crecimiento de un árbol medio de cada una de las clases diamétricas y por el análisis fustal como representativo del árbol medio de toda la plantación. La estimación del crecimiento de árboles individuales se efectuó en las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años.

4.1 Crecimiento por Clase Diamétrica:



En la figura 12 se observa que los árboles de las clases diamétricas superiores (IV y V) mostraron volúmenes mucho mayores desde temprana edad, en relación a los árboles de las clases menores. El desarrollo de los árboles también varía de acuerdo a la clase diamétrica. Los árboles de clases diamétricas superiores mostraron un patrón de crecimiento lineal,

mientras que los árboles de las clases diamétricas superiores mostraron un patrón de crecimiento exponencial. Tomando en cuenta los anteriores patrones de crecimiento, conforme transcurre el tiempo la diferencia de volumen entre los árboles de las clases diamétricas menores con respecto a los árboles de las clases diamétricas superiores se va haciendo aceleradamente mayor. Otra observación efectuada es que la tasa de crecimiento, (en base a la fórmula del interés compuesto), de los árboles por clase diamétrica entre los 1.5 y los 4.792 años aumenta proporcionalmente a la clase, es decir que entre mayor sea la clase diamétrica, mayor va a ser la tasa de

crecimiento. (Ver cuadro 11).

Cuadro 11 Tasas de Crecimiento y Volúmenes Base Para el Cálculo del Crecimiento de Árboles Individuales:

EDAD	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V
2.812	181.51% 0.000044	246.97% 0.00035	304.33% 0.00071	266.98% 0.0012	----- -----
4.792	137.33% 0.000009	153.29% 0.00007	174.18% 0.00015	197.84% 0.00032	225.67% 0.00034

Fuente: elaboración del autor.

4.2 Análisis Fustal:

En los análisis fustales de las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años gráficas 12 y 13 (páginas siguientes) se puede apreciar que el crecimiento de los árboles de la plantación de 4.792 años fue más lento que el de la plantación de 2.812 años debido a que la primera hay una mayor densidad porque el porcentaje de sobrevivencia fue mayor.

De los análisis fustales podemos concluir que los árboles de mangle en la plantación de 2.812 años crecieron en altura con una rapidez de 2.06 metros por año y en grosor 0.68 centímetros por año, mientras que en la plantación de 4.792 años la rapidez de crecimiento en altura fue de 1.38 metros por año (dato muy parecido al reportado por Jiménez y Knox (32)) y en grosor 0.73 cm por año. La diferencia de crecimiento entre el diámetro y la altura es grande, razón por la que los árboles logran formar fustes largos y rectos con un diámetro relativamente uniforme, que los hace ideales para vigas y viguetas.

AL
TU
RA
E
N
M
E
T
R
O
S

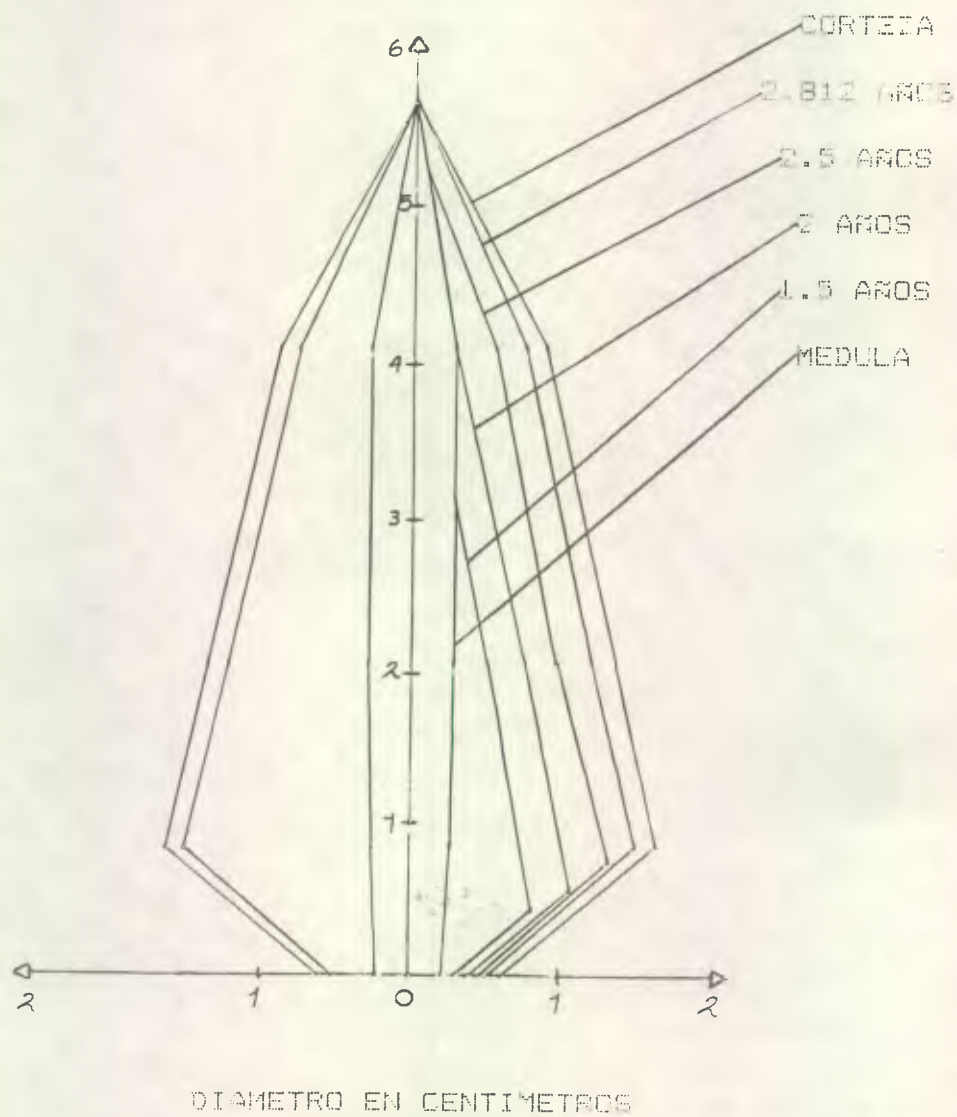


Figura 13 Análisis fustal de la plantación de 2.812 años

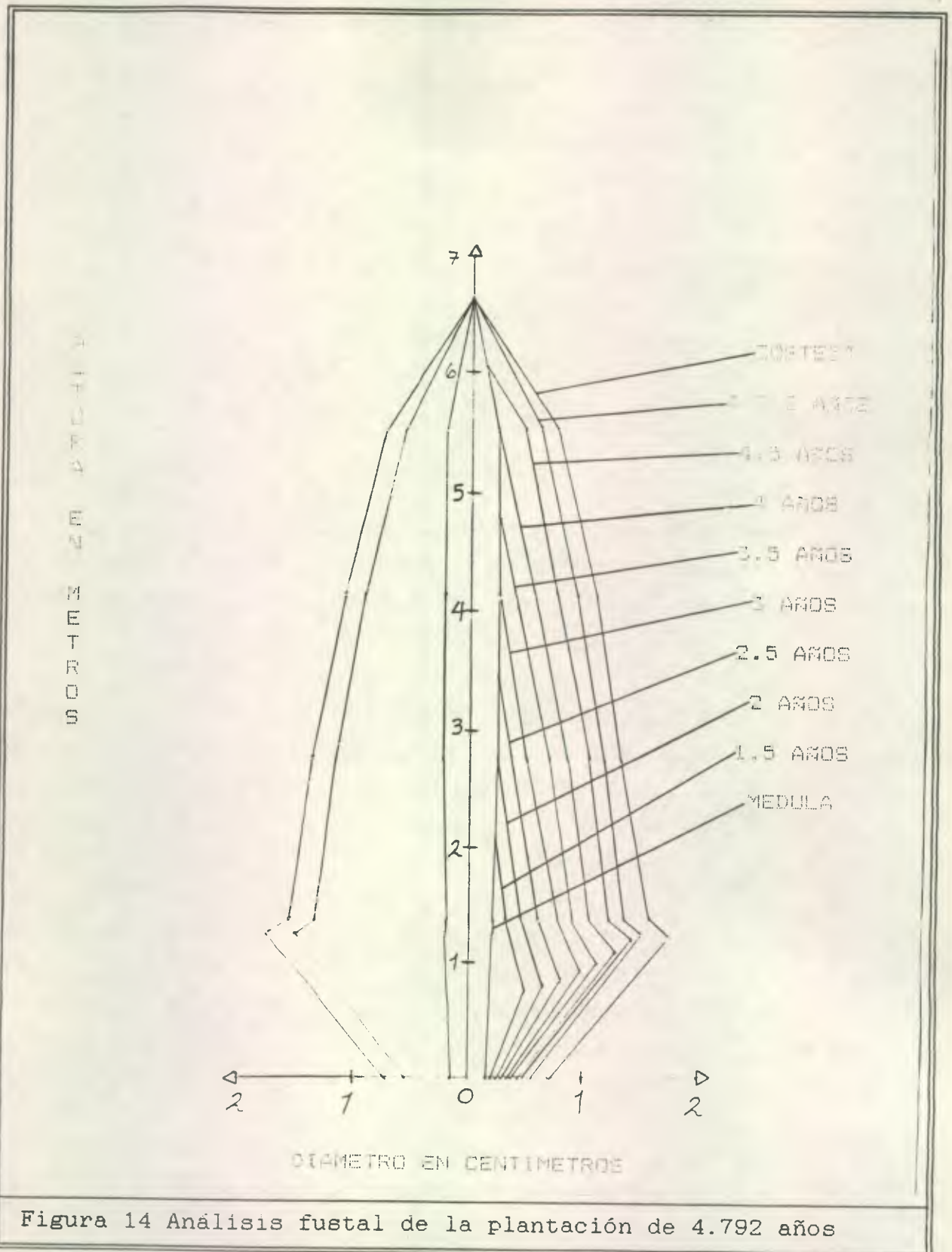


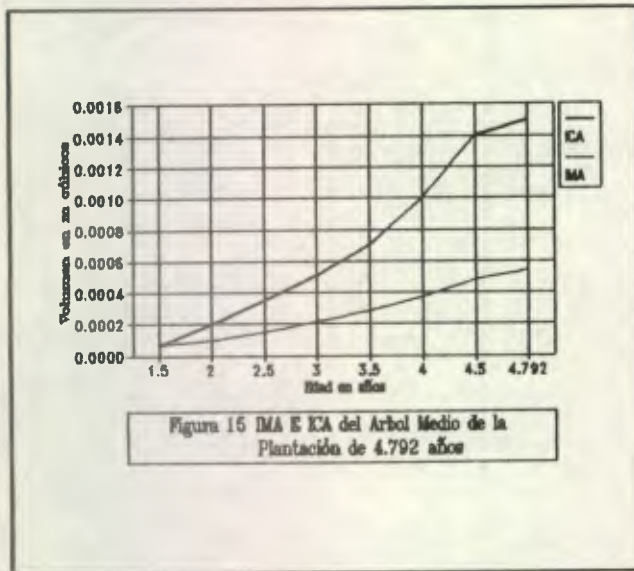
Figura 14 Análisis fustal de la plantación de 4.792 años

Una característica especial de *R. mangle* es que el diámetro disminuye rápidamente por debajo del DAP, de donde el tronco alcanza su valor máximo de diámetro precisamente a la altura del DAP y no a nivel del suelo. Por arriba del DAP los fustes de los árboles de mangle adoptan una forma cónica típica del crecimiento secundario de las especies forestales. En la plantación de 4.792 años se observa una rápida adecuación del fuste por encima del DAP, la cual en el gráfico se observa como una constricción del diámetro. En la plantación de 2.812 años el veloz crecimiento en altura contrarrestó el efecto de la constricción por encima del DAP mostrándose una figura largamente aleznada desde este nivel.

El grosor de los anillos se mantiene estable tanto para la plantación de 2.812 años como de 4,792 años a excepción del penúltimo anillo. En efecto el anillo producido a los 2.5 años en la plantación de 2.812 años, y el anillo producido a los 4.5 años en la plantación de 4.792 años, son significativamente más anchos que los demás según una prueba de "t de student" con un 99% de confiabilidad. Los dos anillos citados anteriormente se formaron del 21 de junio al 22 de diciembre de 1989 en ambas plantaciones. La estación lluviosa del año 1989 fue particularmente copiosa en relación a la década de los "80". De donde en 1989 llegó una mayor cantidad de nutrientes a los esteros, arrastrados por las escorrentías, que en cualquier otro año de la década. Esto demuestra que el ambiente de los esteros es estable la mayor parte del tiempo, (todos los anillos, excepto uno, mostraron grosor regular). También se observa que las ocasionales fluctuaciones que afectan notablemente la calidad del sitio (nutrientes, profundidad del suelo, salinidad, sedimentación-erosión) afectan directamente al vigor de crecimiento (altura, diámetro y volumen) pero no determinan la época de formación de los anillos de color.

Esto refuerza la aceptación de los anillos de color como indicadores de la edad y tasa de crecimiento en R. mangle, ya que pueden representar además de la edad, las variaciones periódicas de la rapidez de crecimiento, en relación con los factores ecológicos de su ambiente y permiten efectuar fechamientos cruzados (dendrocronología)⁵.

Otro aspecto interesante que puede observarse en el análisis fustal es el grosor de la médula, el cual se encuentra directamente relacionado con el vigor de crecimiento. En cuanto mayor sea el vigor de crecimiento, mayor será el diámetro de la médula.



El comportamiento del incremento medio anual IMA fue lineal y el del incremento corriente anual ICA fue exponencial (figura 15). Esto se debe a que la fase juvenil de crecimiento lento de R. mangle es superada rápidamente y se entra de inmediato a la fase de crecimiento exponencial. Las plantaciones estudiadas encontraban al inicio de la fase de

⁵ Dendrocronología es la rama de la ciencia que estudia las variaciones ambientales del pasado, por medio de la lectura de los anillos de crecimiento de varios árboles (jóvenes y viejos) de una región. Su metodología se basa en el fechamiento cruzado de anillos con características especiales. De esta manera se puede conocer la fecha exacta en que se produjo un anillo en diferentes árboles por poseer las mismas características, p.e. un anillo traumático corresponderá a el año en que ocurrió un incendio. Luego se puede determinar la fecha en que germinaron los árboles y la fecha en que fueron cortados y qué ocurrió durante sus vidas.

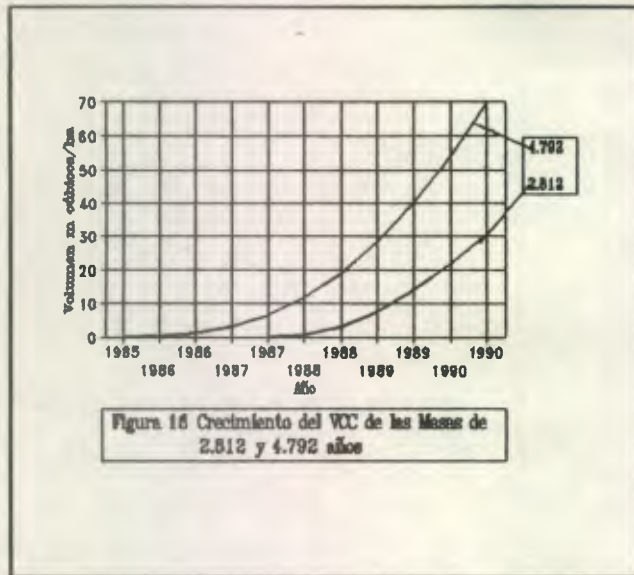
crecimiento exponencial. Las plantaciones estudiadas estaban iniciando su crecimiento exponencial, por lo que sus curvas mostraron las características anteriores.

Los máximos incrementos en volumen fueron observados en los árboles de las clases diamétricas superiores, pero los árboles promedio (los análisis fustales) para las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años quedaron en las clases diamétricas II y III respectivamente. Esto indica que la densidad en ambas plantaciones fue un factor limitante para su crecimiento y desplazó a la media a un punto inferior del óptimo.

5. Crecimiento de Masas Forestales:

El crecimiento de la masa fue estimado empleando la fórmula del interés compuesto. El volumen base fue el volumen total por hectárea a la edad de 1.5 años. Se introdujo la ecuación para estimar como varía la tasa de crecimiento en función de la edad en el lugar del interés. El modelo de predicción de la tasa de crecimiento se calculó con los volúmenes sin corteza por hectárea a partir de la edad de 1.5 años hasta un año más de la edad al momento de la corta. Las masas estimadas para un año después de la corta fueron calculadas a partir de los volúmenes acumulados por edad y por clase diamétrica, calculando la tasa de crecimiento para período con la fórmula del interés simple. La tasa del año proyectado se calculó por medio un análisis de regresión que se le aplicó a cada clase diamétrica. La tasa de interés simple disminuyó logarítmicamente con el tiempo. Se observó que las clases diamétricas centrales presentaron las menores tasas de crecimiento, en tanto que las clases diamétricas extremas presentaron las tasas de crecimiento más altas. Finalmente el volumen proyectado se calculó con la tasa arrojada por el análisis de regresión y el volumen real sin corteza de la masa al momento de la tala. Luego con todos los

valores de volumen por edad (incluyendo al volumen proyectado) se aplicó el análisis de regresión en donde se calculó la ecuación para predecir la disminución de la tasa de crecimiento (interés compuesto) con la edad. Los modelos de predicción del volumen de



la masa mostraron coeficientes de correlación por encima de 0.95 y explican bien la dispersión de los datos dentro de los rangos muestreados, pero si se intenta utilizarlos para estimar el volumen de la masa para un período mayor que el doble del muestreado, (hasta los 9 años máximo) lanzan datos poco congruentes con la realidad (figura 16).

Esto se debe a la estructura algebraica de la ecuación que determina un modelo "gamma", el cual es una campana con una cola más larga que la otra. De donde para la plantación de 2.812 años tenemos:

$$VCC / ha = 5.9046(1+9.9957N-1.3948)N^{-1.5} \quad y$$

$$VSC / ha = 4.5169(1+9.9957N-1.3948)N^{-1.5}$$

En donde:

VCC = Volumen con corteza

VSC = Volumen sin corteza

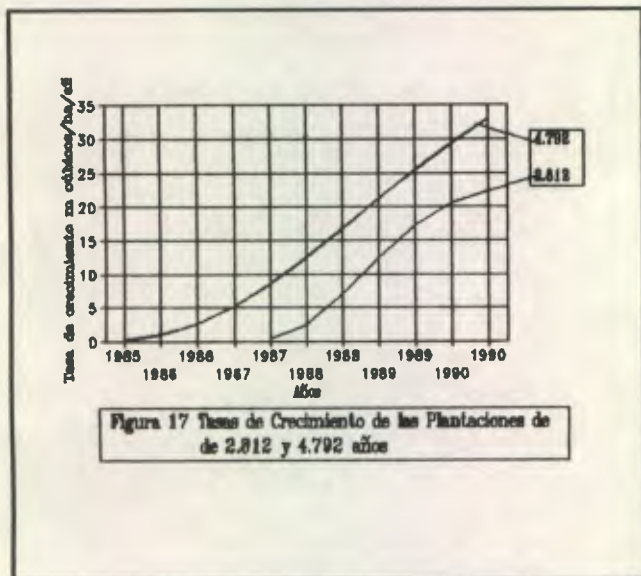
N = Edad en años

y para la plantación de 4.792 años:

$$VCC / ha = 1.7349(1+10.5742N-1.1167)N^{-1.5} \quad y$$

$$VSC / ha = 1.36(1+10.5742N-1.1167)N^{-1.5}$$

La rapidez de crecimiento se calculó con la primera derivada de los modelos de crecimiento (ver figura 17).

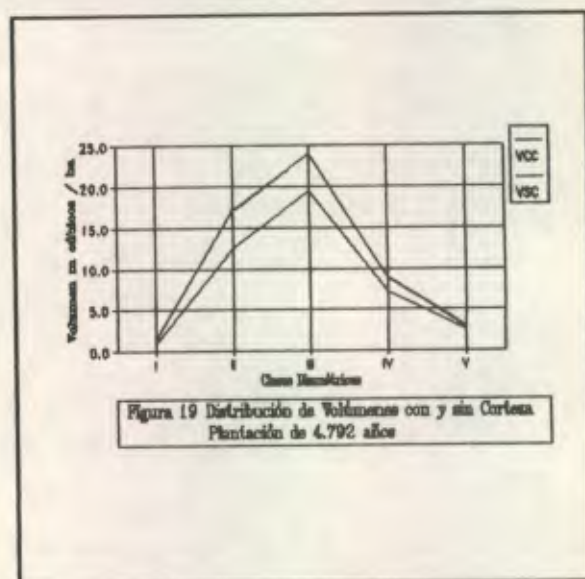
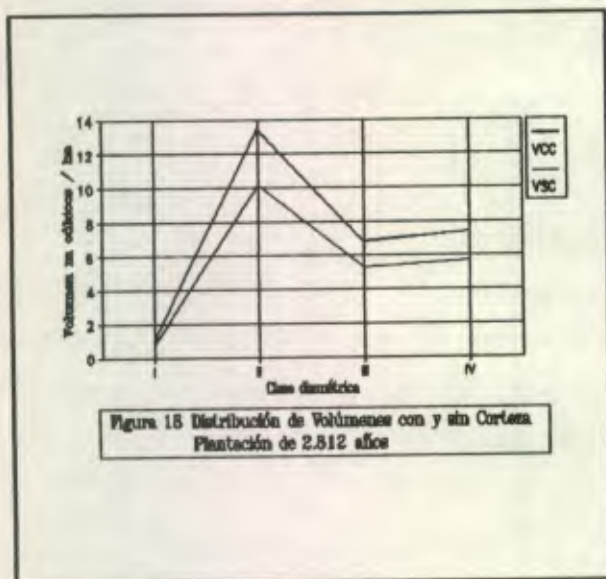


El crecimiento de la plantación de 2.812 años (como masa forestal) fue muy similar al crecimiento de la plantación de 4.792 años dentro del período muestreado (hasta 1990). Es interesante hacer notar que a pesar de que los árboles dentro de las diferentes plantaciones, poseen ritmos diferentes de crecimiento, las masas

alcanzan los mismos volúmenes totales en el mismo tiempo. Esto indica que aunque la competencia ha influido en el crecimiento de los árboles individuales no ha sido tan fuerte para afectar el crecimiento de toda la masa. Al proyectar los modelos hasta 150 años se observan las diferencias entre las plantaciones y las incongruencias que los invalidan para predicciones a largo plazo. Por ejemplo el modelo de la plantación de 4.792 años proyecta volúmenes exagerados y el modelo de la plantación de 2.812 años indica una reducción de la tasa de crecimiento muy tempranamente y ambos modelos pronostican un descenso del volumen de la masa a edades avanzadas en lugar de proyectar una asíntota de volumen máximo y estable.

En las figuras 18 y 19 (página siguiente) se muestra la distribución del volumen con y sin corteza por hectárea para cada clase diamétrica en las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años. Puede observarse que la distribución de los volúmenes sigue una tendencia aproximadamente normal alargando ligeramente una de las colas de la curva. En la plantación de 2.812 años es más notable esta tendencia porque dentro de la misma se encontró

un sector con el fango muy profundo, lo que incidió en que un grupo particular de árboles crecieran más que los demás. Puede observarse también que las clases II y III de las plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años respectivamente son las que acaparan el mayor volumen de las plantaciones. También puede decirse que el mayor volumen de corteza se concentra entre la clase diamétrica de mayor volumen y la inmediata anterior.



En términos generales las plantaciones de San José Churirín se asemejan a las plantaciones del Asia Tropical dado que a los 9 años de edad se espera al igual que en Malasia obtener un volumen de 70 metros cúbicos por hectárea.

IX. CONCLUSIONES:

Las conclusiones siguientes se disponen de acuerdo a los objetivos planteados en la investigación.

1. Determinar el área mínima de parcela para el muestreo de plantaciones jóvenes de R. mangle:

- 1.1 Las plantaciones de R. mangle resultaron ser homogéneas de tal manera que no es necesario

emplear parcelas grandes para obtener resultados confiables. En el estudio se empleó una parcela de 50 m² por representar el 10% de la parcela recomendada por la FAO, pero según las pruebas de medias, en las cuales no hubo diferencia significativa, se hubiera podido utilizar sin problemas una parcela de 25 m².

2. Determinar las relaciones alométricas de árboles jóvenes de R. mangle L.

2.1 El DAP de las plántulas de R. mangle está determinado en gran parte por la longitud de la porción de la radícula que queda enterrada en el fango al momento de la plantación; debido a que la raíz primaria no puede absorber nutrientes por lo que, las raíces secundarias son las que cumplen esta función. La cantidad de raíces secundarias está en función directa con la superficie de contacto de la radícula con el fango. En este sentido cuanto más enterrada se encuentre la radícula, mayor será la cantidad de raíces secundarias que emitirá.

2.2 El crecimiento de las plántulas de R. mangle se encuentra determinado por la profundidad de plantación de la radícula al igual que el DAP. Las plantas con profundidades de plantación cercanas a los 23 cm obtienen los mejores desarrollos. Las plantas con poca profundidad de plantación mueren al ser arrastradas por la marea o mueren por no poder emitir una cantidad suficiente de raíces secundarias, y las plantas con mucha profundidad de plantación sufren al ser cubiertas por una costra de fango que les impide

fotosintetizar.

- 2.3 Las relaciones alométricas determinadas para cada una de las plantaciones y para cada uno de los casos estudiados fueron las mismas. Además los modelos empleados en un mismo tipo de relación fueron similares aunque los coeficientes fueran variables. Esto le da confiabilidad a los modelos determinados ya que los tipos de relaciones alométricas son comunes para todos los árboles de mangle estudiados. La variación en los coeficientes es sólo un indicador de que los factores de crecimiento actuaron de diferente forma según la edad de la plantación, la competencia y la ramificación del árbol.
- 2.4 La altura total de los árboles de R. mangle se encuentra determinada por el DAP como sucede con cualquier especie forestal. A incrementos regulares del DAP le corresponden incrementos uniformemente desacelerados de la altura.
- 2.5 Los árboles ramificados de R. mangle aunque poseen el mismo tipo de relaciones de los árboles no ramificados poseen nubes de dispersión con patrones de agrupación diferentes de las de los árboles no ramificados, por lo que es conveniente analizarlos por separado en cuanto a sus relaciones alométricas.
- 2.6 La HRF estuvo en función de la altura total del árbol sin importar su edad o su diámetro, por lo que se considera está regida por factores mecánicos que controlan la distribución de las hormonas en el fuste.

- 2.7 Los árboles ramificados tienden a ser más grandes en altura y en área basal en relación a los árboles no ramificados pero presentan el inconveniente que de todas las ramas, solo una produce un fuste libre de defectos, el cual es además más delgado que otro de la misma altura proveniente de un árbol no ramificado. En este sentido los árboles ramificados aunque sean más productivos que un árbol no ramificado, producen mucha madera de mala calidad, ocupando además mucho espacio en el rodal.
- 2.8 Tanto el volumen con corteza como el volumen sin corteza se correlacionaron perfectamente con el producto del cuadrado del DAP con la HT, por formar un término cúbico y no un término plano, como por ejemplo cuando se trata de correlacionar solo el área basal con el volumen. Sin embargo las relaciones determinadas tienen validez restringida a las plantaciones estudiadas, dentro de los rangos muestreados.
- 2.9 El factor volumétrico de forma mostró una correlación perfecta por tratarse de una relación paralela a el volumen, variando logarítmicamente con respecto a el DAP y no manteniéndose constante como tradicionalmente se maneja en silvicultura. En este sentido los árboles con diámetros pequeños tienden a ser cilíndricos, mientras que los árboles con diámetros grandes tienden a ser cónicos.

- 2.10 El factor volumétrico de forma a diferencia de las ecuaciones calculadas para estimar el volumen directamente mostró ser una relación común para las plantaciones, de donde puede ser empleado sin restricciones para la estimación del volumen, con el único inconveniente que su cálculo es más complejo.
- 2.11 La densidad es un factor determinante para el crecimiento de R. mangle ya que puede definir el dimensionamiento de los árboles aumentando o disminuyendo la competencia interespecífica.
- 2.12 El porcentaje de corteza también fue una relación paralela a el volumen mostrando variaciones logarítmicas con respecto a el DAP y no manteniéndose constante como tradicionalmente se le considera. En este sentido los árboles con diámetros pequeños tienden a poseer un mayor porcentaje de corteza (hasta un 40%), que los árboles con diámetros grandes, los cuales tienden a poseer un porcentaje de corteza bajo (18%).
- 2.13 Cuando disminuye la competencia intraespecífica el porcentaje de corteza tiende a ser constante y mínimo puesto que casi todos los árboles tenderán a tener un diámetro grande. En este sentido el porcentaje de corteza y de madera que un rodal de R. mangle produzca puede ser controlado por medio de la manipulación de la densidad.
3. Determinar la factibilidad de aplicar el análisis fustal a árboles de R. mangle.
- 3.1 Los anillos de color observados en el leño de R.

mangle sí son útiles para la estimación de la edad y la tasa del crecimiento, pudiéndose incluso efectuar fechamientos cruzados con ellos. Anualmente se producen 4 anillos alternos, 2 anillos de color pardo oscuro con 2 anillos de color pardo claro. Iniciándose la producción de los anillos de color claro en los solsticios de verano y de invierno (21 de junio y 22 de diciembre respectivamente) y los equinoccios de primavera y de otoño (20 de marzo y 24 de septiembre respectivamente) marcarían el inicio de un anillo de color oscuro.

3.2 Los anillos de color observados en la madera de R. mangle son causados por impregnaciones de taninos de diferente composición, pero con la misma concentración, en la madera sin afectar la estructura anatómica de la células.

3.3 La anatomía fina (análisis microscópico) de la madera de R. mangle no revela ninguna discontinuidad radial, mostrando una estructura primitiva y uniforme con algunas esporádicas discontinuidades estructurales, por lo que no puede ser empleada para estimar la edad y tasa de crecimiento de los árboles.

En base a las anteriores conclusiones se acepta la hipótesis alternativa en donde se plantea que existe correlación entre los anillos concéntricos de color observados en el leño de R. mangle y la edad de los árboles, rechazándose la hipótesis nula.

4. Estimación del crecimiento tanto en árboles individuales, como de masas forestales de R. mangle.

- 4.1 Los árboles de la plantación de 2.812 años crecieron en altura 2.06 metros por año y en grosor 0.68 cm por año, mientras que los árboles de la plantación de 4.792 años crecieron en altura 1.38 m por año y en grosor 0.73 cm por año.
- 4.2 Los árboles que alcanzan una posición dominante en los bosques de R. mangle han tenido desde que son plántulas un mayor tamaño que las plántulas vecinas. Además las plántulas grandes desarrollan un crecimiento exponencial, mientras que las plántulas pequeñas desarrollan un crecimiento lineal. Por aparte las tasas de crecimiento mayores se observan siempre en las clases diamétricas superiores.
- 4.3 Los bosques estudiados de R. mangle a pesar de que mostraron diferencias en el crecimiento de sus árboles individuales, debido a diferentes presiones de competencia, no mostraron diferencias en el crecimiento total de sus masas. Esto indica que la calidad de sitio de las dos masas estudiadas era la misma y que el volumen total producido por la masa se comporta como el área basal de un bosque, el cual es constante y se distribuye entre todos los individuos que estén presentes.
- 4.4 Los modelos de predicción del crecimiento de la masa forestal son válidos hasta los 9 años de edad (año de 1994).
- 4.5 Sabiendo que los árboles de mangle pueden vivir hasta 150 años como ocurre en Bangladesh (30), las

plantaciones de 2.812 años y de 4.792 años se consideran jóvenes, pudiéndose calcular el crecimiento de éstas con las fórmulas siguientes:

Para la plantación de 2.812 años:

$$VCC / ha = 5.9046(1+9.9957N-1.3848)N^{-1.5} \quad y$$

$$VSC / ha = 4.5169(1+9.9957N-1.3848)N^{-1.5}$$

En donde:

VCC = Volumen con corteza

VSC = Volumen sin corteza

N = Edad en años

y para la plantación de 4.792 años:

$$VCC / ha = 1.7349(1+10.5742N-1.1167)N^{-1.5} \quad y$$

$$VSC / ha = 1.36(1+10.5742N-1.1167)N^{-1.5}$$

y la tasa de crecimiento de las masas forestales se puede estimar por medio de la primera derivada de estas expresiones (ver anexo 1).

4.6 Para estimar el crecimiento de árboles individuales podemos aplicar la fórmula del interés compuesto con las tasas de crecimiento por clase diamétrica para los rodales de 2.812 años y de 4.792 años, consignadas en el cuadro 11.

4.7 El crecimiento de los bosques estudiados de R. mangle, a pesar de su juventud, fueron cercanos a los crecimientos reportados para los manglares del Asia Tropical, en donde a los 9 años se alcanzan 70 m³/ha. (2,30) .

X. RECOMENDACIONES:

1. Para muestrear plantaciones de R. mangle se recomienda utilizar parcelas con un área mínima de 25 m² y no parcelas con un área de 500 m² como las recomendadas por la FAO (3).

2. Para lograr los mejores incrementos en plantaciones de R. mangle es recomendable utilizar plántulas grandes y procurar que el cuello de la plántula quede aproximadamente a 23 centímetros del nivel del suelo.
3. La presencia de árboles ramificados en plantaciones de R. mangle no es deseable porque producen mucha madera defectuosa y ocupan más espacio que un árbol no ramificado.
4. Se recomienda emplear preferentemente el factor volumétrico de forma $[FVF\% = 80.38 (DAP^{-0.413})]$ para la estimación del volumen en árboles jóvenes de R. mangle en lugar de las ecuaciones directas ya que estas últimas se encuentran restringidas a su área de estudio.
5. El porcentaje de corteza podría ser empleado además de los parámetros convencionales, (altura, área basal, IMA, ICA), para estimar que tan fuerte es la competencia intraespecífica a que están sometidos los árboles de R. mangle en un rodal puro.
6. En los bosques destinados para la industria del tanino es recomendable mantener la máxima densidad en la clase diamétrica central del rodal, mientras que para los bosques destinados para la producción de madera es recomendable mantener la máxima densidad en la penúltima clase diamétrica o en la inmediata superior a la clase diamétrica central. Ya que de esta manera se estarían maximizando los objetivos de producción en cada bosque manejado.
7. Se recomienda emplear los anillos de color para estimar la edad y tasa de crecimiento de R. mangle, de preferencia los anillos de color pardo oscuro por mostrar límites externos bien definidos, en el entendido de que cada anillo de color

oscuro así leído corresponderá a un período de crecimiento de medio año.

8. Dado que los árboles de mangle muestran muchos "anillos falsos" se recomienda utilizar discos para su observación y no núcleos o fracciones incompletas de las secciones transversales del fuste.
9. Para observar los anillos de color en muestras secas de madera se recomienda pulir primero las muestras y luego frotarlas constantemente con agua. Emplear una lupa de no más de 10 aumentos facilita su definición.
10. Se recomienda estudiar en árboles silvestres (no plantados) y maduros la formación de los anillos de color.
11. No es recomendable emplear los modelos de predicción del crecimiento para proyectar los volúmenes de las masas más allá de los 9 años (hasta el año 1994) porque se estarían obteniendo datos incongruentes con la realidad.
12. Se recomienda determinar la composición química de los taninos que impregnan la madera de R. mangle definiendo los anillos de color.

IX. BIBLIOGRAFIA:

1. AKSORNKOAE, S. 1983. Ordenación de los manglares del sudeste asiático para el uso múltiple. In Simposio del Manglar (1983, Guayaquil, Ec.). Conocoto, Ec. Ed. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro de Capacitación e Investigación Forestal. v. 33, p. 50-68.
2. _____ . 1985. Ordenación de manglares en Tailandia, Malasia e Indonesia. Ed. Bo Christensen. Italia. FAO. Estudio FAO Medio Ambiente no. 4. 64 p.
3. ALAM, A. 1991. Nuevo ciclón amenaza a Bangladesh. Prensa Libre (Guatemala); mayo, 12:16.
4. ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Italia. FAO. Estudio FAO Montes no. 22/2. v. 2, 118 p.
5. ASHTON, P.S. 1980. Necesidad de información concerniente a la edad y crecimiento de los árboles tropicales. In Edad u tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Bormann; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA. P. 1-5.
6. CABRERA, A.L. 1973. Biogeografía de América Latina. Ed. Eva V. Chesneau. Wash. OEA. Serie de Biología no. 18. 120 p.
7. CASASOLA, C.R. 1988. Anatomía y propiedades físicas de la madera de Calophyllum brasiliense Camb. In St. Hil, Vochysia hondurensis Sprague y Syphonia globulifera L. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.
8. CINTRON, G.; et al. 1978. Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. Biotropica (EE.UU.) 10(2):110-121.
9. ----- . 1984. El manglar en la costa ecuatoriana. In Recopilación sobre, la conservación aprovechamiento y manejo del manglar. Ecuador. Ed. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro de Capacitación e Investigación Forestal. v. 33, p. irr.

10. CONTRERAS REYNOSO, J.F. 1987. Estudio del crecimiento y rendimiento del Pinus caribaea Morelet en Machaquilá, Poptún, Petén. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 96 p.
11. CHRISTENSEN, B. 1988. Los manglares: Para qué sirven? *Unasyva* (Italia) 35(139):2-10.
12. CRONQUIST, A. 1980. An integrated system of classification of flowering plants. N.Y., Columbia university Press. 1262 p.
13. CRUZ, J.R. DE LA 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
14. CURTIS, P.J. 1986. Microtecnia vegetal. México, Trillas. 106 p.
15. CUTTER, E.G. 1978. Plant anatomy. Ed. E.J.W. Barrington; A.J. Willis. 2 ed. EE.UU., Addison-Wesley Publishing. A series of student text in contemporary biology. pt. 1, 315 p.
16. ----- . 1980. Plant anatomy. Ed. E.J.W. Barrington; A.J. Willis. 5 ed. G.B., Edward Arnold. A series of student text in contemporary biology. pt. 2, 343 p.
17. DANIEL, P.W.; HELMS, V.E.; BAKER, F.S. 1982. Principios de silvicultura. Trad. R. E. Mata. México, Mcgraw Hill. 492 p.
18. ESAU, K. 1959. Anatomía vegetal. Trad. José Pons. 2 ed. España, Omega. 729 p.
19. ----- . 1980. Anatomy of seed plants. EE.UU., John Willey and sons. 575 p.
20. ECKSTEIN, D.; et al. 1980. Determinación de la edad y ritmo de crecimiento de los árboles tropicales: la aplicación de métodos dendrocronológicos. In Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA. p. 86-103.
21. FAHN, A. 1978. Anatomía vegetal. Trad. F. García; J. Fernández. España, Blume. 643 p.

22. -----; et al. 1980. Anatomía de la madera: posibles contribuciones de la anatomía de la madera para la determinación de la edad de los árboles tropicales. In Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA. p. 31-43.
23. FONT, Q.P. 1979. Diccionario de botánica. Ed. rev. España, Labor. 1243 p.
24. GORE, R. 1977. The tree nobody liked. National Geographic (Wash.) 151(5):31-43.
25. GUATEMALA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. 1989. El medio ambiente en la legislación guatemalteca. Guatemala, Delgado Impresos. 114 p.
26. HAROLD, W.; HOCKER JUNIOR. 1984. Introducción a la biología forestal. Trad. Flor A. Bellomo López. México, AGT editor. 446 p.
27. HAWLEY, R.C.; SMITH, D.M. 1982. Silvicultura práctica. Trad. Jaime Terradas. 2 ed. España, Omega. 544 p.
28. HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L., 1982. Forest products and wood sciense: an introduction. Iowa, The Iowa State University Press. 495 p.
29. HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. 1972. Forest mensuration. 2 ed. EE.UU., John Wiley & Sons. 410 p.
30. INFORME SOBRE el manejo de los manglares en Malasia. 1983. Unasyuva (Italia) 35(139):11-15.
31. JIMENEZ, G.; KNOX, D. 1989. Mangle colorado: reforestación una guía práctica. Guatemala, Instituto Guatemalteco de Turismo. s.p.
32. JONES JUNIOR, S.B. 1987. Sistemática vegetal. Trad. María Lourdes Huesca Tapia. 2 ed. México. McGraw-Hill. 536 p.
33. LEIVA, J.M. Biología del ecosistema manglar en Guatemala. 23 p.
Sin publicar
34. LESCURE, J.P.; TOSTAIN, O. 1979. Les mangroves guyanaises. Bois et Forets Tropiques (Francia). no. 220:35-42 (Special Guyane).

35. LOJAN, I.L. 1966. Apuntes del curso de dasometría: Mediciones de árboles individuales. 2 ed. Costa Rica. IICA. Serie Programa Forestal. pt. 1, 105 p.
36. ----- . 1967. Curso de dasometría: Mediciones en bosques. Costa Rica, IICA. Serie Programa Forestal. pt. 2, 83 p.
37. LUGO, A. E. 1980. Mangrove ecosystems: successional or steady state?. Biotropica (supplement special issue on tropical succession). (EE.UU.). 12:65-72.
38. ----- . 1982. Los sistemas ecológicos y la humanidad. Ed. Eva V. Chesneau. Wash. OEA. Serie de Biología. no. 23. 82 p.
39. MARIAUX, A. 1980. Esfuerzos anteriores en la medida de la edad y crecimiento anual en los árboles tropicales. In Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA. p. 20-30.
40. MATTEUCI, S.A. DEL; COLMA, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Ed. Eva V. Chesneau. Wash. OEA. Serie de Biología. no. 22. 168 p.
41. MEDINA, E. 1976. Introducción a la ecofisiología vegetal. Ed. Eva V. Chesneau. Wash., OEA. Serie de Biología. no. 16. 150 p.
42. MORALES, J.V. 1979. Importancia nacional del uso y manejo racional para la conservación del mangle (Rhizophora mangle L.) en el litoral del pacífico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 98 p.
43. MORENO, N. 1984. Glosario botánico ilustrado. México, CECSA. 300 p.
44. ODUM, E.P. 1972. Ecología. Trad. Carlos Gerhard Ottenwaelder. 3 ed. México, Interamericana. 639 p.
45. PAIJMANS, k.; ROLLET, B. 1977. The mangroves of Galley Reach, Papua New Guinea. Forest Ecology and Management (Holanda). 1(2):119-140.
46. PANSWIN, A.J.; ZEEUW, C. DE. 1980. Textbook of wood technology: structure, identification, properties, and uses of commercial woods of the United States and Canada. 4 ed. EE.UU., McGraw-Hill. 722 p.

47. PENMAN, H.L. 1970. El Ciclo del Agua. Trad. Juan Manuel Ibeas Delgado; Juan Diego Pérez González; Ricardo Vera de la Presentación. In Química y ecósfera. Ed. Selecciones de scientific american. España, Blume. p. 29-38.
48. REYES CHAVEZ, L.M. 1981. El análisis de regresión y sus métodos de cómputo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 149 p.
49. RODRIGUEZ BRACAMONTE, F. 1981. Análisis florístico y estructural de las comunidades vegetales del biotopo La Avellana-Monterrico (Taxisco, Santa Rosa). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 169 p.
50. SASS, J.E. 1940. Elements of botanical microtechnique. Ed. Edmund W. Sinnott. 4 ed. EE.UU., McGraw-Hill. 222 p.
51. SINGH, J.E. 1980. Técnicas de inventario y métodos de medida para determinar la edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA. p. 125-132.
52. SNEDAKER, S.; GETTER, C. 1985. Costas: pautas para el manejo de los recursos costeros. EE.UU., Ministry of Agriculture. v. 2, p. irr.
53. STANDLEY, P.C.; STEYERMARCK, J. 1956-1978. Flora of Guatemala. EE.UU., Chicago Natural History Museum. Fieldiana Botany. v. 24, pt. 1-13.
54. STEVENSON, F.F.; MERTENS, T.R. 1980. Anatomía vegetal. México, Limusa. 209 p.
55. SUTTON, B.; HARMON, P. 1988. Fundamentos de ecología. Trad. Gabriel Velasco F. 9 ed. México, Limusa. 293. p.
56. SWAIN, T.; HILLIS, W.E.; LARSON, P.R. 1980. Química de la madera. In Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA. p. 56-72.

57. TOMILSON, P.B.; LONGMAN. K.A. 1980. Crecimiento fenológico de los árboles tropicales en relación a la actividad del cambium. In Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. por F.H. Borman; G. Berlyn. Trad. Carmen Alicia de la Parra. México, CECSA. p. 6-19.
58. TROESEGAARD, J. 1983. Exposición inaugural. In Simposio del manglar (1983, Guayaquil, Ecuador). Conocoto, Ec., Ed. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro de Capacitación e Investigación Forestal. v. 33, p. 8-14.
59. VALDES, H.C. 1988. Anatomía y propiedades físicas de la madera Lonchocarpus latifolius (Wild.) HBK., Terminalia amazonia (J.F. Gmel) y Pouteria gallifruca Cronquist. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 49 p.
60. VALLE, C.H. 1982. Vademecum forestal. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. 289 p.
61. VEILON, J.P. 1965. Primer curso de ordenación forestal. Costa Rica, IICA. Programa Forestal. p. 1-25.



ANEXOS

ANEXO 1

ECUACIONES CALCULADAS PARA ESTIMAR EL CRECIMIENTO DE LAS MASAS FORESTALES ESTUDIADAS

PLANTACION DE 2.812 AÑOS:

Tasa de crecimiento volumen sin corteza en función de N años:

$$\begin{aligned} \text{Tasa} = & [(\text{Ln}(1+9.9957N^{-1.3948})/1)+(-13.942N^{-1.3948}+... \\ & ...+20.913N^{-2.1167})/(1+9.9957N^{-1.3948})]*... \\ & ...*[4.5169(1+9.9957N^{-1.3948})^{(N-1.5)}] \end{aligned}$$

Tasa de crecimiento volumen con corteza en función de N años:

$$\begin{aligned} \text{Tasa} = & [(\text{Ln}(1+9.9957N^{-1.3948})/1)+(-13.942N^{-1.3948}+... \\ & ...+20.913N^{-2.1167})/(1+9.9957N^{-1.3948})]*... \\ & ...*[5.9046(1+9.9957N^{-1.3948})^{(N-1.5)}] \end{aligned}$$

PLANTACION DE 4.792 AÑOS:

Tasa de crecimiento volumen sin corteza en función de N años:

$$\begin{aligned} \text{Tasa} = & [(\text{Ln}(1+10.5742N^{-1.1167})/1)+(-11.81N^{-1.1167}+... \\ & ...+17.72N^{-2.1167})/(1+10.5742N^{-1.1167})]*... \\ & ...*[1.36(1+10.5742N^{-1.1167})^{(N-1.5)}] \end{aligned}$$

Tasa de crecimiento volumen con corteza en función de N años:

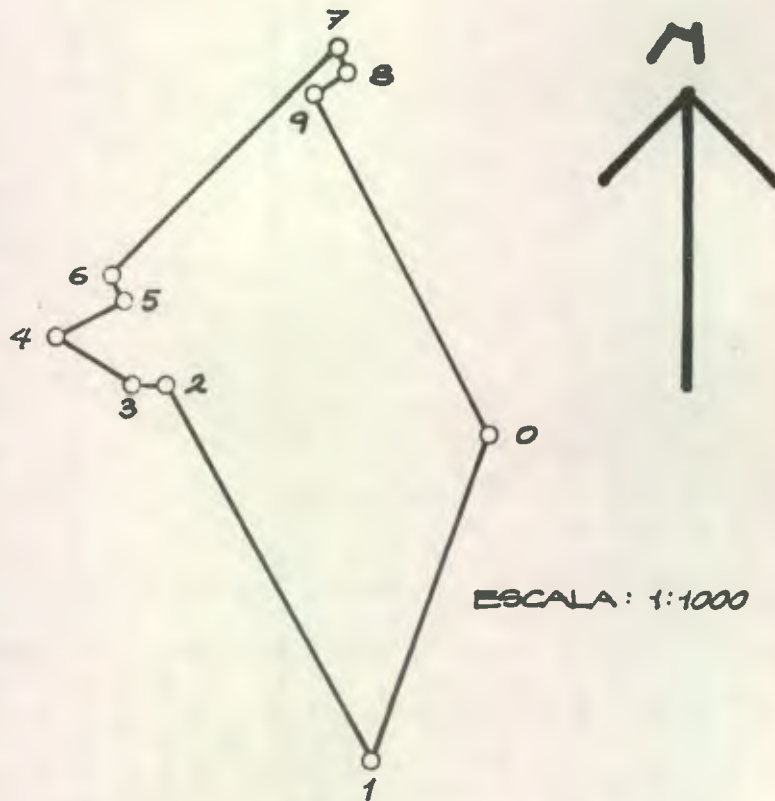
$$\begin{aligned} \text{Tasa} = & [(\text{Ln}(1+10.5742N^{-1.1167})/1)+(-11.81N^{-1.1167}+... \\ & ...+17.72N^{-2.1167})/(1+10.5742N^{-1.1167})]*... \\ & ...*[1.7449(1+10.5742N^{-1.1167})^{(N-1.5)}] \end{aligned}$$

MAPA 2 : PLANTACION EFECTUADA LA TERCERA SEMANA DE SEPTIEMBRE DE 1985. A EN MAPA 1



EST	FO	FUMBO	DH	YT	XT
1	2	N 6° 0	5.0000	4.9726	-0.5226
2	3	N 4°-30' E	8.1000	13.0476	0.1129
3	4	90° E	7.9500	13.0476	8.0629
4	5	N 20°-30' E	8.7500	21.2435	11.1272
5	6	N 69° E	9.8000	24.7555	20.2763
6	7	S 18° E	2.1500	22.7107	20.9407
7	8	N 55° E	9.9500	28.4178	29.0913
8	9	N 8°-30' 0	10.3500	38.6541	27.5615
9	10	N 20°-30' 0	5.6000	43.8995	25.6003
10	11	N 2°-30' 0	5.2000	49.0946	25.3735
11	12	N 33°-30' E	1.6700	50.4872	26.2952
12	13	N 23°-30' 0	10.8500	60.4373	21.9688
13	14	N 8° 0	3.7000	64.1013	21.4539
14	15	N 67° 0	2.8500	65.2149	-18.8305
15	16	N 75° 0	12.3700	68.4165	6.8820
16	17	N 89° 0	12.8200	68.6402	-5.9360
17	18	S 48° E	4.6500	65.5287	-2.4804
18	19	S 39° 0	5.4000	61.3321	-5.8787
19	20	S 1° E	3.4500	57.8826	-5.8185
20	21	S 1° E	7.1000	50.7837	-5.6946
21	22	S 79° 0	6.2000	49.6007	-11.7807
22	23	S 6° 0	3.3500	46.2691	-12.1309
23	24	S 73°-30' 0	6.9000	44.3094	-18.7468
24	25	S 30°-30' E	6.4000	38.7950	-15.4986
25	26	S 21° E	1.8000	37.1146	-14.8535
26	27	S 0°	9.4000	27.7146	-14.8535
27	28	S 21° 0	4.4000	23.6068	-16.4303
28	29	S 18°-30' 0	4.6000	19.2445	-17.8899
29	30	S 61° 0	10.2000	14.2994	-26.8110
30	31	S 12° 0	2.0200	12.3236	-27.2310
31	32	S 23° E	4.2000	8.4575	-25.5899
32	33	S 11° 0	9.5500	-0.9170	-27.4121
33	34	S 80° E	1.8500	-1.2382	-25.5902
34	35	S 17°-30' E	5.0300	-6.0354	-24.0776
35	1	N 75°-55' 40.54' 0	24.8225	0.0000	0.0000

MAPA 3: PLANTACION EFECTUADA EN LA PRIMERA QUINCENA DE SEPTIEMBRE DE 1987. B EN MAPA 1

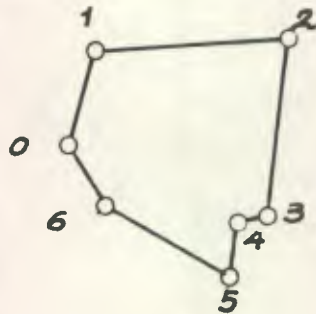


AREA: 2126.9474 M²

EST	PO	RUMBO	DH	YT	XT
0	1	S 20° 0	44.0855	-31.4004	17.0490
1	2	N 29°-1'-54°O	54.9126	16.6126	- 9.5996
2	3	N 88° 0	5.2000	16.7941	-14.7964
3	4	N 55°-23'-52°O	6.8448	23.6389	-24.7177
4	5	N 69° E	9.8500	27.1688	-15.5219
5	6	N 33° 0	2.9000	29.6009	-17.1019
6	7	N 44°-17'-34°E	41.7278	59.4688	12.0382
7	8	S 21°-30'E	3.7500	55.9797	13.4126
8	9	S 61°-30'O	5.0500	53.5700	8.9746
9	0	S 28° E	49.3162	10.0264	32.1271

FUENTE: ELABORACION DEL AUTOR

MAPA 4: PLANTACION EFECTUADA EL 16 DE SEPTIEMBRE 1989
 C E H MAPA 1



ESCALA: 1:1000

AREA: 616.82 46 m²

EST	PO	RUMBO	DH	YT	XT
0	1	N16°-3'-58" E	12.1457	12.0026	3.4567
1	2	N86°-16'-39" E	25.4510	13.6550	28.8540
2	3	S6°-2'-42" O	22.7260	-8.9446	26.4608
3	4	S83°-0'-38" O	4.2132	-9.4573	22.2789
4	5	S6°-58'-32" O	7.5045	-16.9063	21.3675
5	6	N61°-38'-56" O	18.9547	-7.9052	4.6863
6	0	N30°-37'-47" O	9.1868	0.0000	0.0000

FUENTE: ELABORACION DEL AUTOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

Ref. Sem. 053-92

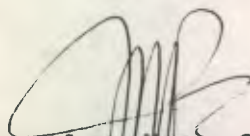
LA TESIS TITULADA: "DETERMINACION DE LA EDAD Y TASA DE CRECIMIENTO DE Rhizophora mangle L. POR MEDIO DEL ESTUDIO ANATOMICO DE LA MADERA EN LOS ESTEROS DE SAN JOSE CHURIRIN, MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ"

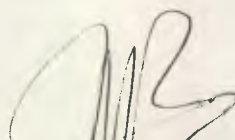
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MARTIN SALVADOR SANCHEZ

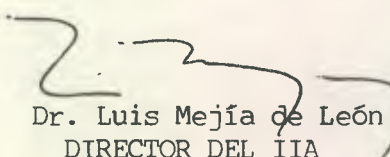
CARNET No: 81-12056

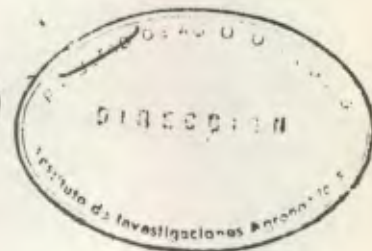
HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Negli Gallardo
Ing. Agr. Mario Véliz

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

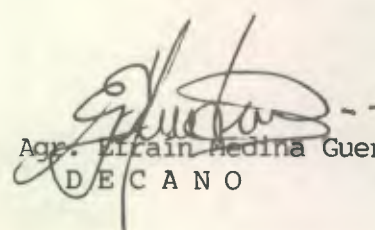

Ing. Agr. Mynor Otzoy
A S E S O R


Ing. Agr. Juan González
A S E S O R


Dr. Luis Mejía de León
DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A S E


Ing. Agr. Eirain Medina Guerra
D E C A N O

c.c. Control Académico
Archivo