

S238

38
(S) **irectrices para la ordenación
e los manglares**

No. 117
C.2 FOL

117



Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación

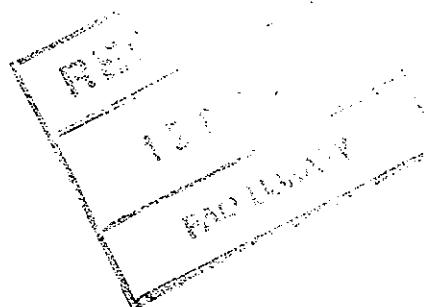


Directrices para la ordenación de los manglares

**ESTUDIO FAO
MONTES**

117

**Subdirección de Desarrollo de Recursos Forestales
Dirección de Recursos Forestales
Departamento de Montes**



**Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación**



Santiago, 1994

Foto de la portada: Manglar natural maduro, Ma-swar,
Sierra Leona (Foto de M.L. Wilkie)

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

M-36
ISBN 93-5-303445-9

Reservados todos los derechos. No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en cualquier forma o por cualquier procedimiento (electrónico, mecánico, fotocopia, etc.), sin autorización previa del titular de los derechos de autor. Las peticiones para tal autorización, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse al Director de Publicaciones, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

PROLOGO

Los manglares son ecosistemas muy singulares. Como fuente de recursos renovables, ningún otro les aventaja en cuanto a productividad natural y a la extensa variedad de bienes y servicios que proporcionan con carácter permanente. El potencial económico de los manglares procede de tres fuentes principales: productos forestales, pesca estuarina y litoral y ecoturismo. Además, los manglares desempeñan un papel fundamental en la protección costera y en el mantenimiento de hábitats para una gran variedad de especies corrientes, amenazadas y en peligro de extinción.

Debido a las presiones de las poblaciones en aumento, que motivan cambios en el uso de las tierras y la sobreexplotación de los recursos, los manglares se están agotando y degradando rápidamente. Es necesario encontrar el equilibrio entre la atención de las crecientes necesidades actuales, por una parte, y la conservación del sistema de apoyo ambiental que proporcionan los manglares, por otra.

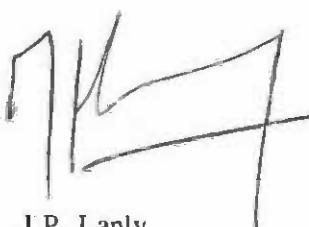
El conocimiento creciente de las funciones protectoras, productivas y socioeconómicas de los ecosistemas tropicales de manglar y de las consecuencias de su deterioro, ha puesto de manifiesto la necesidad de la conservación y ordenación integrada y sostenible de estos valiosos recursos. Teniendo en cuenta su potencial de uso múltiple, es imperativo emprender la ordenación de los ecosistemas terrestres y acuáticos basados en el manglar, en el contexto de la planificación integrada de la ordenación de las áreas costeras.

En muchos países no se dispone aún de una gran parte de la información básica necesaria para el desarrollo y ejecución de los planes de ordenación de los manglares. Estas directrices contienen una síntesis de los sistemas de ordenación de manglares que han sido desarrollados y aplicados con éxito en una serie de países y regiones, y examinan las experiencias obtenidas y las lecciones aprendidas.

Las directrices se centran específicamente en la ordenación de los recursos forestales contenidos en el ecosistema de manglar, incluyendo productos forestales madereros y no madereros. Se incluye un capítulo sobre la ecología del manglar, a fin de asegurar el conocimiento adecuado de la dinámica de estos ecosistemas, como base para su conservación y utilización sostenible.

Las directrices contienen también capítulos sobre inventario y evaluación de los recursos de los manglares y sobre los usos tradicionales y potenciales de los productos que proporcionan. Finalmente, se analiza la evaluación del impacto ambiental y se aportan conclusiones y recomendaciones como resumen del contenido del documento.

Se confía en que estas directrices contribuyan a un mejor conocimiento del ecosistema de los manglares y de los recursos naturales renovables que contienen y que ayuden al desarrollo y ejecución de planes integrados de ordenación para el uso múltiple, a fin de garantizar la sostenibilidad de estos recursos, en la actualidad y en el futuro.



J.P. Lanly

Director

Dirección de Recursos Forestales

AGRADECIMIENTOS

En este estudio sobre la ordenación de los manglares, la sección sobre Evaluación de los Recursos de Manglar está basada en el Manual sobre Cartografiado e Inventariación de Manglares, preparado por el Sr. D. Benessalah y publicado en 1988 como borrador de un documento del Departamento de Montes de la FAO (FO:MISC/88/1). La mayor parte de la información contenida en las secciones sobre Bases Ecológicas para la Planificación de la Ordenación de Manglares; Usos Tradicionales y Potenciales de los Recursos de Manglar; y Ordenación Sostenible de los Recursos, fue proporcionada por el Sr. P.W. Chong en un estudio preparado por la FAO en 1993. El Sr. M.Z. Hussain, de la UICN, elaboró el estudio de un caso sobre Ordenación para el Uso Múltiple del Bosque de Sundarbans de Bangladesh. El Sr. J. Troensegaard contribuyó al capítulo sobre Impactos Ambientales de la Ordenación de Manglares y aportó valiosos comentarios sobre el primer borrador de este documento. La Sra. M. Loyche Wilkie conformó los estudios y comentarios anteriores para la elaboración de esta síntesis. El Sr. F. Barrientos hizo la traducción al español de la versión original en inglés. La edición final la realizó el Sr. P. Vantomme. La impresión y la distribución de la versión española fueron realizadas bajo la coordinación del Sr. T. Frisk de la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe en Santiago, Chile. La FAO está muy agradecida a los autores anteriores y a las numerosas personas e instituciones que proporcionaron la información básica contenida en este documento.

La FAO agradece sinceramente al "Programa Forestal Tropical" del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los EEUU, por su apoyo a la publicación de este documento.

INDICE

GLOSARIO	xxvii
LISTA DE FACTORES DE CONVERSION	xx
ABREVIATURAS	xx
RESUMEN	xxi
I. INTRODUCCION	
PARTE I. BASES ECOLOGICAS PARA LA PLANIFICACION DE LA ORDENACION DE MANGLAres	5
2. ECOSISTEMA DE MANGLAR	5
2.1. DEFINICION DE LOS MANGLAres	5
2.1.1. Composición florística	5
2.1.2. Taxonomía de los manglares	6
2.2. BIOGEOGRAFIA	6
2.3. ECOLOGIA DE LOS MANGLAres	11
2.4. CLIMA	13
2.4.1. Temperatura	13
2.4.2. Vientos y tormentas	13
2.4.3. Precipitaciones	14
2.4.4. Zonas de Vida	14
2.5. FACTORES EDAFICOS	15
2.5.1. Geomorfología de los manglares	15
2.5.2. Salinidad	22
2.5.3. Otros factores edáficos	24
2.6. VEGETACION DE LOS MANGLAres	26
2.6.1. Formaciones y comunidades vegetales	26
2.6.2. Zonificación e inundación	27
2.6.3. Aspectos ecológicos de la sucesión	32
2.7. FAUNA DE LOS MANGLAres	35
2.7.1. Fauna silvestre	35
2.7.2. Avifauna	38
2.7.3. Recursos acuáticos	38
2.8. RELACIONES TROFICAS EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR	40
2.8.1. Tejido alimentario	40
2.8.2. Producción principal de madera	42
2.8.3. Producción secundaria	43
2.8.4. Especies fundamentales	44
2.8.5. Consecuencias para la ordenación	45
PARTE II. USOS TRADICIONALES Y POTENCIALES DE LOS MANGLAres	48
3. UTILIZACION DE LOS MANGLAres	48
3.1. PRODUCTOS Y SERVICIOS BASADOS EN EL MANGLAR	48
3.2. UTILIZACION DE PRODUCTOS MADEREROS	50
3.2.1. Madera de construcción	51
3.2.2. Carbón vegetal	52

3.2.3.	Leña	57
3.2.4.	Estacas y postes para la pesca	60
3.2.5.	Pulpa	60
3.2.6.	Tanino	60
3.3.	UTILIZACION DE RECURSOS NO MADEREROS	61
3.3.1.	Palmera Nipa	62
3.3.2.	Apicultura	64
3.3.3.	Fauna silvestre	66
3.3.4.	Pesca de captura	67
3.3.5.	Acuicultura marina	71
3.3.6.	Producción de sal	77
3.3.7.	Agricultura en suelos de manglar	79
3.4.	SERVICIOS PROPORCIONADOS POR LOS MANGLARES	83
3.4.1.	Protección costera	83
3.4.2.	Recreación y ecoturismo	85
3.5.	INTEGRACION DE USOS	87
3.5.1.	Planificación integrada de las áreas costeras	87
3.5.2.	Problemas de uso del suelo y conservación	88
3.6.	VALOR SOCIOECONOMICO DE LOS MANGLARES	92
PARTE III. EVALUACION DE LOS RECURSOS DEL MANGLAR		94
4.	NECESIDADES DE INFORMACION	94
4.1.	NIVELES DE PLANIFICACION	95
4.1.1.	Planificación del uso de las tierras	95
4.1.2.	Planificación forestal	97
4.1.3.	Seguimiento y evaluación	98
4.2.	OBTENCION DE LA INFORMACION NECESARIA	98
5.	UTILIZACION DE LA TELEDETECCION EN LOS MANGLARES	100
5.1.	ELECCION DEL SENSOR	101
5.1.1.	Aplicación de la fotografía aérea a las áreas de manglar	102
5.1.2.	Aplicación de las imágenes satélite a las áreas de manglar	106
5.1.3.	Aplicación de las imágenes de radar a las áreas de manglar	111
5.1.4.	Comparación entre los principales sensores	115
6.	PLANIFICACION Y EJECUCION DE ESTUDIOS FORESTALES EN AREAS DE MANGLAR	118
6.1.	CLASIFICACION DE LOS MANGLARES	119
6.2.	DISEÑO DE LOS ESTUDIOS	122
6.2.1.	Estudios a nivel nacional	123
6.2.2.	Estudios de ordenación forestal	127
6.2.3.	Estudios a nivel operativo	132
6.3.	CARTOGRAFIA DE MANGLARES	132
6.4.	ESTIMACION DE SUPERFICIES	133
7.	EVALUACION DE RECURSOS E INVENTARIOS FORESTALES DE LOS MANGLARES	139

7.1.	EVALUACION DE RECURSOS FORESTALES EN LAS ZONAS DE ANGLAR	139
7.1.1.	Estimación de volúmenes a partir de imágenes de teledetección	139
7.1.2.	Estimación de volúmenes con muestreo de campo limitado	141
7.2.	INVENTARIOS FORESTALES DE MANGLARES	141
7.2.1.	Diseños de muestreo	141
7.2.2.	Intensidad del muestreo	145
7.2.3.	Forma y tamaño de la unidad de muestreo	146
7.2.4.	Inventario forestal continuo (IFC)	147
7.3.	DASOMETRIA DE LOS MANGLARES	148
7.3.1.	Mediciones de las características de los árboles	148
7.3.2.	Determinación del volumen	149
7.3.3.	Determinación del crecimiento	150
7.4.	PRESENTACION DE LOS RESULTADOS	150
PARTE IV.	ORDENACION SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS	154
8.	PRINCIPIOS Y POLITICAS DE PLANIFICACION DE LOS RECURSOS ATURALES	154
8.1.	PLANIFICACION PARA LA ORDENACION DEL USO MULTIPLE	154
8.2.	OFERTA Y DEMANDA	155
8.3.	PARTICIPACION DE LA POBLACION	155
8.4.	MARCO POLITICO	156
8.5.	PRINCIPIOS DE LA PLANIFICACION	156
9.	PLANIFICACION DE LA ORDENACION DE MANGLARES	160
9.1.	PRINCIPALES PASOS DE LA PLANIFICACION	160
9.2.	DEFINICION DEL AREA DE ORDENACION Y DE LA DURACION DEL PLAN	162
9.3.	RECOLECCION DE INFORMACION BASICA	163
9.3.1.	Tipos de datos	163
9.3.2.	Datos sobre recursos	163
9.3.3.	Datos operativos	163
9.3.4.	Datos sobre utilización	164
9.3.5.	Datos socioeconómicos	164
9.3.6.	Datos institucionales	165
9.4.	METAS Y OBJETIVOS DE LA ORDENACION	165
9.5.	ESTRATEGIA DEL PLAN	168
9.6.	CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ECOSISTEMA	169
9.7.	DIVISION DEL AREA	170
9.8.	ELABORACION DEL PLAN DE TRABAJOS	171
10.	SELVICULTURA DE LOS MANGLARES	172
10.1.	ELECCION DEL SISTEMA SELVICOLA	172
10.1.1.	Sistemas de cortas a hecho	172
10.1.2.	Sistemas de entresaca	176
10.1.3.	Sistemas de aclareos sucesivos	177
10.2.	ELECCION DE ESPECIES	177
10.3.	REGENERACION NATURAL	178
10.3.1.	Origen de la semilla en la regeneración natural	178
10.3.2.	Retención de resalvos (portadores de semilla)	179
10.4.	ESPESURA DE LA REGENERACION	179

10.4.1.	Regeneración inadecuada	180
10.4.2.	Clases de regeneración	180
10.4.3.	Normas sobre densidad suficiente de la regeneración	180
10.4.4.	Muestreo de regeneración lineal	181
10.4.5.	Re poblado efectivo	181
10.5.	REGENERACION ARTIFICIAL	182
10.5.1.	Fenología	182
10.5.2.	Recolección de propágulos	184
10.5.3.	Preparación de la estación	184
10.5.4.	Operaciones de vivero	184
10.5.5.	Plantación	184
10.5.6.	Forestación de ciénagas de formación reciente	186
10.5.7.	Reforestación de áreas degradadas	188
10.5.8.	Reposición de marras	189
10.6.	CONTROL DE MALAS HIERBAS	189
10.7.	CONTROL DE ENFERMEDADES Y PLAGAS	189
10.8.	ACLAREOS	192
10.9.	ELECCION DEL TURNO	192
10.9.1.	Elección del tipo de turno	194
10.10.	AREAS DE CONSERVACION Y PROTECCION	195
10.10.1.	Biodiversidad genética	195
10.10.2.	Control de la erosión	195
10.10.3.	Avifauna	195
10.10.4.	Otras especies de fauna silvestre	195
10.10.5.	Pesca	196
10.10.6.	Recreación y educación	196
11.	LA PRODUCCION Y SU REGULACION	198
11.1.	ESTIMACION DE LA PRODUCCION	198
11.1.1.	Tasas de crecimiento	198
11.1.2.	Rendimiento y producción	199
11.1.3.	Área efectiva de explotación maderera	201
11.1.4.	Estimación de la mezcla de productos	201
11.2.	Regulación del rendimiento forestal	202
11.2.1.	Determinación de la corta anual	202
11.2.2.	Regulación de masas coetáneas	204
11.2.3.	Regulación de masas irregulares	205
11.2.4.	Control de aprovechamientos	205
12.	APROVECHAMIENTO Y EXTRACCION DE MADERA DE LOS MANGLARES	207
12.1.	PLAN DE CORTAS	207
12.1.1.	Fajas de corta	207
12.2.	ELECCION DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO	208
12.2.1.	Método de la carretilla	209
12.2.2.	Tranvía forestal	209
12.2.3.	Canales	209
12.2.4.	Sistema de cable de tiro alto	214
12.2.5.	Cabrestante portátil	214
12.2.6.	Extracción manual	215
12.3.	Daños de la explotación maderera	215
13.	EJECUCION DEL PLAN, SEGUIMIENTO Y EVALUACION	216
13.1	Plan de trabajos	216

	xi	
13.2.	Seguimiento del Plan	217
13.2.1.	Registros a mantener	217
13.2.2.	Supervisión y control	217
13.2.3.	Costos e ingresos	218
13.3.	EVALUACION Y REVISION DEL PLAN	219
14.	IMPACTOS AMBIENTALES DE LA ORDENACION DE MANGLARES	220
14.1.	PROBLEMAS AMBIENTALES	220
14.2.	LAS ACTIVIDADES DE ORDENACION Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES	220
15.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	223
15.1.	POLITICA Y LEGISLACION FORESTAL	223
15.1.1.	Política de utilización de tierras	223
15.1.2.	Concepto del uso múltiple	223
15.1.3.	Legislación	224
15.2.	INVENTARIO DE RECURSOS	224
15.3.	ESTABLECIMIENTO DE RESERVAS PERMANENTES DE MANGLAR	224
15.3.1.	Clasificación en categorías de uso forestal	225
15.3.2.	Tenencia y usufructo de las tierras	225
15.4.	SERVICIO FORESTAL	225
15.4.1.	Asistencia técnica internacional	225
15.5.	ORDENACION, SELVICULTURA Y UTILIZACION	226
15.6.	ASPECTOS SOCIOECONOMICOS Y FINANCIEROS	227
15.7.	SELVICULTURA, SOCIAL, EXTENSION Y DEMOSTRACION	227
15.8.	INVESTIGACION APLICADA	227
15.8.1.	Investigación sobre impactos ambientales	228
15.8.2.	Estudios socioeconómicos	228
15.8.3.	Demanda de los productos del manglar	228
15.8.4.	Evaluación de las políticas y programas de ordenación de manglares	228
15.8.5.	Estudios ecológicos y selvícolas	228
15.8.6.	Zonificación y clasificación de estaciones	229
15.9.	CONSERVACION, FAUNA SILVESTRE Y TURISMO	229
	ESTUDIOS DE CASOS	230
1.	EJEMPLO DE UN ESTUDIO CARTOGRAFICO DE MANGLARES EN TAILANDIA	234
2.	EJEMPLO DE ESTUDIO E INVENTARIO PARA LA ORDENACION DE MANGLARES EN VENEZUELA	238
3.	INVENTARIO FORESTAL EN GRAN ESCALA DE LOS SUNDARBANS DE BANGLADESH	241
4.	INVENTARIO EN PEQUEÑA ESCALA DEL AREA DE MANGLARES DE MASWAR, SIERRA LEONA	245
5.	CONSTRUCCION DE UNA TABLA LOCAL DE VOLUMENES EN SIERRA LEONA	248
6.	ORDENACION PARA EL USO MULTIPLE DEL BOSQUE DE SUNDARBANS DE BANGLADESH	255
	APENDICES	279
A.1.	CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS SOPORTES DE INFORMACION DE	

LA TELEDETECCION	283
A.2. METODOS DE FOTOINTERPRETACION	291
A.3. RECOPILACION DE MAPAS Y MOSAICOS	300
A.4. DISEÑOS DE MUESTREO PARA ESTUDIOS, EVALUACION DE RECURSOS E INVENTARIOS FORESTALES	309
A.5. EJEMPLOS DE REGRESIONES DE VOLUMEN PARA ESPECIES SELECCIONADAS DE MANGLAR	317
BIBLIOGRAFIA	325

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 2.1. Número de especies de los manglares
Cuadro 2.2. Lista mundial de especies de los manglares
Cuadro 2.3. Superficies aproximadas de manglar en diversos países
Cuadro 2.4. Escenarios del calentamiento mundial
Cuadro 2.5. Efecto de la salinidad en el crecimiento máximo de los manglares
Cuadro 2.6. Relación salinidad/crecimiento para el camarón penaeido
Cuadro 2.7. Clases de inundación de acuerdo con la clasificación de Watson y De Hann
Cuadro 2.8. Existencia de especies del Nuevo y del Viejo Mundo, según las clases de inundación
Cuadro 2.9. Biomasa aérea de la *Rhizophora apiculata*
- Cuadro 3.1. Productos basados en el manglar
Cuadro 3.2. Densidad de la madera de especies seleccionadas
Cuadro 3.3. Rendimiento en carbón de especies seleccionadas
Cuadro 3.4. Consumo de madera verde y producción de carbón vegetal por hornada
Cuadro 3.5. Relaciones leña/pescado en el ahumado de pescado - Sierra Leona
Cuadro 3.6. Valor calorífico de especies elegidas del manglar
Cuadro 3.7. Producción de pesca de captura en relación con los manglares
Cuadro 3.8. Sistemas de cultivo de arroz
- Cuadro 4.1. Ejemplos de las necesidades de información para distintos niveles de planificación
- Cuadro 5.1. Fotointerpretación comparativa de fotografía panorámica y de imágenes SIR-A
Cuadro 5.2. Ventajas relativas a los sensores más importantes
- Cuadro 6.1. Importancia relativa de los elementos de un estudio forestal de manglares
Cuadro 6.2. Influencia del nivel de las mareas sobre el recubrimiento con fotografía aérea
Cuadro 6.3. Tipos de información y requisitos de escala cartográfica para distintos niveles de aplicación
- Cuadro 7.1. Porcentaje del volumen total de corteza de árboles de *Rhizophora mangle/R. harrisonii* de diferentes clases diamétricas
Cuadro 7.2. Tabla de existencias de *Rhizophoras/Pellicera rhizophorae*
- Cuadro 8.1. Niveles y responsabilidades de planificación de la ordenación forestal
- Cuadro 10.1. Densidad media de masa y tasa de mortalidad para la *Rhizophora apiculata*
- Cuadro 10.2. Densidad mínima de regeneración de brizales para distintos tamaños de cuadrado de muestreo (CRI)
- Cuadro 11.1. Tasas de crecimiento diamétrico de árboles de *R. apiculata* por clases diamétricas (1920-81)
Cuadro 11.2. Incremento diamétrico de *R. apiculata* según clases de copa, en Pulau Kecil
Cuadro 11.3. Incrementos del DAP (con corteza) para *Rhizophoras* en zonas puras y mezcladas a lo largo de la costa Norte del Pacífico, Costa Rica
Cuadro 11.4. Volumen en m³/ha por clases diamétricas, Playa Garza, Costa Rica
- Cuadro 11.5. Crecimiento y rendimiento de plantaciones de *Rhizophora apiculata* de diferentes edades y estaciones en Yeesarn, provincia de Samut Songkram, Tailandia

- Cuadro 11.6. Especificaciones generales para productos seleccionados basados en el manglar, en Costa Rica
- Cuadro 11.7. Gama estimada de productos basada en clases diamétricas y altura comercial (10 cm. con corteza)
- Cuadro 12.2. Costes comparativos de arrastre utilizando métodos manuales y con cabrestante

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 2.1. *Rhizophora apiculata* con propágulos maduros
- Fig. 2.2. *Nypa fruticans* con frutos
- Fig. 2.3. *Avicennia africana* con neumatóforos
- Fig. 2.4. *Bruguiera gymnorhiza* con flores
- Fig. 2.5. Distribución general de los manglares
- Fig. 2.6. Representación esquemática de un estuario teórico - laguna costera
- Fig. 2.7. Distribución de los tipos de mareas en el sudeste de Asia
- Fig. 2.8. Tipos de comunidades de manglar
- Fig. 2.9. Cambios de la vegetación y valor medio de las propiedades del agua (corte transversal), a distintas distancias del curso del agua, en Tailandia
- Fig. 2.10. Mono de trompa alimentándose con propágulos de *Rhizophora*
- Fig. 2.11. El ciervo moteado (*Axis axis*) de los Sundarbans
- Fig. 2.12. El cocodrilo de agua salada (*Crocodylus porosus*) de Indonesia
- Fig. 2.13. Chorlito grande de los arenales
- Fig. 2.14. Red alimentaria general de un ecosistema de manglar
- Fig. 2.15. Interacciones ecológicas entre diversos usos de las tierras y actividades económicas en áreas de manglar
- Fig. 3.1. Horno de fábrica para la elaboración de carbón vegetal en Indonesia
- Fig. 3.2. Elaboración de carbón mediante el método del montón de tierra en Guanal, Cuba
- Fig. 3.3. Leña de *Rhizophora* atada con raíces de sostén del manglar, rajadas
- Fig. 3.4. Recogida de corteza en el sur de Vietnam
- Fig. 3.5. Recolección de hojas de *Nypa* en los Sundarbans, Bangladesh
- Fig. 3.6. Tejemaniles (Atap) hechos con hojas de *Nypa* en Sumatra, Indonesia
- Fig. 3.7. Colmena de corteza colocada en un árbol, en África
- Fig. 3.8. Tortuga marina verde
- Fig. 3.9. Colocación de trampas de pesca tradicionales en Matang, Malasia
- Fig. 3.10. Carga de un bote con berberechos sanguinos
- Fig. 3.11. Cultivo en jaulas, Matang, Malasia
- Fig. 3.12. Cultivo de ostras junto al arroyo de un manglar, Sierra Leona
- Fig. 3.14. Desmonte de una zona de manglar para el establecimiento de estanques de camarón, Malasia
- Fig. 3.15. Vigilancia de la producción de camarón, Malasia
- Fig. 3.16. Terrenos adecuados para la construcción de estanques, en relación con las elevaciones de las mareas, en Filipinas
- Fig. 3.17. Lavado del suelo del manglar con agua salada, Sierra Leona
- Fig. 3.18. Ebullición de la solución de salmuera, en grandes bandejas, Sierra Leona
- Fig. 3.19. Efecto de los caminos sobre los manglares, Cuba
- Fig. 3.20. Modelo de cultivo camarones-árboles
- Fig. 5.1. & Fig. 5.2 Fotografías aéreas que muestran varios tipos de vegetación de manglar de México

- Fig. 5.3. Fotos aéreas en color IR que muestran varios tipos de vegetación de manglar
 Fig. 5.4. & Ejemplos de imágenes SME Landsat de áreas de manglar
 Fig. 5.5.
 Fig. 5.6. Composición en falso color de una imagen SPOT después de una correlación de bandas
 Fig. 5.7. Composición en color de una imagen SPOT y croquis correspondiente que muestra las principales especies de manglar
 Fig. 5.8. Composición en color y mapa con plantaciones de manglar
 Fig. 5.9. Foto aérea que muestra una cubierta de nubes sobre un área de manglar
 Fig. 5.10. Imagen de radar de la zona costera de Colombia
 Fig. 5.11. Imagen de radar en la que aparecen formaciones de manglar
 Fig. 5.12. Imagen en blanco y negro del Radar Shuttle Imaging (SIR-B)
 Fig. 5.13. Composición realizada en color, de una imagen radar SIR-B
- Fig. 6.1. Estereograma que muestra los tipos de manglar
 Fig. 6.2. Mapa de uso del suelo, de pequeña escala, basado en la clasificación digital de una imagen Landsat, con un proceso de filtrado
 Fig. 6.3. Mapa de uso del suelo y tipos forestales, de escala media, basado en una imagen SPOT
 Fig. 6.4. Mapa de ordenación de manglares, de gran escala, que muestra los tramos y las áreas de explotación maderera
- Fig. 7.1. Ejemplo de trazado sistemático en fajas
 Fig. 7.2. Ejemplo de trazado en parcelas alineadas
 Fig. 7.3. Ejemplo de tabla de existencias para un "bosque normal"
 Fig. 10.1. Regeneración natural densa de *Rhizophora* spp.
 Fig. 10.2. Regeneración artificial de *Rhizophora apiculata*
 Fig. 10.3. Propágulos de *Rhizophora racemosa* listos para plantar
 Fig. 10.4. Vivero de manglar con *R. apiculata* y *B. gymnorhiza*
 Fig. 10.5. Plantación de manglares por escolares
 Fig. 10.6. *Rhizophora racemosa* a los dos años de la plantación
 Fig. 10.7. Área invadida de *Acrostichum* en Matang, Malasia
 Fig. 10.8. Defoliación de un rodal virgen de *R. racemosa*
 Fig. 10.9. Rodal de *Rhizophora apiculata* después del primer aclareo
 Fig. 10.10. Rodal maduro de *Rhizophora apiculata* listo para la corta final
 Fig. 10.11. "Reserva de Selva Virgen" de Matang, Malasia
 Fig. 10.12. Senderos sobre soportes
- Fig. 11.1. Historial de una masa regular
 Fig. 11.2. Historial de una masa irregular
- Fig. 12.1. Extracción de madera mediante carretilla
 Fig. 12.2. Carga de rollizos en una barca
 Fig. 12.3. Canal artificial de Guanal, Cuba

LISTA DE DIAGRAMAS

- 5.1. Requisitos de resolución y niveles de estudio
 6.1. Clasificación esquemática de las áreas de manglar
 6.2. Secuencia de un estudio cartográfico basado en (a) fotos aéreas y (b) imágenes satélite

LISTA DE RECUADROS

- Rec. 2.1. Proceso de formación de un delta
 Rec. 2.2. Problema del sulfato ácido
 Rec. 2.3. Los caimanes como especies fundamentales
- Rec. 3.1. Notas sobre una buena ordenación de colonias de abejas
 Rec. 3.2. Análisis económico de la transformación de manglares para agricultura en Fiji
 Rec. 3.3. La protección costera en Guyana
 Rec. 3.4. Protección de diques costeros mediante manglares en Vietnam
 Rec. 3.5. Directrices para la planificación del ecoturismo en los manglares
 Rec. 3.6. Integración de usos en los manglares de Vietnam
 Rec. 3.7. Valor socioeconómico de los manglares de Fiji
- Rec. 7.1. Determinación del volumen de corteza
- Rec. 9.1. Objetivos de la ordenación
 Rec. 9.2. Metas y objetivos de ordenación de la Empresa Forestal Dat Mui
 Rec. 9.3. Estrategia de planificación de una empresa forestal de Vietnam
 Rec. 9.4. Estrategia de planificación de los manglares de Sierpe-Terraba, de Costa Rica
 Rec. 9.5. Definición de un "bosque normal"
- Rec. 10.1. Sistemas selvícolas
 Rec. 10.2. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de cortas a hecho
 Rec. 10.3. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de entresaca
 Rec. 10.4. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de aclareos sucesivos
 Rec. 10.5. Ventajas e inconvenientes de la regeneración natural
 Rec. 10.6. Criterios para la selección de árboles semilleros (resalvos)
 Rec. 10.7. Clases de regeneración
 Rec. 10.8. Siembra aérea de manglares
- Rec. 11.1. Estimación de la mezcla de productos en Costa Rica
- Rec. 12.1. Directrices para la canalización con explosivos

GLOSARIO

Acuífero Capa de roca permeable, arena o grava, que absorbe agua y permite su paso libre por los espacios existentes en la roca. Cuando la roca subyacente es impermeable, el acuífero actúa como reserva de agua subterránea

Alóctono Correspondiente a habitantes procedentes del exterior (lo contrario de *Autóctono*)

Aluvión Material transportado en suspensión por los ríos y depositado en aguas lentas, fuera de la influencia de la corriente más rápida. Algunos de los suelos más肥的 del mundo son aluviales

Autóctono Correspondiente a habitantes originales.

Barna Aquella parte de la marisma más próxima al río y situada por encima del nivel principal de aquella, constituida por la acumulación de material de textura relativamente gruesa que se deposita cuando el río desborda sus márgenes

Bentos Comunidad de organismos que habitan en el lecho de una masa de agua

Biogeografía Estudio de la distribución de animales y vegetales

Biomasa arbórea Biomasa de la vegetación clasificada como arbórea, incluyendo follaje, tocones y raíces. (La FAO define un árbol como una planta leñosa que tiene un tronco principal que, cuando se desarrolla en condiciones normales, llega a una altura de madurez de 7 metros como mínimo)

Biomasa forestal Biomasa de árboles, arbustos y vegetación inferior, de un ecosistema forestal incluyendo su parte subterránea

Biomasa maderera Biomasa de la vegetación leñosa, como árboles y arbustos, incluyendo tocones y raíces.

Bosque de transformación Bosques destinados para transformación en agricultura (agrotransformación) u otro uso no forestal

Ciclo de cortas Intervalo entre cortas principales sucesivas en la misma superficie, bajo el sistema de entresaca.

Deforestación Desmonte de bosques y transformación de los terrenos para usos no forestales

Degradación (más corrientemente *Degradación forestal*). Procesos biológicos, químicos y físicos que se traducen en la pérdida de potencial productivo de los recursos naturales en áreas que siguen clasificadas como bosques. La degradación puede ser permanente, aunque algunos bosques se pueden recuperar naturalmente o con ayuda humana

Desarrollo sostenible Desarrollo que atiende las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades

Ecosistema Todo complejo de organismos vivos, junto con todos los demás factores bióticos y abióticos que les afectan, que se aísla para fines de estudio, p. ej. un ecosistema forestal es una parte de bosque que es uniforme en cuanto a clima, material progenitor, fisiografía, vegetación, suelos, fauna y microorganismos

Ecoturismo Turismo en la naturaleza (turismo de escaso impacto)

Edáfico Correspondiente al suelo.

Estrategia Exposición general, no específica, sobre un sistema para lograr las metas y objetivos deseados.

Evapotranspiración potencial Pérdida máxima posible de humedad del suelo, en unas condiciones climáticas dadas, por transpiración de las hojas de las plantas y por evaporación directa.

Externalidad Costo (o beneficio) de una actividad económica debido a una parte, que se impone (o se recibe) sin intencionalidad a otra parte, sin compensación (o pago), lo que produce ineficiencias en mercados competitivos.

Forestación Plantación de árboles en áreas deforestadas

Geomorfología Estudio del origen, evolución y configuración de las características naturales de la superficie terrestre.

Halofitas facultativas Plantas que habitan en suelos salinos pero no se limitan a éstos, en oposición a las *halofitas obligadas* que sólo prosperan cuando son elevados los niveles de sal en el suelo.

Litoral Correspondiente a la costa o sus proximidades. Región situada a lo largo de la costa, especialmente los terrenos situados entre los niveles de pleamar y bajamar.

Ordenación forestal sostenible Utilización de los bosques (incluyendo los recursos acuáticos de los manglares) sin poner en peligro su utilización por las generaciones actuales y futuras.

Planicie posterior Aquella parte de la marisma de un río, entre la barra de la desembocadura y la zona pantanosa posterior, que permanece normalmente inundada durante varios meses al año.

Planificación Determinación de las metas y objetivos de una empresa, y selección, mediante una consideración sistemática de alternativas, de las políticas, programas y procedimientos para lograrlos. Actividad dedicada a identificar, definir y determinar con claridad las líneas de acción antes de iniciarlas, necesaria para lograr las metas y objetivos determinados previamente.

Horizonte de la planificación Período de tiempo que se considera en el proceso de planificación.

Planificación del uso de las tierras Proceso mediante el cual se adoptan decisiones sobre el uso futuro de las tierras durante largos períodos de tiempo, con la idea del mejor servicio al bienestar general.

Productos forestales no madereros Productos forestales secundarios de carácter tangible, como frutos, nueces, carne de caza, pesca.

Reducción Disminución de la superficie o del volumen del bosque como resultado de la deforestación.

Servicios ambientales Funciones beneficiosas que desempeñan los ecosistemas forestales naturales, incluyendo el mantenimiento de la biodiversidad, la protección de los recursos de suelo y agua, la moderación del clima, la influencia sobre la lluvia, la captación del dióxido de carbono, la provisión de hábitat para la fauna y el mantenimiento del equilibrio natural de la tierra.

Sucesión de cortas Superficie forestal que constituye la totalidad o parte de un ciclo de trabajo (cuartel de ordenación) y que se delimita con el fin de (1) distribuir las cortas y la regeneración

ajustándose a las condiciones locales, y (2) mantener o crear una distribución normal de clases de edad.

Suelo hidromórfico Suelo cuyos efectos de mal drenaje es el principal factor que determina su morfología, dando lugar a la predominancia de colores de gley.

Tipo de cubierta (más corrientemente, *Tipo de cubierta forestal*) Término descriptivo utilizado para agrupar rodales de similares características y composición de especies (debido a determinados factores ecológicos) a fin de poder diferenciarlos de otros grupos de rodales.

Transformación Cambio de un sistema selvícola o especie, a otro.

Tronco Parte comercial del fuste desde la sección transversal del tocón hasta el límite comercial, que se define como el extremo de la copa o hasta un cierto diámetro en punta

Uso múltiple Espacialmente incluye tres ideas algo distintas: (1) usos diferentes en subáreas adyacentes que constituyen en conjunto un área compuesta de uso múltiple, (2) alternancia en el tiempo de diferentes usos en la misma superficie y (3) varios usos simultáneos en un área. En las dos primeras ideas está implícito el evitar la competencia directa entre dos usos, alternando en el espacio o en el tiempo. La última idea incluye el uso múltiple en el sentido de uso simultáneo de un espacio, debiendo interesarse por las actividades complementarias, frente a las conflictivas, y de usos compatibles e incompatibles.

Cuando en un momento dado se incluyen usos coincidentes en el espacio, se producen casi siempre conflictos entre los usuarios de los recursos, y por ello el concepto de tales formas de uso múltiple se debe interpretar de forma realista, como uso dominante, con usos secundarios integrados, siempre y cuando sean compatibles con el primero. Sin embargo, cuando la idea de incompatibilidad se refiere a la productividad económica máxima de un solo recurso, la ordenación y el uso múltiple se pueden evaluar quizás con baremos distintos al de la eficacia de la producción de un solo recurso.

Zona de amortiguación Zona periférica de un parque nacional o reserva equivalente, donde se imponen limitaciones en cuanto al uso de los recursos o se adoptan medidas especiales de desarrollo para favorecer el valor de conservación del área. (IUCN, 1991).

Zona fótica (denominada también *Zona eufótica*). Parte de la columna de agua en que existe luz suficiente para que se produzca la fotosíntesis. El límite inferior varía desde unos pocos metros en aguas estuarinas, que suelen contener una cantidad considerable de material en suspensión, a más de 100 metros en aguas oceánicas claras.

Zona pantanosa posterior La zona más baja de la marisma de un río, que experimenta una inundación prolongada

LISTA DE FACTORES DE CONVERSIÓN

1 acre (ac)	0,405 hectáreas.
1 metro cúbico (m³)	35,31 pies cúbicos
1 pie cúbico	0,028 metros cúbicos
1 cuerda de leña	3,625 metros cúbicos (apilados)
1 pikul	0,0605 toneladas
1 tonelada (t)	0,9842 toneladas largas

ABREVIATURAS

C.A.A.	Corta anual admisible
C.V.	Coeficiente de variación
C.C.A.	Crecimiento corriente anual (m ³ /ha/año)
d.ers	Diámetro por encima de las raíces de sostén (30 cm. por encima de la raíz de sostén más alta)
D.A.P./d.a.p.	Diámetro normal (a la altura del pecho) (1,3 m. sobre el nivel del terreno)
r.f.f.	Racimos de frutos frescos (Producción de palma de aceite)
U.I.C.N.	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (Unión Mundial para la Conservación)
L	Logaritmo en base natural "e"
C.M.A.	Crecimiento medio anual (m ³ /ha/año)
C.H.	Contenido de humedad (en porcentaje)
c.c.	Con corteza
p.p.m. ó ‰	por mil (partes por millar)
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

RESUMEN

La conciencia cada vez mayor sobre las funciones protectoras, productivas y sociales de los ecosistemas tropicales de manglar ha subrayado la necesidad de conservarlos y ordenarlos de forma sostenible. Teniendo en cuenta su potencial para el uso múltiple, es imperativo ordenar de forma integrada los recursos terrestres y acuáticos basados en el manglar. Esto representa que no se debe llevar al máximo la utilización de ningún recurso en particular, hasta el punto de afectar negativamente al potencial sostenible de otro recurso. El paradigma tradicional de la ordenación que supone que si los bosques están bien ordenados, los componentes no madereros del ecosistema permanecen ipso facto estables, es conceptualmente imperfecto. Los programas de ordenación de la pesca, los cultivos marinos y la fauna silvestre de los manglares, tienen que estructurarse e integrarse en la política general, realización y niveles de control de un sistema integrado de ordenación de recursos.

Estas directrices, aunque fomentan un método integrado de ordenación de las áreas costeras, para los ecosistemas de manglar, se centra en los aspectos de la ordenación forestal. Proporcionan una amplia síntesis de los sistemas de ordenación que se han practicado con éxito en el sudeste de Asia, y de las experiencias de la FAO en el fomento de la ordenación forestal sostenible en África, el Caribe, Centro América y otras zonas de manglares tropicales. El presente documento contempla la ordenación del manglar con una amplia perspectiva que va más allá de la simple producción de madera, y está organizado de la forma siguiente:

La Parte I se centra en los fundamentos ecológicos y biológicos para la planificación de la ordenación sostenible, dentro del marco del uso múltiple, incluyendo un breve análisis de la bibliografía de interés.

La Parte II trata del potencial para el uso múltiple de los manglares y analiza la utilización de ciertos productos seleccionados basados en el manglar. Se incluyen también aspectos de utilización y protección de las tierras.

La Parte III comprende la evaluación de los recursos forestales del manglar mediante el uso de la teledetección, estudios de campo, elaboración de cartografía e inventarios forestales, destacando aquellas áreas en que estas técnicas difieren de los sistemas tradicionales, debido a las características específicas de los manglares.

La Parte IV está dedicada a la aplicación de los recursos técnicos, de gestión, económicos y humanos, para ordenar y utilizar los recursos del manglar de forma sostenible a fin de atender las necesidades de la población y como herramienta del desarrollo rural, sin deteriorar el medio ambiente. Se trata de evaluar objetivamente los impactos ambientales de la ordenación forestal de los manglares. También se presentan unas conclusiones y recomendaciones.

Al final de este documento se incluyen cinco pequeños estudios de casos que tratan de diversos aspectos de la evaluación de los recursos de manglar, junto con un estudio más extenso del caso de la ordenación para el uso múltiple del bosque de Sundarbans, de Bangladesh.

Al estructurar una respuesta apropiada para ordenar de forma sostenible los ecosistemas de manglar, dentro del contexto integrado del uso múltiple, es necesario reconocer que hay todavía muchas lagunas y limitaciones de información. Estos inconvenientes no pueden considerarse como impedimentos para iniciar la ordenación de los manglares, porque se pueden obtener muchos conocimientos empíricos siguiendo y adaptando las experiencias obtenidas en otros países.

DIRECTRICES PARA LA ORDENACION DE LOS MANGLARES

1. INTRODUCCION

La formación de manglar es un regalo de la tierra y el mar. Los manglares dependen de las aguas terrestres y de las mareas para su nutrición y de los depósitos de acarreos procedentes de la erosión de las tierras altas como substrato de apoyo. Las mareas alimentan el bosque y los sedimentos ricos en minerales, acarreados por los ríos enriquecen la marisma. De este modo, los manglares obtienen su forma y nutrición como consecuencia de influencias marinas y terrestres.

El manglar es uno de los ecosistemas más productivos y un recurso natural renovable. Sin embargo, los manglares del mundo están siendo asediados por todas partes. Están perdiendo sus hábitats, porque se represan los ríos, se desvían sus aguas y la zona intermareal se desarrolla extensamente para la agricultura o la acuicultura y generalmente se desecca. Grandes áreas se transforman en campos de arroz, o para desarrollo industrial y territorial u otros usos no madereros. Como consecuencia del lucrativo comercio de exportación del camarón, una nueva clase de cultivadores pequeños y grandes están limpiando grandes áreas de marismas para el cultivo del camarón y la piscicultura. En ciertas partes de Asia el manglar alberga a millares de familias. Hay áreas de manglar que están siendo explotadas excesivamente para leña y para la elaboración de carbón. En áreas superpobladas y con déficit agudo de leña, se extraen incluso las ramas pequeñas y los arbolitos, sobre todo para combustible doméstico.

La reducción de los manglares es una causa de grave preocupación ambiental y económica para muchos países en desarrollo. Esto es debido a que en la interfase mar-tierra, los manglares desempeñan un papel fundamental para la moderación de las inundaciones de las mareas monzónicas y para la protección costera. Al propio tiempo, su producción principal sostiene numerosas formas de fauna silvestre y avifauna y también de pesca estuarina y litoral. En consecuencia, la continua degradación y reducción de este recurso fundamental, reducirá no sólo la producción terrestre y acuática y los hábitats de la fauna silvestre, sino lo que es más importante, se perjudicará gravemente la estabilidad ambiental de los bosques costeros que dan protección a los cultivos agrícolas y aldeas del interior.

La protección del hábitat es la finalidad esencial de la conservación, siendo secundario todo lo demás. Para los conservacionistas de todo el mundo, los manglares representan un gran y urgente desafío.

Técnicamente, los manglares son fáciles de manejar, en comparación con los bosques tropicales húmedos tan ricos en especies. Sólo hay, normalmente, un puñado de especies de manglar, muchas de las cuales rebrotan o se regeneran libremente. Sin embargo, mientras que el forestal de tierra firme se dedica principalmente a la ordenación de bosques que crecen en terreno estable y firme, en las marismas tiene que ordenar también recursos acuáticos en un substrato que está continuamente cambiando y es dinámico en el tiempo.

Teniendo en cuenta el potencial de uso múltiple de los ecosistemas de manglar y sus vinculaciones con el uso de los terrenos terrestres, es necesario un sistema integrado. Evidentemente, un sistema integrado de conservación y ordenación sostenible, considerando la debilidad de la base de datos informativa existente en la mayoría de los países, requerirá años de investigación. Los modernos sistemas de cultivo agrícola, basados en cultivos de alto rendimiento, han evolucionado durante siglos de investigaciones coordinadas en el campo.

La ordenación de manglares, es comparativamente, una ciencia relativamente reciente y, al contrario que la agricultura, trata de cultivos arbóreos a largo plazo, en lugar de cultivos alimenticios a corto plazo. La realidad económica y social de la mayoría de los países en desarrollo consiste simplemente en que los bosques no pueden conservarse si no se utilizan productivamente. Sin embargo, la mera utilización de un recurso no significa su ordenación. Por ello, es importante demostrar que existen alternativas de ordenación potencialmente viables para convencer a los responsables de las decisiones de que hay que impedir ciertas transformaciones y la destrucción del manglar hasta que se disponga de información más detallada y de confianza.

En apoyo de lo anterior, la Dirección de Recursos Forestales del Departamento de Montes de la FAO ha promovido por su parte y en cooperación con otros organismos de las Naciones Unidas, la celebración de seminarios y talleres sobre ordenación de los manglares, principalmente en América Central, El Caribe, África Occidental, y la región Asia-Pacífico. A través de los mecanismos del Programa de Cooperación Técnica, se han desarrollado modelos de ordenación forestal integrada en Cuba, Costa Rica, Vietnam y otros varios países. La FAO ha proporcionado también conocimientos técnicos sobre ordenación de manglares en su asistencia a países como Panamá, Guyana, Ecuador, Sierra Leona, Kenia, Bangladesh, Myanmar, Tailandia, Indonesia y Papua Nueva Guinea, por mencionar sólo algunos de ellos.

Se han ensayado diversos sistemas de ordenación con el fin de atender en cada lugar situaciones, prioridades y necesidades específicas. En Cuba, por ejemplo, la aguda escasez de traviesas de ferrocarril ha promovido el uso experimental de sistemas de cabrestantes portátiles, adaptados a las condiciones de trabajo en zonas pantanosas. El plan de ordenación incluye en este caso la ordenación del ecosistema, la producción de miel y también el empleo de mejores técnicas de carbonización. En Costa Rica, se ha introducido por primera vez un plan innovador de ordenación integrada para promover el uso múltiple de los recursos de moluscos, junto con la producción de corteza y de carbón vegetal. La restauración de la faja degradada de manglares costeros, para contener la intrusión del agua salada, constituye un importante elemento de apoyo técnico en Guyana, donde la mayor parte de las tierras agrícolas costeras están por debajo del nivel del mar. En Sierra Leona, la principal tarea consiste en restaurar la diversidad biológica y la productividad de los manglares explotados excesivamente, forestar las ciénagas degradadas y rehabilitar otras áreas costeras que han sufrido fuertes impactos humanos. En Bangladesh, se están realizando estudios en los Sundarbans para diseñar otros sistemas viables de ordenación, teniendo en cuenta la declinación natural o inducida por el hombre de las existencias productivas de Sundri (*Heritiera fomes*), junto con un sistema integrado de carácter multidisciplinar para diversificar y fomentar el potencial de uso múltiple de la zona, incluyendo la conservación del tigre real de Bengala, amenazado de extinción. En Myanmar, se ha iniciado un estudio de viabilidad, concentrado en ensayos de especies para repoblar los manglares degradados del delta del Ayeyarwady (Irrawaddy) y en la actualidad se está intentando un sistema de "monte bajo con resalvos" en lugar del sistema de cortas de entresaca. En la península de Ca Mau, del Sur de Vietnam, se ha promovido un modelo de cultivo de árboles y camarones como una opción para la utilización sostenible de las tierras, a fin de armonizar el uso competitivo de las zonas pantanosas sujetas a la influencia de las mareas, para la cría del camarón, por una parte, y para el mantenimiento de las funciones ecológicas y la producción de leña, por otra.

La experiencia indica que muchos ecosistemas degradados de manglar pueden recuperarse y se recuperan, después de actividades humanas intensivas y a veces catastróficas, como la destrucción masiva con herbicidas de los manglares que rodean la ciudad de Ho Chi Minh y los de la Península de Ca Mau del sur de Vietnam, durante el conflicto de Indochina. Sin embargo, el hecho de que los sistemas se recuperen después de una fuerte perturbación humana, no significa que sean reducidos los costos y las consecuencias socioeconómicas de tales impactos.

El hacer una estimación de las principales interrelaciones físico biológicas y de las interacciones de la ecología y el desarrollo humano, frente a las necesidades humanas existentes, es fundamental para la formulación de estrategias de ordenación acertadas, por cuyo motivo es crucial la participación de la población. En muchas situaciones, los problemas sociales son más difíciles de superar que los de carácter técnico. Los forestales son tradicionalmente conservadores y tienden a pensar en materia de ordenación, dentro de los estrechos límites territoriales de los bosques reservados, y en la aplicación a estos bosques de la ordenación basada en el rendimiento sostenido y, en consecuencia, sólo en las partes denominadas productivas. Las áreas de bosque productivo pueden constituir sólo una pequeña parte de la totalidad de la zona pantanosa sujeta a las mareas, que tiene muchas estaciones y nichos ecológicos, todos los cuales desempeñan una parte importante en el complejo ecológico general. En ningún lugar hay una necesidad tan crucial de adoptar un sistema ambiental holístico como en los ecosistemas de manglar, donde las influencias terrestres, costeras y humanas, son factores fundamentales de acción recíproca.

A menos que los forestales estén dispuestos a dar participación en su "dominio reservado de los manglares" a otros usuarios de los terrenos y a aceptar que en ciertos casos, otros profesionales no forestales, como biólogos o ecólogos marinos, pueden manejar el ecosistema del manglar mejor que ellos, será difícil aplicar un sistema integrado. En efecto, uno de los principales inconvenientes institucionales común a la mayoría de los proyectos integrados, es la débil o inexistente coordinación entre los diferentes usuarios de los terrenos y los organismos interesados. Una forma de aliviar este problema es la creación de un Comité Nacional de Manglares, que incluya a los ministerios y departamentos interesados, instituciones de investigación y enseñanza y ONGs, que se encargue del desarrollo y ejecución de planes integrados de ordenación de manglares y de su seguimiento y evaluación. En algunos países puede existir ya un organismo responsable de la ordenación integrada de las zonas costeras (OJAC) que podría desarrollar la tarea anterior, contando con asistencia adicional de especialistas en manglares.

Cuando la preocupación es ambiental, los datos necesarios no sólo deben ser suficientemente exhaustivos para cubrir todos los aspectos, sino que la forma de recogerlos y analizarlos debe ser integrada, mediante un sistema multidisciplinar, teniendo en cuenta la identificación y caracterización de las interrelaciones fundamentales. Un método conveniente para el diseño de planes integrados de ordenación de recursos y el uso sostenible de las tierras, es llevar a cabo estudios generales de recursos y usos de las tierras basados en unos buenos estudios de carácter ecológico y social. Las poblaciones son los protagonistas principales de cualquier plan. Su apoyo y contribución, desde el principio, son cruciales para la ejecución con éxito de un programa forestal con participación.

Estas directrices, aunque fomentan un método integrado de ordenación de las áreas costeras, para los ecosistemas de manglar, se centran en los aspectos de la ordenación forestal. Proporcionan una amplia síntesis de algunos sistemas seleccionados que se han aplicado, las experiencias obtenidas y lecciones aprendidas. No obstante, el presente documento contempla la ordenación del manglar desde una perspectiva general que va más allá de la simple producción de madera. La finalidad de esta perspectiva más amplia es destacar y promover sistemas de ordenación dirigidos a la ordenación ambientalmente sostenible para el uso múltiple, comprometida con el uso racional de las tierras y con una mayor responsabilidad en cuanto a las preocupaciones y necesidades de la población. Esto no significa que no sean válidos los paradigmas clásicos de la ordenación sino que deben modificarse como convenga para responder a unas mayores expectativas de la población y a los imperativos en favor de la ordenación ambiental sostenible que sobrepasa a la ordenación maderera sostenible.

Las directrices están dispuestas del modo siguiente:

La parte I se centra en los fundamentos ecológicos y biológicos para la planificación de la ordenación sostenible, dentro del marco del uso múltiple, incluyendo un breve análisis de la bibliografía de interés.

La parte II trata del potencial para el uso múltiple de los manglares y analiza la utilización de ciertos productos seleccionados basados en el manglar. Se incluyen también aspectos de utilización y protección de las tierras.

La parte III comprende la evaluación de los recursos forestales del manglar mediante el uso de la teledetección, estudios de campo, elaboración de cartografía e inventarios forestales, destacando aquellas áreas en que estas técnicas difieren de los sistemas tradicionales, debido a las características específicas de los manglares.

La parte IV está dedicada a la aplicación de los recursos técnicos, de gestión, económicos y humanos, para ordenar y utilizar los recursos del manglar de forma sostenible a fin de atender las necesidades de la población y como herramienta del desarrollo rural sin deteriorar el medio ambiente. Se trata de evaluar objetivamente los impactos ambientales de la ordenación forestal de los manglares. También se presentan unas conclusiones y recomendaciones.

Al final de este documento se incluyen cinco pequeños estudios de casos que tratan de diversos aspectos de la evaluación de los recursos de manglar, junto con un estudio más extenso del caso de la ordenación para el uso múltiple del bosque de Sundarbans, de Bangladesh.

Con respecto a otros estudios de casos sobre ordenación y utilización de manglares, se remite al lector a los dos documentos publicados anteriormente por la FAO que tratan de Asia y el Pacífico (Estudios FAO 3 y 4 sobre Medio Ambiente) y al documento de FAO (FO:MISC/86/4) "Ordenación Integrada de los Manglares", de B. Rollet, que comprende América Latina. El Documento ISME/ITTO (1993a) presenta también un resumen de la situación sobre la ordenación de manglares en los países de América Latina. Con respecto a África, sólo hay estudios limitados, recomendando al lector para una primera información los trabajos SECA/CML (1987) e ISME/ITTO (1993b).

Para más información sobre ordenación integrada de áreas costeras, véase el Documento Técnico de Pesca nº 327 de la FAO (FAO, 1992) y el de Chue et al. (1991). Una serie de planes de ordenación integrada para zonas costeras del sudeste de Asia, han sido publicados también por ICLARM (International Center for Living Aquatic Resources) como parte del Proyecto de Ordenación de Recursos Costeros (Coastal Resources Management Project) de ASEAN/US. (Proyecto de Ordenación de Recursos Costeros). Algunas de estas zonas incluyen áreas de manglar.

PARTE I. BASES ECOLOGICAS PARA LA PLANIFICACION DE LA ORDENACION DE MANGLARES

Este capítulo analiza algunas relaciones ecológicas y biológicas de los ecosistemas de manglar, particularmente respecto a aquellos aspectos biofísicos que son de interés para diseñar sistemas selvícolas apropiados y para la planificación de la ordenación sostenible para el uso múltiple. Se presenta también un breve análisis de la bibliografía aplicable.

2. ECOSISTEMA DE MANGLAR

2.1. DEFINICION DE LOS MANGLARES

Los manglares son formaciones vegetales litorales características de las zonas costeras abrigadas tropicales y subtropicales. Han sido descritas de diversas formas como "terrenos costeros arbolados", "bosque de marismas" y "manglar".

Generalmente, los manglares están constituidos por árboles y arbustos que se desarrollan por debajo del nivel de pleamar de las mareas vivas (FAO, 1952). Sus sistemas radicales se inundan por lo tanto regularmente con agua salina aunque pueda estar diluida debido a las escorrentías superficiales de agua dulce e inundarse solamente una o dos veces al año.

Macnae (1968) sugirió utilizar dos vocablos diferentes en inglés para designar los árboles y arbustos individuales ("mangle") o sus comunidades ("mangal"). Este documento no se ha seguido este sistema porque queda claro en el contexto cuándo se está refiriendo a los árboles del manglar o al bosque.

2.1.1. Composición florística

Las características más notables de los manglares, aparte de su hábitat singular, son: la pobreza relativa de las especies que los integran; las raíces de sostén (o fúlcreas) en forma de arco, de la *Rhizophora* spp.; los racimos de chupones ciegos de raíz o los neumatóforos de otros géneros como *Avicennia* y *Sonneratia*, que sobresalen del terreno en tal número que impiden caminar; la curiosa adaptación al medio ambiente que permite a las semillas de *Rhizophora* germinar en los árboles y también la gran frecuencia de árboles con corteza lenticelada.

Los manglares son de hoja perenne. La pobreza de especies existentes en ellos se debe a las condiciones peculiares de su existencia, habiendo pocos vegetales capaces de tolerar y florecer en fango salino y de soportar la inundación frecuente con agua de mar. Se diferencian también de los bosques de tierra firme porque ciertas especies son prácticamente gregarias en áreas extensas. Aparte de las *Rhizophora* spp., muchas de las especies principales se regeneran fácilmente mediante chirpiales. La flora que comprende especies arborescentes de importancia forestal se limita a unas pocas familias: *Rhizophoraceae*, *Combretaceae*, *Avicenniaceae*, *Verbenaceae*, *Meliaceae*, *Sonneratiaceae*, *Sterculiaceae*, *Euphorbiaceae*, *Theaceae* y *Pelliceriaceae*. Otras familias están escasamente representadas, sobre todo en situaciones en que no están claramente definidos los límites del manglar.

En la zona supra-litoral e inter-terrestre, en que predominan las condiciones de agua salobre, existen especies que se dan en el hábitat propio del manglar pero que no se limitan a él, p. ej. *Acrostichum aureum*, *A. speciosum* y *A. danaefolium*. En base a ello, Saenger et al. (1983) han dividido los manglares en dos grandes grupos que comprenden las especies exclusivas, que se limitan

al hábitat del manglar, y las especies no exclusivas, que pueden ser importantes en el hábitat del manglar pero que no se limitan a él.

Las especies que se encuentran normalmente en áreas pantanosas estacionales, que están sujetas a influencias salinas ocasionales, se tratan someramente en este informe, porque sus exigencias selvícolas y de ordenación son claramente diferentes (p. ej. *Mora oleifera*, *Annona glabra* y *Pterocarpus officinalis*).

2.1.2. Taxonomía de los manglares

Dependiendo del concepto de los manglares y de la definición aplicada de su hábitat, el número de especies citadas por diferentes fuentes, varía de forma importante (**Cuadro 2.1.**). Esto indica la necesidad de normalizar los criterios empleados en la definición y delimitación de los hábitats de manglar (Jimenez y Soto, 1985).

Cuadro 2.1: Número de especies de los manglares

Fuente	Familias	Géneros	Especies
Lugo y Snedaker, (1974)	23	32	75
Saenger et al, (1983)	16	22	60
Cintron y Schaeffer-Novelli 1/, (1983)	13	17	56
Chapman (1970)/Walsh (1974)	11	16	55
Chapman, (1974)	10	15	53
Blasco, (1984)	16	22	53
Mercer y Hamilton, (1984)	8	12	?

Fuente: 1/ Basado en Chapman (1970, 1974)

En el **Cuadro 2.2.** de la página siguiente se enumeran, siguiendo a Saenger et al. (1983), la mayoría de los árboles y arbustos de los manglares del mundo y en las **Figuras 2.1 - 2.4** se muestran ejemplos de representantes de algunos de los géneros más corrientes. Para obtener información adicional sobre especies individuales del manglar y claves para su identificación, se remite al lector a Chapman (1976); Tomlinson (1986); Watson (1928) y a una guía de campo reciente de Aksornkoae et al. (1992).

2.2. BIOGEOGRAFIA

La distribución general de los manglares corresponde a la de los bosques tropicales, pero se extienden más hacia el norte y el sur del Ecuador, a veces más allá de los trópicos, aunque de forma reducida.

Florísticamente, pueden distinguirse dos zonas principales: una zona oriental que comprende la costa africana oriental, el sur de Asia y el Pacífico, incluyendo las islas hasta Australia y una zona occidental que incluye África Occidental, las costas de América y El Caribe (FAO, 1952).

Cuadro 2.2. Lista mundial de especies de los manglares

A. Especies exclusivas	Forma biológica	B. Algunas especies importantes no exclusivas	Forma biológica
<i>Acanthus ebracteatus</i> Vahl.	a	<i>Acrostichum aureum</i> L.	H
<i>Acanthus ilicifolius</i> L.	a	<i>Acrostichum danaefolium</i> Langsd. & Fish	H
<i>Acanthus volubilis</i> Wall.	a	<i>Acrostichum speciosum</i> Willd.	H
<i>Aegialitis annulata</i> R. Br.	a	<i>Barringtonia racemosa</i> Roxb.	A
<i>Aegialitis rotundifolia</i> Roxb.	a	<i>Brownlowia argenata</i> Kurz	A
<i>Aegiceras corniculatum</i> (L.) Blanco	a	<i>Brownlowia ictsa</i> (L.) Kosterm.	a/A
<i>Avicennia alba</i> Blume	A	<i>Cerbera floribunda</i> K. Schum.	A
<i>Avicennia bicolor</i> Standl.	A	<i>Cerbera manghas</i> L.	A
<i>Avicennia eucalyptifolia</i> Zipp. ex Miq.	A	<i>Clerodendrum inerme</i> (L.) Gaertn.	a
<i>Avicennia germinans</i> L.	A	<i>Cynometra marnii</i> Oliver	A
<i>Avicennia intermedia</i> Griff.	A	<i>Dimorphandra oleifera</i> (Triana ex Hemsl.)	A
<i>Avicennia lanata</i> Ridley	A	<i>Dolichandrone spathacea</i> (L.F.) K. Schum.	A
<i>Avicennia marina</i> (Forsk) Vierh.	A	<i>Hibiscus hamabo</i> Sieb & Zucc.	A
<i>Avicennia officinalis</i> L.	A	<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	A
<i>Avicennia rumphiana</i> Hall. f.	A	<i>Mauritia flexuosa</i> (Linn. f.)	P
<i>Avicennia tomentosa</i> Willd.	A	<i>Maytenus emarginata</i> (Willd.) Ding Hou	a
<i>Avicennia tonduzii</i> Moldenke	A	<i>Myristica hollrungii</i> Warb A.	A
<i>Bruguiera cylindrica</i> (L.) Blume	A	<i>Oncosperma filamentosa</i> Bl.	P
<i>Bruguiera exaristata</i> Ding Hou	A	<i>Pemphis acidula</i> Forster	a/A
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam.	A	<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	A
<i>Bruguiera hainesii</i> C.G. Rogers	A	<i>Thespesia acutiloba</i> (E.G.Baerker)Excell & Mendonca	A
<i>Bruguiera parvifolia</i> (Roxb.) Wight & Arn.	A	<i>Thespesia populnea</i> (L.) Soland. ex Corr.	A
<i>Bruguiera sexangula</i> (Lour.) Poiret	A	<i>Thespesia populneoides</i> (Roxb.) Kostel	A
<i>Campistemon philippensis</i> Becc.	A		A
<i>Campistemon schultzii</i> Mast.	A		A
<i>Ceriops decandra</i> (Griff.) Ding Hou	A		
<i>Ceriops tagal</i> (Perrouet) C.B. Robinson	A		
<i>Conocarpus erectus</i> L.	A		
<i>Cynometra iripa</i> Kostel	A		
<i>Cynometra ramiflora</i> L.	A		
<i>Excoecaria agallocha</i> L.	A		
<i>Heritiera littoralis</i> Aiton ex Dryander	A	A = Arbol	
<i>Heritiera fomes</i> Buch-Ham.	A	a = Arbusto	
<i>Kandelia candel</i> (L.) Druce	A	P = Palmera	
<i>Laguncularia racemosa</i> Gaertn. f.	A	H = Helecho	
<i>Lumnitzera littorea</i> (Jack) Voigt	a/A		
<i>Lumnitzera racemosa</i> Willd.	a/A		
<i>Nypa fruticans</i> van Wurmb.	P		
<i>Osbormia ocoidonta</i> F. Muell.	a		
<i>Pelliciera rhizophorae</i> Planchon & Triana	A		
<i>Phoenix paludosa</i> Roxb.	P		
<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	A		
<i>Rhizophora harrisonii</i> Leechman	A		
<i>Rhizophora x lamarckii</i> Montrouz	A		
<i>Rhizophora mangle</i> L.	A		
<i>Rhizophora mucronata</i> Lam.	A		
<i>Rhizophora racemosa</i> G. Meyer	A		
<i>Rhizophora x selala</i> (Salvoza) Tomlinson	A		
<i>Rhizophora stylosa</i> Griff.	A		
<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i> Gaertn.	a		
<i>Sonneratia alba</i> J. Smith	A		
<i>Sonneratia apetala</i> Buch-Ham.	A		
<i>Sonneratia caseolaris</i> (L.) Engl.	A		
<i>Sonneratia griffithii</i> Kurz	A		
<i>Sonneratia ovata</i> Backer	A		
<i>Xylocarpus australasicus</i> Ridley	A		
<i>Xylocarpus gangeticus</i> Parkison	A		
<i>Xylocarpus granatum</i> Koenig	A		
<i>Xylocarpus moluccensis</i> (Lam.) Roem.	A		
<i>Xylocarpus parvifolius</i> Ridley	A		



Figura 2.1. *Rhizophora apiculata* con propágulos maduros
Vietnam. Foto de M.L. Wilkie



Figura 2.2. *Nypa fruticans* con frutos
Vietnam. Foto de M.L. Wilkie



Figura 2.4

Bruguiera gymnorhiza con flores
Indonesia. Foto de M.L. Wilkie

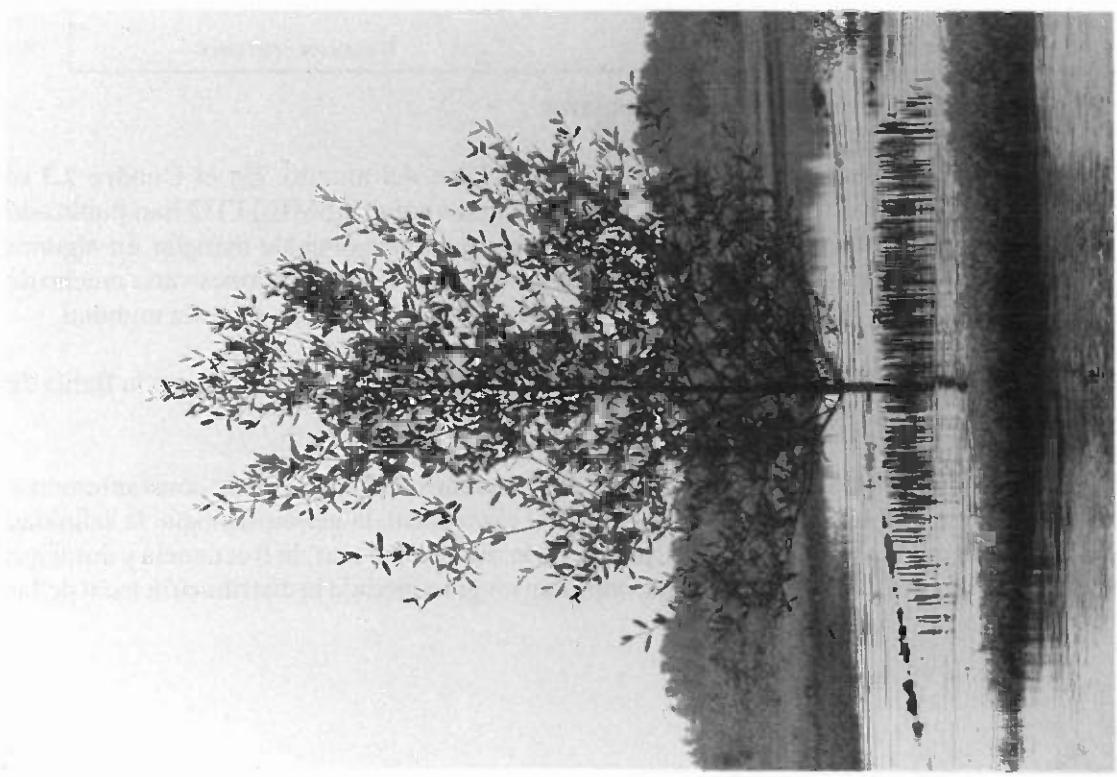


Figura 2.3

Avicennia africana con neumátiferos
Sierra Leonia. Foto de M.L. Wilkie

Todos los géneros (pero no todas las especies) de los manglares occidentales se encuentran en la zona oriental pero esta última es mucho más rica en número de especies diferentes. Numéricamente, hay una desproporción de cinco a uno en el número de especies de los dos grupos. Chapman (1975) tiene la teoría de que la corriente oceánica alrededor del Cabo de Buena Esperanza evita el movimiento y migración de las especies de la región biogeográfica Indo-Pacífico Occidental a la de África Occidental y el Atlántico. En la Figura 2.5. se presenta una distribución mundial de carácter general de los manglares y el número de especies de las distintas regiones.

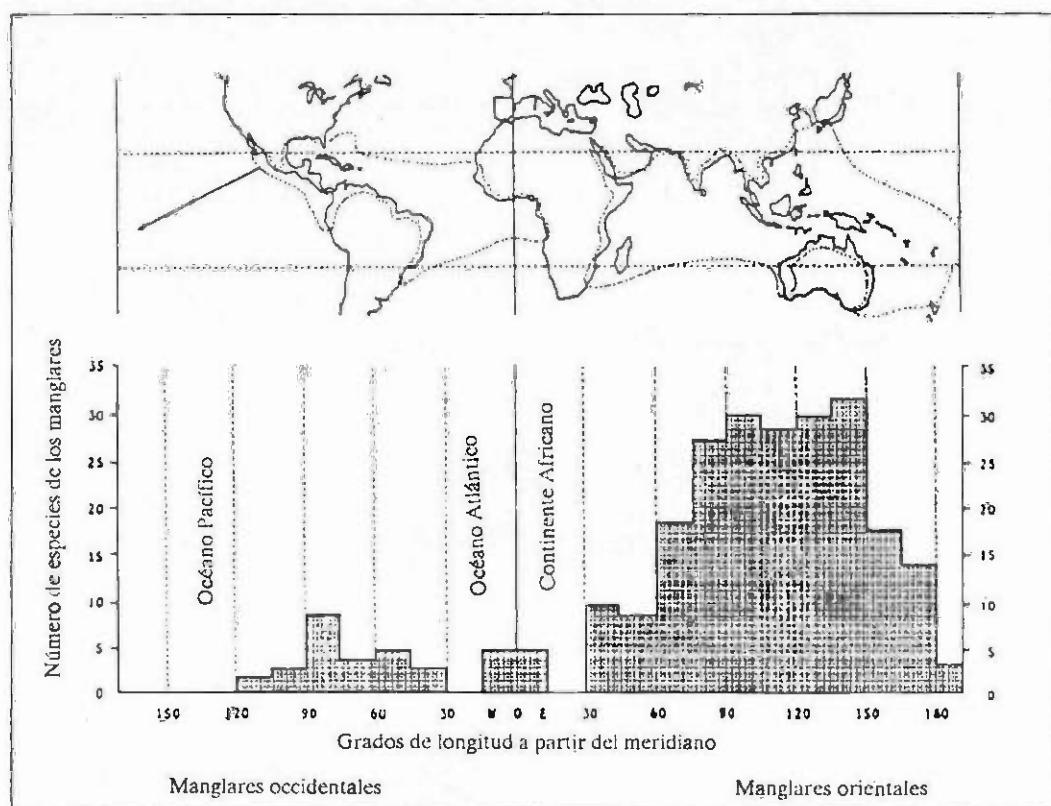


Figura 2.5. Distribución general de los manglares.

No se conoce bien la superficie total de los manglares del mundo. En el Cuadro 2.3 se representan las superficies aproximadas de manglar en diversos países. ISME/ITTO han publicado (1993a, 1993b) datos más recientes sobre la extensión de las formaciones de manglar en algunos países de América Latina y Asia. Sin embargo, como la precisión de las estimaciones varía mucho de un país a otro, es evidente la necesidad de contar con un estudio actualizado a escala mundial.

La mayor zona contigua de manglar del mundo es la del Sunderbans situada en la Bahía de Bengala, que cubre una superficie total de tierras de 660.000 Ha.

Debido a su situación en las zonas litorales, las formaciones de manglar están constantemente condicionadas por factores marinos y terrestres como el clima local, la geomorfología, la salinidad y otras características edáficas. Estos factores, junto con la distancia al mar, la frecuencia y duración de las inundaciones y la dinámica de las mareas, imponen en gran medida la distribución local de las especies y su sucesión.

Cuadro 2.3. Superficies aproximadas de manglar en diversos países

ASIA	Superficie (Ha.)*	AFRICA	Superficie (Ha.)**	AMERICA	Superficie (Ha.)***
Australia	1.162.000	Angola	50.000	Belize	75.000
Bangladesh	410.000	Benín	3.000	Brasil	2.500.000
Burma	812.000	Camerún	273.000	Colombia	307.000
Brunei	7.000	Gabón	250.000	Costa Rica	39.000
Fiji	20.000	Guinea	260.000	Cuba	448.000
India	96.000	Guinea Bissau	243.000	Rep. Dominicana	9.000
Indonesia	2.500.000	Gambia	60.000	El Salvador	36.000
Kampuchea	10.000	Kenia	45.000	Ecuador	196.000
Malasia	674.000	Liberia	40.000	Guyana Francesa	55.000
Pakistán	345.000	Mauritania	algunas ha.	Guadalupe	3.000
Papua Nueva Guinea	553.000	Madagascar	320.700	Guatemala	50.000
Filipinas	240.000	Mozambique	85.000	Guyana	150.000
Sri Lanka	4.000	Senegal	440.000	Haití	18.000
Tailandia	288.000	Sierra Leona	100.000	Honduras	145.000
Vietnam	320.000	Nigeria	973.000	Jamaica	7.000
		Tanzania	96.000	Martinica	2.000
		Zaire	20.000	Méjico	660.000
				Nicaragua	60.000
				Panamá	486.000
				Perú	28.000
				Surinam	115.000
				Trinidad y Tobago	4.000
				EUA (Florida + P. Rico)	
				Venezuela	178.000
					260.000
TOTAL	7.441.000		1.258.000		5.831.000
TOTAL MUNDIAL					16.530.000

Fuentes: (*) Wacharakity (1983)
 (**) Saenger et al. (1983)
 (***) FAO (1981, 1986)

Los mejores desarrollos de los manglares se encuentran en estaciones con suelos profundos, bien aireados, ricos en materia orgánica y con poca arena, normalmente en los estuarios. Christensen (1983) indicó que la *Rhizophora* puede alcanzar alturas de más de 40 m. en tales áreas.

La extensión de los manglares hacia el interior depende de la morfología del suelo y de los factores antes mencionados, pudiendo variar los bosques de tamaño desde unos pocos grupos de pequeños árboles o arbustos, hasta extensas áreas de masas arbóreas bien desarrolladas.

2.3. ECOLOGIA DE LOS MANGLARES

"La ecología es la ciencia de las interrelaciones de los organismos entre sí y con todo su medio ambiente". (Spurr y Barnes, 1980). Para las comunidades forestales, se utilizan los nombres de las especies arbóreas predominantes, que componen la fisonomía característica de cualquier rodal, para clasificar los bosques en "tipos forestales". Así por ejemplo, un "tipo forestal *Rhizophora*" está caracterizado por la predominancia de especies de *Rhizophora*, evocando la imagen de árboles caracterizados por raíces de sostén o aéreas y por propágulos pendulares alargados.

La comunidad forestal y su hábitat constituyen un *ecosistema* en el que los organismos que lo componen y su medio actúan entre sí, en procesos complicados y en los ciclos biológicos del carbono, el agua y los nutrientes. Los estudios del ecosistema forestal tienen en cuenta los aspectos orgánicos e inorgánicos de los procesos cíclicos vitales a los que cada vez se da mayor atención debido a la creciente necesidad de una ordenación forestal ambientalmente sana.

El ambiente físico del ecosistema forestal y sus factores bióticos constituyen el *hábitat* o *estación*. El ambiente forestal es el resultado final de muchas fuerzas que actúan entre sí, y en consecuencia la estación es la suma total de las condiciones ambientales que actúan en un lugar determinado.

El objetivo final de la ordenación forestal, aparte de las consideraciones económicas, es explotar al máximo las energías y recursos naturales disponibles en una estación determinada, con el fin de obtener la máxima capacidad de producción de bienes deseados. El realizar un examen cuidadoso de las condiciones de la estación forestal será una inversión bien justificada en tiempo y esfuerzo para cualquier forestal, al poder obtener la producción potencial de la masa en condiciones ideales.

El análisis del ecosistema forestal requiere investigaciones de carácter multidisciplinar para obtener un conocimiento completo de la dinámica del sistema. La finalidad de todos estos estudios es comprender mejor y prever los cambios probables que se producirán cuando los ecosistemas estén sometidos a tensiones y manipulaciones. Sin embargo, en la práctica es difícil realizar un análisis total considerando los recursos humanos y financieros disponibles. Por ello, los gestores forestales deben ser conscientes de las limitaciones con que tienen que trabajar y es debido en parte a esta circunstancia, la prudencia tradicional obliga a ordenar los bosques naturales de forma conservadora, en lugar de hacerlo de forma rígida, de acuerdo con los fines económicos. No obstante, es inevitable la tendencia hacia la teoría de sistemas, que incluye una evaluación de la productividad de los sistemas y de sus funciones en cuanto a los procesos esenciales, teniendo en cuenta que cada vez se confía más en que los gestores forestales resuelvan los problemas ambientales. Los estudios orientados a los sistemas nos permiten percibir y resolver los problemas ambientales de forma diferente. Tal como afirma Richel (1971):

"Los ecologistas no pueden continuar respondiendo a cada nueva crisis ambiental con estudios simplistas de "causa y efecto" de componentes aislados del ecosistema. Es necesario reconocer la totalidad de los sistemas ambientales y desarrollar el conocimiento de las interacciones e interdependencias de los componentes de los sistemas. Sólo de este modo pueden interpretarse los efectos de la perturbación sobre los componentes individuales, en el contexto total del sistema". Reichle (1971).

A continuación se describen los principales factores abióticos que influyen en el ecosistema del manglar. V. gr. factores climáticos y edáficos, seguido de una descripción más detallada de los principales elementos bióticos que constituyen el ecosistema, p. ej. la flora y fauna del manglar, sus interrelaciones y consecuencias de éstas en la ordenación.

2.4. CLIMA

Pannier y Pannier (1977) resumieron de forma general los actuales conocimientos sobre la distribución de los manglares en relación con las regiones climáticas. De acuerdo con Walter (1977) los ecosistemas de manglar se encuentran sobre todo en tres divisiones climáticas: (a) la zona ecuatorial, situada aproximadamente entre los 10°N y 5°-10°S; (b) la zona tropical con lluvias de verano, al norte y al sur de la zona ecuatorial, hasta aproximadamente 25-30°N y S, en parte en la zona seca subtropical de los desiertos, todavía más hacia los polos; y (c) parcialmente en los climas templado cálidos que no tienen realmente inviernos fríos y sólo en el borde oriental de los continentes de esta zona.

Blasco (1984) sugiere que se representen las temperaturas y las precipitaciones en un solo diagrama climático, porque son factores bioclimáticos fundamentales para los manglares y otros vegetales terrestres.

La duración de la estación lluviosa determina la influencia del agua dulce en cada estación. En los climas ecuatoriales, la escorrentía de las tierras altas suele ser adecuada para mantener durante todo el año el agua dulce en contacto con la capa freática salina. En los climas monzónicos secos, la salinidad de las capas superiores del suelo aumenta durante la estación seca. El número, duración e intensidad de las estaciones secas, influyen por tanto directamente en la distribución de la salinidad en la zona intermareal. La alteración del drenaje de las tierras altas puede afectar a aquellos manglares que requieren la recarga de agua dulce.

El desarrollo de brotes de los árboles procedentes de brizales y chiriales, está estrechamente relacionado con el potencial hídrico dentro de la planta y con los déficits ambientales de humedad del suelo. En estaciones favorables, el desarrollo de brotes se produce con niveles variables durante todo el año, pero en estaciones con fuertes tensiones se produce la muerte progresiva de los brotes durante estaciones secas prolongadas y se produce un crecimiento vigoroso principalmente durante la estación lluviosa.

2.4.1. Temperatura

En la faja ecuatorial, la temperatura no suele ser un factor limitante para el desarrollo vegetal. Sin embargo, se pueden experimentar períodos de fuerte tensión fisiológica cuando se combinan las altas temperaturas con luz solar plena y vientos dominantes que dan lugar a una fuerte evapotranspiración y a un aumento de la salinidad superficial debido a la absorción capilar. En tales casos, puede ser perjudicial para el desarrollo de los vegetales la formación de fuertes costras salinas en la superficie del suelo. En la zona de Guanal, en Cuba son corrientes los "salitrales" en las zonas costeras más descubiertas (Chong, 1989b). También existen llanuras salinas naturales (albinas) en la zona de Aguadulce de Panamá.

2.4.2. Vientos y tormentas

El impacto sobre el bosque de las grandes tormentas puede ser profundo. En zonas expuestas a grandes tormentas, la cubierta de copas de los bosques a lo largo de las costas, suele estar interrumpida. Estructuralmente, los árboles son también más cortos. Esto explica, en parte, el hecho de que los manglares altos se encuentren generalmente en condiciones más abrigadas.

Las tormentas fuertes (ciclones/huracanes) afectan a las olas, marejadas, mareas de tormenta y al sistema de corrientes, y también al volumen y ritmo de descarga del agua dulce procedente de tierra (Riggs, 1977). Los manglares desempeñan un importante papel en la moderación de las tormentas costeras en interfase entre tierra y mar. La faja costera, particularmente cerca de la playa y a lo largo de ella, es una zona de intensa turbulencia atmosférica debido a la interacción de las influencias atmosféricas terrestres y oceánicas. El impacto de los ciclones sobre los deltas densamente poblados puede ser trágico. En noviembre de 1970 un ciclón, combinado con la pleamar ocasionó la muerte de más de 200.000 personas en Bangladesh. En 1991 otro ciclón causó la muerte de más de 100.000 personas y los trabajos de rescate fueron obstaculizados por las inundaciones de las mareas altas. Sin la influencia moderadora del bosque, la pérdida de vidas humanas y propiedades es catastrófica. Por lo tanto, desde el punto de vista ambiental los manglares costeros son fajas protectoras fundamentales que permiten la protección de los caseríos del interior, los cultivos agrícolas, la ganadería y la acuicultura.

A lo largo de las costas, se debe mantener siempre una faja de vegetación protectora de manglar, no sólo para reducir los efectos perjudiciales del oleaje de las mareas y de las tormentas, sino también para reducir la gravedad de las inundaciones de las mareas.

2.4.3. Precipitaciones

Los manglares no dependen totalmente de las lluvias para su supervivencia porque pueden extraer agua dulce a partir del mar mediante sus glándulas excretoras de sal (Chapman, 1976). Sin embargo, la cantidad de lluvia influye en los manglares de dos formas: (1) porque la lluvia determina la tasa de disgregación con que puede responder a la cantidad de acarreos transportados a la marisma del manglar, y (2) unas fuertes precipitaciones reducen la intensidad de la hipersalinidad. De acuerdo con Macnae (1966, 1968), los manglares australianos prosperan mejor en áreas que reciben más de 2.500 mm. de precipitación anual, ya que las salinas suelen formarse en zonas con precipitaciones inferiores a 1.500 mm./año.

Cuando la evapotranspiración potencial media (ETP) es elevada y la cuantía de las precipitaciones es insuficiente para reducir la acumulación de sal, predominan las salinas, como en el caso de Cuba, y partes de Panamá, África Occidental e India Occidental.

2.4.4. Zonas de Vida

En América Central y del Sur, se ha aplicado el sistema de Zonas de Vida de Holdridge para la clasificación de la vegetación y el clima en la elaboración de mapas ecológicos. El mapa ecológico de Costa Rica, preparado por Tosi (1986) a escala 1:750.000, proporciona una buena clasificación, incluso de los manglares costeros (Holdridge 1947, 1971).

De acuerdo con el sistema de Zonas de Vida, la zona de vida más apropiada para la ordenación selvícola es el bosque muy húmedo tropical (bmh-T) seguido del bosque húmedo tropical (bh-T) y la menos apropiada es la del bosque seco tropical (bs-T). Los bosques que quedan fuera de estas zonas de vida tienen fuertes limitaciones selvícolas.

Chong (1988) observó una correlación similar entre los tipos de zona de vida y las clases de productividad forestal en la zona de manglares de Terraba-Sierpe. Sin embargo, teniendo en cuenta el potencial para el uso múltiple, incluso de los tipos forestales menos productivos, no pueden descartarse sin más sus usos potenciales.

2.5. FACTORES EDAFICOS

2.5.1. Geomorfología de los manglares

Formación de deltas

Las grandes formaciones de manglar se encuentran característicamente en llanuras litorales de deltas relativamente abrigadas. En Bangladesh, las aguas monzónicas del Ganges y el Brahmaputra inundan las riberas de los ríos casi todos los años, depositando sedimentos en los llanos aluviales, y llanuras fluviales y mareas que gradualmente amplían el delta hacia el sur en las aguas poco profundas de la Bahía de Bengala.

La formación de un delta es un equilibrio delicado entre el tipo y la cuantía de los sedimentos fluviales, la compatibilidad de los sedimentos, la vegetación, los cambios de los niveles del mar, la geología y geomorfología subyacentes y las fuerzas del oleaje y las mareas allí donde el río se encuentra con el mar.

El hundimiento de los sedimentos es un fenómeno corriente. Los ríos que transportan sedimentos fangosos, que se compactan mucho más que la arena o el limo producen deltas que son más propensos al hundimiento. Cuando la arcilla se asienta, hasta el 80% de su volumen inicial es agua, que gradualmente es expulsada por los nuevos sedimentos que se depositan encima. Esto motiva el hundimiento gradual del terreno del delta, a menos que se deposite regularmente nuevo fango en la superficie. Debido al hundimiento natural, la parte central de la mayoría de los pantanos mareas, que no lavan bien las mareas, tiende a ser más propensa a inundaciones profundas. Sin embargo, cuando los depósitos son calcáreos el substrato se compacta y consolida mejor, siendo más lento el ritmo de hundimiento (p. ej. los deltas de Sunderbans y Ayeyarwady, de Bangladesh y la Unión de Myanmar, respectivamente).

Cuando la carga de acarreos del río se reduce por interferencia humana, como en la desviación de ríos, presas o canales excavados para facilitar la navegación, el equilibrio dinámico entre la erosión del terreno y su acrecentamiento se ve afectado negativamente, dando lugar al hundimiento del terreno en muchas áreas. La gran presa de Aswan, actuando como colector de sedimentos, ha detenido efectivamente el proceso de desarrollo del delta del Nilo, habiéndose iniciado un proceso activo de retraimiento de la costa debido a la erosión y el hundimiento (Kassa, 1972). Los agricultores que se establecen a lo largo de los ríos suelen construir diques que pueden impedir el movimiento del agua, interrumpiendo así el proceso natural de sedimentación.

Incluso sin intervención humana, el desarrollo de un delta no es uniforme. Los ríos cambian su curso, buscando el camino más corto y de mayor pendiente en dirección al océano. Se acumulan entonces pocos sedimentos o ninguno a lo largo del canal abandonado y el terreno de alrededor se hunde. Los sedimentos del río son transportados a lo largo del nuevo canal. De este modo, el delta sufre un ciclo natural de crecimiento y decadencia (véase el Recuadro 2.1. de la página siguiente).

El hundimiento se ve ayudado también por la elevación de los niveles del mar debida a los procesos ecológicos. En las llanuras del Ganges, la inclinación general hacia el oeste de la masa de tierras, se ha considerado como causa de la derivación de los ríos hacia el este y a ello se deben los niveles crecientes de salinidad de la parte occidental de los Sunderbans, debido a la reducción del caudal de agua dulce.

Sin embargo, la escala de los cambios relacionados con estos fenómenos geológicos localizados es muy pequeña, en comparación con los efectos ecológicos y físicos sobre los niveles del

agua debidos al calentamiento global: los expertos están generalmente de acuerdo en que son muy probables unos cambios de la temperatura y del nivel del mar, de los órdenes de magnitud que se presentan en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4. Escenarios del calentamiento mundial

Efecto en el clima de los escenarios de emisión - Año 2090		
Alternativas	Elevación de la temperatura (Centígrados)	Elevación del nivel del mar (cm)
Situación corriente	4,0	60
Escenario B	3,0	40
Escenario C	2,3	35

Fuente: Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima, Ginebra, 1990

Los costos socioeconómicos y ecológicos para los países con importantes llanuras costeras bajas y con marismas pobladas, pueden ser muy elevados. En algunos de los países de los atolones del Pacífico, Bangladesh y Guyana, el costo social de la pérdida de terrenos agrícolas debida a la intrusión de agua salada, a las crecientes inundaciones y al agotamiento de los manglares productivos, puede ser realmente muy elevado.

Proceso de formación de un Delta

Los Deltas son el producto final de la erosión. La lluvia lava el suelo y meteoriza los fragmentos de roca, transportándose por ríos y arroyos hacia el mar. La mayoría de los acarreos se depositan a lo largo del curso, donde forma sedimentos, y con el tiempo rocas sedimentarias. Los depósitos formados en la desembocadura del río se conocen como delta, recibiendo el nombre de la letra griega, debido a que el antiguo historiador griego Herodoto observó que el delta del Nilo de Egipto tenía una forma semejante.

La distancia recorrida por los acarreos depende de su peso y de la rapidez con que corre el río. Cuanto más ligeras son las partículas de arena, limo y lodo, y más fuerte es la corriente, más lejos puede transportarlas el río. Las partículas se posan cuando el río va más lento. Los deltas se forman cuando el agua del río se extiende y disminuye su velocidad al desembocar en el mar.

Los grandes cantos rodados y las rocas raramente se transportan muy lejos aguas abajo, excepto en inundaciones catastróficas. Generalmente forman extensos conos de deyección inclinados, que pueden extenderse a las tierras bajas al borde de una cadena de montañas.

La forma de los sedimentos depende de la materia original del substrato erosionado, ya sea arenoso o arcilloso. Análogamente, la naturaleza química de los acarreos será el reflejo de la composición química del material erosionado, como la piedra caliza, por ejemplo.

Las partículas más pequeñas, como la arena y el limo se depositan cuando el río disminuye su velocidad al correr por las llanuras. Estos sedimentos dan lugar a llanuras situadas cerca del nivel del mar, como las que constituyen los Deltas de Bangladesh, Mekong y Ayeyarwady.

Los sedimentos se depositan en el cauce del río, especialmente cuando forma meandros, y llega a bloquearlo. Esto fuerza al río a buscar un nuevo camino a menos que se remueva el limo mediante dragado. Cuando el agua de lluvia desborda las márgenes después de las fuertes lluvias monzónicas, el limo y el lodo se extienden por las llanuras inundadas circundantes. Tales inundaciones generalmente transportan más material que el caudal normal de río aportando sedimentos al terreno cuando se retiran. La inundación aporta limo fértil a las llanuras y a las áreas pantanosas mareales, enriqueciendo así el ecosistema del manglar.

Los sedimentos no se depositan por igual. A veces el río deposita más acarreos a lo largo de sus márgenes que es donde la inundación es más frecuente. Esto da lugar a "diques naturales" a lo largo de las márgenes del río lo que hace que estos diques estén más altos y secos que las tierras circundantes. Confinado entre estas márgenes naturales, el río se eleva al depositarse el limo y llega a estar más elevado que los terrenos que lo circundan.

El tamaño y la forma de un delta dependen de la carga de sedimentos, de la velocidad y caudal del río y de la fuerza del oleaje y también del alcance de las mareas del Océano. Esta combinación de factores permite a los especialistas en geomorfología clasificar los deltas como deltas "fluviales de oleaje o de mareas". Cuando las olas y las mareas son débiles, la costa puede ser irregular y con circunvalaciones, por ejemplo el Misisipi. Esto se debe a que el río ha transportado más sedimentos que el que pueden acarrear las mareas y la corriente, de tal modo que el Delta se extiende hacia el mar. Cuando las olas son fuertes como en las desembocaduras de los ríos Nilo, Ayeyarwady y Senegal, la línea de la costa es suavemente curvada. Las diferencias de energía del oleaje pueden ser enormes; por ejemplo, en la costa de Senegal sólo se tarda un poco más de dos horas en recibir tanta fuerza del oleaje como el que recibe el Misisipi en todo el año. Las grandes amplitudes de las mareas, al igual que los oleajes fuertes, tienden a suavizar la línea costera, dando al Delta una forma simple triangular.

Recuadro 2.1. Proceso de formación de un Delta

En zonas como éstas, la restauración de las fajas protectoras de manglar debe recibir una importancia especial. En la zona de encuentro entre tierra y mar, los manglares constituyen la primera línea de defensa contra los elementos y, en consecuencia, habrá que asignarles un papel cada vez más importante si se quieren evitar las graves consecuencias en cuanto a sufrimiento humano y costos económicos, derivadas de las elevaciones previstas del nivel del mar.

Hidrología y drenaje

La cantidad de agua dulce que va a los manglares depende del tamaño de la cuenca hidrográfica, del clima, de las características del caudal del río y de la desviación del agua para otros usos de los terrenos. Cuando el caudal es muy estacional, se suele producir una extensa inundación en los meses de monzón, especialmente cuando los caudales máximos coinciden con fuertes mareas vivas.

Snedaker et al. (1977) han resumido del modo siguiente el papel del agua dulce del río Ganges, a través de la descarga de sus afluentes, en los estuarios de Sunderbans:

- * como disolvente del agua salada;
- * en la protección de pececillos, camarones y mariscos y otros seres vivos;
- * en la modificación de la temperatura del agua;
- * en la regulación osmótica de los animales marinos;
- * como vehículo de los principales nutrientes y de eliminación de desperdicios metabólicos;
- * como moderador de las reacciones en agua salada dependientes de la concentración;
- * como mecanismo de división de los recursos en las aguas costeras;
- * en el movimiento vertical y en la distribución de los organismos;
- * como mecanismo de corte y relleno;
- * en el mantenimiento de una cuña salada y una zona de mezcla;
- * en el aporte de materiales alóctonos a los estuarios en función de la precipitación, el drenaje y la topografía;
- * en lo que se refiere a las épocas de llegada y salida de especies migratorias.

Carga de sedimentos y turbidez.

La cantidad del material en suspensión transportado por un río depende de su velocidad. Cuanto mayor es la velocidad del caudal o corriente, mayor es la capacidad de carga de acarreos y el tamaño de las partículas. Esto tiene muchas consecuencias para cualquier ecosistema de manglar porque afecta a la disposición de los depósitos estuarinos y también a la biología de muchos de los organismos que viven en los sistemas acuáticos y terrestre.

La descarga de grandes volúmenes de fango coloidal procedente del río Amazonas, por ejemplo, hace muy difícil incluso el establecimiento de especies de manglar resistentes, como la *Avicennia spp.*, porque el lodo tiende a obturar las lenticelas de los neumatóforos. Esta masa de lodo es transportada por la corriente hasta la Guayana Francesa y Surinam.

Clasificación de áreas costeras y estuarios

Hay varias definiciones de "estuario" y "área costera" en relación con las formaciones de manglar. Muchas se basan en descripciones geográficas o geomorfológicas. Los estuarios tienen un comportamiento dinámico, sufriendo sus límites fluctuaciones en el tiempo y en el espacio que reflejan los cambios locales en el caudal del río, la fuerza del viento, la dinámica de oleajes y mareas

o fuerzas de procedencia lejana como la presión conjunta de los vientos sobre la superficie costera del Océano y el oleaje de la plataforma continental. Por ello, es apropiada la definición dinámica propuesta por Kjerfve (1984) en la ordenación de ecosistemas, donde se requiere un conocimiento de la dinámica del hábitat, las salinidades y otros factores.

Kjerfve reconoce las tres zonas siguientes: (a) zona estuarina fluvial; (b) zona estuarina de mezcla; y (c) zona del lecho límite costero. En la Figura 2.6. se presenta un sistema teórico estuarino-costero.



Figura 2.6.: Representación esquemática de un estuario teórico - laguna costera (según Kjerfve)

La zona estuarina de mezcla se denomina comúnmente estuario. Kjerfve establece el límite aguas arriba en la isohalina 1%, que fluctúa hacia arriba o abajo del río dependiendo de su caudal y de la influencia de las mareas. En la ordenación forestal, la isohalina 10% es importante porque los helechos *Acrostichum sp.* pueden llegar a ser una gran amenaza para la regeneración en áreas cuya salinidad es inferior a 10%. Este es el caso, por ejemplo, de algunas áreas de la Reserva de manglares de Matang, en Malasia Peninsular. Representa también el límite inferior de salinidad para el camarón blanco, *Panaeus vannamei*, que es la especie más corrientemente cultivada (Kapetsky, J.M, 1986).

El delta de bajamar o barra de la desembocadura del río forma el límite hacia el mar. Aquí la salinidad dominante es similar a la de las aguas oceánicas (35%). El delta de pleamar y los llanosmareales asociados, cuando existen, forman parte de la zona estuarina de mezcla y están situados al interior de la entrada geográfica. Es característico que la zona estuarina de mezcla presente gradientes marcados de salinidad y que tenga una zona de turbidez muy intensa en la que están suspendidos los sedimentos de grano fino. Esta es una zona en que puede existir una circulación gravitacional y donde tiene lugar la inversión de la corriente de las mareas. Dependiendo de la geomorfología, la zona estuarina de mezcla se denomina a veces laguna, en sistemas de aguas poco profundas, con configuraciones elípticas como en los manglares de la costa del sur de Cuba, como

un fiordo en sistemas de formación glacial, o como ríos hundidos, en el caso de Sierra Leona (Chong, 1986).

La zona estuarina fluvial es la región de agua dulce del sistema costero que experimenta la subida y bajada periódica de las mareas en el nivel del río. En las regiones más bajas de esta zona, cerca de la isohalina del 1%, la corriente se invierte de dirección según las influencias de las mareas. Esta zona puede ser muy extensa como sucede en el caso del Amazonas. La fauna que requiere cantidades importantes de agua dulce o que sólo puede tolerar una escasa salinidad puede criarse en esta zona, por ejemplo los cocodrilos.

La zona del lecho límite costero es la zona activa de encuentro entre el océano del litoral y el costero de mar abierto. Normalmente, se caracteriza por su gran turbidez, las fuertes concentraciones de nutrientes y los bajos gradientes de salinidad. La anchura varía desde un 1 Km. aproximadamente hacia el mar, a partir de la desembocadura del río, hasta más de 30 Km. en el caso de un penacho fluvial o estuarino. Dependiendo de la cuantía de la descarga fluvial, la configuración de este límite varía y representa la extensión hacia el mar de las influencias de las mareas.

Acrecentamiento y erosión

El hábitat del manglar es un ecosistema dinámico. Para su desarrollo óptimo los manglares requieren la influencia de agua dulce y un flujo mareal adecuado y, en consecuencia, las mejores masas están situadas a lo largo de los cursos de agua. Además, forman parte de un proceso fuertemente dinámico de erosión y acrecentamiento continuos que son fundamentales para su existencia ya que la tendencia constante de las corrientes de los manglares a erosionar en un lado y acrecentar en el otro, mantiene el nivel general de la formación dentro del ámbito altitudinal de la asociación de manglar.

En el caso de líneas costeras en avance progresivo (p. ej. Matang en Malasia Peninsular, y en la Bahía de Bengala) en las que crecen extensas llanuras de lodo en dirección al mar, cada año se forman nuevas ciénagas costeras. Más de 80.000 acres de ciénagas recientemente consolidadas han sido plantadas con *Soneratia apetala* y *Avicennia sp.* en la Bahía de Bengala. En Matang, se registran importantes áreas de nuevas ciénagas (nuevos bosques) en cada período del plan de trabajos de 10 años.

Sin embargo, no todos los sistemas de manglar tienen costas en avance progresivo. En los manglares se dan tres situaciones fisiográficas: acrecentamiento, erosión y situación estable, en escala variable. La acumulación de sedimentos o acrecentamiento puede ocasionar cambios en la extensión superficial de una estación o cambios de niveles que pueden alterar el movimiento del agua.

Estos cambios se observan especialmente cerca de las desembocaduras de los ríos, cuando la turbulencia del agua o la menor velocidad del caudal ocasionan la correspondiente disminución de la capacidad de carga de acarreos del río y, por tanto, la deposición de éstos. La erosión puede motivar la destrucción de la estación por lavado. En la Península de Ca Mau, en el Sur de Vietnam, las líneas costeras orientales se están erosionando a razón de unos 300 m/año mientras que a lo largo del flanco occidental, se están agregando nuevas ciénagas a razón de 100 m/año. La estructura sedimentaria de la línea costera muestra una tendencia hacia el sur-oeste, de acuerdo con la dirección general de la corriente costera y del viento durante el monzón del nordeste. La tercera situación representa unas condiciones estables en las que el depósito y la eliminación de limo y fango parecen estar en equilibrio. Esta parece ser la situación de la zona del delta del Ayeyarwady, en la Unión de Myanmar.

No obstante, debe establecerse una distinción entre los procesos naturales de deposición y erosión y los inducidos por el hombre. Una carga excesiva de limo y una inundación frecuente, debidas a la erosión aguas arriba y a la denudación de las márgenes de los ríos puede ocasionar "el ahogo" de las raíces del manglar. Análogamente, la elevación de los diques de las márgenes por los agricultores para la cría del camarón o la producción de arroz de marisma, impide con frecuencia el movimiento natural del agua hacia el interior de las marismas, lo que produce la disminución de los nutrientes. Las olas erosivas y la turbulencia producida por los barcos a motor pueden dañar también las márgenes de los ríos al igual que la extracción indiscriminada de la vegetación a lo largo de arroyos y ríos. Los bosques ribereños no sólo protegen las márgenes de los ríos sino que son normalmente la fuente primordial de propágulos y su eliminación afecta, por lo tanto, negativamente a la disponibilidad y dispersión de los propágulos.

Mareas y corrientes

El movimiento del agua es muy importante para la supervivencia de los manglares, porque los nutrientes son aportados al sistema por las mareas y los caudales procedentes de aguas arriba. Las mareas transportan los restos de estos nutrientes y los detritus disueltos del ecosistema del manglar, llevándolos aguas abajo a los sistemas estuarinos (Dwivedi, S.N. et al., 1974; Lugo, A.E. et al., 1973). El agua transporta el oxígeno disuelto a los sistemas radicales de los vegetales y recicla los nutrientes del ecosistema (Clough, B.F. y Attiwill, P.M., 1974). Las mareas extraen el dióxido de carbono acumulado, los desechos sulfurosos tóxicos, los restos orgánicos y mantienen los niveles de salinidad del suelo. La dispersión, distribución y establecimiento con éxito de los propágulos, están influidos también en parte por las mareas (Chapman, 1976; Rabinowitz, 1978).

Las mareas regulan la actividad bentónica. Los animales que se alimentan con filtros como las almejas, los mejillones, y las ostras (Mollusca), dependen de las mareas. Gocke, K. et al. (1981) han demostrado que la variación de las mareas y la duración de la inmersión afectan al porcentaje relativo de consumo de oxígeno de los organismos bénicos en distintos hábitats a lo largo de la costa del Pacífico.

La marea es el ascenso y descenso periódico del nivel del mar, ocasionado por la atracción de la gravedad entre la luna, el sol y otros cuerpos celestes que actúan sobre la rotación de la tierra. El ascenso y descenso vertical se denomina marea o marea astronómica; los movimientos horizontales del agua se denominan corrientes mareales. Las mareas siguen a la luna con más precisión que al sol.

A lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica, el día lunar es unos 42 minutos más largo que el día solar, por lo que las mareas se producen unos 42 minutos más tarde cada día. Las dos mareas diarias de la costa del Atlántico son casi de la misma altura, pero a lo largo de la costa del Pacífico las mareas tienen una desigualdad diurna pronunciada. Las costas de Tailandia están sujetas a la influencia de tres regímenes de mareas: semidiurnas a lo largo de las costas de Andaman, mareas diurnas a lo largo de la parte norte de las costas occidentales del Golfo y la línea costera restante recibe tipos mixtos de mareas, pero con predominancia de las diurnas. Los manglares de Dat Mui, del sur de Vietnam, están caracterizados por dos regímenes de mareas que tienen su origen en la costa oriental y en el golfo de Tailandia. La primera es diurna, con una amplitud de mareas de 1 a 2 m. mientras que la segunda es semidiurna teniendo una amplitud menor, de 0,2 a 1,0 m.



Figura 2.7.: Distribución de los tipos de mareas en el sudeste de Asia (según Wyrtki, 1961).

El nivel del agua en un sistema costero determinado es el resultado combinado de las fuerzas mareales que se pueden modificar a causa de la naturaleza y extensión de los estuarios, la configuración costera, y la descarga terrestre de los ríos. El resultado de estas fuerzas puede determinarse analizando los registros de los mareómetros.

La amplitud de las mareas varía de un lugar a otro. Un mapa de mareas marinas da una buena idea de las condiciones de las mareas. Cuando la amplitud es grande la superficie sujeta al lavado periódico de aquéllas es correspondientemente grande, dando lugar normalmente a una amplia variedad de estaciones ecológicas. Esto sucede así especialmente en aquellas áreas donde la plataforma continental se desliza suavemente hacia el mar y la corriente costera es tan débil que permite que la formación de manglar se extienda hacia el mar. En la zona del Caribe, debido a la menor amplitud de las mareas, la variedad de las estaciones ecológicas es generalmente limitada y, de acuerdo con ello, los tipos de vegetación son relativamente menores en número y extensión.

2.5.2. Salinidad

Para la existencia de ecosistemas de manglar estables se necesita un ambiente salino porque muchas especies son menos competitivas en condiciones no salinas (Lugo, A.E., 1980).

No obstante, la hipersalinidad puede afectar negativamente a los manglares, considerándose que una estación determinada es hipersalina cuando la salinidad (a nivel superficial o intersticial del suelo) sobrepasa la existente en el mar (en la mayoría de las zonas este nivel es como promedio de 35 ppt). El efecto debido a la salinidad y la resultante presión osmótica del agua del suelo, fuertemente negativa, es el desarrollo cada vez más achaparrado de la cubierta de manglar, desde el borde del agua hacia el interior. Esto se puede comprobar casi universalmente y tiene lugar independientemente de la composición en cuanto a especies.

La zonificación de las especies está influida en parte por la salinidad, aunque la importancia de su influencia depende de factores locales, climáticos y edáficos (Chapman, V.J., loc. cit; Mukherjee, B.B. y Mukherjee, J., 1978; Watson, J.G., 1928; Hann, J.H. de, 1931; Frodin, D., 1985; Thom, B.G., 1967). Análogamente, Saenger et al. (1983) llegan a la conclusión de que la eficacia con que cada especie afronta las fuertes salinidades del suelo, determina en gran medida su situación en la zona intermareal.

Los manglares se consideran como halofitos facultativos, es decir, que pueden con frecuencia sobrevivir aunque no necesariamente prosperen en hábitats no salinos (Cintron, G. y Schaeffer-Novelli, Y., 1983a; Walsh, G.E., 1974). Existen frecuentes informes que indican que el crecimiento de muchos halofitos se deprime sin cloruro sódico en el ambiente externo (Jennins, 1970; Flowers et al., 1977; Greenway y Munns, 1980). En el caso de los manglares, una serie de estudios actualmente disponibles señalan una tendencia fisióquímica similar y apoyan la hipótesis de que se necesita la presencia de cantidades limitadas de cloruro sódico en el medio externo. El Cuadro 2.5. resume los datos para 2 especies.

Cuadro 2.5.: Efecto de la salinidad en el crecimiento máximo de los manglares

ESPECIE	PORCENTAJE DE AGUA DE MAR (1) (%)	FUENTES
<i>Avicennia marina</i>	50%	Connor, 1969
<i>Avicennia marina</i>	20%	Clarke y Hannon, 1970
<i>Avicennia marina</i>	10-50%	Downtown, 1982
<i>Avicennia marina</i>	25%	Clough, 1984
<i>Avicennia marina</i>	25%	Burchett, Field y Pulkownik, 1984
<i>Rhizophora mangle</i>	100%	Stern y Voigt, 1959
<i>Rhizophora mangle</i>	25%	Pannier, 1959
<i>Rhizophora mangle</i>	25%	Clough, 1984

Nota:

1) Concentración de ClNa necesaria para el crecimiento máximo

2) El criterio de crecimiento utilizado es la acumulación de peso total de materia seca.

A pesar de las evidentes diferencias en los niveles de salinidad registrados anteriormente, que pueden deberse a la variación estacional de la salinidad del agua del mar, existe un margen de salinidad óptima para el crecimiento máximo. En niveles extremos, las especies de manglar sufren daños e incluso mortalidad. La muerte progresiva del Sundri (*Heritiera fomes*) se ha achacado a un aumento perjudicial en la salinidad del suelo (Christensen, B. y Snedaker, S.C., 1984; Chaffey, D.R. et al., 1985). Sin embargo, diferentes autores han descrito distintos márgenes para los valores de salinidad (Cintron, G.Y. y Schaeffer-Novelli, Y., 1983b; R. y Jimenez, J.A., 1982).

En la forestación en que se necesitan especies que se ajusten a la estación, el margen de salinidad necesario para el desarrollo óptimo de las plantas y la regeneración de una determinada especie, es más útil que los límites más amplios de supervivencia "ecológica". Yeo y Flowers (1980) han destacado que el fenómeno de la reacción del crecimiento a un aumento de la salinidad, hay que considerarlo independientemente de la tolerancia a salinidades extremas, que es mucho mayor que la salinidad óptima para el crecimiento. Sin embargo, es importante la información sobre los límites de tolerancia ecológica para predecir la continuidad o el desplazamiento de especies que se desarrollan en hábitats alterados o sujetos a fuertes tensiones. A este respecto, cuando se realizan programas de restauración de áreas ecológicas degradadas que pueden ser hipersalinas, es prudente utilizar propágulos recogidos de individuos que se desarrollan en estaciones similares, porque pueden ser ecotípicos o híbridos que están mejor adaptados a tales ambientes difíciles. Jimenez y Soto (1985) han elaborado una lista de las especies de los manglares centroamericanos de la costa del Pacífico

y sus salinidades máximas, incluyendo plantas herbáceas como la *Hymenocallis littoralis* y la *H. pedalis* (Liliaceae). Las *Hymenocallis* sp. parecen ser buenas indicadoras de la estación para hábitats que están relativamente bien lavados y que tienen escasa salinidad. Estas estaciones son óptimas para la *Rhizophora mangle* y la *Pelliceria rhizophorae*.

La salinidad es también un importante factor fisiológico que afecta a los animales de aguas marinas y salobres, empleándose como uno de los parámetros para evaluar el potencial de la acuicultura. Una salinidad muy alta o muy reducida influye en el crecimiento y si es extrema, puede ser mortal. Una salinidad inferior al 10% puede producir una pérdida de sabor en los camarones (Clifford, H.C., 1985). El *Penaeus vannamei*, una de las especies más apreciadas para cultivo va muy bien con salinidades que varíen del 15 al 20%. De acuerdo con Midget (1985), la relación salinidad-crecimiento para la mayoría de las especies de camarones penaeidos es la siguiente:

Cuadro 2.6.: Relación salinidad-crecimiento para el camarón penaeido

SALINIDAD (ppt)	CREENCIERTE
< 5 & > 40	escaso
5-15 & 30-40	regular
15 - 30	bueno

2.5.3. Otros factores edáficos

Los suelos de manglar suelen ser aluviales. No tienen normalmente rasgos característicos. son hidromórficos con un nivel variable de "gley" en los horizontes del subsuelo. Troll y Dragendorff (1931) consideraban que el color negro de muchos fangos de manglar lo producen bacterias anaeróbicas que reducen los sulfatos a sulfuros.

El problema del sulfato ácido

El elevado contenido de materia orgánica y de hierro en los suelos de manglar, combinado con el sulfato siempre resistente en el agua de las mareas, les hace particularmente susceptibles a la sulfatación ácida, debido a la oxidación, como sucede con frecuencia durante la construcción de estanques. Véase el Recuadro 2.2.

En condiciones anaeróbicas, los sulfatos procedentes del mar se suelen reducir a sulfuro de hierro o piritita (SFe y S_2Fe) mediante las bacterias reductoras de sulfatos que pertenecen al menos a dos géneros (*Desulfovibrio* y de *Desulfatormaculum*).

El drenaje natural o artificial y la aireación de estos sedimentos de piritita dan lugar a su oxidación y a la formación de ácido sulfúrico (SO_4H_2) que se libera abundantemente en ausencia de carbonato cálcico ($CaCO_3$) (Pons y Zonneveld, 1965; Vieillefon, 1974; Marius, 1977).

Fuente: Hamilton y Snedaker (1984)

Recuadro 2.2.: Problema del sulfato ácido

Cuando esto sucede, el pH de la balsa con frecuencia desciende a 3 ó menos, situación que crea problemas tanto a la acuicultura como a la agricultura (Watts, J.C.D., 1969, y Kanapathy, K., 1975). Potter (1977) menciona la baja producción natural, la pobre respuesta a los fertilizantes y el lento desarrollo de la pesca, como algunos de los efectos de la utilización de tales suelos para piscicultura. Cook y Rabanal (1978) recomiendan el abonado con cal para suelos con pH inferior a 6,5 pero el costo puede ser prohibitivo porque se necesitarían alrededor de 30 t/ha. de piedra caliza para aumentar en una unidad el pH de la capa superior de 30 cm. de un suelo ácido de manglar (Kanapathy, K., loc. cit.). El peligro potencial de la sulfatación ácida se debe considerar en la transformación física de los suelos de manglar y también la amenaza de contaminación ácida del ambiente y de la pesca. Dunn (1965) registró la muerte masiva de peces en algunos casos en que las intensas lluvias lavaron los ácidos del suelo, arrastrándolos a los ríos.

El problema de los suelos con sulfato ácido en relación con la transformación de terrenos de manglar en balsas saladas y campos de arroz ha sido estudiado también por Thominson (1957) y Hesse (1961a y 1961b). En Sierra Leona, donde se ha venido cultivando arroz en zonas de manglar desde 1855, Hesse encontró que los suelos antes cubiertos de *Rhizophora sp.* tienden a desarrollar condiciones edáficas adversas para la producción de arroz, debido a que estos suelos son de carácter sulfuroso y de naturaleza muy fibrosa, lo que se traduce en la formación de sulfato ácido y en la liberación de iones de aluminio cuando se desecan. Por el contrario, los suelos anteriormente cubiertos de *Avicennia* no eran fibrosos y no plantearon ningún problema al desecarlos. Una de las razones que pueden justificar estas conclusiones es que en Sierra Leona la *Avicennia* se suele encontrar en terrenos arenosos, que generalmente tienen menor contenido de fósforo y de azufre oxidable que los suelos arcillosos, dominados frecuentemente por la *Rhizophora sp.*

El muestreo de suelos da una idea de la naturaleza de aquéllos que están influidos texturalmente por depósitos de aluvión dentro del estuario. Por ejemplo, el gran transporte de sedimentos del río Terraba impide o reduce el importante desarrollo de las comunidades bентicas en los ríos, lo que puede tener un efecto en los manglares debido a la reducción de la tasa de renovación del suelo y en la productividad acuática que depende de la producción de fitoplancton y de los detritus orgánicos procedentes del manglar.

Las características del suelo afectan a la regeneración natural y artificial. Las especies vegetales que prosperan en la zona entre mareas están expuestas a muchas tensiones.

En primer lugar, la salinidad elevada (y sus fluctuaciones) crea tensión fisiológica. En segundo lugar, los suelos anegados tienen un bajo contenido de oxígeno intersticial. Tales condiciones anaeróbicas obligan a las plantas a conseguir oxígeno ya sea del aire o de la capa superior del suelo. En los suelos menos aireados, la *Rhizophora spp.* adopta una forma fisionómica diferente, con un gran número de raíces aéreas colgantes que parten del tronco y de las ramas superiores y también de raíces laterales "cundidoras". Las raíces aéreas cumplen no sólo la función de aireación sino que dan también estabilidad a los troncos como auténticas raíces, aunque estas funciones varían según la especie (Percival, M., y Womersley, J.S., 1975). En tercer término, la fluidez del substrato del suelo es otra limitación adicional importante especialmente para las especies arbóreas.

2.6. VEGETACION DE LOS MANGLAres

2.6.1. Formaciones y comunidades vegetales

En Centro América, Jimenez y Soto (1985) distinguieron tres zonas de manglar a lo largo de la Costa del Pacífico de Costa Rica: Norte, Centro y Sur del Pacífico. La vegetación se agrupa en tres tipos, de acuerdo con su distribución, las características biológicas, la salinidad del suelo y la intensidad de la inundación, de la forma siguiente:

(i) Vegetación nuclear

Este tipo constituye los manglares en sentido estricto, porque comprende especies de la zona intermareal que son dependientes de las influencias salinas, las denominadas halofitas forzadas. La mayoría de las especies tienen ciertas adaptaciones especiales que les permiten desarrollarse en el substrato del manglar, como la viviparidad, la fuerte tolerancia a la sal, la capacidad de soportar la sumersión por las mareas, los neumatóforos o raíces de aireación, la succulencia y las glándulas excretoras de la sal..

Las 5 especies más importantes son *Rhizophora mangle* L., *Rhizophora harrisonii* Leechman (*Rhizophoraceae*), *Pelliciera rhizophorae* Triana y Planchon (*Pelliceriacea*), *Avicennia germinans* L. (*Avicenniaceae*) y *Laguncularia racemosa* L. Gaertn. (*Combretaceae*).

(ii) Vegetación marginal

Las especies están corrientemente asociadas con los manglares en la franja del lado de tierra, en las áreas pantanosas estacionales de agua dulce, playas y hábitats marginales del manglar. Aunque existen en los manglares, estas especies no se limitan a la zona litoral. La *Conocarpus erecta* (*Combretaceae*) no se encuentra en el verdadero manglar. La *Mora oleifera* (Triana) Duke (*Leguminosae*) es abundante en la Costa Sur del Pacífico, particularmente en la Península de Osa, donde crece en pantanos estacionales que pueden ser bastante salinos (25%). Otras especies presentes incluyen *Annona glabra* L. (*Annonaceae*), *Pterocarpus officinalis* Jacq. (*Leguminosae*), *Hibiscus tiliaceus* L. y *Pavonia spicata* Killip (*Malvaceae*).

El helecho *Acrostichum aureum* L. (*Polipodiaceae*) negraforra, está muy extendido en la zona de agua salobre, representando una amenaza para la regeneración de briznales.

(iii) Vegetación marginal accidental

La *Carapa guianensis* (*Meliaceae*) se desarrolla en el Sur y parcialmente al Sur de la costa central del Pacífico, con salinidad próxima al 10%. Otras especies son la *Elaeis oleifera* y *Raphia taedigera*. Esta es la zona inter-terrestre que en el clima más ecuatorial correspondería a los pantanos de *Melaleuca leucadendron* (p. ej. Sur de Vietnam). Este tipo de vegetación tiene un potencial forestal limitado. Está fuertemente modificado debido a desarrollos humanos y es más apropiado para otros usos de las tierras.

Lugo y Snedaker (1974) identificaron y clasificaron los manglares de acuerdo con seis tipos de comunidades basados en la apariencia del bosque y relacionados con los procesos geológicos e hidrológicos. Cada tipo tiene su propia serie característica de variables ambientales como el tipo de suelo y su profundidad, la variación de salinidad del suelo y la intensidad de lavado. Cada grupo de comunidades tiene una serie de características en cuanto a producción principal, descomposición de hojarasca y exportación de carbono, junto con diferencias en las tasas de reciclado de nutrientes y

las componentes de la comunidad. A continuación se da una breve descripción de los tipos de comunidades, basada en la experiencia de Florida y expresada en la Figura 2.8.:

En Vietnam, los buenos manglares se sitúan en las costas relativamente abrigadas del sur, estando situados los mejores en la Península de Ca Mau. San y Hong (1984) clasificaron estos manglares en cuatro zonas principales de distribución. Las principales especies pioneras son la *Avicennia lanata*, *Sonneratia caseolaris*, *S. alba* y *Avicennia alba*.

Aksornkoae (1975) ha estudiado en Tailandia los cambios de vegetación fuera de los cursos de agua y los correspondientes valores de las propiedades del agua, con los resultados que se muestran en la Figura 2.9.

2.6.2. Zonificación e inundación

Mientras la temperatura del aire y del agua determinan los límites latitudinales de las especies del manglar, la lluvia generalmente condiciona su distribución y zonificación a lo largo de muchas costas no montañosas (Blasco, F. 1984). En Australia se consideran más importantes la temperatura y el balance hídrico.

Macnae (1966) atribuyó la distribución de los árboles del manglar y, por tanto, su zonificación a la interacción de: (a) la frecuencia de las inundaciones de las mareas, (b) la salinidad del agua del suelo, y (c) el anegamiento del suelo (drenaje). Walter y Steiner (1936) consideran como factores importantes el grado de inundación, la naturaleza del suelo y la salinidad. Con respecto a las mareas, Chapman (1976) considera que el factor más importante es el número de días consecutivos sin lavado de las mareas.

Mientras que el grado de inundación, dependiente del nivel del suelo, es importante para el establecimiento y dispersión de los propágulos, su efecto en bosques maduros puede ser menos pronunciado. Rabinowitz (1978) sugiere que la morfología de los propágulos condiciona la zonificación de los manglares de Panamá porque los propágulos más pequeños los pueden transportar las mareas más hacia el interior a través de la vegetación ya establecida.

Aunque existen muchas descripciones de los factores que contribuyen a la zonificación (cf. Floyd, 1977; Paijmans y Rollet, 1977), son Lugo (1980), Woodroffe (1983) y en Papua Nueva Guinea, Johnstone y Frodin (1982), quienes han intentado realizar unos análisis más rigurosos. Johnstone y Frodin han propuesto seis tipos de causas probables:

- * La inundación y profundidad del agua
- * La acción del oleaje
- * El drenaje
- * El régimen de salinidad y agua dulce
- * El substrato
- * La biota y las interacciones bióticas

Algunos de estos factores o todos ellos han sido destacados por distintos autores, pero el último factor mencionado ha sido frecuentemente olvidado.

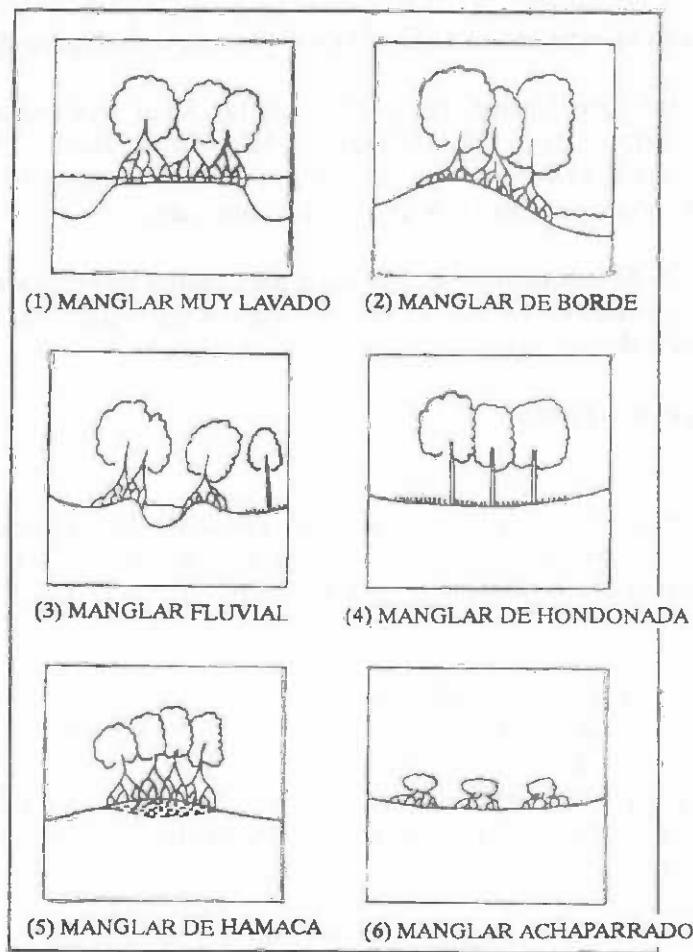
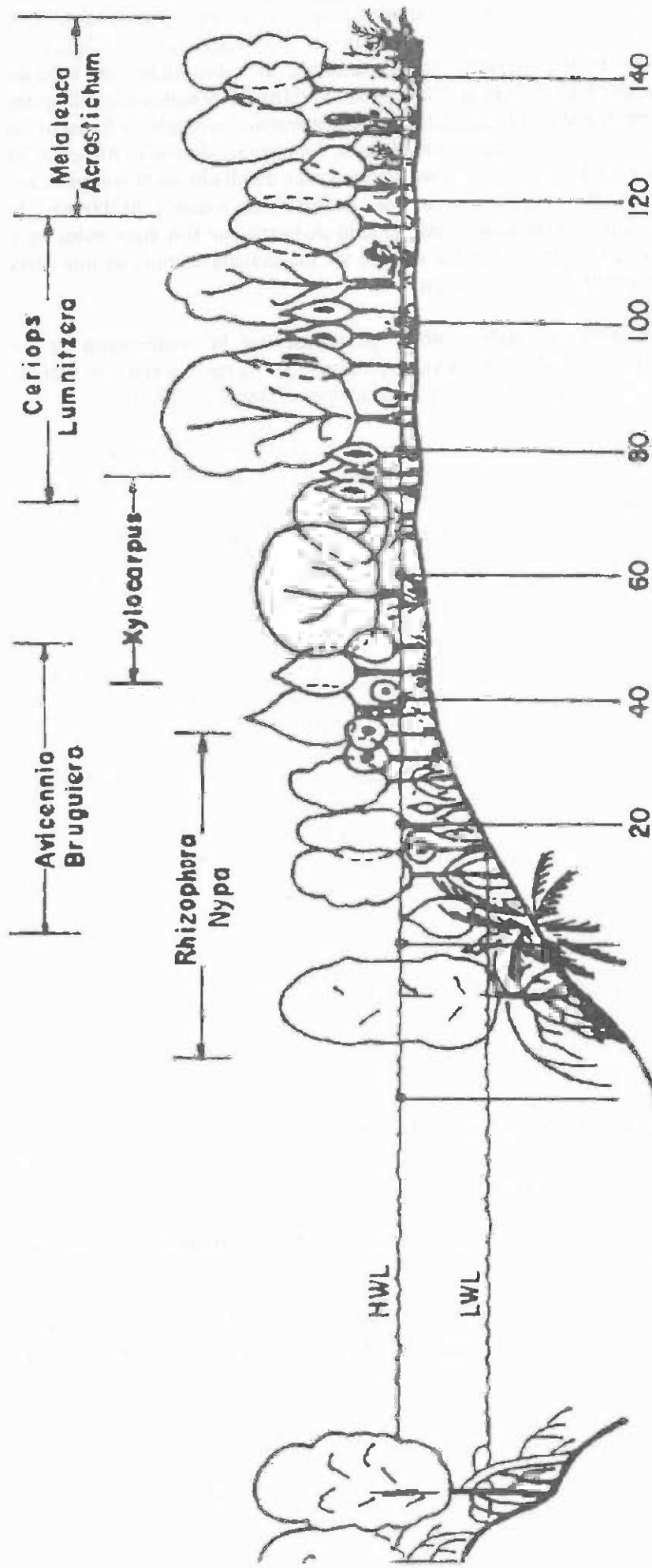


Figura 2.8.: Tipos de comunidades de manglar
Lugo y Snedaker, 1974

- (1) **Manglares muy lavados** - el mangle rojo es la especie dominante en estas islas que inundan y lavan frecuentemente las mareas. lo que se traduce en unas tasas elevadas de exportación de materia orgánica. La altura máxima de los árboles es de unos 7 m. (23 pies).
- (2) **Manglares de borde** - estos bordes de manglar se encuentran a lo largo de los cursos de agua y mejor definidos a lo largo de las líneas costeras, cuyas elevaciones son superiores a los niveles medios de la pleamar. La altura máxima de los manglares es de unos 10 m. (32 pies).
- (3) **Manglares fluviales** - este tipo puede ser de bosques altos, a lo largo de ríos y ensenadas, sujetos a las mareas y sometidos a un lavado regular. Se encuentran aquí los tres manglares de Florida: el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle rojo (*Rhizophora mangle*). La altura de la masa puede alcanzar 18 a 20 m. (60-65 pies).
- (4) **Manglares de hondonada** - este tipo, generalmente achaparrado, se sitúa en el interior de zonas pantanosas. en depresiones que canalizan la escorrentía terrestre hacia la costa. Los manglares rojos están presentes cuando existe un lavado de las mareas pero hacia el interior predominan el mangle blanco y el negro. Los árboles pueden alcanzar 15 m. (49 pies) de altura.
- (5) **Bosques de "hamaca"** - son en general similares al tipo 4, pero se encuentran en sitios ligeramente elevados respecto a las áreas circundantes. Se encuentran aquí todas las especies pero la altura rara vez es mayor de 5 m. (16 pies).
- (6) **Bosques achaparrados o enanos** - este tipo de comunidad es característico de la faja costera llana del Sur de Florida y de los Cayos de Florida. Se encuentran las tres especies pero rara vez pasan de 1.5 m. (4.9 pies). Los nutrientes parecen ser el factor limitante.



Propiedades del agua	Zona abierta	Margen del bosque	Distancia, m.			
			20	40	60	80
Temperatura, °C	29,5	29,1	28,7	27,9	27,8	27,6
pH	7,2	7,0	6,9	6,7	6,7	6,6
Salinidad, %.	22,21	22,04	21,46	20,96	20,67	19,49
Oxígeno disuelto, mg/l	3,37	2,99	2,68	2,36	2,15	1,70
COD mg/l	17,91	18,88	17,73	16,48	16,82	20,62
PO ₄ Ug para P/l	1,290	0,967	0,966	0,823	0,838	0,859
NO ₃ Ug para N/l	2,220	2,388	2,533	2,418	2,365	2,407
SIO ₂ Ug para Si/l	87,57	94,33	94,73	91,61	99,72	100,82
					103,31	107,84

Figura 2.9. Cambios de la vegetación y valor medio de las propiedades del agua (corte transversal) a distintas distancias del curso del agua, en Tailandia.
(Según Aksornkaoe, 1975).

Las zonas de vegetación son con frecuencia fácilmente reconocibles en los manglares. Los estudios de zonificación proporcionan una buena indicación de los requisitos ecológicos y selviculturales para la ordenación de los bosques, particularmente al seleccionar los hábitats apropiados para las especies preferidas y al evaluar *in situ* la productividad del bosque en condiciones naturales. Los problemas de regeneración se pueden reducir frecuentemente evitando el fomento de especies fuera de sus hábitats naturales. Por ejemplo, en Malasia Peninsular, donde se ha aplicado desde 1902 una ordenación intensiva del manglar, el conocimiento más detallado de la composición florística, con hincapié en unas pocas especies preferentes, ha aclarado muchos problemas de regeneración. La *Rhizophora apiculata* se planta en zonas del lado de tierra que son marginales para su desarrollo y como consecuencia, la regeneración natural suele ser inadecuada después de una corta rasa, necesitándose un extenso programa de reforestación.

Tres clasificaciones, entre otras, se suelen utilizar para describir la zonificación de los manglares. Dos de ellas se basan en el concepto de gradiente mientras que la tercera sigue el sistema de Braun-Blanquet, descompuesto en órdenes, alianzas y asociaciones (Chapman, 1976).

(i) Watson (1928) en un estudio pionero sobre la ecología de los manglares de Malasia, dividió las comunidades de manglar de Malasia Occidental en cinco clases, basándose en la frecuencia de las inundaciones. El significadoselvíscola de esta clasificación es que una especie se asigna a una clase determinada de inundación basándose en su capacidad para regenerarse por si misma, y *no sólo en su presencia*. Este tipo de trabajo ha sido ampliado para incluir una estimación de las propiedades funcionales de las distintas especies y conjuntos de especies según los gradientes ambientales (Lugo y Snedaker, 1974).

(ii) De Hann (1931) consideró la salinidad como el principal factor que condiciona la distribución, y la inundación de las mareas, como un factor secundario. Su esquema tiene dos divisiones principales, cada una con sus divisiones, de la forma siguiente:

A. Zona de salobre a agua salada, con salinidades de pleamar entre 10 y 30‰, e inundada

- A1 una o dos veces diarias durante 20 días/mes
- A2 10-19 veces al mes
- A3 9 veces o menos al mes
- A4 sólo unos pocos días al mes

B. zona de agua dulce a salobre, con salinidades entre 0-10‰.

- B1 más o menos, bajo influencia de la marea
- B2 inundada estacionalmente

En el Cuadro 2.7 se comparan las clasificaciones de Watson y De Hann.

La inundación de las mareas como factor determinante

Se pueden utilizar tres métodos para determinar la situación de las comunidades y especies forestales en relación con los niveles de las mareas:

- (a) Realización de una nivelación local, basada en un punto topográfico por encima del nivel de pleamar, referenciando este punto topográfico con un nivel de mareas del puerto más próximo.

Cuadro 2.7. Clases de inundación de acuerdo con la clasificación de Watson y De Hann

CLASES DE INUNDACION	ALTURA SOBRE EL PLANO DE REFERENCIA (pies)	FRECUENCIA DE LAS INUNDACIONES	
		VECES/MES (WATSON)	DIAS/MES (De HANN)
1. Todas las pleamaras	0-8	56-62	20+
2. Pleamaras medias	8-11	45-59	10-19
3. Pleamaras normales	11-13	20-45	4-9
4. Pleamaras vivas	13-15	2-20	2-4
5. Mareas anormales o equinocciales	15	2	2
6. Sólo en la estación húmeda			Estacionalmente inundado

- (b) Nivelación basada en un poste de mareas establecido en la marisma y relacionado con un mareómetro del puerto más próximo.
- (c) establecimiento de un mareómetro local.

Hay, sin embargo, un método más sencillo que suele ser suficiente en la mayoría de los casos y que consiste en atar una serie de botellas colocadas horizontalmente una sobre otra en un conjunto vertical y sujetas mediante dos pequeñas estacas, registrando los niveles de las mareas mediante anotación de la altura de la botella más alta llena de agua de mar. Hay que tener cuidado para asegurarse de que el dispositivo de medición se coloca fuera de posiciones descubiertas. Una vez que se determina la altura de la marea viva, se puede establecer un poste permanente de mareas. También en este caso, mediante una nivelación topográfica local es posible extrapolar después este punto geográfico aproximado a otras posiciones.

Es conveniente contar con un conocimiento de la frecuencia y profundidad de las inundaciones para el establecimiento de plantaciones en que debe dedicarse atención especial a las áreas que tienen un flujo inadecuado de mareas o que están sujetas a inundaciones profundas. El método anterior puede utilizarse también para estimar las cantidades relativas de depósito de sedimentos entre distintas estaciones. Por ejemplo, si se construyen y colocan varios dispositivos de registro en distintas estaciones, se puede comparar fácilmente la turbidez del agua. También puede emplearse para medir los efectos de las operaciones de explotación maderera sobre la estabilidad del substrato, observando la calidad del agua recogida en las botellas, antes, durante y después de tales operaciones.

En el Cuadro 2.8 se resume la posición de algunas especies del Nuevo y del Viejo Mundo con respecto a las clasificaciones de Watson y De Hann.

- (iii) Walter y Steiner (1936) que trabajaron en los manglares de Tanga, en Tanzania, denominaron las zonas según los árboles dominantes. Este esquema fue adoptado y modificado por Macnae (1966), que identificó las zonas siguientes:
 - (a) Franja del lado terrestre
 - (b) Zona de *Ceriops* achaparrados
 - (c) Zona de bosques de *Bruguiera*
 - (d) Zona de bosques de *Rhizophora*
 - (e) Zona de *Avicennia* del lado del mar
 - (d) Zona de *Sonneratia*

Estos modelos de zonificación no son universales, viéndose modificados por el clima, la salinidad, la morfología costera y el caudal de agua dulce. El bosque de Sundarbans, de las llanuras deltaicas de los ríos Ganges y Brahmaputra, cae dentro de la categoría de "franja del lado terrestre", que es la zona más variable.

Cuadro 2.8.: Existencia de especies del Nuevo y del Viejo Mundo, según las clases de inundación (según Chapman, 1975)

CLASES DE INUNDACION DE WATSON (1928)- TIPO DE INUNDACION	CLASES DE INUNDACION DE HANN (1931) BASADA EN SALINIDAD/FRECUENCIA	ESPECIES DOMINANTES DEL VIEJO MUNDO	CHAPMAN (1944) INUNDACIONES/AÑO	ESPECIES DOMINANTES DEL NUEVO MUNDO
1. Todas las pleamaras	A. De salobre a salino; salinidad 1-3‰ con pleamar			
	A1 1-2 veces/día; por lo menos, 20 días/mes	<i>Sonneratia alba</i> <i>S. apetala</i>	530-700+	<i>Rhizophora mangle</i>
2. Pleamar media	A2 10-19 días/mes	<i>Rhizophora</i> <i>Bruguiera</i>	400-530 al año	<i>Avicennia germinans</i>
3. Pleamaras normales	A3 9 días/mes	Franja del lado terrestre <i>Xylocarpus granatum</i>		
4. Sólo mareas vivas	A4 Sólo unos pocos días/mes	<i>Lumnitzera littorea</i> <i>Bruguiera sexangula</i>	150-250 al año	<i>Laguncularia racemosa</i>
5. Sólo pleamaras de temporal	B. Agua dulce a salobre; salinidad 0-10‰ Más o menos bajo influencia de las mareas	Halofitas o de llanuras salinas <i>Nypa fruticans</i>	4-100 al año	Salina o <i>Laguncularia</i> <i>Conocarpus</i>

El empleo en este informe de las clases de inundación no significa una relación sucesional sino que destaca más bien la utilidad de tal clasificación para la ordenación forestal, en la que se requiere un conocimiento de las condiciones de las mareas y de la profundidad de inundación para planificar los métodos de aprovechamiento y la reforestación. Por ejemplo, en Costa Rica, la existencia frecuente de la *R. mangle* en suelos húmedos y sueltos impide el uso de tranvías forestales para la extracción de madera, mientras que los rodales de *A. germinans* en suelos más secos y consolidados, pueden ser con frecuencia accesibles desde el lado terrestre, utilizando sistemas de aprovechamiento semimecanizados porque el suelo tiene mayor capacidad de carga. La regeneración artificial de la Clase de Inundación I de Watson (C.I.W.-I) suele ser difícil debido a la profundidad de la inundación, a su frecuencia y a los suelos muy sueltos e inmaduros.

2.6.3. Aspectos ecológicos de la sucesión

La sucesión se refiere a la sustitución de la biota de un área por otra de diferente naturaleza. Ha habido muchas discusiones en la bibliografía referente a la relación entre zonificación y sucesión (Lugo, 1980).

La idea de que la zonificación es el compendio de la sucesión (Davis, 1940) implicando un desarrollo inevitable hacia una tipo de vegetación terrestre distinta del manglar, ha sido muy criticada (p. ej. Rabinowitz, 1978) ya que tal progresión de acontecimientos no es universal (Johnstone y Frodin, 1982; Lugo y Snedaker, 1974).

Sin embargo, la relación entre zonificación y sucesión ha sido documentada claramente en manglares con líneas de costa en progresión, fuertes precipitaciones en todas las estaciones y considerable variación entre mareas (Watson, 1928; Putz y Chan, 1986).

La formación de llanuras de fango de acrecentamiento reciente en líneas costeras en progresión, da lugar a una permanente transferencia ecológica de estaciones en la faja del lado terrestre, hacia un bosque de tierras secas por encima de la influencia de las mareas. Sin embargo, este modelo sucesional hace hincapié en el papel fisiográfico del lodo en la formación de costas en aumento, en lugar del modelo clásico de los manglares como constructores de nuevas tierra.

Los procesos geomórficos y los acontecimientos climáticos graves de carácter episódico, determinan el estado de los hábitats intermareales. Thom (1984) ha sugerido que tiene una importancia fundamental un sistema para clasificar las costas de manglar en situaciones de aumento, de erosión o estables, para comprender los actuales modelos de distribución de la vegetación dentro de una región determinada y también como escala de tiempos de la dinámica de la vegetación. Una línea de costa en aumento es sólo una entre muchas formas geomórficas, y por ello, el modelo sucesional no puede aplicarse universalmente a todos los ecosistemas costeros.

Putz y Chan (1986) en un análisis del crecimiento de un rodal y su dinámica, en un bosque maduro de Malasia controlado desde 1920, llegó a la conclusión de que los modelos observados de sustitución de especies recuerdan el proceso clásico sucesional observado y propugnado por Watson. La *Rhizophora apiculata*, especie de crecimiento rápido pero menos tolerante a la sombra, está siendo sustituida gradualmente por otra especie de crecimiento rápido más tolerante a la sombra que es la *Bruguiera gymnorhiza* (Rhizophoraceae) y también por otras especies características más hacia el interior. Los mismos investigadores sugieren que la tolerancia a la sombra y las características de dispersión deben incluirse entre los factores ecológicos que influyen en la distribución de las especies arbóreas en los manglares.

Los manglares de Terraba-Sierpe, a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica, y los manglares de Ayeyarwady de Myanmar, son ejemplos de sistemas de delta dominados por el oleaje (*sensu* Thom, 1984). La fuerte carga de sedimentos en los terrenos más altos produce normalmente una línea de costa acrecentada si no está físicamente compensado por acciones erosivas del oleaje y la corriente de las mareas en las desembocaduras de los ríos. Esto lleva a la formación de bancos de arena alargados, barras arenosas y líneas de costa redondeadas. La fuerte carga de sedimentos de la escorrentía terrestre da lugar a un entarquinamiento anual de los bosques, lo que contribuye a la fertilidad del suelo y a la productividad forestal. En Playa Garza, Costa Rica, los análisis mecánicos de muestras de suelos indican que las muestras situadas cerca de la desembocadura del río tienen un mayor porcentaje de arena, lo que suele mejorar la firmeza del suelo y su drenaje (aireación). Tales estaciones mantienen buenos rodales de *R. harrisonii* y de *P. rhizophorae*.

Cuando el ambiente mareal es muy fluido y dinámico, la tasa de cambio físico ambiental en estaciones localizadas puede aproximarse o incluso exceder a los procesos ecológicos endógenos de cambio (cambios cíclicos, regeneración de vacíos o sucesión). A este respecto, la dinámica de la vegetación de manglar debe contemplarse con una perspectiva más amplia que la que se aplica a la vegetación terrestre, cuyos ambientes suelen ser estables en relación con tales procesos.

Muchos estudios ecológicos sobre modelos de vegetación dependen del análisis a nivel de especies (solamente atributos florísticos) para demostrar la segregación y el desarrollo de la dominancia, basándose en la suposición implícita de que las distintas especies tienen necesidades de núcleo ecológico suficientemente diferentes (*sensu* Grubb, 1977). Hay pocas dudas de que se produce un cambio de especies.

Esto se puede observar en el campo mediante un cambio inicial en la forma biológica individual, expresado colectivamente por el cambio de la estructura de la comunidad. Selviculturalmente, algunos cambios importantes son: (i) la biomasa potencial sobre el suelo (calidad de la estación/productividad), (ii) la composición de especies arbóreas (carácter específico de la estación) y (iii) la estructura de la comunidad (calidad de forma).

Aunque parece existir una gama óptima de estaciones para las principales especies, y la competencia entre especies puede ser baja debido al escaso número de especies, su forma fisionómica puede variar desde bosque alto hasta matorrales o chaparrales. La presencia probable de lentes intercaladas de aluvión es otro factor que ocasiona cambios en el micro hábitat, existiendo muchos procesos que no se entienden bien como por ejemplo el de la "inundación profunda" de algunas áreas (Noakes, D.S.P., 1956, p. 187) y la existencia de estructuras circulares de vegetación en Gabón (Legigre, J.M., 1983, p. 20). Esto último puede estar motivado por rayos o por la existencia de un hundimiento inicial. En el área de Matang a lo largo de la costa occidental de Malasia Peninsular, son muy corrientes unas zonas circulares rasas que se deben a la muerte de los árboles por rayo, especialmente del lado del mar.

En Malasia las condiciones de la *Rhizophora spp.* que constituye la mayor parte de las existencias comerciales en pie, pueden considerarse como la situación óptima de desarrollo de una marisma de manglar. Estas condiciones son, en resumen: i) la inundación por las mareas ordinarias, ii) la salinidad moderada (20-35‰), iii) la aireación y el enriquecimiento del suelo por acumulación de materia orgánica, y iv) la abundancia de pequeños arroyos y canales que ayudan a la dispersión de los propágulos y promueven un lavado eficaz por las mareas. El potencial de regeneración natural suele ser bueno. Los manglares y sus ciénagas o lagunas circundantes son refugios ideales para diversas especies de crustáceos. Suele haber también una importante población de cangrejos, principalmente el cangrejo tramposo *Uca sp.*, y varias especies de *Sesarma*. Sus innumerables guaridas ayudan a airear el subsuelo. Algo de materia orgánica se transfiere también al suelo situado bajo la superficie, y en consecuencia tales suelos pueden tener un alto contenido de materia orgánica. Es interesante señalar que los mejores bosques no tienen normalmente festones de raíces aéreas colgantes, lo que está de acuerdo con la observación de Watson de que el desarrollo de raíces de sostén es más acentuado en suelos inferiores o en áreas de inundación profunda.

En América Central, la *R. mangle* puede considerarse como la principal especie colonizadora de los manglares, en sentido estricto. Como es relativamente intolerante a la sombra, se encuentra normalmente en suelos inmaduros y blandos, junto a las márgenes soleadas de los ríos, donde se regenera con facilidad. Cuando el suelo es firme y está más elevado, es sustituida por otras especies como la *Pelliciera rhizophorae*, que es más tolerante a la sombra y puede encontrarse en suelos bastante arenosos. En las ensenadas y canales menos soleados y más firmes, el bosque de galería puede incluir una mezcla de *R. mangle* y de *R. harrisonii*. En llanuras de lodo o ciénagas de formación reciente, la *Laguncularia racemosa* es a veces la especie pionera. La franja del lado de tierra es una zona muy variable y no contiene muchas especies de manglar de importancia económica. La especie principal es la *Avicennia germinans* que generalmente tiene mala conformación. La *L. racemosa* y la *P. rhizophorae* se dan también en esta zona.

En el sudeste de Asia las especies pioneras son normalmente la *Avicennia lanata* y *alba* o la *Sonneratia alba*.

2.7. FAUNA DE LOS MANGLARES

2.7.1. Fauna silvestre

Una recopilación de las especies de fauna terrestre (mamíferos, reptiles y anfibios) y de aves, que se encuentran en los Sundarbans, la mayor superficie continua de manglares del mundo se presenta en Das y Siddiqi (1985). McNae (1968) hace un relato general de la fauna de los manglares de la región Indo-Pacífica Occidental y Saenger et al. (1983) consideran la situación mundial de los ecosistemas de manglar, incluida su fauna.

Mamíferos

Muchos mamíferos frecuentan los hábitats de manglar pero sólo unos pocos viven allí permanentemente, y menos aún son exclusivos de ellos (FAO, 1982). Sin embargo, en muchos países los manglares representan el último refugio de una serie de mamíferos raros y amenazados.

Durante la bajamar en Malasia, se suele observar a los monos (*Macacus irus*) alimentándose de mariscos y cangrejos y al mono de cara blanca (*Cebus capucinus*) comiendo pianguas (berberechos) en los manglares de Costa Rica. Según la información disponible, cuando son numerosos estos monos, la zona es pobre en pianguas. Hacen también ciertos daños a los brizales recientemente establecidos, porque los arrancan. El mono de trompa de Malasia (*Nasalis larvatus*) es endémico en los manglares de Borneo, donde se alimenta del follaje de la *Sonneratia caseolaris* y de la *Nipa fruticans* (FAO, 1982) y de los propágulos de *Rhizophora*. Los monos, a su vez, son víctimas de los cocodrilos y de los cazadores furtivos.

Entre otros mamíferos se incluyen el tigre real de Bengala (*Panthera tigris*), el leopardo (*Panthera pardus*) y el ciervo moteado (*Axis axis*), en los Sundarbans; los jabalíes (*Sus scrofa*) y el ciervo ratón (*Tragulus sp.*), en las marismas de Nipa de todo el sur y sudeste de Asia; y pequeños carnívoros como los gatos pescadores (*Felis viverrina*), las algalias (*Viverra sp.* y *Viverricula sp.*) y las mangostas (*Herpestes sp.*). Las nutrias (*Aonyx cinera* y *Lutra sp.*) son corrientes, pero es raro verlas.

Los delfines, como el del Ganges (*Platanista gangetica*) y el común (*Delphinus delphis*) se encuentran también en los ríos de los manglares, así como los manatíes (*Trichechus senegalensis* y *Tichechus manatus latirostris*) y los Dugongos (*Dugong dugon*) aunque estas especies cada vez se hacen más raras y en muchos lugares están amenazadas de extinción.

Reptiles y anfibios

Cocodrilos y caimanes son algunos de los reptiles más importantes que habitan naturalmente los ambientes marinos y estuarinos.

En Costa Rica se encuentran dos especies, el *Crocodilus acutus* (lagarto), y el *Caiman crocodilus* (lagarto cuajipal), que están incluidas como especies amenazadas, debido en gran parte al comercio internacional de sus pieles. El *C. acutus* tiene un ámbito geográfico muy extenso, encontrándose en Cuba, y en las costas del Pacífico de Centro América, en Florida y Venezuela. La especie cubana *Crocodilus rhombifer* se encuentra en la Ciénaga de Lanier y es endémica. El caimán americano *Alligator mississippiensis* está incluido en la lista de especies amenazadas de Florida

(Hamilton y Snedaker, 1984). En África Occidental el cocodrilo largo hocicudo (*Crocodilus cataphractus*) se encuentra en las zonas de manglar y, en Asia, el cocodrilo de agua salada, *Crocodylus porosus*, está amenazado en gran parte de su ámbito. Sin embargo, se están haciendo esfuerzos para conservarlo en la India, Bangladesh, Papua Nueva Guinea y Australia (FAO, 1982).

Los grandes lagartos, *Iguana iguana* (iguana) y *Ctenosaura similis* (garrobo), se encuentran corrientemente en los manglares de América Latina, donde los come la población local, al igual que sus parientes de África Occidental (*Varanus exanthematicus*) y Asia (*Varanus salvator*).

Las tortugas fluviales son corrientes y las tortugas marinas se sabe que ponen sus huevos en las playas arenosas de muchas áreas de manglar de todo el mundo. A lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica, los dos lugares más importantes de desove, visitados por la tortuga Ridley del Pacífico (*Lepidochelys olivacea*), son la Playa de Nacite en el Parque Nacional de Santa Rosa y la Playa de Ostional cerca del Río Nosara. Esta tortuga es apreciada por su carne y pesa como promedio 40 Kg. Su número está disminuyendo debido a los depredadores y a la explotación excesiva de algunos países, especialmente México y Ecuador.

También en las zonas de manglar se puede encontrar una serie de serpientes, especialmente en la franja del lado terrestre.



Fig. 2.10. Mono de trompa alimentándose con propágulos de *Rhizophora*

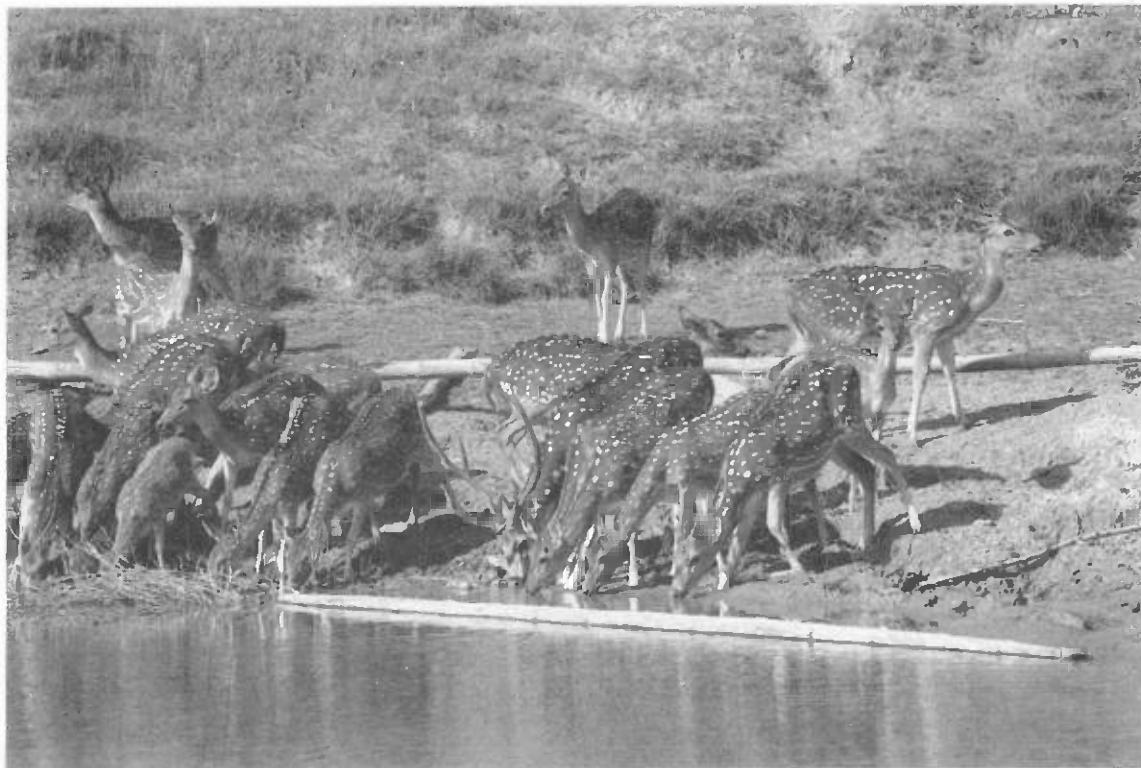


Figura 2.11.: El ciervo moteado (*Axis axis*) de los Sundarbans. Foto de M.L. Wilkie



Figura 2.12.: El cocodrilo de agua salada (*Crocodilus porosus*) de Indonesia. Foto de M.L. Wilkie.

2.7.2. Avifauna

Las zonas pantanosas sujetas a las mareas son un refugio ideal para la avifauna, algunas de cuyas especies son migratorias. De acuerdo con Saenger et al. (1984) la lista total de especies de aves de manglar en cada una de las principales regiones biogeográficas incluye de 150 a 250 especies. A nivel mundial, 65 de ellas están en la lista de especies amenazadas o vulnerables. Se han realizado varios estudios de la avifauna de las zonas de manglar del Sudeste de Asia (véase por ejemplo Das y Siddiqi, 1985; Eftemeijer, Balen y Djuharsa, 1988; Howes, 1986 y Silvius, Chan y Shamsudin, 1987).

En Cuba, hay varias especies endémicas que ocupan nichos ecológicos muy especializados como el canario de manglar (*Dendroica petechis gundlachi*) y la pequeña oca del manglar (*Rallus longirostris caribaeus*). Las aves más numerosas son las zancudas, las garzas, las gareetas y las cigüeñas. Entre las aves de presa se incluyen las águilas marinas (*Haliaetus leucogaster*), los milanos de Brahma (*Haliastur indus*), los quebrantahuesos (*Pandion haliaetus*) y las águilas pescadoras (*Ichthypagrus ichthyaetus*).

Los martín pescadores y los comedores de abejas están entre las aves de más colorido observadas corrientemente en los manglares.

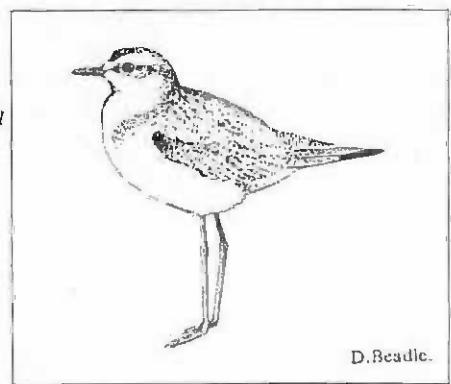


Fig. 2.13. Chorlito grande de los arenales

2.7.3. Recursos acuáticos

La importancia de las zonas de manglar como terrenos de alimentación, cría y vivero de numerosas especies comerciales de pesca y mariscos es bien conocida (Heald y Odum, 1970; MacNae, 1974; Martosubroto y Naamin, 1977). Análogamente, según informó Chong (1987), la situación de los campos de pesca de Sierra Leona está correlacionada geográficamente con la distribución de los manglares costeros. Véase también el Cuadro 3.7.

La formación de un lodo blando arcilloso, donde los cangrejos pueden hacer sus madrigueras, y el crecimiento de la hierba de mar o hierba de tortuga, se ha observado que atraen a la fauna de crustáceos a lo largo de las zonas de manglar.

Matthes y Kapetsky (1988) han preparado un compendio mundial de especies acuáticas de importancia económica asociadas con los manglares, incluyendo información sobre la extensión geográfica de cada especie, la parte de los manglares en que se encuentran, la dependencia del organismo respecto a los manglares y su calidad y uso en la pesca.

Aksornkoae (1993) presenta listas de los camarones, peces, cangrejos y moluscos que se encuentran en Tailandia.

Pesca

Se han registrado más de 120 especies de pesca capturadas por los pescadores en los Sundarbans (Seidensticker y Hai, 1983), casi todas ellas especies de aguas salobres y estuarinas.

Ulloa (1978) registró 92 especies piscícolas pertenecientes a 13 familias, capturadas en la Bahía de Jiquilisco en El Salvador y Monkprasit et al. (1983) registraron 72 especies en los manglares de Tailandia (citado en Aksornkoae, 1993).

Entre las especies de interés comercial se incluyen los salmonetes (Mugilidae), los pargos (Lutjanidae), el sabalote (*Chanos chanos*), el róbalo de mar (*Lates calcarifer*) y la tilapia (Cichlidae). El pez más conspicuo es quizás el saltador del barro (*Periophthalmus sp.*), que es endémico de los manglares.

Mariscos

A pesar de la presencia de los mamíferos y reptiles más espectaculares, hay indicaciones de que los animales que contribuyen con el máximo de biomasa en los manglares son los mariscos [término general para crustáceos (cangrejos y camarones) y moluscos (bivalvos y gasterópodos)].

El cangrejo trámoso, *Uca sp.* y diversas especies de *Sesarma* son habitantes corrientes de las zonas de manglar entre mareas en toda la Región Indo-Pacífico. En la zona del Golfo de Arabia y en los Emiratos Árabes Unidos se han observado cangrejos de la familia *Portunidae*.

Los cangrejos comestibles (*Scylla serrata* de Asia y África Oriental y el *Callinectes latimanus* de África Occidental) constituyen un producto muy apreciado de los manglares.

Los camarones más corrientes incluyen el camarón gigante de agua dulce (*Macrobrachium rosenbergii*) y los camarones penaeidos marinos (*Penaeus indicus*, *P. merguiensis*, *P. monodon*, *Metapenaeus brevicornis*). Todas estas especies probablemente tienen una historia biológica básica similar, teniendo lugar la freza fuera de la costa, una migración de las larvas cerca de la orilla, una etapa juvenil estuarina, seguida de una migración de reproducción fuera de la costa, para completar su ciclo biológico. Sin embargo, las especies se diferencian en cuanto al alcance de su traslado fuera de la costa durante esta migración. Estudios realizados en Malasia demostraron que el género *Penaeus* era abundante en todas las profundidades hasta 50 m. mientras que el *Metapenaeus* era más abundante en el ámbito de los 11-30 m. y el *Parapenaeopsis* estaba más limitado a la zona de 5-20 m.

Según se informa, los camarones penaeidos lejanos a la costa crían durante la mayor parte del año, pero se han observado períodos máximos en mayo-julio y octubre-diciembre, que coinciden con la llegada de los monzones. En Malasia Occidental se registró una entrada máxima de postlarvas de *P. merguiensis* durante noviembre y diciembre.

Después de tres a cuatro meses en los estuarios de manglar, los camarones juveniles migran a las aguas costeras poco profundas de marzo a junio, donde se produce la madurez sexual. Cuando son mayores se trasladan mar adentro a los campos de freza en profundidades que pasan de las 10 brazas. Las principales migraciones para la freza comienzan en junio y continúan hasta finales de enero.

Respecto a los moluscos, en Centro América, el bivalvo mayor es la *Anadara grandis* (chucheca), actualmente raro debido al exceso de explotación. Las pianguas, que son almejas más pequeñas que comprenden principalmente dos especies, *Anadara multicostata* y *A. tuberculosa*, se explotan actualmente en lugar de la chucheca. La *Anadara tuberculosa*, Sowerby, es un molusco bivalvo que se encuentra corrientemente en el ecosistema de manglar desde la Baja California a Perú (Keen, 1971).

El bivalvo más importante de los manglares indomalayos es el berberecho sanguino (*Anadara granosa*) y entre los gasterópodos que se cogen comúnmente se incluyen *Cerithidia obtusa*, *Telescopium maurisii* y *T. telescopium*.

Las ostras son también importante fuente de producción acuática, que pueden cultivarse igual que los mariscos siempre que se cuente con un sustrato apropiado para atraer las frezas de las ostras, y que las condiciones estuarinas sean apropiadas.

La importancia de los mariscos como fuente de proteínas fácilmente accesibles y como recurso económico renovable para los pobladores costeros, hace de estos recursos la explotación más importante de los manglares.

Bentos

Hasta hace muy poco, han sido muy raros los estudios sobre la fauna bética de los llanos de fango intermareales de las regiones tropicales, a pesar de que tales estudios podían dar indicaciones sobre el valor de tales áreas como hábitats potenciales de alimentación para la avifauna y para la pesca marina y estuarina (Erfemeijer, Balen y Djuharsa, 1988; Silvius, Chan y Shamsudin, 1987). Sin embargo, se han realizado estudios recientes, por ejemplo en Hong Kong, China y Taiwan, con frecuencia en relación con estudios de viabilidad sobre el uso de los manglares para el tratamiento de aguas residuales (véase HKUST, 1993).

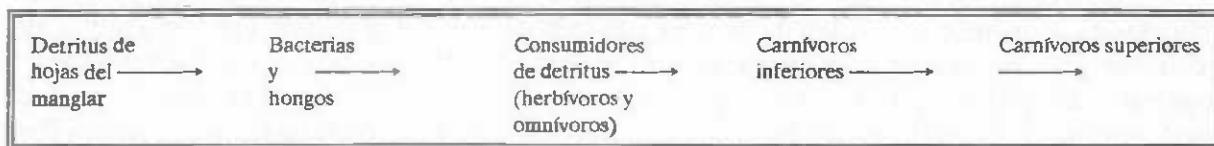
La fauna bética incluye peces juveniles, crustáceos, cangrejos y bivalvos, dividiéndose en dos clases: Macro-bentos > 1 mm. y Meio-bentos < 1 mm.

2.8. RELACIONES TROFICAS EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR

La ordenación integrada con éxito de los recursos madereros y no madereros del manglar depende del conocimiento, en primer lugar, de los parámetros ecológicos y selvícolas para la ordenación forestal (producción principal) y, en segundo término, del papel biológico que desempeña la producción principal del bosque en el tejido alimentario de los recursos acuáticos (producción secundaria). Por ello, es fundamental conocer el papel de las especies principales en el mantenimiento del equilibrio de un ecosistema determinado.

2.8.1. Tejido alimentario

Nuestro conocimiento actual sobre el flujo de energía en el ecosistema de manglar se basa sobre todo en los trabajos pioneros sobre las cadenas tróficas realizados en Florida (Heald, 1971; Heald y Odum, 1970; Odum, 1971; Odum y Heald, 1972; 1975; y Odum *et al.*, 1972). En forma resumida, el flujo principal de energía sigue el curso siguiente.



La cadena comienza con la producción por las plantas de carbohidratos a partir del dióxido de carbono y de carbono a través de la fotosíntesis.

El lecho de hojarasca es fragmentado seguidamente por la actuación de anfípodos y cangrejos (Head, 1971; Sasekumar, 1984). La descomposición de los detritus de hojarasca prosigue mediante

la pudrición ocasionada por microbios y hongos (Fell et al., 1975; Cundell et al., 1979) y por la utilización y reutilización de las partículas de detritus (en forma de material fecal) por una variedad de detritóvoros (Odum y Heald, 1975), comenzando por invertebrados de tamaño muy pequeño (microfauna) y terminando con especies de gusanos, moluscos, camarones y cangrejos que a su vez son víctimas de carnívoros inferiores. La cadena trófica termina con los carnívoros superiores, como los grandes peces, aves de presa, gatos silvestres o el propio hombre.

Los primeros resultados se han ampliado ahora a fin de incluir otras fuentes de energía y de carbono para los consumidores de los ecosistemas de manglar (p. ej. Carter et al., 1973; Lugo y Snedaker, 1974; 1975 y Pool et al., 1975). En una evaluación reciente de la dinámica de las cadenas tróficas, Odum et al. (1982) han ampliado el modelo trófico básico anterior a fin de incluir los aportes procedentes del fitoplancton, las algas benthicas y las herbáceas marinas y las epifitas de las raíces. Por ejemplo, el fitoplancton puede ser importante como fuente de energía en los manglares con grandes masas de aguas profundas y relativamente claras.

Sobre esta base, es probable que sea inferior la contribución de las algas benthicas en estuarios con altos niveles de sedimentos en suspensión. Análogamente, cuando la plataforma continental está truncada o tiene una pendiente muy fuerte, unido a una línea costera de gran energía y con amplitud de mareas, existe poca hierba marina o hierba tortuga. Cuando la sombra no es excesiva, las propias epifitas de raíz de los manglares pueden ser también muy productivas. Se han registrado valores de producción de perifitos en raíces de sosten de 0,14 y 1,1 gcal/m²/d. (Lugo et al., 1975; Hoffman y Dawes, 1980). En la Figura 2.14 se presenta la red alimentaria general de un ecosistema de manglar.

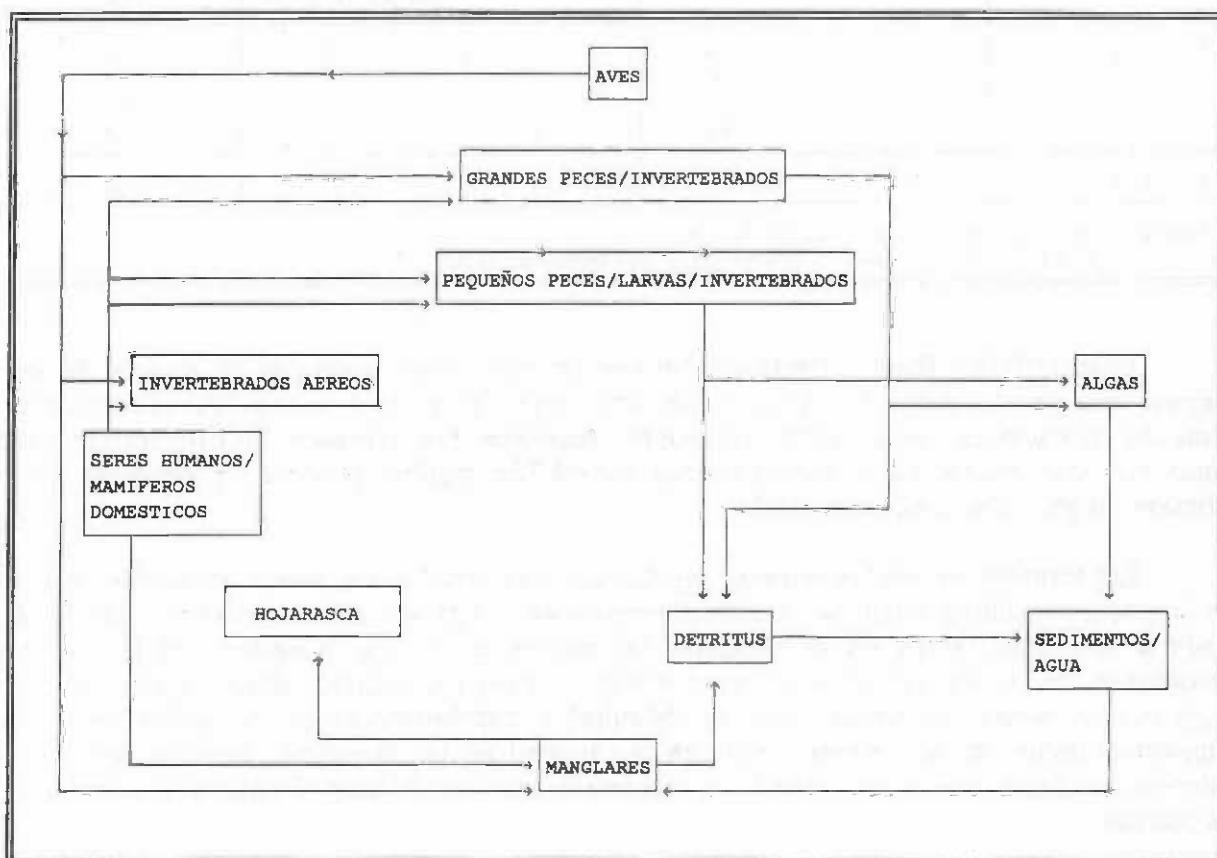


Figura 2.14.: Red alimentaria general de un ecosistema de manglar (según Burchett, 1985)

Odum et al. (1982) han destacado, sin embargo, que a pesar de los innumerables estudios, el modelo de cadena trófica de Florida continúa siendo hipotético y cualitativo. En efecto, algunos datos recientes de la región Indo-Pacífico Occidental sugieren que el modelo del Caribe requiere algunas modificaciones.

2.8.2. Producción principal de madera

Las estimaciones sobre la producción principal neta total de los manglares, son escasas porque es difícil medir la biomasa subterránea. En el Cuadro 2.9. se presenta la biomasa, la productividad neta y la caída anual de hojarasca de la *Rhizophora apiculata*, en Matang, Malasia Peninsular, junto con cifras de Phuket del suroeste de Tailandia. En Tailandia, la biomasa a los 15 años era inferior a la de Malasia pero la productividad y la proporción de partes leñosas eran similares.

La madera se mantiene como biomasa maderable, no habiéndose determinado qué proporción entra cada año en el curso de los detritus.

Cuadro 2.9. Biomasa aérea de la *Rhizophora apiculata*

LOCALIZACION	EDAD (años)	BIOMASA (t/ha.)	CAIDA DE HOJARASCA (t/ha/año)	PRODUCTIVIDAD NETA (toneladas/ha/año)	
				PARTES LEÑOSAS	TOTAL
Matang, Malasia	5	16	7	3	10
	10	180	10	18	28
	15	200	10	13	23
	25	300	11	12	23
Phuket, Tailandia	15	159	6.7	20	27

Fuente: Ong et al., 1980 - parcelas de 400 m²
Christensen, 1978, 16 meses de observación de una parcela de 25 m².

Lugo (1974) y Blasco (1984) señalan que las mediciones realizadas en algunos de los mejores manglares indican un promedio de 150 tn/ha. de material en pie, que es bastante reducido en comparación con otras formaciones vegetales. Los manglares se caracterizan por tanto por una productividad especialmente elevada de materia orgánica, a pesar de una biomasa en pie relativamente reducida.

Las termitas y otros organismos, capaces de descomponer los principales componentes de la madera (celulosa y lignina), también denominados organismos de descomposición de la madera, son importantes en el reciclado de nutrientes de los manglares. El ritmo de descomposición de los desechos de corta debido a estos organismos influye también en la regeneración, porque los desechos no sólo dificultan la distribución de los propágulos sino que impiden el lavado de las mareas y reducen la cantidad de luz disponible para los brotes. Además, las plantas pequeñas son dañadas mecánicamente por los despojos que se mueven con las mareas.

Caída de hojarasca

La caída de hojarasca se mide fácilmente como un componente de la producción primaria neta. Las estimaciones realizadas sobre la caída total de hojarasca en once localidades de todo el mundo varían de 0,2 a 1,6 Kg/m²/año, de materia seca (Woodroffe, 1982; Sasekumar y Lai, 1983). Las estimaciones de caída de hojarasca de los manglares de la zona Indo-Pacífica suelen ser superiores.

¿Qué sucede con estas hojas una vez que llegan al suelo? El modelo trófico del Caribe sugiere que existe poca acumulación de hojas en el bosque ya que la mayoría de la producción de hojas es arrastrada por los canales y las masas de agua en los estuarios de manglar. En su estación de bosque ribereño, Odum y Heald estimaron así que alrededor del 50 por ciento de la hojarasca del manglar se exportaba fuera del estuario (Odum et al., 1972).

En la zona Indo-Pacífico Occidental, los cangrejos son comedores voraces que consumen o entierran una gran proporción de la hojarasca que cae diariamente antes de ser lavada y extraída del bosque por las olas, incluso en las regiones de mareas bajas del bosque que son lavadas de forma regular. Sasekumar y Lai (1983) estimaron que los cangrejos pueden consumir o eliminar entre el 10 y el 70 por ciento de la caída diaria de hojarasca antes de ser arrastradas por la marea. Por lo tanto, potencialmente, los cangrejos son vectores de transferencia de energía entre los manglares y los sedimentos forestales. Esta rápida extracción de la hojarasca por los cangrejos, junto con las cantidades potencialmente grandes de producción de madera que se pueden transformar en el bosque, sugieren que, en contraste con muchos de los ecosistemas de manglar del Caribe que han sido estudiados hasta ahora (p. ej. Carter et al., 1973; Lugo et al., 1975), donde parece haber una escasa retención de la producción principal (y por tanto de las existencias de nutrientes) dentro de los bosques, la producción primaria y secundaria de los manglares de la región Indo-Pacífico Occidental pueden tener una relación más estrecha. Si esto es correcto, los pesticidas, que reducen las poblaciones de cangrejo, pueden ocasionar una reducción a largo plazo de la producción primaria.

Como puede verse en el Cuadro 2.9., Ong et al. (1982) demostraron que en Matang, Malasia Peninsular, la *Rhizophora apiculata* de 10 años produce 10,5 t/ha/año de hojarasca, en comparación con las 6,9 t/ha./año a los 5 años. Esto es importante, biológica y ecológicamente, debido a la importancia de la caída de hojarasca en la red alimentaria. Los bosques deben ordenarse teóricamente no sólo para obtener la producción óptima de madera sino también para sostener una activa microfauna (microbiana) y macrofauna terrestre. Por lo tanto, ambientalmente, unos bosques bien ordenados deben favorecer un crecimiento vigoroso con fuertes incrementos de biomasa, capaces de producir unos altos niveles de caída de hojarasca. En este contexto, hay que considerar también el impacto de los pesticidas y herbicidas sobre la microfauna, particularmente en aquellos hábitats donde abundan los bivalvos (*Anadara sp.*). En la zona de Sierpe-Terraba, en Costa Rica, los contaminantes a base de cobre, procedentes de las plantaciones de banano, han reducido de forma importante la floreciente población de moluscos de otros tiempos.

2.8.3. Producción secundaria

En el ecosistema de manglar hay una amplia variedad de recursos alimenticios energéticos para la producción secundaria, incluyendo la productividad primaria de fitoplancton en la zona fótica, la producción de macrofitos benthicos y las partículas y productos orgánicos

solubles que tienen su origen en los manglares productivos. Ong (1985) estimó que la productividad primaria aportada por los manglares a los Estrechos de Malaca es del orden de 0,22 g/m²/día, cifra por lo menos igual a la de la productividad de fitoplancton de los Estrechos de Malaca.

La importancia de la productividad primaria de los manglares como fuente de alimentación, especialmente para los recursos acuáticos, es apoyada además por una serie de estudios realizados en los manglares de Selangor (Sasekumar et al., 1984; Thong y Sasekumar, 1980).

Leh y Sasekumar (1984) hallaron que varias especies de penaeidos costeros consumían del 12 al 36% de materia vegetal, de la cual se determinó que entre el 11% y el 59% tenía su origen en los manglares. Los detritos de manglar constituyan del 32% al 42% del contenido intestinal del camarón planctónico, *Acetes sp.* (Tan, 1977). Este camarón es un organismo clave de enlace porque los camarones blancos adultos *Penaeus merguiensis* se alimentan en gran proporción a base de *Acetes sp.* y de camarones misídos (Chong y Sasekumar, 1981). Varias especies de peces omnívoros se alimentan análogamente a base de *Acetes sp.* y de detritos de manglar (Ong, 1977).

2.8.4. Especies fundamentales

En el ecosistema costero, ciertas especies de fauna silvestre desempeñan un papel fundamental para mantener el equilibrio de la fauna. Si se eliminan estas especies fundamentales, por ejemplo un predador, la comunidad pierde el equilibrio. El *Crocodilus porosus* es uno de estos predadores fundamentales en los Sundarbans. Los cocodrilos se alimentan en gran proporción a base de los peces menos comerciales, algunos de ellos en cierta etapa devoran peces más valiosos y huevos de peces (Bustard, 1975). Su movimiento activa también el movimiento de los nutrientes en el agua, por lo que son una piedra fundamental para el mantenimiento de una pesca productiva (Recuadro 2.3.).

Papel de los caimanes

"Los pescadores del Amazonas se habían dado cuenta desde hacia tiempo de que cuando desaparecían los caimanes, la pesca se reducía. Este descenso era bastante inesperado al ser los peces el alimento principal de los caimanes. Los nativos creían que con la ausencia de los predadores, los peces se multiplicarían. Ahora está claro, por las investigaciones realizadas en los lagos de la desembocadura del Amazonas, que esto es lo contrario de la realidad. La biomasa de los sistemas acuáticos tropicales consiste casi exclusivamente en animales (mientras que la fauna sólo representa una pequeña fracción en los bosques pluviales). El limnólogo E.J. Fittkau ha investigado la cuantía de los nutrientes liberados por los caimanes en el curso de su metabolismo y el impacto de estos nutrientes sobre la producción primaria. Las mediciones demostraron que los caimanes aportan diariamente nutrientes (en su mayoría de origen alóctono) en cantidades suficientes para incrementar la producción primaria con la correspondiente ampliación de la cadena alimentaria autóctona.

Fuente: Prof. Federico Medam, 1978.

Recuadro 2.3. Los caimanes como especies fundamentales

Los forestales y otros ecólogos están también familiarizados con el papel de los monos (*Macaca mulatta*) y del ciervo (*Axis axis*), al comprobar que una parte importante de la alimentación del ciervo puede proceder de las partículas de alimentos que dejan caer los monos cuando comen.

Hay otro ejemplo más que existe en los Sundarbans, donde una reducción de la población de tigre, daría lugar al aumento del ciervo y el jabalí (*Sus scrofa*) hasta el punto de reducir la regeneración del bosque y de perjudicarlo. En Malasia, los murciélagos, que se cobijan en los manglares son importantes en la polinización de las flores.

En Australia, las aves que se alimentan de la exudación dulce de las flores de *Rhizophora spp.* reducen también los insectos que destruyen las guías terminales y los brotes (Primark y Tomlison, 1978).

2.8.5. Consecuencias para la ordenación

A medida que mejoren nuestros conocimientos sobre las relaciones e interacciones tróficas, los forestales podrán ordenar mejor sus recursos sin perjudicar al medio ambiente. La Figura 2.15. muestra algunos impactos positivos y negativos relacionados con la utilización de las áreas de manglar para producción forestal, la acuicultura de agua libre, la pesca de captura y la transformación para agricultura y cultivo en estanques.

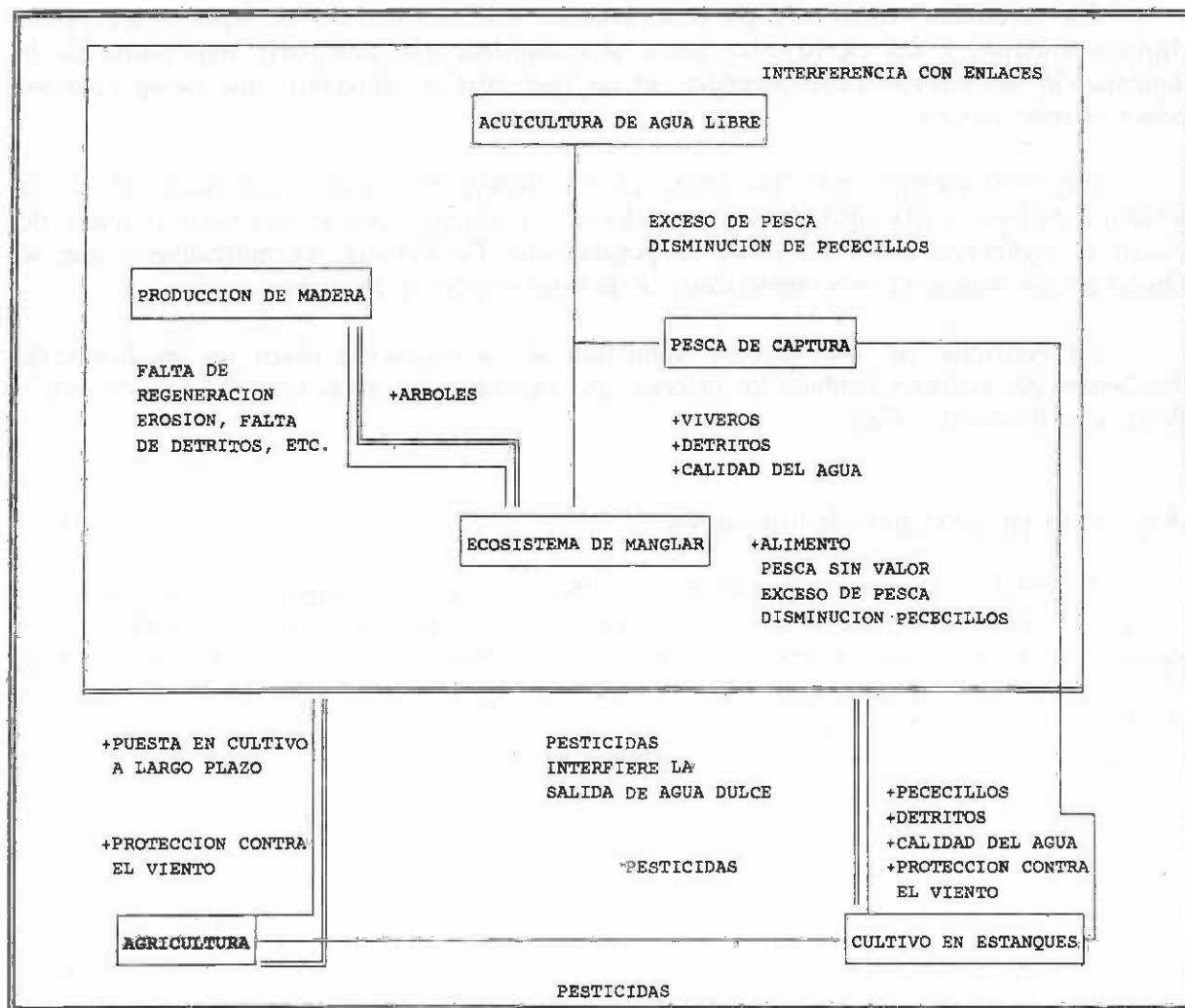


Figura 2.15. Interacciones ecológicas entre diversos usos de las tierras y actividades económicas en áreas de manglar (Estudio FAO Medio Ambiente, N° 1, 1982)

En la ordenación de manglares es fundamental por lo tanto adoptar un sistema holístico y garantizar la supervivencia de todo el ecosistema. La conservación o el fomento de la biodiversidad, mediante la selección de las especies a cortar y regenerar y la protección de los hábitats de diversos animales marinos y terrestres, es indispensable, al igual que el mantenimiento del papel protector que desempeñan los manglares a lo largo de las márgenes de los ríos y de las líneas costeras.

Por lo tanto, nunca debe cortarse indiscriminadamente la vegetación ribereña porque la erosión de las márgenes aumenta la turbidez del agua y afecta negativamente a la fauna acuática, particularmente a las larvas de camarón y a los moluscos y a la reproducción de importantes especies estuarinas. Deben reservarse también áreas de protección en la misma zona de manglar para la conservación de fauna silvestre y plantas de interés especial.

Cuando la demanda de tierras para agricultura o acuicultura exige la transformación de áreas de manglar, hay que evaluar adecuadamente las estaciones antes de la transformación, a fin de reducir al mínimo los daños al ecosistema de manglar en su conjunto.

PARTE II. USOS TRADICIONALES Y POTENCIALES DE LOS MANGLARES

En esta Parte se destaca el potencial para el uso múltiple de los manglares como recurso renovable y se dedica cierta atención a los principales usos madereros y no madereros y a sus interrelaciones.

3. UTILIZACION DE LOS MANGLARES

Para conservar un recurso hay que ordenarlo de forma sostenible y comprender su utilidad para las comunidades locales. En este contexto, las actividades extractivas deben producir un efecto positivo en la comunidad circundante, como la generación de empleo, por ejemplo, sin perjudicar al medio ambiente. Es casi imposible conservar un recurso sin el apoyo de la población local. La participación local puede incluir compartir información, realizar consultas, tomar decisiones y, con la máxima intensidad, iniciar acciones.

Teniendo en cuenta el potencial de los ecosistemas de manglar, para el uso múltiple, es fundamental que la ordenación de manglares tenga un enfoque integral que comprenda la gama completa de bienes y servicios que pueden obtenerse de estas áreas.

3.1. PRODUCTOS Y SERVICIOS BASADOS EN EL MANGLAR

Los usos y valores de los productos que se pueden obtener de los manglares, son muchos e importantes. La importancia del recurso procede de los muchos productos que se obtienen directamente de los manglares, incluyendo los productos no madereros y también de los atractivos que pueden disfrutarse dentro de sus límites y fuera de ellos. Los productos madereros varían desde madera de construcción, postes y piquetes, a leña, carbón vegetal y tanino. Los productos no madereros incluyen paja para techar, miel, fauna silvestre, pesca, forraje y medicinas. Además, las tierras de manglar se transforman con frecuencia para estanques salinos o para fines agrícolas o acuícolas.

Muchas especies no madereras que se encuentran en los manglares, son extraordinariamente versátiles. Por ejemplo, la palmera Nipa (*Nypa fruticans*), se utiliza sobre todo para techar pero puede producir también un jarabe azucarado, alcohol y vinagre. Los troncos de la palmera *Phoenix paludosa* se utilizan para cerramientos y para construcción. La Nibong (*Oncosperma filamentosa*) es una palmera muy útil situada en la franja del lado terrestre de los manglares. Los troncos enteros se utilizan para pilotes de viviendas y puentes y los troncos rajados para pisos, cubiertas, tarimas para secar pescado, angulares para techos de Nipa, desagües de tejados, tuberías de agua y otros muchos usos.

Otras plantas se emplean como forraje; por ejemplo, las hojas de *Avicennia* las comen los camellos, las cabras y el ganado vacuno en la India, Pakistán y en la Costa de Arabia. En Australia, los búfalos silvestres pastan en los manglares del Territorio Norte. Este panorama se puede contemplar también en Vietnam. La alimentación estabulada de ovejas y cerdos se ha practicado en una serie de países utilizando forraje de manglar junto con otros piensos.

Los berberechos (*Anadara sp.*) recogidos de los llanos estuarinos enfangados, son una fuente de proteínas para los habitantes locales, al igual que los cangrejos y la pesca del sistema acuático mareal.

En el Cuadro 3.1. se presenta una lista de algunos de los productos basados en el manglar.

Cuadro 3.1. Productos basados en el manglar

A Productos forestales del manglar	
Combustible	Dulces (propágulos) Hortalizas (frutos/hojas)
Lefia Carbón	
Construcción	Artículos domésticos
Madera, andamios Construcción pesada Durmientes de ferrocarril Puntas para minas Construcción de barcos Pilotes para muelles Vigas y postes Tarimas, paneles Cubiertas para techos o esteras Piquetes para cercas, tableros de partículas	Cola Aceite para el cabello Asas de herramientas Mortero de arroz Juguetes Fósforos Incienso
Pesca	Agricultura
Estacas para pescar Barcos de pesca Madera para ahumar pescado Tánino para redes/revestimientos Refugios de atracción de la pesca	Forraje
Textiles y cueros	Productos de papel
Fibras sintéticas (rayón) Tintes para telas Tánino para preservación de cueros	Papel-varios
Alimentos, medicinas y bebidas	Otros productos
Azúcar Alcohol Aceite para cocinar Vinagre Sustitutivo del té Bebidas fermentadas Postres Condimentos (corteza)	Cajas de embalaje Lefia para: ahumar caucho en láminas Leña para obtener sal, hornos de ladrillos, panaderías, secado del tabaco Medicinas
B. Otros Productos Naturales	
Pesca/Crustáceos	
Miel	
Cera	
Aves	
Mamíferos	
Reptiles/otra fauna	

FUENTE: Adaptado del PNUMA, 1983

Entre los beneficios intangibles, que con frecuencia se dan por supuestos, están: (a) la protección costera contra la erosión del oleaje y el viento; (b) la moderación de los efectos de las tormentas costeras y ciclones; (c) el refugio y hábitat de diversa fauna silvestre, especialmente la avifauna; (d) el efecto de sumidero de nutrientes y la reducción de cantidades excesivas de contaminantes, y (e) la recogida de sedimentos de escorrentía de tierras altas, con la protección consiguiente de los arrecifes próximos a la costa y la reducción de la turbidez del agua. Los manglares brindan también oportunidades para la enseñanza, la investigación científica, la recreación y el ecoturismo.

3.2. UTILIZACION DE PRODUCTOS MADEREROS

Los manglares tienen características selvícolas favorables que permiten una ordenación forestal intensiva para productos madereros. Algunas de estas características son las siguientes:

- * **Crecimiento rápido:** Los rodales maduros en condiciones adecuadas pueden producir más de 270 m³/ha. a los 30 años, equivalentes a un IMA de 9-10 m³/ha.
- * **Buen potencial de regeneración:** La mayoría de las especies de manglar florecen y fructifican regularmente y los propágulos son dispersados por las mareas. De este modo, las masas de manglar pueden recuperarse rápidamente de las perturbaciones naturales o artificiales, incluyendo la explotación maderera intensiva;
- * **Tendencia a formar masas homogéneas y coetáneas:** Las masas puras de *Rhizophoras* y *Avicennias* no son raras e incluso en masas mezcladas, las principales componentes se limitan a un puñado de especies;
- * **Diversidad de productos forestales:** Se produce una amplia variedad de productos y, como plantaciones bioenergéticas, incluso los productos menores de aclareos pueden emplearse como leña.

Las consideraciones ambientales, biológicas y sociales exigen que las operaciones de aprovechamiento no perturben el ecosistema. En particular, las extracciones madereras y no madereras deben evitar lo siguiente:

- * denegar a las comunidades indígenas su acceso tradicional a un aprovechamiento razonable de los productos del manglar
- * alterar de modo importante la composición del sustrato;
- * alterar la configuración local de la circulación del agua superficial;
- * exceder el potencial biológico productivo de la estación;
- * reducir el potencial de regeneración de las especies deseadas;
- * reducir las funciones protectoras del bosque; o
- * perjudicar la reproducción de la fauna silvestre, los criaderos o los lugares de refugio

No son aconsejables las operaciones en gran escala y con utilización intensiva de capital. Por esta razón, las cortas rasas de grandes superficies de manglar para la exportación

de astillas a los países desarrollados, puede ser a largo plazo perjudicial para la ecología y la economía local aunque durante cierto tiempo pueden generar divisas.

Aunque en los manglares de Matang se ha practicado un sistema de cortas rasas, durante casi un siglo, sin un efecto negativo aparente en el medio ambiente y el ecosistema, esto es una excepción y no la regla. Con la bendición de una economía boyante, un suministro abundante de leña, petróleo natural y gas, y gobernados con una buena política de utilización de tierras, la presión sobre los manglares de Malasia Peninsular es inferior a la de la mayoría de los demás países.

Es todavía más importante, que las áreas de corta son relativamente pequeñas y que se destinan fondos suficientes para reforestación. Sin embargo, cuando se aplican sistemas de cortas rasas en otras situaciones, sin referencia a la ecología local y al contexto socioeconómico del país, pueden destruirse los recursos de manglar o degradarse muy rápidamente.

3.2.1. Madera de construcción

En condiciones favorables, los árboles del manglar pueden alcanzar grandes dimensiones. Las *Rhizophoras* de más de 40 m. de altura no son raras, habiéndose registrado individuos de más de 62,5 m. (Sukardjo, 1978). Sin embargo, los grandes árboles se están haciendo cada vez más escasos, especialmente en el sudeste de Asia, ya que la mayoría de ellos se extraen antes de alcanzar tales tamaños.

La *Rhizophora spp.* no son sin embargo apreciadas para madera de construcción debido a su tendencia a rajarse y torcerse cuando se secan. La madera es densa y difícil de trabajar. La albura es fácil de preservar pero no el duramen. Es resistente a la pudrición pero no a los perforadores marinos. Sus usos posibles incluyen aperos agrícolas, construcción de barcos (curvas de refuerzo y cuadernas), construcción pesada en general (cerchas, vigas, viguetas), construcción naval y de puentes (submarina, en aguas no infestadas de teredos), construcción marina y de puentes (sobre el agua), piquetes de cercas y postes. En la Península de Ca Mau, en el sur de Vietnam, se utiliza una pequeña cantidad de *Rhizophora* para paredes y suelos. Sugden y Von Cube (1978) indican también que la *R. racemosa* se puede emplear para una variedad de productos, incluyendo tableros de partículas, durmientes de ferrocarril y postes.

La madera de *R. mangle* es excesivamente pesada, con un peso específico que varía de 0,9 a 1,2. Es comparable en densidad al Greenheart (*Ocotea rodiae*) y a la Balata (*Manilkara bidentata*). El peso en verde es del orden de 1.200 Kg/m³ (75 lbs/pie cúbico) con el 46% de humedad (FAO). La *Avicennia germinans*, que tiene una densidad inferior (alrededor de 0,64) y buenas cualidades para clavar, se suele utilizar en Cuba para durmientes de ferrocarril. En Venezuela se utiliza la *A. nitida* para apeas de mina, postes de telégrafo y de transmisión. El Cuadro 3.2. muestra las densidades de varias especies seleccionadas.

Cuadro 3.2.: Densidad de la madera de especies seleccionadas

ESPECIES	DENSIDAD DE LA MADERA		
	SECADA A LA ESTUFA	VERDE	SECADA AL AIRE
<i>Avicennia nitida</i>	0,639	1,097 (72,3)	0,803 (14,7)
<i>Rhizophora harrisonii</i>	0,844	1,179 (39,6)	1,045 (12,9)
<i>Rhizophora mangle</i>	0,844	1,202 (42,4)	1,036 (12,9)

Fuente: Arroyo, 1971 (Las cifras entre paréntesis indican el % de contenido de humedad)

En los Sundarbans de Bangladesh, la *Heritiera fomes* (Sundri) es la especie maderera más empleada para la construcción de viviendas y barcos, empleándose las puntas para tableros duros y como leña. En la Islas Andaman se utilizan postes creosotados de *Bruguiera gymnorhiza* para transmisión y telégrafos.

3.2.2. Carbón vegetal

La energía obtenida de un trozo de madera viene a ser aproximadamente la misma, tomando como base el peso, independientemente de la especie (Openshaw, 1983). La densidad de la madera determina en gran parte el rendimiento en carbón vegetal, por lo que un volumen dado de madera dará diferentes rendimientos de carbón (medidos por su peso) dependiendo de la especie. Por ejemplo, un metro cúbico de madera secada al aire (15% de humedad) dará el siguiente peso aproximado de carbón, incluyendo menudos para diversas especies.

Cuadro 3.3. Rendimiento en carbón de especies seleccionadas

ESPECIE	PINOS	FRONDOSAS TROPICALES		
		PROMEDIO	PESADAS	RHIZOPHORA
Peso de carbón en Kg/m ³	115	170	180	285

Para plantaciones bioenergéticas, el rendimiento potencial energético por unidad de superficie, es la medida que importa más que el volumen de biomasa aérea. Por ejemplo, una plantación de pinos con el doble de volumen de madera en pie que un bosque de *Rhizophora*, tiene un 24% menos de energía potencial por unidad de superficie. El alto valor calorífico de las *Rhizophoras* varía según la especie, habiéndose mencionado un valor medio de 4.400 Kcal/Kg. para la *R. mangle* de Ecuador (Doat, 1977).

Las *Rhizophoras* son preferibles para la elaboración de carbón. Su contenido de humedad (CH) al cortarlas es alrededor del 40% (como % del peso seco a la estufa) en comparación con la madera de *Avicennia* que varía del 70 al 95%. La madera de *Rhizophora*

se seca hasta el 25% de CH después de 2 meses, mientras que la *Avicennia* necesita seis meses para secarse al 35% CH. Esto explica en parte la popularidad de la madera de *Rhizophora* porque las existencias antes de secar se pueden mantener en un mínimo. La transformación en carbón mejora cuando se utilizan rollizos secos porque se necesita menos energía para secar la madera.

Se emplean también otras especies (*Bruguiera gymnorhiza* y *Ceriops sp.*) pero en menor cantidad.

El carbón vegetal es el principal producto de los manglares de Tailandia, Malasia Peninsular, Sumatra (Indonesia), Myanmar y sur de Vietnam. Hay industrias bien desarrolladas, a nivel de industria aldeana y familiar, en la mayoría de los países asiáticos donde todavía abundan los manglares. El carbón vegetal se utiliza sobre todo para cocinar y en industrias pequeñas. Sin embargo, en África Occidental es más frecuente el uso de la leña.

En Matang, el carbón vegetal se produce en hornos de fábrica de forma abovedada. Estos se sitúan junto a pequeños ríos o ensenadas para facilitar el transporte de los rollizos. La batería de hornos se cubre con techo de Nipa. El techado requiere poca atención porque el humo cargado de alquitrán que emiten los hornos, preserva el techo de Nipa. Sin embargo, si no se encienden regularmente los hornos, la estructura de fábrica y el techo de Nipa se deterioran con rapidez. Estos hornos son de larga duración, de ubicación específica y costosos de construir. Para que sean económicamente viables debe haber un suministro seguro de rollizos y un costo razonablemente reducido del terreno. Por el contrario, los hoyos de tierra son fáciles de construir, sus costos son reducidos y las estructuras suelen ser temporales.

Los rollizos recientemente cortados se suelen descortezar en el bosque. Estos rollizos, de 18-23 cm. de diámetro y 1.6 m. de longitud, se apilan verticalmente dentro del horno. Se elabora un carbón de calidad excelente y uniforme cuando se utilizan rollizos descortezados y secados al aire, de tamaños, densidades y especies uniformes. Se utilizan ladrillos para mantener los rollizos en pie para una combustión uniforme. Esto reduce la cantidad de puntas carbonizadas parcialmente o "tizones" producidos. Cuando hay un suministro limitado de *Rhizophoras*, se utilizan especies inferiores como *Avicennias* y madera de caucho (*Hevea brasiliensis*) para quemar.

El rendimiento de la transformación es todavía muy reducido. En Matang un horno normal de 6,7 m. de diámetro y forma abovedada, funciona sólo con el 19% de rendimiento. Se necesitan unas 55 t. de madera verde por horno para lograr una combustión eficiente (**Cuadro 3.4.**). El uso corriente de rollizos menores y de menos densidad, en comparación con la madera aprovechada en masas vírgenes, puede ser en parte causa de la reducida eficiencia de la transformación en Matang (Harun. 1981).

Cuadro 3.4.: Consumo de madera verde y producción de carbón vegetal por hornada (toneladas)

ZONA	Nº HORNOS	DIAMETRO DEL HORNO (m.)	MADERA VERDE NECESARIA		CONSUMO TOTAL (toneladas)	CARBON PRODUCIDO		PRODUCCIÓN TOTAL (toneladas)
			PARA CARBON	PARA COMBUSTIBLE		BUENA CALIDAD	IMPERFECTO	
Port Weld	1	6,7	39,7	14,5	54,2	11,0	0,2	11,2
	2	6,7	38,5	14,7	53,2	10,5	0,2	10,7
Kuala Trong	1	6,7	39,3	15,6	54,8	10,8	0,3	11,1
	2	6,7	38,9	15,6	54,4	10,9	0,2	11,1
Sungei Kerang	1	6,7	39,9	17,4	57,2	9,9	0,5	10,4
	2	6,7	39,8	15,6	55,3	7,7	1,0	8,7
Media/horno		6,7	39,4	15,6	55	10,1	0,4	10,5

Fuente: Proyecto de Ordenación de la Reserva Forestal de Matang (1980-89).

Frisk (1984) estimó que un horno de 6,7 m. de diámetro y 7 m. de altura necesita 9 t. de arcilla, 9 t. de arena fina y 15.000-17.000 ladrillos (6 cm. x 11 cm. x 23 cm.) para su construcción, con un costo de unos 7.000 \$ incluyendo la protección del techo.

En Yeesarn, Tailandia, el costo estimado incluyendo el techado de paja de Nipa fue de 2.284 \$ para hornos de 5-6 m. de diámetro y 3 m. de altura. Los hornos duran bastante tiempo siempre que se sustituyan regularmente los ladrillos desgastados, porosos o rotos, debido a la tensión térmica cíclica y al desgaste y roturas normales. Las grietas se deben tapar también inmediatamente.

La elaboración de carbón puede ser rentable pero es menos lucrativa que el cultivo del camarón. En Matang, una hectárea de manglar ordenado para carbón vegetal produce al gobierno una renta neta en forma de impuestos, primas, derechos de licencia, multas, etc. de 478 \$EUA (Othman y Khan, 1984). El valor en el mercado del carbón producido en una hectárea es muy superior a los 8.333 \$EUA/ha.

En África Occidental, América Central y las Islas del Caribe el carbón se hace en su mayoría por medio de fosos en tierra o por el método del montón de tierra. Generalmente, dan menos rendimiento y producen un carbón vegetal de calidad variable. Requiere también una mayor atención en el cuidado y control del proceso de carbonización.

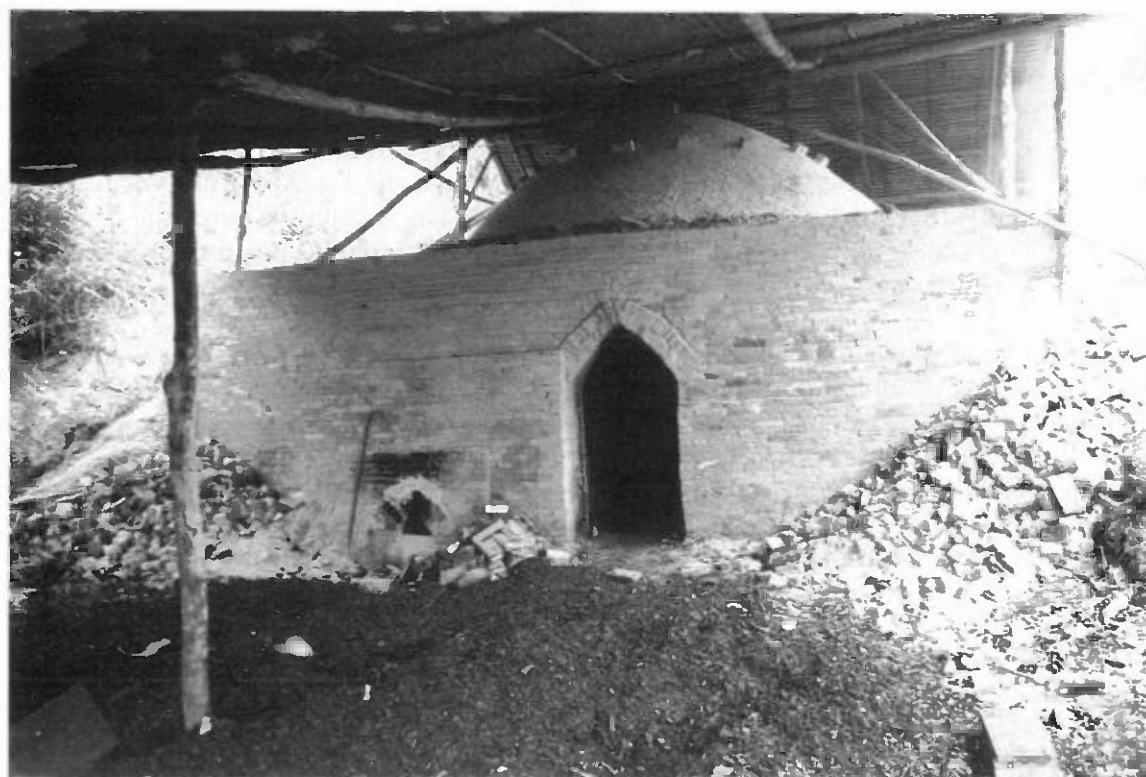


Figura 3.1.: Horno de fábrica para la elaboración de carbón vegetal en Indonesia
Foto de M.L. Wilkie



Figura 3.2.: Elaboración de carbón mediante el método del montón de tierra en Guanajay, Cuba.
Foto de P.W. Chong

En Cuba, se disponen verticalmente rollizos de todo tamaño y longitud para formar una gran pila circular. A continuación se cubre con ramas de helecho y arena y se tapa con barro.

En Costa Rica, los carboneros hacen sus fosos de carbón a lo largo de la playa por encima del nivel normal de la pleamar. La dimensión varía de 3 a 27 m. de longitud, 0,3 m. de profundidad y 1,1 a 2,1 m. de anchura. Los fosos están orientados perpendicularmente a la línea de la costa, de tal modo que los rollizos se pueden rodar fácilmente introduciéndolos en los fosos para formar un montón de alrededor de 0,9 m. de altura.

A lo largo de la zanja hay dos filas de rollizos de apoyo para facilitar la colocación de los demás rollizos y mejorar la circulación del aire. Los rollizos varían de longitud de 1,1 a 1,5 m. y están sin descorcezar. El montón plenamente cargado sobresale en parte por encima del nivel del terreno. A continuación se cubre y se tapa con hojas de *Acrostichum*, tierra y arena y con una cubierta de plástico para defenderlo de la lluvia. Se prende un extremo y la carbonización avanza a lo largo del montón a razón de un metro diario. Este proceso es vigilado y controlado por varias aberturas hechas de forma tosca. El carbón producido es de calidad variable y mezclado con arena.

Se logra un rendimiento de transformación del orden del 13%, equivalente a una relación producción/consumo de 1:7,7, basado en el peso seco. Es posible una mayor producción con rollizos previamente secados pero hay que considerar los costos añadidos de mantenimiento de existencias. Para hornos de fábrica la eficiencia de la transformación es del orden del 19% al 22%. Un rendimiento mayor de transformación representa la necesidad de producir, aprovechar, secar previamente, transportar y utilizar menos madera para la elaboración del carbón.

Una promoción sin planificar de industrias de carbón, sin una evaluación apropiada de los recursos, y una ordenación forestal sólo acelerará la destrucción ecológica y el agotamiento de los manglares. Para evitarlo, la construcción de nuevos hornos o la ampliación de los hornos y fosos de tierra existentes, deben ser vigiladas y reguladas por las autoridades forestales responsables. Análogamente, sólo los barcos registrados en la Dirección Forestal deben ser autorizados a transportar productos forestales a fin de reducir al mínimo las cortas ilegales.

Las actividades agrícolas son esencialmente de naturaleza estacional mientras que las actividades forestales se pueden realizar durante todo el año. En consecuencia, las actividades forestales como la elaboración de carbón, pueden ofrecer oportunidades de empleo para contrarrestar el desempleo estacional.

Unas industrias de elaboración de carbón bien organizadas y vinculadas a unos suministros sostenibles procedentes de bosques estatales regulados o de plantaciones y lotes de madera privados, pueden contribuir significativamente al empleo rural, la economía y la industrialización rural. Cuando este artículo se produce eficientemente y se comercializa de forma competitiva, puede transportarse a largas distancias para atender las necesidades de los consumidores tanto urbanos como rurales. El carbón vegetal sobrante puede exportarse incluso a países vecinos. Además, la producción de carbón vegetal se puede programar estratégicamente para complementar y apoyar un plan nacional dendroenergético de las costas rurales, dentro del marco energético nacional reduciéndose con ello la excesiva dependencia de combustibles fósiles no renovables.

Hay que destacar que el mercado del carbón vegetal varía mucho entre distintas regiones y dentro de ellas mismas.

El sudeste de Asia ha tenido siempre un gran mercado interno y un mercado lucrativo de exportación que sostienen grandes industrias de carbón. A su vez, esto ha hecho económicamente viable la ordenación de los manglares de Malasia y recientemente también en Tailandia. Sin embargo, en América Tropical la población no tiene la misma tradición de cocinar con carbón vegetal y las inversiones en la ordenación de manglares difícilmente se pueden justificar hoy en día por la simple producción de carbón vegetal. Las regiones de manglar de África se encuentran en general entre las regiones anteriores, respecto a las condiciones de los mercados del carbón vegetal y, por lo tanto, a las perspectivas de basar la economía de la ordenación de manglares en la producción de carbón vegetal.

El acceso al crédito y a los fondos financieros es un importante requisito institucional, porque los métodos perfeccionados de carbonización requieren importantes inversiones de capital, organización y capacitación de los operarios.

3.2.3. Leña

Las *Rhizophoras* son preferidas como leña para fines domésticos y se extraen comercialmente, como en el caso de Matang y Tailandia, o las recogen los pescadores y los aldeanos.

En Sierra Leona, se utilizan grandes cantidades de leña de *Rhizophora racemosa* para el ahumado del pescado (proceso banda). Como el peso de la leña consumida en el tratamiento sobrepasa el producto total del pescado, no es sorprendente que la corta de manglares para leña se haya convertido en una ocupación importante dentro de la comunidad de pescadores. El Cuadro 3.5. sobre las relaciones leña/peso de pescado fresco, para el ahumado del pescado utilizando el método "banda", se basa en los estudios realizados en la Isla de Yelibuya. (Chong, 1989).

Cuadro 3.5.: Relaciones leña/pescado en el ahumado de pescado - Sierra Leona

	PESCADO SECO		EN BRUTO Y SECO	
	RELACION DE COMBUSTIBLE	TAMAÑO DE LA MUESTRA	RELACION DE COMBUSTIBLE	TAMAÑO DE LA MUESTRA
Bonga	1.03	46	1.80	11
Awefu	1,39	38	2,29	19

Fuente: Symour, T. 1987, Informe Técnico KFDP 6/87

La leña se utiliza también para hervir las salmuera a fin de producir sal. El valor calorífico de algunas especies elegidas del manglar se muestra en el Cuadro 3.6.

Cuadro 3.6.: Valor calorífico de especies elegidas del manglar

ESPECIES	Cal/gm.
<i>Rhizophora apiculata</i>	5,017
<i>Ceriops tagal</i>	4,731
<i>Sonneratia alba</i>	4,554
<i>Bruguiera parviflora</i>	4,552
<i>Avicennia officinalis</i>	4,528
<i>Xylocarpus granatum</i>	3,899



Figura 3.3.: Leña de *Rhizophora* atada con raíces de sostén del manglar, rajadas Sierra Leona. Foto de P.W. Chong



Figura 3.4.: Recogida de corteza en el sur de Vietnam.
Foto de P.W. Chong.

3.2.4. Estacas y postes para la pesca

En Singapur, Hong Kong y Malasia, hay una sólida demanda de postes de mangle para pilotajes utilizados en la recuperación de tierras y en la industria de construcción. Utilizados en lugares húmedos que no están infestados de gusanos de barco, tales pilotes de mangle pueden sobrepasar en duración a las maderas tropicales de tierra firme sin tratar. Actualmente, los postes se importan de las Islas de Indonesia y del sur de Tailandia.

A lo largo de las aguas costeras, se emplea normalmente el Nibong (*Oncosperma filamentosa*) para estacas de pescar en el sudeste de Asia, pero a veces se emplean también postes de mangle. Estos deben sustituirse regularmente.

A lo largo de las márgenes fangosas de los ríos se utilizan pequeñas estacas para la pesca, con el fin de sostener las redes de pesca en la zona de marcas. También se emplean postes de manglar para redes de tijera en la construcción de viviendas. En las aguas de Cuba y en los países del sudeste de Asia los pescadores cortan manglares y los hunden en las aguas costeras de poco fondo para producir sombra y atraer a la pesca (dispositivos de atracción de la pesca).

3.2.5. Pulpa

La Gewa (*Excoecaria agallocha*) es la principal especie para pulpa empleada en la industria de papel prensa de Bangladesh. Las especies *Sonneratia caseolaris*, *Excoecaria agallocha* y *Avicennia marina* producen pulpas fuertes al sulfato.

Se han otorgado grandes concesiones de manglares para operaciones de fabricación de astillas en los estados orientales de Sabah y Sarawak, de Malasia y en Kalimantan y Saluwesi, de Indonesia, a base de *Rhizophora* y *Bruguiera*. Las astillas se exportan principalmente a Japón para la fabricación de pulpa soluble y derivados de celulosa como el rayón, empleado en la industria textil. La especie africana *R. racemosa*, según se informa, es apropiada para la elaboración de pulpa soluble, aunque existen algunos problemas debido a los cristales inorgánicos existentes en la madera (Sugden y von Cube, 1978).

La producción y exportación de astillas de los manglares ha llevado en algunas partes de Indonesia a la corta rasa de grandes áreas en un solo aprovechamiento. La regeneración de estas áreas ha resultado un fracaso en muchos casos, reconociéndose actualmente que las áreas aprovechadas deben ser pequeñas y dispersas, si se quiere obtener una regeneración satisfactoria.

3.2.6. Tanino

La corteza de *Rhizophora* produce un tanino muy fino del grupo catecol, que produce flóbaseno que no es descompuesto por los fermentos, por lo que es muy adecuado para el trabajo del cuero. El tanino procedente de las especies del manglar se ha empleado también para curar y teñir las redes de pesca hechas de fibra natural, a fin de que las redes sean más resistentes a la pudrición biológica.

La cantidad de tanino variaba algo con el espesor de la corteza, su posición en el tronco del árbol, la situación del árbol, la sequedad de la corteza y también entre distintas especies. La corteza debe estar fresca y transportarse a las curtidurías lo antes posible y en condiciones húmedas. *Ceriops condolleana*, *Carapa obovata* y *Rhizophora mucronata* fueron en otra época

las especies preferidas, con cortezas ricas en tanino, explotadas en Malasia.

Aunque es pequeño el número de tinteros (recolectores de corteza) en Panamá, Costa Rica y algunos países latino americanos, su impacto en los manglares puede ser mucho mayor que las actividades de corta realizadas por otros grupos, debido a que la corteza de calidad comercial se aprovecha sólo de los árboles mayores y mejores de *Rhizophora*, con fustes rectos. Cuando se cortan estos pies dominantes, se ocasiona un daño considerable, creándose innumerables vacíos en la cubierta forestal. Los troncos descortezados se dejan pudrir en el bosque, originándose grandes cantidades de desechos que favorecen la infestación por termitas en los sitios más secos. La pudrición de los desechos menores tarda alrededor de dos años pero lleva mucho más tiempo la descomposición de los troncos grandes.

En Costa Rica, debido al alto potencial de regeneración de los manglares de Sierpe-Terraba, estos vacíos se vuelven a cubrir de vegetación rápidamente, pero no necesariamente con las especies deseadas, porque la *P. rhizophorae*, que no se explota, puede dominar estos vacíos.

La producción de tanino ha disminuido mucho en los últimos años, en particular porque se ha reducido la demanda local desde la introducción de las redes de pesca de nylon y el empleo del cromo como agente predominante para el curtido de las pieles.

En Colombia, se prohibió hace algunos años la extracción de corteza para tanino debido a la explotación excesiva de los manglares de la costa del Pacífico. En la actualidad, la explotación del mangle para madera y corteza, está totalmente prohibida en este país.

3.3. UTILIZACION DE RECURSOS NO MADEREROS

El "paradigma tradicional" de la ordenación implica que si se ordenan adecuadamente los bosques, los componentes no madereros del ecosistema permanecen *ipso facto*, estables. Esto es conceptualmente imperfecto, porque a menos que se integren los componentes no madereros a nivel de planificación, ejecución y seguimiento del sistema de ordenación forestal adoptado, serán con frecuencia marginados e ignorados.

La margen del lado terrestre de los manglares y los límites de la pleamar en los estuarios, constituyen la zona de agua salobre, donde el agua es suavemente salina. Económicamente ésta, es una zona importante porque los riachuelos de agua salobre están festoneados por la palmera de agua salada *Nypa fruticans*. La palmera de dátiles del manglar, *Phoenix paludosa*, y el Sago (*Metroxylon sagu*) se encuentran también en esta formación. Los habitantes de la zona de manglar con palmera Nypa, a lo largo del Golfo de Papua Nueva Guinea, subsisten casi enteramente a base de una dieta de Sago, que es muy rica en carbohidratos, y de cangrejos como fuente de proteínas.

Los manglares son el hábitat de numerosas especies de pesca y mariscos. La pesca costera depende de ellos y proporciona gran parte de las necesidades de proteínas de la población costera. Algunos manglares se transforman en estanques de pesca o de camarón. Cerca de los centros urbanos, se han perdido muchos manglares para obtener tierras para la industria, la minería del estaño, para salinas solares y para hoteles. También ha habido transformaciones en campos de arroz, con frecuencia no sostenibles debido a las condiciones de sulfato ácido. En los párrafos que siguen se hace un análisis de algunos recursos seleccionados, no madereros, basados en el manglar incluyendo productos forestales secundarios, pesca y transformación de los terrenos de manglar para otros usos.

3.3.1. Palmera Nipa

Los usos de esta palmera son muchos y diversos. Produce un importante material de paja que se emplea para techos y paredes de las viviendas rurales. Los aldeanos cortan las ramas, dejando alrededor de 2 a 3 ramas jóvenes por caña. Se extraen los foliolos del tallo principal y se sumergen normalmente en agua salada durante varios días para ablandarlos. A continuación se pliegan sobre un lomo de Nibong rajado (*Oncosperma filamentososa*) de 4 a 6 pies de longitud, se cosen en el sitio con ratán rajado fino y se secan al sol.

Los tejemaniles terminados (conocidos en Malasia como "atap") se hacen de varias calidades. Son baratos, ligeros para transportar, fáciles de instalar y pueden durar varios años, particularmente cuando se emplean en casas con estufas abiertas. Uno de los efectos inesperados cuando se introducen en las viviendas rurales mejores estufas para cocinar con chimeneas, es que su tejado de "atap" ya no dura tanto. También se hacen envolturas para cigarrillos, a partir de los brotes tiernos de nipa.

Otro potencial de la Nipa es la savia azucarada de los tallos de flores, que pueden utilizarse para producir un líquido azucarado. Como la extracción de las ramas maduras reduce la producción de savia, las plantaciones de Nipa manejadas para la producción de alcohol no pueden aprovecharse para hacer techos. En Filipinas, el cultivo de Nipa para la producción de alcohol se ha practicado a escala importante durante muchos años.

Establecimiento de plantaciones

Los brizales están listos para su trasplante cuando tienen unas 18 pulgadas de altura. Se plantan de 450 a 500 palmeras por hectárea. Se emplean protecciones de bambú rajado para proteger los brotes de las plantitas contra la destrucción por los cangrejos. La Nipa madura plenamente a los 5 ó 6 años pero da frutos después de 3 años o antes.

Extracción de la savia

Los frutos, que nacen en racimo en un tallo grande de flores, tardan unos dos meses en desarrollarse. Cuando la cabeza está bien desarrollada, pero antes de que la piel de los frutos comience a oscurecer y a endurecerse, se da un "masaje" a la caña.

Este proceso, conocido por "gonchang", incluye el balanceo de la caña, suavemente al principio pero cada vez más fuerte durante 3 semanas, al final de lo cual se sacuden violentamente. La cabeza del fruto se separa y se recoge la exudación. Cada día se hace una rodaja fina o incluso dos veces al día y la caña continuará produciendo durante varios meses. Se ha observado en una sola palmera hasta 26 cabezas de frutos en diversas etapas de desarrollo.

En Malasia, la explotación de la exudación se realiza durante todo el año, sin ningún daño aparente. Según se informa, cada caña produce diariamente alrededor de 0,49 l. de jugo. Se pueden sangrar continuamente dos cañas por palmera, que producen anualmente unos 252 litros en base a 260 días de trabajo. En Papua Nueva Guinea una palmera madura produce unos 200 litros anuales. Con una plantación de 250 palmeras/ha, el rendimiento anual de jugo es de 50.000 litros.



Figura 3.5.: Recolección de hojas de *Nypa* en los Sundarbans, Bangladesh
Foto de M.L. Wilkie



Figura 3.6.: Tejemaniles (Atap) hechos con hojas de *Nypa* en Sumatra, Indonesia
Foto de M.L. Wilkie

El contenido de azúcar, especialmente sacarosa, varía del 6 al 17 por ciento. Un cálculo prudente a base de un contenido de azúcar del 6 por ciento, produciría unos 3.000 Kg/ha/año de azúcar, o sea alrededor de 5.400 l/ha/año de alcohol. Para que sea económicamente viable se necesitan plantaciones de Nipa en gran escala. Además, como el jugo fermenta muy rápidamente, es muy importante contar con un sistema eficaz y rápido para la recolección del jugo.

Aparte del alcohol, del jugo de la nipa, se pueden obtener también rentablemente tres productos alternativos. El más sencillo es el "jarabe dulce" que se puede comercializar como un edulcorante especial análogo al jarabe de arce. Esto es digno de anotarse porque en 1986 la producción de jarabe de arce cayó en picado y los precios al por menor ascendieron a cerca de 50 \$EUA/gallon. Otro producto potencial es el "azúcar morena" que es popular en los países desarrollados como alimento sano. El tercer producto, y posiblemente el más importante, es el vinagre que puede emplearse en la cocina casera, en la industria y para la preservación de alimentos. El vinagre de Nipa podría ser un sustituto importante del vinagre producido industrialmente.

3.3.2. Apicultura

Las abejas, del género *Apis*, han sido explotadas, provechosa y destructivamente por el hombre durante miles de años. La *Apis mellifera*, que es natural en el continente africano, la mayor parte de Europa y el Medio Oriente, es la especie mejor conocida y más extendida.

En África todavía se recoge la miel de los nidos silvestres pero las formas corrientes de apicultura tradicional utilizan colmenas a base de trozas huecas, corteza, cestas o arcilla, colocadas en las ramas de los árboles. En África Occidental todavía está por explotar plenamente el potencial de los manglares en cuanto a néctar, miel y polen (véase la Figura 3.7.).

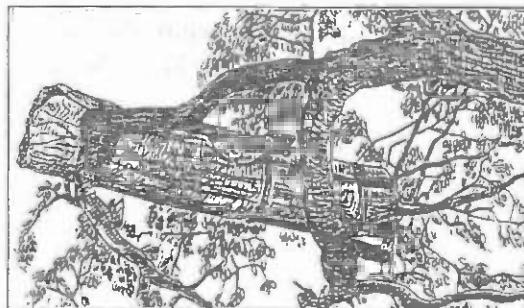


Figura 3.7.: Colmena de corteza colocada en un árbol, en África

No hay abejas naturales de América del Norte y del Sur, Australia o la zona del Pacífico, aunque en los últimos 400 años, más o menos, se ha introducido en estas áreas el *Apis mellifera* procedente de Europa (Bradbear, 1990).

Las especies *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* son fuentes importantes de néctar y polen en estas áreas y, según la información disponible, la *Rhizophora mangle* es también una planta melífera (Hamilton y Snedaker, 1984). Las plantas que florecen fuera de temporada, permiten a las abejas acumular suficientes provisiones para sobrevivir durante los períodos difíciles como los de clima frío, sequía, lluvias monzónicas e inundaciones o incendios de monte devastadores.

Dentro de los manglares, en Florida, Estados Unidos y Cuba, se practica la apicultura con panales. Alrededor de 40.000 panales se vuelven a colocar en los márgenes de los manglares de Cuba entre abril y junio, cuando la producción de polen y néctar de la vegetación natural del interior y los cultivos está muy reducida.

La apicultura de Cuba se basa en un híbrido local (*Apis mellifera mellifera x Apis mellifera ligustica*). Alrededor del 25% de la producción total anual de miel de Cuba (de unas 8 a 10.000 t.) procede de los recursos de manglar.

En Asia, la apicultura es una actividad importante en Burma, Bangladesh y la India (1984, loc. cit.). Hay por lo menos tres abejas nativas de Asia, y todas son explotadas por el hombre. Dos de ellas, la abeja pequeña (*Apis florea*) y la abeja gigante (*Apis dorsata*) no pueden mantenerse en panales porque anidan al aire libre, en un panal sencillo. La primera construye su pequeño panal (de unos 25 cm. de diámetro) colgando de las ramas dentro del monte, mientras que la segunda suspende sus panales, mucho mayores (alrededor de 1 m. de diámetro) de ramas de árboles, salientes de rocas y edificios. El nido de la abeja gigante puede contener muy bien 50 Kg. de miel. La tercera especie, *Apis cerana*, se conoce como la abeja asiática y puede mantenerse en un panal (Bradbear, 1990).

La producción de miel depende del tipo de abejas, de la disponibilidad de polen y néctar, el viento dominante, la temperatura, la salinidad, los contaminantes, la disponibilidad de agua dulce y de otros factores. La fumigación aérea de pesticidas puede afectar gravemente a la apicultura. La quema estacional de la zona interterrestre y de la franja del manglar del lado terrestre, también destruye muchas plantas melíferas.

En los Sundarbans los ejemplares de abejas silvestres producen cera y miel, construyendo los panales en las ramas, huecos y grietas de los árboles. Los panales y los árboles se destruyen con frecuencia durante la recolección. Se calculó que en la temporada 1982-83 se cortaron alrededor de 9.300 árboles para producir unas 233 toneladas de miel y 58 toneladas de cera, mientras que con una ordenación adecuada habrían sido suficientes 1.550 panales (Christensen y Snedaker, 1984). Se ha sugerido que el establecimiento de barras altas, cebadas apropiadamente con atractantes de enjambres, podría reducir el número de árboles cortados o dañados.

La apicultura se presta bien como parte de los programas de desarrollo rural integrado y los mejores proyectos son aquéllos que promueven una apicultura sostenible a largo plazo, haciendo uso de la experiencia indígena, y de sus conocimientos y materiales. Deben evitarse los equipos importados, porque los suministros pueden ser inciertos o pueden quedarse después obsoletos, debido a la falta de repuestos o de técnicos de mantenimiento debidamente preparados. A continuación se dan algunos de los objetivos de la ordenación de la apicultura.

- * Aliviar la pobreza rural, creando in situ actividades generadoras de ingresos mediante la apicultura;
- * Mejorar el potencial de la apicultura plantando especies melíferas de manglar en la franja del lado terrestre;
- * Mejorar la cantidad y calidad de los productos de la apicultura mediante una buena ordenación;
- * Ayudar a la elaboración de productos derivados de la apicultura;
- * Resolver problemas específicos, por ejemplo, enfermedades o el uso inadecuado de pesticidas;
- * Transformar la caza destructiva de la miel a partir de nidos silvestres, en métodos sostenibles.

En el Recuadro 3.1. se resumen algunos puntos sobre un buen sistema de ordenación de colonias de abejas:

- (1) Emplear unos buenos panales, hechos con materiales locales, duraderos y baratos, que sean adecuados para las necesidades biológicas de las abejas, permitiendo su pleno desarrollo;
- (2) Utilizar panales cebados y colocarlos junto a plantas melíferas. La cera de abejas, el propolis u otros materiales se emplean como cebos para atraer a los enjambres de abejas;
- (3) Tiene que haber aguadulce accesible cerca de los panales.
- (4) Los panales deben estar ventilados y bien protegidos contra el robo y los predadores.
- (5) El cuidador de las abejas debe utilizar vestimenta y equipos protectores;
- (6) Las abejas deben ser inspeccionadas regularmente;
- (7) Emplear unas buenas razas de abejas;
- (8) La miel y la cera se deben aprovechar en su momento;
- (9) Debe separarse la miel de la cera;
- (10) La miel se debe almacenar en un lugar frío, y derretir la cera.

Fuente: Ntenga, G.M. y Mugongo, B.T. 1991.

Recuadro 3.1.: Notas sobre una buena ordenación de colonias de abejas

3.3.3. Fauna silvestre

Al igual que en otros tipos de bosques, la fauna silvestre de los manglares es una fuente importante de proteínas para las comunidades locales. Además, algunas especies, en particular los reptiles, se cazan o se crían por sus pieles. A continuación se describen algunos ejemplos de la utilización tradicional de especies seleccionadas de fauna que se encuentran en los manglares:

Los roedores Hutias (*Capromys sp.*), que viven en los manglares son endémicos en Cuba y comprenden las especies siguientes: *C. sanfelipensis*, *C. garridoi*, *C. angelcabrerae*, *C. auritis* y *C. oilorides*. La carne es muy apreciada por la población local.

El puerco gigante de bosque (*Hylochoerus meinertzhageni rimator*) se suele encontrar merodeando el margen de las zonas pantanosas, constituyendo una fuente de carne de monte para los africanos occidentales, semejante al jabalí (*Sus scrofa*) de Asia.

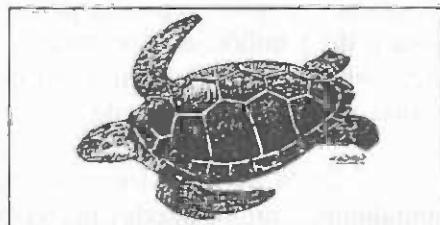
En América Central, los grandes lagartos, *Iguana iguana* (iguana) y *Ctenosaura similis* (garrobo) se encuentran en los manglares, siendo el primero muy corriente. Estas dos especies, de las seis especies, son comida corriente de la población local. La presión de la caza no parece haber disminuido su población. El *Ctenosaura* puede prestarse a una cría en cautividad en gran escala. Por el contrario, las iguanas han sido prácticamente exterminadas en algunas zonas de América Central (p. ej. El Salvador).

El Lagarto Monitor de África Occidental (*Varanus exanthematicus*) también se caza como fuente de alimentación.

En Costa Rica, la Tortuga Ridley del Pacífico (*Lepidochelys olivacea*) es muy apreciada por su carne, pesando un promedio de 40 Kg. Su número está disminuyendo en algunos países, debido a la predación y a la sobreexplotación sobre todo en México y Ecuador. En México se sacrifican anualmente alrededor de 60.000 tortugas

La Tortuga Verde Marina, *Chelonia mydas*, que se encuentra en Myanmar y otros países de Asia, llega a pesar hasta 400 lbs., con 4 a 4,5 pies de longitud. Pone de 100 a 200 huevos en cada puesta. La población local come tanto los huevos como la carne.

Fig. 3.8. Tortuga marina verde



Los cocodrilos y los caimanes se cazan en todo el mundo por su valiosa piel. Una forma de disminuir la presión de la caza puede ser el fomento de la cría del cocodrilo bajo normas estrictas.

Cría del cocodrilo

La cría del cocodrilo se puede realizar para la explotación comercial de su piel y de su carne o como forma de mejorar la conservación de las especies amenazadas y de atraer el ecoturismo. Cuba cuenta con criaderos de cocodrilos bien organizados abiertos a la contemplación de los turistas. Antes de poner en práctica estos criaderos debe realizarse un estudio para determinar la situación de las poblaciones silvestres con respecto al tamaño de su población, distribución por clases de edad, localización, hábitats preferentes, sitios de cría y disponibilidad de hábitats. También es necesario evaluar los sitios potenciales para los criaderos. Algunos puntos a considerar, dependiendo del objetivo del programa de cría, son los siguientes:

- * Acceso a los alimentos para animales adultos y jóvenes;
- * disponibilidad y calidad de agua;
- * acceso a los turistas;
- * demanda de pieles;
- * micro relieve y drenaje;
- * apoyo local y disponibilidad de mano de obra.

Los adultos se alimentan de productos de desecho de mataderos de vacuno, caballar y aves de corral. Los cocodrilos pequeños se alimentan de pescado de desecho (10-12 cm.) capturado por pesca de arrastre. Hay muchos casos afortunados de cría de cocodrilo realizada por empresarios privados y estas iniciativas han tendido a reducir la presión de la caza ilegal de los adultos en zonas silvestres. Sin embargo, se sabe que algunos de estos criaderos privados compran huevos o ejemplares jóvenes procedentes del monte, lo que debería regularse.

El comercio internacional de pieles de cocodrilo y otros productos está regulado en general por la Convención para el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) que debe tenerse en cuenta cuando se programan operaciones comerciales.

3.3.4. Pesca de captura

Desde el punto de vista económico, los manglares son con frecuencia mucho más importantes por la producción acuática que sostienen que por el potencial de producción maderera. Kapetsky (1985) estimó que el rendimiento medio de pesca y mariscos en las zonas de manglar es alrededor de 90 Kg/ha., con un rendimiento máximo hasta de 225 Kg/ha. De

acuerdo con este autor, la producción total haliéutica de los manglares del mundo sería del orden de 1 millón de toneladas anuales (para una superficie estimada de unos 83.000 Km² de agua libre en los manglares) lo que es ligeramente superior al 1% del total de la producción anual mundial estimada de todas las aguas.

En la parte de los manglares de los Sundarbans, situados en Bangladesh, se capturaron anualmente un promedio de 9.000 toneladas de pesca y mariscos, al final de los años 70 y principio de los años 80. Con 169.908 ha. de cursos de agua, esto corresponde aproximadamente a 53 Kg/ha capturados dentro de la propia área del manglar. A esta cifra debe añadirse la porción de la pesca de bajura de especies dependientes del manglar. Aunque se sabe que se capturan en esta zona más de 120 especies de pesca y marisco, la porción principal corresponde a los camarones (familia Penaidae) y la hilsa (familia Clupeidae).

En África, Durand y Skubich (1982) registraron el desembarco de 6.700 toneladas de pescado en 1977 procedentes de las lagunas de la Costa de Marfil, y Balarin (1984) estima que el rendimiento anual medio de las lagunas de Benín durante el período 1959-1969 fue alrededor de 3.700 toneladas.

En el Cuadro 3.7 se da una indicación de la fuerte relación existente entre los recursos pesqueros capturados (incluyendo la pesca de manglares y la de bajura) y la extensión de los manglares costeros.

Cuadro 3.7. Producción de pesca de captura en relación con los manglares, 1981

MALASIA PENINSULAR	EXTENSION DE LA CUBIERTA DE MANGLAR (ha.)	(PRODUCCION DE PESCA DE CAPTURA (x 1.000 toneladas)) ¹					
		TOTAL	ESPECIES DE FUERA DEL MANGLAR	ESPECIES DE MANGLAR ²			
				TOTAL	MOLUSCOS	CRUSTACEOS	PESCA
Costa Occidental	96.000 (85%)	433	249 (58%)	184 (42%)	71	61	52
Costa Oriental	17.000 (15%)	216	191 (88%)	25 (12%)	-	12	12
TOTAL	113.000 (100%)	649	440 (68%)	209 (32%)	71	74	64
NOTAS:	1 = Pesca residente en manglares y no manglares;						
	2 = incluye especies casuales, de migración estacional o residentes en los manglares.						
Fuente:	Adaptado de Jothy, A.A. 1984 (cifras redondeadas en miles).						

Las estadísticas pesqueras, con frecuencia no separan las capturas de bajura y las de aguas costeras y, aparte quizás de los Sundarbans, rara vez se dispone de datos precisos sobre los esfuerzos de pesca, para las zonas de manglar. Tales datos son, sin embargo, fundamentales para evaluar la situación biológica y económica de la pesca y para formular medidas de ordenación apropiadas. Los datos, correspondientes a un período suficientemente prolongado, deben incluir información sobre el número de unidades de pesca por diversas clases de tamaños, la potencia de captura por unidad y el tiempo dedicado a la pesca.

La situación, en cuanto a existencias de pesca y de mariscos, puede determinarse mediante los tres métodos siguientes. El primero es un análisis sencillo de captura y esfuerzo, basado en el modelo de producción sobrante. El segundo sistema es el denominado rendimiento por análisis de incorporación. Este sistema trata básicamente de determinar cómo interactúan el crecimiento y la mortalidad natural de una población, para determinar el mejor

tamaño del camarón a aprovechar, después de haberse incorporado a la pesquería. El último método es el análisis de las interacciones de las especies, que con frecuencia se ignora debido a su complejidad.

Pesca

En Tailandia, las principales especies comerciales de pesca capturadas en las áreas de manglar o en sus proximidades, incluyen salmonetes (*Liza subviridis*), róbalo marino (*Lates calcarifer*), pargos (*Lutjanus spp.*), tilapia (*Tilapia spp.*), meros (*Epinephelus spp.*), bagre de mar (*Arius spp.*), los macabíes (*Eleutheronema spp.*) y la anguila (*Ophichthus microcephalus*) (Christensen, 1982).

El pez más importante de África Occidental es la "Bonga" (*Ethmalosa fimbriata*). Otros géneros importantes de la misma familia (Clupeidae) son *Sardinella* y *Pellonula*. La *Tilapia* es también muy importante. En África Oriental *Tilapia* y *Cyprinus* están entre los géneros más buscados, seguidos por los salmonetes, las anguilas y el sabalote (*Chanos chanos*).

En América Latina los salmonetes y los pargos están entre la pesca capturada más corrientemente en las áreas de manglar y sus proximidades.

Mariscos

El término matiscos se emplea aquí en forma colectiva para describir crustáceos (cangrejos, camarones) y moluscos (bivalvos y gasterópodos).

El principal cangrejo comestible (*Crylla serrata* en Asia y África Oriental y *Callinectes latimanus* en África Occidental) es un producto muy apreciado del manglar que lo capturan mediante trampas elaboradas localmente o utilizando ganchos de cangrejo para pescar los cangrejos sacándoles de sus madrigueras. Otros cangrejos comestibles, que tienen diverso valor dependiendo de los países, incluyen algunas especies de *Sesarma*, *Cardisoma* y *Thalamita* (SECA/CML, 1987).

Los camarones normalmente se cogen con redes pequeñas atadas a un mango corto, siguiendo los arroyos de poca profundidad dentro de los manglares y mediante pesqueros de arrastre de bajura. En Matang, se capturan once especies comerciales de camarón correspondiendo la mayor parte de las capturas a las especies *Metapenaeus affinis*, *M. brevicornis*, *Parapenaeopsis sp.* (notablemente *P. hardwickii* y *hungerfordi*) y *Penaeus merguiensis/penicillatus*.

En una serie de países se capturan camarones míidos para la producción de pasta de camarón, condimento popular en el sudeste de Asia. En los Sundarbans, numerosos pescadores se dedican a capturar postlarvas de camarón a fin de abastecer las operaciones de acuicultura, ya que la cría del camarón está todavía en una etapa inicial en Bangladesh. Desgraciadamente, ésta es una utilización muy ineficaz de los recursos ya que sólo son buscadas unas pocas especies en esta etapa descartándose el resto y siendo muy elevada la mortalidad de las especies preferidas a causa del almacenaje y transporte. En tales áreas hay que tener cuidado de no explotar en exceso los camarones de pequeño tamaño en detrimento de los adultos más grandes y de mayor valor, que son capturados por los pesqueros de arrastre de bajura.



Figura 3.9.: Colocación de trampas de pesca tradicionales en Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie

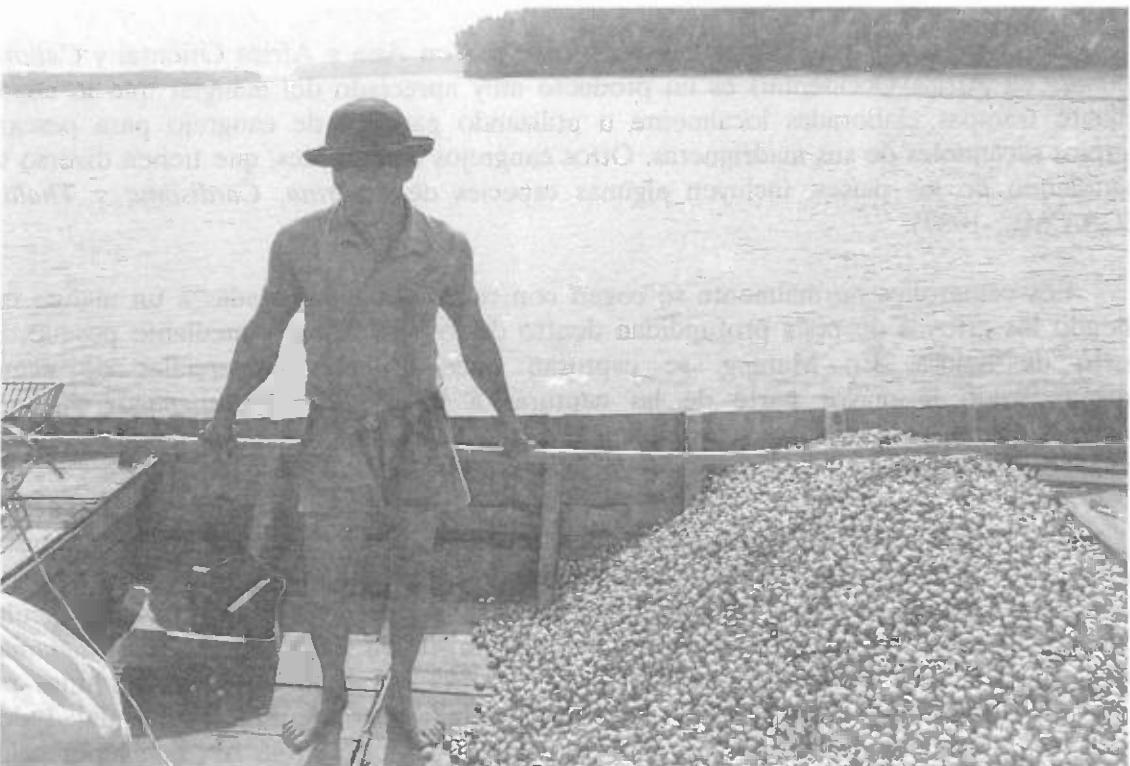


Figura 3.10.: Carga de un bote con berberechos sanguinos (*Anadara granosa*), en Matang
Foto de M.L. Wilkie

En América Central las almejas denominadas arcas (*Anadara sp.*) son sin duda el recurso económico más importante de los moluscos que se dan en los manglares. En Costa Rica, ha desaparecido prácticamente el gran bivalvo *Anadara grandis* (chucheca) debido a su explotación excesiva. En su lugar, se están explotando ahora dos pequeñas almejas arcas o "pianguas": *Anadara multicostata* y *A. tuberculosa*. Este último bivalvo se encuentra corrientemente desde la Baja California a Perú (Keen, 1971). Su importancia como fuente de proteínas y como recurso económico renovable para los pobladores costeros hacen de ésta la especie individual explotada más importante del ecosistema de manglar del litoral del Pacífico. Debido a la fuerte presión sobre estas especies, sólo se permite en Costa Rica el aprovechamiento de bivalvos de 45 mm. de diámetro en adelante. La *Anadara similis*, un pequeño bivalvo, también se encuentra y se recoge en los manglares de América Tropical.

En Malasia, el berberecho sanguino (*Anadara granosa*) es una especie de gran importancia comercial, que es la base de una industria costera floreciente y una fuente importante de proteínas. Alrededor del Océano Índico, se recoge la *Gelonia*.

Algunas ostras silvestres, como por ejemplo la *Crassostrea tulipa* de África Occidental, se desarrollan naturalmente en las raíces de sostén de la *Rhizophora* y se explotan localmente. Debe señalarse, sin embargo, que puede ser peligroso comer las ostras al comienzo de la denominada marea roja.

Para obtener información sobre la biología y el cultivo de la *Anadara sp.* y las ostras tropicales se remite al lector a Broom (1985) y Angell (1986) respectivamente.

Otros grupos de bivalvos que se recogen y utilizan como alimento son las almejas de navaja y los mejillones. La almeja, *Polymesoda inflata*, está estrechamente vinculada con ciertos cangrejos (*Pinnotheres sp.*). El *Modiolus capax* (Mytilidae) tiene una concha triangular y manojos de filamentos que le permiten agarrarse a las raíces del manglar.

En los manglares se encuentran diversas especies de caracoles comestibles, algunos de los cuales se comercializan localmente. Los *Terebralia* y *Telescopium* se suelen comer machacando sus conchas, mientras que los interiores de los pequeños *Cerithideae* se sacan con un palillo o simplemente se absorben tras romper el extremo cerrado. También se recogen como alimento ciertas especies de *Nerita* y *Salinata* (Christensen, 1982).

3.3.5. Acuicultura marina

La acuicultura marina que incluye el uso de un sistema de estanques artificiales donde se crían animales específicos, marinos o de agua salobre, se ha practicado tradicionalmente en Indonesia durante centenares de años. Los estanques "tambaks" se construían para cultivar el sabalote (*Chanos chanos*). A lo largo de los cursos de agua, arroyos y aguas estuarinas de los manglares, se ha desarrollado una rica tradición de acuicultura marina artesanal, constituyendo la pesca una parte importante del suministro de proteínas de los pobladores.

En contraste con muchas culturas de Asia, las culturas precolombinas de América no contaban con una tradición importante de acuicultura, ni tampoco los europeos que llegaron en el siglo XV. En consecuencia, hay poca tradición sobre acuicultura marina. La proteína preferida es la carne en lugar del pescado, del que sólo se consumen unas pocas especies.

En los manglares se utilizan varios sistemas de cultivos marinos que pueden clasificarse en general en aquellos métodos que utilizan la fertilidad natural del sistema

acuático estuarino, sin destruir la vegetación (cultivo estuarino de aguas abiertas), y aquéllos que se practican en tierra (cultivo en estanques).

Cultivos marinos estuarinos en aguas abiertas

Se pueden distinguir tres tipos principales de cultivos marinos estuarinos en aguas abiertas: el cultivo de fondo en el que no se utilizan cerramientos, el cultivo en cajas y el cultivo en balsas y garras.

Cultivo de fondo

El género *Anadara* tiene un gran potencial en cultivos marinos y el berberecho sanguino (*Anadara sp.*) es un buen ejemplo de cultivo de fondo. El substrato y el período de exposición en bajamar parecen ser los factores más importantes que limitan la distribución de los berberechos. La *Anadara granosa* es una fuente importante de proteínas, que se desarrolla naturalmente en llanos enfangados de los manglares de Malasia Occidental, Tailandia, Kampuchea y Sur de Vietnam.

Los cultivadores de berberechos recogen las semillas (que miden de 6 a 12 mm.) en las áreas de freza de las llanuras de fango que emergen en bajamar y las siembran en bancales de berberechos en áreas más bajas a razón de 4,5 a 5,5 millares de litros/ha. (Hamilton, L.S. y Snedaker, S.C., 1984). Los predadores, como el pez estrella y la *Natica*, se eliminan durante la bajamar. Las semillas maduran después de 8 a 12 meses y se recogen cuando tienen unos de 3 cm. de diámetro. Los rendimientos en las mejores áreas están entre 20,7 y 24 t/ha/año en Malasia y Tailandia, respectivamente (Sribhidhad, 1973). Malasia es el mayor productor y exportador de berberechos de los países tropicales, con 4.700 ha. de bancales de berberechos que producen alrededor de 65.000 t. anuales (lo que equivale a un promedio de 13,8 t/ha/año), con un valor superior a los 12 millones de \$EUA.

La *Anadara tuberculosa*, que se encuentra en América Tropical, es otra especie que ofrece excelentes perspectivas de desarrollo comercial (Ellis, 1968; Hagberg, 1968).

Los bivalvos, al tener un sistema de alimentación con filtros, son muy sensibles a la calidad del agua y a los contaminantes. Por ejemplo, en 1970 la descarga de desechos de las refinerías de azúcar en el río Mae Klong, de Tailandia, destruyó prácticamente la industria del cultivo de berberecho en el estuario. Según la información disponible, los bivalvos de los manglares de Sierpe, en Costa Rica, se redujeron drásticamente debido a los contaminantes a base de cobre, descargados por las plantaciones de banano.

Cultivo de algas marinas

China, Hong Kong, Vietnam, Filipinas, Taiwán, Japón y Corea son los países asiáticos que consumen grandes cantidades de algas marinas como alimento y también como medicinas y para fines cosméticos.

En Tailandia, el cultivo de algas marinas a base de *Gracilaria*, se realiza en las aguas costeras de poco fondo a lo largo de las líneas costeras de manglar, cuyos fondos incluyen arena limosa. Se exportan grandes cantidades a Japón. En Malasia Occidental los mejores sitios para el cultivo de algas marinas están situados cerca de la orilla, junto a los terrenos de cría del camarón en la parte inferior de la zona intermareal.

El cultivo de algas marinas también se practica en Filipinas con buenos resultados financieros, existiendo un potencial similar en Vietnam y en partes de Myanmar. La relación sinérgica entre las algas marinas y el cultivo de herbáceos no se ha establecido, pero dado el efecto conocido generalmente mejorador de los prados de hierba marina sobre la productividad acuática, es muy probable que estas dos actividades sean mutuamente beneficiosas (FAO, 1977). El mayor inconveniente en la actualidad y en el futuro es la creciente contaminación de las aguas costeras.

Cultivo en jaulas

En los estuarios y canales abrigados que son ricos en detritos orgánicos, el cultivo de la pesca puede realizarse en jaulas y cerramientos. El uso de jaulas hechas con red sintética o con pantallas de bambú que miden de 0,25 ha. a 5 ha. cada una, ha tenido éxito en el cultivo del sabalote (*Chanos chanos*) en Filipinas, produciéndose del orden de 4 t/ha/año. Se dió también algún pienso suplementario (Delmendo y Gedney, 1974).

Las jaulas de red flotantes son adecuadas para especies que pueden tolerar el hacinamiento, transforman los alimentos eficientemente, hay fácil disponibilidad de alevines, tienen un precio elevado y existe buena demanda (Christensen, 1982). Los dos peces más cultivados son el róbalo de mar (*Lates calcarifer*) y el mero (*Epinephelus tauvina*), que se crían en jaulas (4 a 5 por 5 a 6 m. y unos 2,5 m. de profundidad). El nivel de existencias de alevines de estas dos especies varía de 350 a 500 por jaula. En Malasia, puede obtenerse un rendimiento de 75 a 125 Kg. de cada jaula después de 10 a 12 meses (Chan y Salleh, 1987).

Cultivo en balsas y garras

Las ostras y los mejillones se cultivan a base de cuerdas de nylon suspendidas de balsas flotantes que producen alrededor de 180 t/ha/año de mejillones.

En la Ciudad de Lower Allen, cerca de Freetown, capital de Sierra Leona, las mujeres acostumbraban a recoger las ostras silvestres (*Crassostrea tulipa*) durante la bajamar, cortando las raíces de sostén de los manglares en las que se desarrollan. Debido al método destructivo empleado y a la corta excesiva para leña, los manglares costeros se han transformado en arbustos bajos e incluso se han destruido, llevando entre otras cosas a una disminución en la cantidad de ostras recogidas. Sin embargo, ensartando las conchas de ostra en una cuerda de nylon y colgándolas de unos percheros de bambú junto a los arroyos sometidos a las mareas, se pueden recoger las huevas de ostras y aprovechar las ostras maduras después de unos 12 meses sin destruir la vegetación de manglar. Este método se ha aplicado con cierto éxito en el área de la ciudad de Lower Allen (Chong, 1989).

En Tailandia, se montan cilindros de hormigón, de 15 cm. de diámetro y 40 cm. de altura, sobre postes cortos de palmera *Phoenix*, con una densidad aproximada de 1 poste/m². Las huevas de la *Crassostrea commercialis* se sujetan en la superficie cilíndrica y se pueden aprovechar después de 8-18 meses. Christensen (1982) registró que se pueden producir alrededor de 17 t. de carne por hectárea y año, mediante este método. En Panamá y en la costa del mar del Caribe de Costa Rica, la ostra de manglar *C. rhizophorae*, ha sido objeto de investigación. Se puede recoger semilla de reproducción natural y plantarla en otras áreas para su desarrollo hasta los tamaños comerciales. En Puerto Rico, Cuba y Bocas del Toro, Panamá, se han establecido unos buenos métodos de cultivo.

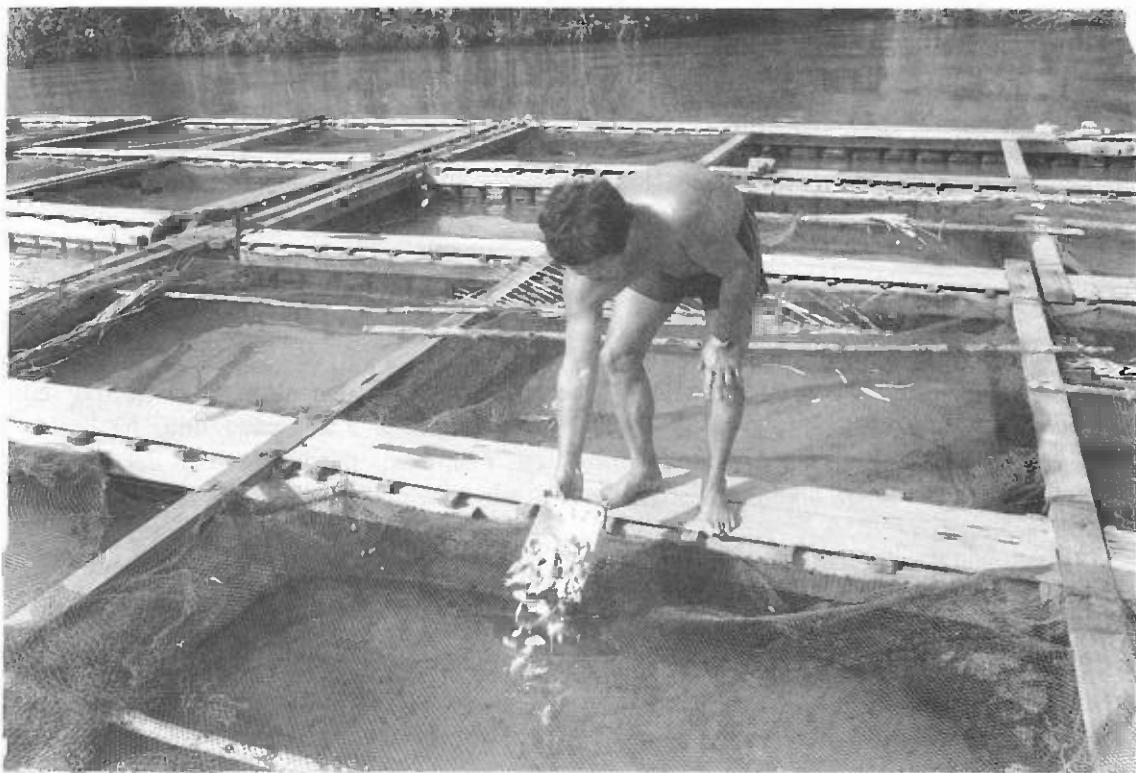


Figura 3.11.: Cultivo en jaulas, Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie



Figura 3.12.: Cultivo de ostras junto al arroyo de un manglar, Sierra Leona
Foto de P.W. Chong

Cultivo en estanques

Pequeños cultivos en estanques

Los estanques artificiales de pesca representan alrededor del 95% de la acuicultura de Filipinas, donde se destruyeron entre los años 1952 y 1981 del orden de 3.700 ha. anuales de manglares. (Umali, 1985). Se construyen estanques de 0,1 a 1,0 ha. dentro de los manglares, para aprovechar la disponibilidad de pececillos, la fertilidad natural de los manglares y el lavado de las mareas.

Otro ejemplo lo constituyen los estanques de pesca "tambak" de Java, donde se cultivan con frecuencia manglares y otros árboles útiles sobre los diques situados entre los estanques. (Sukardjo, 1978). A veces, también se cultiva Nipa junto a los estanques para conseguir sombra. Los estanques se utilizan sobre todo para el cultivo de camarones y sabalote.

Los alevines de sabalote (*Chanos chanos*) son corrientes en el ambiente del manglar y en las aguas costeras del sudeste de Asia. Se capturan generalmente en la etapa de postlarva y antes de que se hagan jaramugos o en la etapa posterior de alevines.

Grandes cultivos en estanques

Las áreas de manglar de muchos países en desarrollo se están transformando de forma creciente en grandes estanques de acuicultura utilizados sobre todo para la cría de camarones en lugar de la pesca debido a la fuerte demanda de exportación y a los precios del camarón. Esto sucede particularmente en zonas cuyas aguas costeras son ricas en nutrientes, que cuentan con existencias naturales de postlarvas y juveniles de camarones de especies comerciales y donde la amplitud de las mareas tiene una altura favorable (alrededor de 3 m.). Los estanques de camarones se construyen en los manglares porque las áreas estuarinas protegidas y de poco fondo, son el hábitat natural de una variedad de camarones silvestres comerciales, proporcionando hembras fertilizadas y abundantes postlarvas y juveniles.

Las postlarvas de las especies de la zona Indo-Pacífica *Penaeus monodon*, *P. indicus* y *P. merguiensis* y las especies del Pacífico Oriental *P. styliorotris*, *P. vannamei* y *P. occidentalis*, se encuentran normalmente en los arroyos sujetos a las mareas y no emigran a los manglares. Las existencias silvestres de postlarvas y juveniles están disminuyendo en número debido a la continua degradación y destrucción de su hábitat.

Existe la tecnología para la producción en criaderos de postlarvas de camarón pero es costosa, compleja y no está a la disposición de pequeños operarios. En consecuencia, se está convirtiendo en un problema el conseguir un suministro adecuado de alevines para los pequeños operarios que no pueden permitirse el comprar provisiones de los criaderos. La dependencia de un suministro inseguro de alevines silvestres es el eslabón más débil de la cadena de producción para los pequeños productores de camarón.

Este problema se complica con la aparición cíclica del fenómeno "el nino" que causa el calentamiento del agua marina costera. Esto ha creado graves problemas a los cultivadores de camarón de Centro América, debido a la inundación y destrucción de sus estanques, los cambios de salinidad de las aguas costeras y el fuerte descenso del suministro de alevines silvestres.



Figura 3.14.: Desmonte de una zona de manglar para el establecimiento de estanques de camarón, Malasia
Foto de M.L. Wilkie

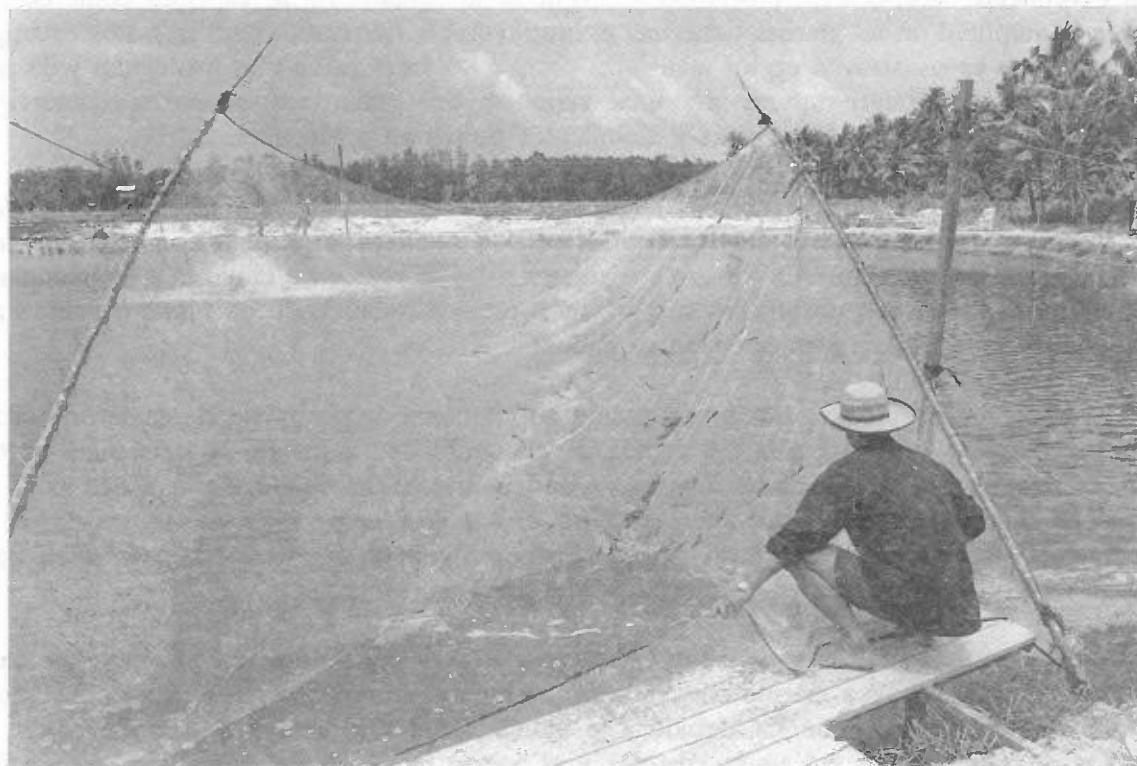


Figura 3.15.: Vigilancia de la producción de camarón, Malasia
Foto de M.L. Wilkie

En Panamá, donde son bastante complicados los sistemas de los cultivos marinos, la producción está limitada por la elevada salinidad (47-50‰) que se experimenta durante la estación seca y por la escasez de alevines silvestres. A continuación se acompaña una relación resumida de los principales problemas, de acuerdo con Cintron, (1985):

- Disponibilidad de semilla: Las existencias de semilla natural son imprevisibles y escasas durante los meses secos. El *P. vannamai* es abundante en el período húmedo, mientras que el *P. stylorastris* es más común en la época seca.
- Pienso. Los gránulos de pienso suplementario constituyen del 20 al 40% del costo anual de producción.
- Alto costo de las postlarvas: La semilla de laboratorio es un 250% más costosa que la semilla silvestre. Las existencias de postlarvas representan del 16 al 20% de los costos de producción.
- Clima: La salinidad se hace excesiva (>50‰) en los meses secos (enero-abril) y los estanques se dañan con frecuencia por las fuertes lluvias durante la estación húmeda.
- Enfermedades: Cada vez son más corrientes al aumentar la intensidad de la producción.
- Predadores: Los predadores acuáticos y las aves reducen la producción.
- Contaminación: Las aguas costeras y estuarinas se están contaminando cada vez más.
- Robos: Hay que tener en cuenta los costos de seguros.

En Filipinas, Rabanal (1977) recomendó los terrenos que se inundan en las pleamaras ordinarias y se drenan con las bajamaras, como los más favorables para la construcción de estanques (Figura 3.16.).

3.3.6. Producción de sal

La producción de sal con energía solar es una industria tradicional e importante en muchas regiones costeras secas y semisecas. Como mercancía básica la sal es necesaria para la dieta humana y para algunas aplicaciones agrícolas e industriales. Se usa también para preservar la pesca, la carne de vacuno, las frutas y hortalizas. En 1980 alrededor del 25% de la producción mundial de sal, de unos 175,5 millones de toneladas, se produjo utilizando energía solar.

El agua del mar se conduce y encierra en estanques construidos en terrenos en alto durante las mareas vivas. Con la evaporación, aumenta la salinidad en los estanques de evaporación hasta que se precipitan los cristales de sal de la salmuera concentrada. Pocas plantas pueden sobrevivir en tales condiciones hipersalinas. El desarrollo de las salinas depende de los factores siguientes:

- suministro de agua de mar con gran salinidad;
- una estación cálida y seca pronunciada en que la evapotranspiración potencial es mayor que las precipitaciones ($ETP > P$);
- terreno costero llano;
- entradas limitadas de agua dulce, tanto superficial como subterránea, que pueden diluir o lavar la sal/salmuera acumulada;
- dominancia de vientos secos que aceleren la evaporación.

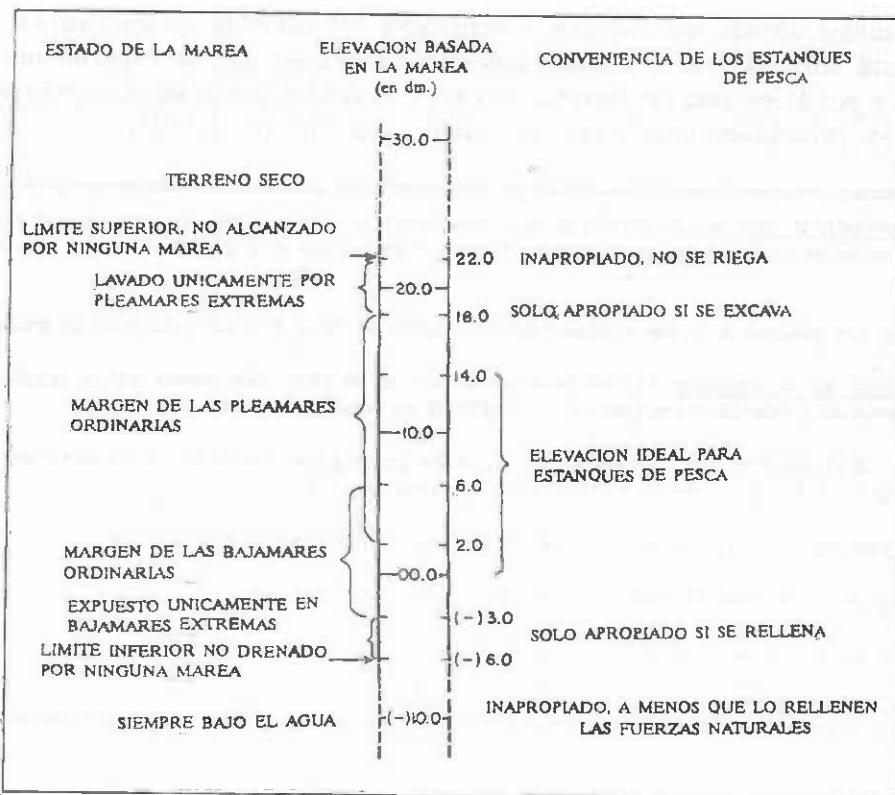


Figura 3.16.: Terrenos adecuados para la construcción de estanques, en relación con las elevaciones de las mareas, en Filipinas (Rabanal, 1977)

La sal natural puede producirse más eficazmente en climas semiáridos o en regiones que tienen una estación seca y cálida pronunciada; cuando la evapotranspiración potencial sobrepasa las precipitaciones. Los climas ecuatoriales no son favorables como lo demostró el fracaso del proyecto de Sungei Merbok en Malasia Occidental. En las zonas áridas, la sal se puede producir durante todo el año. La producción solar de sal se sitúa generalmente al borde del mar, donde los manglares están climáticamente limitados y las "salinas" (conocidas como *albinas* en Panamá, *salitrales* en Cuba y *tannes* en partes de África Occidental) se desarrollan naturalmente.

La descripción que sigue sobre el proceso de elaboración de la sal, está resumida principalmente del informe de Cintron sobre Panamá (1985).

Las salinas modernas contienen varios estanques de evaporación donde se evapora la salmuera con tres grandes niveles de salinidad. En los *preconcentradores*, el agua del mar con el 30 al 40‰ se evapora hasta el 80‰, en cuyo punto se precipitan el óxido férrico y parte del carbonato cálcico. La salmuera se lleva a los concentradores, donde se concentra su salinidad hasta 180‰ aproximadamente, eliminándose el resto del carbonato cálcico, boratos y sulfatos de calcio; y las "*nodrizas*" donde, con salinidades superiores a 190‰, el sulfato cálcico restante se elimina en forma de precipitados.

Finalmente, la salmuera concentrada, que puede mantenerse en tanques de retención, se introduce en los "*destajos*" o estanques de cristalización donde se recogen los precipitados de cloruro sódico y posteriormente se secan al sol. Toda la sal se vende al gobierno.

Los beneficios de las salinas pueden aumentarse produciendo camarón de salmuera, *Artemia sp.* como operación secundaria. El camarón de salmuera se da naturalmente en aguas

con 80 a 260‰ de salinidad pero se desarrolla mejor entre 140 y 180‰. La *Artemia* se vende a los criadores de camarón y los cysts tienen una gran demanda (70 \$EUA/Kg.). Durante los meses lluviosos se puede producir el camarón ordinario.

En Puntarenas, Costa Rica, se hicieron esfuerzos para utilizar las salinas existentes para la producción de salmonetes o liza (*Mugil curema*) producto de escaso valor en el mercado regional y de camarón, producto de gran valor, para el consumo local y la exportación.

En Sierra Leona, que tiene un clima ecuatorial muy húmedo, no es posible la elaboración de sal mediante evaporación solar. Sin embargo, en la estación seca se producen grandes cantidades de sal en las zonas de manglar con una técnica algo diferente. Se raspa la capa superior de suelo del manglar y se carga en un barco en forma de V, recubierto con paja y barro y se lava con agua de mar. La solución de salmuera resultante se hierve en grandes bandejas hasta que el agua se evapora y se queda la sal como residuo (Figuras 3.17 y 3.18). Este método, si se practica en gran escala, puede ser muy destructivo porque se utiliza madera del manglar para el proceso de ebullición. Sin embargo, en muchas áreas de Sierra Leona, se realiza en pequeña escala en las partes más secas y menos productivas de los manglares, utilizando la madera de *Avicennia* que se regenera en monte bajo.

3.3.7. Agricultura en suelos de manglar

Los suelos de manglar son en general marginales para la agricultura de larga duración, debido a la naturaleza química del suelo, la salinidad, y la contracción y el hundimiento cuando se labra el suelo. Durante los meses secos, la escasez de agua potable causa graves dificultades y problemas sanitarios.

Los agricultores de las zonasmareales experimentan una serie de problemas relacionados con su ambiente específico y con las condiciones del suelo. En primer lugar, porque el terreno se inunda durante la pleamar, debiendo idearse un sistema que no deje entrar el agua salina. Esto se realiza mediante terraplenes bajos, diques y canales de drenaje. Los diques disminuirían el riesgo de inundación en ríos de escaso nivel, pero la construcción es costosa. Cerca de la costa, el agua salina o salobre penetra desde el mar (intrusión salina). Cuando se construyen terraplenes de barro, hay que mantenerlos continuamente, sobre todo en zonas en que es corriente la langosta de fango (*Thalassina*). Los rendimientos son escasos cuando la acidez del suelo es alta.

Debido a la fuerte incidencia de sulfato ácido potencial y de las condiciones de sulfato ácido del cieno del manglar, el suministro adecuado de agua no sólo es necesario sino que el control del agua, para mantener la capa freática por encima de la capa sulfurosa, es una condición previa para la recuperación con éxito de terrenos de manglar. El campo puede ser de secano o regadío. En el segundo caso se mantendrá la humedad del suelo durante la mayor parte del tiempo, pero también se limita la variedad de cultivos que se pueden plantar.



Figura 3.17.: Lavado del suelo del manglar con agua salada, Sierra Leona
Fotografía, cortesía de M.P. Wilkie



Figura 3.18.: Ebullición de la solución de salmuera, en grandes bandejas, Sierra Leona
Fotografía, cortesía de M.P. Wilkie

La recuperación en gran escala de terrenos de manglar, para agricultura, requiere una planificación muy cuidadosa, incluyendo un análisis económico realista (véase el Recuadro 3.2.) y un análisis de los impactos sobre los otros recursos. Además, cuando los terrenos están próximos al mar y son propensos a los ciclones, el tributo en vidas humanas y destrucción de propiedades y cultivos, puede ser muy elevado.

En Fiji se hizo un intento para determinar la viabilidad económica de la transformación de manglares para la producción de caña de azúcar y arroz, utilizando datos de proyectos existentes, una tasa de descuento social del 5% y un horizonte de planificación de 50 años.

Con respecto a la transformación para la producción de caña de azúcar sin riego y con un pequeño componente de estanques de camarón, el valor actualizado neto (VAN) resultó negativo, incluso sin tener en cuenta los beneficios netos perdidos por el sector forestal y la pesca.

En cuanto a la transformación para el cultivo de arroz con riego y utilizando una VAR de arroz, tolerante a la sal, el VAN fue también negativo cuando se realizó en suelos de manglar, también sin tener en cuenta los beneficios netos perdidos.

Las principales razones obedecían a los problemas originados por la formación de suelos de sulfato ácido, que incluyen unos bajos rendimientos, sistemas de cultivo necesarios de tipo especial y los costos del mantenimiento de las paredes en terraplén.

Las estimaciones del VAN para los casos anteriores, seguían siendo negativas en el supuesto de un proceso acelerado de desalinización y utilizando unas tasas superiores de descuento social y unos horizontes de planificación más prolongados. Sólo con una tasa de descuento cero y con un horizonte de planificación de 100 años, sin ninguna inversión adicional de capital, se obtuvo un valor positivo del VAN en el proyecto de arroz. Sin embargo, el VAN para la caña de azúcar continuó siendo negativo.

Con ello se llegó a la conclusión de que: "si los efectos de las características ecológicas de los suelos de manglar, que condicionan el tiempo que tardan en ser productivos los terrenos recientemente transformados, tuvieran que incorporarse en el análisis costo-beneficio, en tal caso ni el cultivo de arroz en regadío sería económicamente viable.

Fuente: Lal (1990)

Recuadro 3.2.: Análisis económico de la transformación de manglares para agricultura en Fiji.

Cultivo de arroz

El cultivo del arroz se convirtió hacia 1855 en un cultivo alimenticio importante en las zonas de manglar de Guinea y Sierra Leona y mucho después, en Madagascar (1935). En Myanmar (1852), la administración colonial, que consideraba los bosques exuberantes de Kanazo (*Heritiera fomes*) como "tierras baldías", transformó los manglares del delta de Ayeyarwady en campos de arroz.

Tradicionalmente, los agricultores bugineses y banjareses de Kalimantan y Sumatra han plantado arroz desde hace más de setenta años a lo largo de las marismas costeras sometidas a las mareas. Se producen rendimientos de arroz hasta de 3 t/ha. en suelos muy piríticos, gracias a un control cuidadoso del agua y del lavado por las mareas de la parte superior del suelo. Los agricultores utilizan un sistema de drenajes de poco fondo estrechamente espaciados y paralelos, que extraen con eficacia cualquier acidez desarrollada en la capa superficial, manteniendo al propio tiempo saturada de agua la zona situada por debajo de la superficie.

Aparte de los niveles tóxicos de los iones de hierro y aluminio, el nivel de fósforo disponible es muy reducido. El contenido de cobre, zinc y manganeso es también reducido en muchos suelos costeros. En cualquier caso, el mantenimiento adecuado de los canales y obras hidráulicas es una condición previa para una producción sostenida de arroz.

En el Cuadro 3.8. se resumen los cuatro tipos principales de sistemas de cultivo de arroz.

Cuadro 3.8.: Sistemas de cultivo de arroz

A.	<u>Cultivo de arroz inundado</u>
1.	<u>Arroz de marea:</u> Se necesita una descarga de agua dulce durante la estación lluviosa por un período de más de 100 días. Inundación durante la pleamar. Se realiza sobre todo en la zona estuarina superior;
2.	<u>Arroz inundado estacionalmente:</u> Se necesita una descarga suficiente (altura de inundación) para mantener la afluencia y los niveles de agua dulce durante la estación vegetativa.
B.	<u>Cultivo de arroz de secano</u>
	" <u>Polders con agua de lluvia</u> ": Durante la estación de lluvias se mantienen capas freáticas altas en pequeñas cuencas. El arroz se suele cultivar en pequeños caballones. Se necesita como mínimo 100 mm. de agua de lluvia durante 4 meses. Durante la estación seca los campos se mantienen húmedos con agua salobre para evitar la sulfatación ácida.
C.	<u>Agricultura controlada con capas freáticas altas:</u>
	En climas húmedos sin una estación seca pronunciada, se mantienen capas freáticas altas con un drenaje mínimo. En las zonas tropicales se emplea con frecuencia para el cultivo de la palma de aceite. La intrusión de agua salada se controla mediante compuertas;
D.	<u>Transformación total:</u>
	Control completo del drenaje y del riego. Los suelos tienen que ser completamente transformados.

Fuente: Adaptado de Dent, 1986.

El Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IIIA) ha clasificado los terrenos de manglar de acuerdo con su conveniencia para el cultivo del arroz, de la forma siguiente:

* <u>Muy apropiados:</u>	salinidad del suelo reducida, precipitaciones elevadas y bien distribuidas;
* <u>Moderadamente apropiados:</u>	salinidad del suelo no muy elevada, debido a la evaporación y a la elevación de la capa freática;
* <u>Inapropiados:</u>	fuerte salinidad, suelos con sulfato ácido; exposición y sequedad del suelo en la estación seca e inundación profunda en la estación húmeda.

A parte del arroz bajo riego, los cultivos de enraizamiento somero como las hortalizas, o la palmera de aceite y el cocotero, son los únicos cultivos apropiados para estas zonas transformadas, especialmente en las etapas iniciales de transformación. En marismas de manglar que han sido transformadas desde hace más tiempo se han establecido con éxito el mango y otros árboles frutales. El caucho no va bien en estos suelos arcillosos marinos, debido a la fuerte cantidad de calcio y magnesio intercambiables.

Cocoteros

El cocotero ha sido frecuentemente el primer cultivo plantado en marismas de manglar transformadas, debido a su tolerancia a la sal. Los rendimientos se ven afectados, sin embargo, por los cambios de pH debidos al drenaje, especialmente en suelos con sulfato ácido o con sulfato ácido potencial. Los ensayos experimentales realizados demostraron que un descenso del pH ocasionado por el drenaje, se traducía en caídas drásticas de rendimiento, desde 5.154 a 2.818 cocos/ha./año (Zahari, 1983).

A veces se han realizado con éxito cultivos intercalares de cacao y banano con el coco, en suelos con sulfato ácido, ayudados con la aplicación de polvo de piedra caliza alrededor de las matas de las palmeras.

Palmera de aceite

En Malasia, los rendimientos potenciales de la palma de aceite (alrededor de 55 t de ffb/ha/año) procedentes de suelos de manglar transformados son superiores a los plantados en suelos de tierras más altas (promedio 20 toneladas ffb/ha/año). (Poon, 1983). Un manejo adecuado del agua es la clave para un cultivo con éxito y el sistema actual empleado en Malasia de control de drenaje, que trata de mantener la capa freática a unos 60 cm. de la superficie del suelo, ha resuelto el problema de la formación de suelos de sulfato ácido (Poon, 1983).

3.4. SERVICIOS PROPORCIONADOS POR LOS MANGLARES

3.4.1. Protección costera

La protección costera se denomina también protección litoral. Las medidas adoptadas, mediante barreras de diques marítimos y otras estructuras contra la erosión, se denominan en conjunto en este documento como *defensas de diques costeros*. El litoral se define específicamente como *la línea costera que alcanzan las pleamaras vivas*.

Muchas zonas húmedas y áreas de manglar se destruyen debido a la construcción de estructuras protectoras. Estas se suelen situar del lado del mar donde queda señalada el área estuarina por la bajamar. Grandes superficies de humedales productivos y llanuras mareales pueden quedar aisladas de las influencias marinas y, análogamente, áreas que dan al mar de estuarios o lagunas quedan privadas de las aportaciones de agua dulce. Se pueden perder, en consecuencia, áreas muy productivas de humedales y marismas. Véase como referencia el Recuadro 3.3.

Medidas de alivio

Prevenir es mejor que curar. Esto se aplica en particular a la protección costera, donde los costes de corrección pueden ser extraordinariamente elevados. Las estructuras se deben colocar detrás de la línea de inundación anual que marca los límites hacia tierra de los humedales costeros. Los diques se deben construir de cascote (escollera) para permitir el movimiento de los nutrientes llevados por el agua desde las tierras del interior al estuario. La escollera tiene la ventaja adicional de reducir el lavado de las olas y proporcionar nuevos nichos para los organismos estuarinos.

El dilema de Guyana - desmoronamiento de la defensa costera

Guyana no puede permitirse ignorar el mar. No sólo es el azúcar el alma de su economía, sino que el 90% de sus 750.000 habitantes viven a lo largo de una estrecha zona costera que representa menos del 3 por ciento de la superficie total de sus tierras. Esta estrecha faja, de 500 Km. de longitud y nunca más de 16 Km. de anchura, contiene los suelos más fértiles; el resto del país tiene una agricultura marginal o no tiene potencial agrícola. Esta faja costera, que representa más del 70 por ciento del PIB del país, se encuentra desgraciadamente por debajo de la línea de pleamar, lo que la hace particularmente vulnerable a las inundaciones, a la erosión del mar y a la salinización.

Sin embargo, la protección costera es muy costosa, absorbiendo más del 30% de los gastos de capital del país hasta mediados de los años 70. Pero debido a la recesión económica, la mayor parte de las defensas de diques marítimos están descuidadas, exigiendo una sustitución total en muchos lugares.

Como si no fuera suficiente el problema de no dejar entrar el agua del mar, una subida del nivel del mar de unos 0,5 m., debido al calentamiento global, invadiría la mayor parte de las áreas habitadas. Una subida de 1,5 m. podría destruir potencialmente unos ingresos de 107 millones de \$ de la industria de azúcar, 46 millones de \$ del arroz, 84 millones de \$ de otros cultivos y 11 millones de \$ de la ganadería, poniendo en peligro alrededor de 800 millones de \$ de actividad económica.

La sustitución de los 130 Km. más afectados de la defensa costera, exigiría 260 millones de \$. El tipo normal de protección física que se necesita costaría alrededor de 2.000 \$ por metro de construcción.

No obstante, la experiencia obtenida mediante un proyecto de ODA sobre defensa de diques marítimos en las proximidades del río Essequibo, entre 1979 y 1984, indica que "la mejor protección costera que se puede tener en Guyana es una gran playa de pendiente prolongada, que lleve a los manglares y un pequeño dique de tierra situado tras ella". La playa se extiende hasta el mar, a veces 5 Km. o más, y los manglares protegían en otros tiempos gran parte de la costa. Las raíces aéreas como lápices de los manglares negros, *Avicennia sp.* disipan gran parte de la energía de las mareas y el oleaje. El agua está en relativa calma, elevándose y descendiendo suavemente con las mareas. Los primeros pobladores holandeses sacaron partido de los manglares y sólo necesitaron unas presas de tierra sencillas, alrededor de 1,5 m. de altura y 4 m. de anchura en la parte superior, para evitar que el suave oleaje inundase los terrenos agrícolas adyacentes.

La cortina protectora de manglar se ha deteriorado a causa de: en primer lugar, la falta de combustible para cocinar ha obligado a mucha gente a cortar los manglares y, en segundo término, el ciclo natural de la erosión y la acreción resultante de la masa de cieno procedente del Amazonas, unido a las corrientes costeras. Los guyaneses lo denominan "honda de cieno". Las partículas de barro, muy finas, permanecen siempre en suspensión y tienden a obturar los "poros de respiración" de los neumatóforos del manglar, excepto en las *Avicennias*, que son más resistentes.

Recuadro 3.3.: La protección costera en Guyana

Sería posible evitar la necesidad de cualquier tipo de estructura plantando vegetación mareal como medida de prevención de inundaciones y de control de la erosión. Esto es mucho más barato y casi no tiene ningún mantenimiento cuando está plenamente establecida la vegetación.

Las *Avicennias* son candidatas para este fin debido a su resistencia, a su capacidad para regenerarse de monte bajo y porque pueden soportar una fuerte salinidad. Sin embargo, puede ser necesario utilizar briznas con maceta y darles una protección apropiada.

Se puede establecer una vegetación baja de monte de manglar, bordeando los estuarios y las líneas costeras de escasa energía, para formar una barra protectora contra el ataque del mar. Se disminuye así la erosión en los litorales sin consolidar rompiendo la fuerza de las olas y disipando la energía del oleaje. En localizaciones estuarinas, los manglares desempeñan el papel adicional de quedarse con el limo y elevar gradualmente el nivel de la costa. Las matas densas de manglar representan una barrera eficaz contra las tormentas a lo largo de las costas bajas tropicales y subtropicales, pudiendo plantarse específicamente para este fin. El Cuadro 3.4. de la página siguiente describe tal ejemplo.

3.4.2. Recreación y ecoturismo

El turismo representa una tercera parte del comercio de bienes y servicios de los países en desarrollo y la Organización Mundial de Turismo (OMT) prevé que para el año 2000 (OMT, 1989) se convertirá en la mayor industria mundial. En 1988 hubo 390 millones de turistas internacionales que crearon 74 millones de puestos de trabajo y produjeron 195 mil millones de \$ de ingresos nacionales e internacionales. El viaje de aventuras, que incluye el ecoturismo, representó casi el 10% del mercado en 1989 y está aumentando a razón del 30% anual (Kallen, 1990).

El potencial del ecoturismo sólo puede convertirse en realidad si el recurso en que se basa está bien protegido. A su vez, puede fortalecer a las comunidades locales, inspirarles un sentimiento de orgullo hacia sus recursos naturales y su patrimonio, y darles autoridad para el desarrollo comunitario. Puede enseñar a los viajeros cuál es la importancia de los ecosistemas que visitan y hacerles participar activamente en los esfuerzos de conservación. En resumen, contiene potencial para motivar a la población rural, lograr unos beneficios económicos máximos y reducir al mínimo los costos ambientales.

Las actividades que se pueden fomentar en las áreas de manglar son: los senderos en la naturaleza, la observación de aves, la fotografía en la naturaleza, los criaderos de cocodrilos, la pesca, los recorridos fluviales en balsas, canoas, y kayak y los estudios botánicos.

El ecoturismo es una opción económica excelente, con beneficios positivos y de amplio alcance, de carácter social, político y ambiental. Sin embargo, no debe contemplarse sólo como un sistema para obtener beneficios financieros a corto plazo.

Los requisitos para que el ecoturismo sea rentable y beneficioso a largo plazo son: en primer lugar, formar a los promotores y agentes de viajes; en segundo término, elegir sitios que brinden oportunidades apropiadas de carácter recreativo y educativo para los visitantes; y por último, garantizar que las actividades son compatibles ambientalmente. El "turismo de bajo impacto" es menos perturbador que el "turismo de concurrencia" y por tanto más apropiado para las áreas protegidas que no pueden mantener ningún uso directo.

Plantación de manglares para la protección de diques

Todos los años, varios tifones y grandes tormentas golpean la costa del Vietnam, ocasionando daños a los diques costeros y pérdidas a los cultivos agrícolas e infraestructuras. El área más afectada está situada en la Región Central del país, desde la provincia de Than Hoa, en el norte, hasta la provincia de Quang Nam Da Nang, en el sur.

Estos tifones van acompañados de subidas del nivel del mar de 0,5 a 2,5 m. y de olas de 2 m. de altura. Los diques existentes no podían detener o soportar tales fuerzas y se rompió cada año o cada dos años. A fin de aliviar el problema, se buscó ayuda del Programa Mundial de Alimentos para mejorar los diques a través de un Proyecto de Alimentos para el Trabajo.

En este proyecto se incluyó un componente forestal con el siguiente objetivo:

Proteger los sistemas de diques restaurados y mejorados en 7 provincias, contra la erosión del viento, las olas y las corrientes de agua, mediante la plantación de árboles en la parte delantera de los diques.

Este objetivo era el resultado de anteriores observaciones sobre los efectos positivos de una cubierta arbólica en el lado del mar de los diques. La existencia de tales rodales naturales en la parte frontal de los diques se ha traducido, en muchos casos, de acuerdo con los agricultores locales, en unos daños mínimos a los diques por los tifones, mientras que los tramos de diques próximos sin esta barrera protectora, sufrieron graves daños.

Debe mencionarse aquí que aunque los diques se denominan diques costeros o marítimos, no están en realidad situados a lo largo de la misma costa, sino junto a ríos, estuarios y lagunas que están sujetos a la influencia del agua del mar de la marea. No hay, por tanto, normalmente una rotura directa de las olas en el frente de los diques.

Un total de 454 Km. de diques se van a restaurar y mejorar con el proyecto y en 195 Km. de ellos se van a plantar árboles en la parte delantera de los diques para fines de protección. Las áreas restantes, o son inadecuadas para el establecimiento de plantaciones de manglar o poseen ya masas naturales de manglar.

Las especies a plantar son *Rhizophora sp.*, *Kandelia candel* y *Nypa fruticans*, con unas pocas hectáreas de Filao (*Casuarina sp.*) en mayores elevaciones y terrenos arenosos. Todas las especies anteriores se pueden encontrar en el área del proyecto.

La anchura de las áreas plantadas depende del tipo de suelo, la topografía y el régimen de mareas. Aunque es conveniente una anchura de 50-100 m., la anchura media será de 30-50 m. debido a las limitaciones anteriores, en especial la inclinación de las costas. El espaciamiento adoptado es muy denso, con la mayor parte de las plantaciones a establecer a razón de 1x1 m., lo que equivale a 10.000 árboles/ha.

Durante este proyecto se van a plantar en total 1.010 hectáreas, habiéndose incorporado un mecanismo para el mantenimiento y protección de las plantaciones por las comunidades locales.

Fuente: Loyche (1992)

Recuadro 3.4.: Protección de diques costeros mediante manglares en Vietnam

En el Recuadro 3.5. se resumen algunas recomendaciones para las actividades de bajo impacto en zonas de manglar:

- * realizar un estudio para determinar la capacidad de carga estacional y anual del sitio;
- * deben determinarse y hacerse cumplir las capacidades de carga permisibles en cuanto a seres humanos, barcos, fauna silvestre y animales domésticos;
- * controlar la caza furtiva y la caza ilegal de fauna silvestre;
- * observar una higiene estricta para evitar la difusión de enfermedades transmitidas por el agua;
- * realizar evaluaciones de impacto ambiental para todos los proyectos de desarrollo turístico que tengan un potencial de degradación de los recursos naturales y culturales;
- * integrar la planificación del desarrollo turístico con otros organismos;
- * incorporar la ordenación de visitantes en el plan de ordenación de la zona;
- * vigilar continuamente los lugares, identificar los impactos y adoptar medidas para eliminar la degradación ambiental;
- * incluir un fuerte componente de educación ambiental que dé las directrices para el "turismo de bajo impacto", estimule el conocimiento de los ecosistemas y prevea la participación directa en los esfuerzos de conservación, en los programas de turismo;
- * mantener unos vínculos estrechos entre las comunidades locales interesadas y los gestores de los recursos de manglar para proteger y ordenar debidamente el recurso turístico;
- * hay que mejorar y normalizar los esfuerzos de información y recogida de datos referentes a los turistas y el turismo.

Recuadro 3.5.: Directrices para la planificación del ecoturismo en los manglares

El ecoturismo y su papel en el desarrollo sostenible

Hay que dar a la población alternativas sencillas y viables frente a la destrucción de sus recursos naturales. El ecoturismo tiene potencial para brindar una alternativa económica viable frente a la explotación del ambiente. Si se organiza adecuadamente, el ecoturismo puede ser una actividad económica sostenible, tanto a nivel nacional como local. Genera empleo local e ingresos para las comunidades locales y produce también divisas para los gobiernos nacionales, y conserva al propio tiempo la base de recursos naturales de forma productiva.

3.5. INTEGRACION DE USOS

3.5.1. Planificación integrada de las áreas costeras

La marismas de manglar están estrechamente vinculadas con los sistemas de uso de las áreas terrestres. En particular, los cambios en los regímenes de caudal de agua afectan a los manglares y la sobreexplotación del agua subterránea o la eliminación excesiva de la vegetación de manglar, pueden aumentar el peligro de la salinización y contaminación de los acuíferos.

En consecuencia, hay que considerar la zona costera como un componente integral de la planificación y desarrollo general del uso de las tierras, para poder formular políticas de uso de las tierras y programas de acción apropiados. No se debe dar prioridad sólo a la restauración de los terrenos costeros degradados sino también al uso racional de las tierras sobre una base sostenible, incluyendo el desarrollo programado de productos sostenibles, forestales y marinos.

A través de programas *in situ* de desarrollo socioeconómico rural orientados a optimizar el uso de los recursos disponibles, la zona costera se hará más productiva y ambientalmente estable.

Muchos de los usos y servicios de los manglares son compatibles, por ejemplo la selvicultura, la recolección de miel, la protección costera y la pesca de captura en pequeña escala. Otros son menos compatibles, por lo que puede ser necesaria una zonificación del área de acuerdo con los objetivos principales del uso de las tierras. Esto subraya la necesidad de un enfoque holístico dentro del marco de la planificación integrada para la ordenación de las áreas costeras.

3.5.2. Problemas de uso del suelo y conservación

Las principales alternativas de ordenación del uso del suelo en las áreas de manglar son:

- (a) Conservación;
 - (b) Utilización sostenible, y
 - (c) Transformación para otros usos no madereros.
- (a) La Conservación: se define como "*la ordenación de los usos humanos de la biosfera (esto es, de todos los seres vivos) de tal modo que se pueda obtener el máximo beneficio sostenible para las generaciones actuales, pero manteniendo su potencial para atender las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras*" (IUCN, 1980).

En resumen, la conservación significa el mantenimiento de todos los recursos vivos y el uso ordenado de tales recursos. Una vez reconocida la conservación como el mantenimiento de los medios de desarrollo, se hace posible con una planificación apropiada integrar los dos procesos, el mantenimiento y la utilización y, por lo tanto, hacer sostenible el desarrollo. Sin embargo, la integración depende en primer término del reconocimiento de las funciones que desempeñan los ecosistemas en la economía humana.

Las Áreas Protegidas son sistemas ecológicamente singulares y frágiles que hay que preservar como "áreas protegidas" no sólo para la protección de la fauna silvestre y la flora amenazadas, sino también, lo que es más importante, para mantener la biodiversidad.

- (b) La Utilización sostenible: Se deben evitar las opciones de un uso único porque no consiguen el uso múltiple potencial máximo de los ecosistemas de manglar. Por ejemplo, la extracción de madera no es incompatible con la pesca de captura y con los cultivos marinos de agua libre si se preserva el carácter del bosque y si se

emprenden medidas oportunas de regeneración.

- c) **Transformación:** Una transformación total para usos no madereros impide muchas de las ventajas biológicas y financieras que puede ofrecer un ecosistema natural. En algunos casos, los cambios se hacen irreversibles debido a factores biofísicos o simplemente porque los costos de restauración son demasiado caros.

Para reducir al mínimo los impactos negativos sobre los manglares, se hacen las siguientes recomendaciones:

- (1) La marisma de manglar es intermareal y se eleva progresivamente en la zona mareal a medida que se desarrolla. Se recomienda desarrollar sólo los terrenos de manglar más secos para fines no madereros, como los cultivos marinos en gran escala a base de estanques o la agricultura, porque estas áreas son marginales para la producción de madera.
- (2) Se recomienda evitar para el cultivo del arroz los suelos potencialmente ácidos y con sulfatos. Si es posible, sólo se deben considerar aquellos suelos que no exigen trabajos de recuperación. Hay que evitar el desmonte excesivo de la vegetación natural. Se debe contar con agua dulce en cantidades adecuadas y emplear variedades de arroz con tolerancia comprobada a la sal.
- (3) Cuando se contempla la transformación de tierras para el desarrollo industrial, deben evaluarse los efectos ecológicos negativos y los costos económicos relativos a la pérdida de la protección costera natural debida a los manglares y la posible disminución de las rentas de la pesca y otros beneficios.
- (4) Antes de realizar la transformación, se debe hacer una evaluación de impacto ambiental.

La Figura 3.19. ilustra sobre lo que debe evitarse. Ejemplos de integración de usos se describen e ilustran en el Estudio del Caso 6, en el Recuadro 3.6. y en la Figura 3.20.



Figura 3.19.: Efectos de una carretera en los manglares, Cuba
Foto de P.W. Chong.

En el Distrito de Ngoc Hein del sur de Vietnam, los manglares se consideran como hábitats para alimentos, como protección y como terrenos donde se labran un futuro económico muchos pobladores. En la Empresa Forestal Dat Mui, los bosques ricos en *Rhizophora apiculata* a lo largo de los cursos de agua, se han transformado para el cultivo del camarón. La producción varía entre 150 y 350 Kg./ha. La disminución de los rendimientos en más del 45% de los estanques establecidos, debido a la acidez de los estanques, a una mala ordenación, a una reducción del suministro de postlarvas y al empobrecimiento de los hábitats de bosque con especies acuáticas, está forzando a algunos agricultores a ampliar el tamaño de sus propiedades o a crear nuevos estanques. Durante el período 1979-1988 se registró un aumento que multiplicó por siete la superficie de estanques. El número de viviendas dentro del área subió de 35 a 399 durante el mismo período. A menos que se consiga un equilibrio ecológico entre la cría de camarón, la pesca y el desarrollo forestal, dentro de un contexto sostenible, no habrá un futuro económico ni ambiental para los que se esfuerzan trabajando la tierra ni en la actualidad ni para sus descendientes.

Para optimizar el uso múltiple potencial de los manglares, se preparó un plan de ordenación que considera no sólo los recursos arbóreos y el cultivo del camarón sino que aboga también por el establecimiento de centros de desarrollo y poblados forestales, como uno de los medios de organizar los recursos humanos disponibles en lugares ecológicamente viables, de tal modo que se puedan brindar servicios sociales e infraestructuras de una manera eficaz en cuanto a costos. A nivel de cultivo privado, se propuso un modelo simple de cultivo camarones-árboles en base a 4 ha. de terreno arbolado con una hectárea de estanques de cría. (Chong, 1988; Karim, 1988). Unos lotes privados de bosque, manejados con rotaciones de 9 a 12 años, están situados tras los estanques de pesca y camarón. Se proporcionan accesos y canales de riego (1,2 m. de profundidad) a intervalos de 250-280 m. para extraer los productos forestales y también para dirigir los flujos de las marcas hacia los estanques. A cada familia se le asignan 2 ha. de terreno para estanques de camarón y vivienda y 8 ha. de bosque. Se mantiene una faja protectora de manglar de 20-30 m. bordando los cursos de agua. Véase como referencia la Figura 3.20.

Fuente: Chong (1988)

Recuadro 3.6.: Integración de usos en los manglares de Vietnam

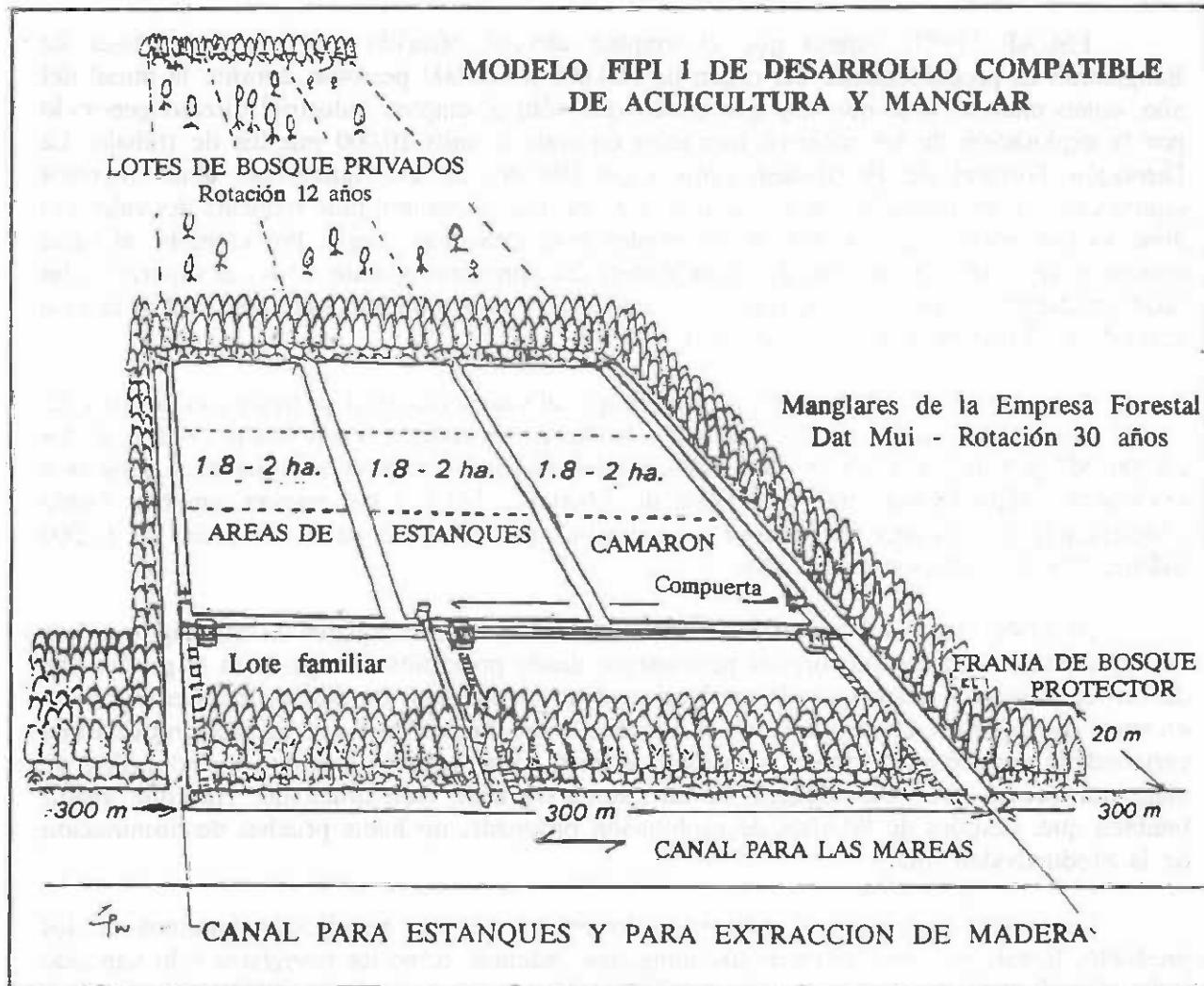


Figura 3.20.: Modelo de cultivo camarones-árboles (PNUD/FAO: VIE/82/002)

3.6. VALOR SOCIOECONOMICO DE LOS MANGLARES

El valor socioeconómico de los manglares proviene de diversos orígenes, algunos de los cuales son difíciles de evaluar porque se trata de servicios y mercancías que no se comercializan o porque tienen lugar fuera del sitio, esto es, se trata de externalidades económicas.

A continuación se describen, y también en el Recuadro 3.7., tres ejemplos de ensayos de asignación de valor a los manglares.

ESCAP (1987) estima que el empleo directo ofrecido por los Sundarbans de Bangladesh es probablemente del orden de 500.000 a 600.000 personas durante la mitad del año, como mínimo, a lo que hay que añadir que sólo el empleo industrial directo generado por la explotación de los recursos forestales equivale a unos 10.000 puestos de trabajo. La Dirección Forestal de Bangladesh obtuvo en 1982-83 de los Sundarbans unos ingresos equivalentes a los 140 millones de Tk, pero ésta es una estimación muy reducida del valor del área, ya que algunos de los derechos cobrados eran demasiado bajos. Por ejemplo, el valor comercial de la leña de Sundri (*Heritiera fomes*) era aproximadamente 40 veces superior a las tasas aplicadas y para los camarones, la relación entre la tasa mínima comercial y la tasa aplicada en aquel momento era de 136:1.

Tang, Haron y Cheah (1980) estimaron que el valor comercial de una masa de manglar de 30 años en Malasia Peninsular, cortada a hecho para carbón vegetal, era del orden de los 20.700 M\$ por hectárea (8.333 \$EUA/ha.); mientras que las masas destinadas a leña o a madera de pulpa darían una renta bruta de 7.600 y 2.200 por ha. respectivamente. Como comparación, los bosques del interior se estimaba que tenían un valor comercial de 11.500 M\$/ha. tras una rotación de 60 años.

Ng (1987) comparó la productividad económica de los manglares de Matang, que han estado sujetos a ordenación forestal permanente desde principios de siglo para la producción de carbón vegetal y postes, con la productividad de los sistemas de pesca y cultivos agrícolas en sitios comparables. De acuerdo con su estudio, la ordenación de los manglares producía una variedad de productos forestales y pesqueros cuyo valor añadido fue del mismo orden de magnitud que el obtenible a partir de un sistema agrícola bien ordenado. Hay que añadir también que, después de 80 años de explotación ordenada, no había pruebas de disminución de la productividad total.

La mayor parte de los informes sólo mencionan los beneficios obtenidos de los productos forestales y pesqueros de los manglares. Además, como los manglares sólo han sido ordenados hasta ahora de forma sostenible en unos pocos países, durante un período suficientemente largo para generar los datos correspondientes sobre costos e ingresos, estos datos son muy raros, y en muchos casos sólo tienen valor local.

Existe por tanto una necesidad de desarrollar modelos de criterios para evaluar los beneficios intangibles de los manglares e incluirlos a fin de llegar a valores descontados por unidad de superficie, que puedan utilizarse como base para comparaciones de costos con otras formas de uso de las tierras. Mientras no se aclare este aspecto y hasta que ello se consiga, mediante estudios de casos como los que se ilustran en los Recuadros 3.2. y 3.7., el valor de los recursos de manglar no se estudiará auténticamente, reflejando sus contribuciones tangibles e intangibles a la economía local, regional y nacional.

Empleando datos reales sobre la cantidad de madera y pesca obtenida de las zonas de manglar y su valor comercial y costos de aprovechamiento, se calculó el Valor Actualizado Neto (VAN) de la selvicultura y la pesca, utilizando el Método de Rentas con una tasa de descuento social del 5% y un horizonte de planificación de 50 años.

Beneficios Forestales Netos

Los beneficios comerciales netos se calcularon mediante el volumen de madera aprovechada x el valor en el mercado - los costos de aprovechamiento.

Los beneficios netos de subsistencia se calcularon utilizando el volumen real de madera aprovechada x el valor sombra, considerado como el precio de la leña, del interior o de manglar, vendida por concesionarios autorizados.

Teniendo en cuenta la composición por especies del área de manglar, se calculó el promedio ponderado del valor actualizado neto para cada una de las tres áreas principales de manglar, dando el siguiente resultado:

Valor Actualizado Neto Total: 164-217 \$/ha.

Beneficios Netos de la Pesca

Sólo en una de las tres áreas se juzgó plenamente utilizado el potencial pesquero, basándose los datos en este área.

Captura anual (comercial y de subsistencia):	3.026 toneladas.
Superficies de manglares:	9.136 ha.
lo que da un promedio de 331 Kg/ha. equivalentes a 864 \$/ha. anuales al valor del mercado.	

Teniendo en cuenta los costos de aprovechamiento, se obtuvo el resultado siguiente:

Valor Actualizado Neto: 5.468 \$/ha., ó 300 \$/ha/año.

Esta cifra representa los beneficios netos resultantes de la pesca si los manglares se transformaran para otros usos y suponiendo una disminución proporcional de la pesca. Con una disminución de sólo un 50% (ya que parte de la pesca no depende enteramente de los manglares) la cifra del VAN es de 2.734 \$/ha.

Otros servicios

Green (1983) ha calculado el valor de los manglares en cuanto al filtrado de los nutrientes, utilizando el método del costo alternativo, comparando los costos de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales con el uso de estanques de oxidación que abarcan 32 ha. de manglares. Se obtuvo un beneficio anual medio de 5.820 \$/ha. Esta cifra, sin embargo, sólo es válida para pequeñas áreas de manglares y, como representa un valor medio y no un valor marginal, debe tratarse con precaución.

El valor opcional y el valor intrínseco de los manglares no se obtienen utilizando el sistema anterior de ingresos, por lo que se hizo un intento de incluir estos valores utilizando el sistema de compensación, ya que la pérdida de derechos de pesca en Fiji, ocasionada por la recuperación de los manglares, ha sido compensada por los promotores. La suma de compensación la determina un arbitro independiente de una institución no comercial. Sin embargo, se registraron grandes variaciones en las sumas de compensación (49-4.458 \$/ha.) de acuerdo con el uso final y el poder de negociación del propietario de los derechos de pesca. Utilizando los precios de 1986, se obtuvieron los siguientes resultados:

Media:	30 \$/ha. para uso no industrial.
	60 \$/ha. para uso industrial
Máximo:	3.2 \$/ha.

Sólo el último resultado es comparable a los beneficios perdidos, si los manglares se transformasen para otros usos, en materia de selvicultura y pesca (164 \$ y 2.734 \$ respectivamente)

De esto se deduce que el valor mínimo de los manglares de Fiji es de 3.000 \$/ha. bajo la actual situación de oferta y demanda y con las organizaciones comerciales e institucionales existentes.

Fuente: Lal (1990)

Recuadro 3.7.: Valor socioeconómico de los manglares de Fiji.

PARTE III. EVALUACION DE LOS RECURSOS DEL MANGLAR

Los capítulos que siguen analizan las necesidades de información para la ordenación de manglares, y describen en detalle algunas de las herramientas utilizadas para obtener información sobre la distribución y extensión de los recursos de manglar: técnicas de teledetección, topografía, cartografía, cálculo de superficies e inventarios forestales. Se hace hincapié en aquellos campos en que estos métodos difieren de los métodos convencionales debido a las características especiales de los manglares, y se supone que se cuenta con conocimientos previos sobre la materia.

4. NECESIDADES DE INFORMACION

A fin de desarrollar un plan apropiado, nacional o regional, para la ordenación y conservación de los manglares, hay que disponer de una base de datos completa, incluyendo información sobre la distribución y extensión de las áreas de manglar, la composición del bosque, la producción real y potencial y los factores ecológicos que condicionan la dinámica de los manglares. El estudio de los ecosistemas de manglar con vistas a su ordenación, no es una tarea fácil. Su naturaleza compleja y los diferentes usos a que se pueden asignar los terrenos, exigen el concurso de conocimientos en diversas disciplinas, incluyendo Selvicultura, Ecología, Geomorfología, Acuicultura y Agricultura.

Como primer paso para la ordenación integrada de los manglares, se debe emprender un estudio de las áreas de manglar. El tipo de estudio a realizar depende de varios factores como el tamaño de la zona a abarcar, el tipo de vegetación, la finalidad del estudio, los fondos disponibles, etc. En las áreas de manglar, la presión sobre los recursos (productos madereros y no madereros) y las tierras (agricultura, acuicultura, etc.), aumenta continuamente. Se deben evaluar con eficacia y rapidez los usos alternativos de los terrenos de bosque y los recursos. La información necesaria para esta evaluación incluye un conjunto completo de datos biológicos, físicos y socioeconómicos. Se puede estar inclinado a utilizar un método de estudio multiresursos para recoger los datos que se emplearán en la evaluación de las alternativas de producción y condiciones de los recursos. Sin embargo, la aplicación de este método en las áreas de manglar presenta problemas de diferentes tipos, como por ejemplo:

- * La identificación de las necesidades de información es una tarea complicada porque cada campo de aplicación tiene necesidades determinadas de información y diferentes técnicas de recogida de datos. Esta discordancia hace bastante difícil el diseño de un solo estudio para obtener toda la información necesaria.
- * Las necesidades de información para la ordenación no son las mismas para todos los recursos en cuanto a complejidad, detalle y alcance. Por ejemplo, en las áreas de manglar, los sitios potenciales para la acuicultura o la agricultura pueden no encontrarse en cualquier lugar del bosque.

En consecuencia, con diferentes necesidades de datos, los estudios multiresursos pueden incrementar en lugar de disminuir los costos del estudio por lo que puede resultar ventajoso realizar en su lugar un estudio estratificado o en fases múltiples en el que, basándose en los resultados de estudios nacionales o regionales, se asignen ciertas áreas para estudios más detallados y específicos.

En el contexto de estas directrices sólo se va a tratar de los aspectos de los estudios relacionados con el bosque. Hay que recordar, sin embargo, que en muchos casos la información procedente de otras disciplinas es fundamental para la ordenación y utilización integrada de los recursos del manglar.

Para información sobre estudios que abarcan otros aspectos de la ordenación del ecosistema de manglar, como geomorfología, recursos pesqueros, fauna silvestre y ecología, se recomienda acudir a libros de texto más especializados y a la bibliografía citada en las secciones correspondientes de la Parte I. Para estudios socioeconómicos, se remite al Capítulo III. Young (1993) trata de forma excelente de los temas legales e institucionales referentes a la ordenación integrada de áreas costeras, utilizando el estudio de un caso procedente de Tanzania.

4.1. NIVELES DE PLANIFICACION

La información que se precisa para planificar la ordenación varía en importancia, detalle y complejidad, dependiendo del nivel de planificación. Mientras que la planificación del uso de las tierras se suele emprender a nivel regional o nacional y por lo tanto requiere estudios en gran escala de áreas de considerable tamaño, la planificación forestal precisa información más detallada sobre los tipos de bosque, la cuantía de madera disponible, etc.

En el Cuadro 4.1. se acompaña un esquema de algunas de las necesidades de información para distintos niveles de planificación.

4.1.1. Planificación del uso de las tierras

Con el fin de formular planes y adoptar procedimientos para ejecutarlos, es necesario en primer lugar evaluar y clasificar las tierras de acuerdo con sus diversos usos actuales y su potencial futuro. Los principios y conceptos básicos de la evaluación de tierras se analizan extensamente en el Estudio FAO Montes "Evaluación de tierras para la Selvicultura" (FAO, 1984).

Una clasificación de los usos del territorio en los manglares debe reflejar los usos reales de los terrenos, para fines forestales y no forestales. En la parte forestal del territorio, la información necesaria para la planificación de la ordenación integrada incluye generalmente:

- * **La distribución geográfica de los manglares y su extensión:** la superficie y ubicación de los manglares es probablemente el elemento principal a obtener en un proceso de clasificación. En realidad, antes de poder comenzar una clasificación detallada de los usos de las tierras en un área de manglar, hay que identificar los límites del propio manglar. Es necesario, por tanto, poder distinguir entre una formación de manglar y el resto de vegetación. Para ello, debe darse una definición clara de las categorías de vegetación, a fin de garantizar una clasificación lógica y obtener en consecuencia unas cifras seguras de superficies.
- * **Los recursos de los manglares y sus estaciones potenciales:** la extensión y distribución de las masas forestales productoras y protectoras y las áreas en que se podrían introducir las especies de manglar componen la información necesaria de mayor interés.

Cuadro 4.1.: Ejemplos de las necesidades de información para distintos niveles de planificación

NIVEL DE PLANIFICACIÓN	ESCALA DE TIEMPO	TEMAS RELACIONADOS CON LA SELVICULTURA		OTRAS MATERIAS
		INFORMACIÓN NECESARIA	ESPECIALIDADES DE INTERÉS	
Planificación del uso de las tierras	Largo plazo (10 años)	Localización y extensión de los recursos forestales y no forestales Sistema de tenencia de las tierras Usos potenciales de las tierras Estimaciones de recursos forestales	Téldetección (con frecuencia imágenes satélite) Clasificación y elaboración de cartografía Planificación del uso de las tierras Clasificación, elaboración de cartografía y estudios forestales	Temas legales e institucionales Geología y drenaje Aspectos socioeconómicos Acuicultura y agricultura Infraestructura Fauna silvestre
Planificación de la ordenación forestal	Medio plazo (10 años)	Áreas productivas y no productivas Tipos forestales Clases de edad Estimaciones de volúmenes y crecimientos Estado de la regeneración Objetivos de la ordenación Necesidades de mano de obra y equipos	Téldetección (fotografía aérea) Clasificación y elaboración de cartografía Estudios e inventarios forestales Selvicultura Ordenación y utilización de manglares	Geomorfología Infraestructura Estudios demográficos y socioeconómicos Fauna silvestre
Planificación operativa	A corto plazo (1 año)	Volumen de madera Técnicas de vivero y plantaciones Aclareos y otros tratamientos selvícolas Sistemas de aprovechamiento	Inventarios forestales Selvicultura Ordenación y utilización Conservación	Construcción y mantenimiento de caminos, canales y edificaciones Accesibilidad Mercados Necesidades de mano de obra y equipos Necesidades de conservación y protección

Con respecto a los usos no forestales de los terrenos de los manglares, los intereses en las áreas a utilizar pueden ser para:

- * Acuicultura: Áreas a transformar para estanques de pesca y criaderos de camarón;
- * Agricultura: Áreas a cultivar con arroz y otros cultivos agrícolas;
- * Llanos de barro, diques y dunas arenosas, y áreas reservadas para construcción, infraestructuras y asentamientos urbanos;
- * Cursos de agua y redes de drenaje;
- * Depósitos aluviales;
- * Áreas protegidas y hábitats para la fauna silvestre.

La experiencia adquirida en diversos países donde se ha comenzado la ordenación de los manglares, demuestra que la mayor parte de la información anterior puede presentarse mejor en forma de mapas temáticos de pequeña escala (alrededor de 1:250.000). Los mapas de esta escala abarcan grandes superficies y, a nivel de planificación nacional o regional, la mayoría de las materias citadas anteriormente pueden representarse con suficiente precisión. Como la finalidad de la planificación del uso de las tierras es asignar los diferentes terrenos para distintos fines de utilización, compatibles con sus condiciones, la información que se requiere concierne sobre todo a la localización de los terrenos y a su superficie, por clases, utilizando criterios de clasificación lógicos y claros.

4.1.2. Planificación forestal

Planificación de la ordenación

Las especiales condiciones ecológicas de las formaciones de manglar y el importante valor socioeconómico de los productos y servicios que proporcionan, predestinan a estas formaciones a un tipo de ordenación para uso múltiple. Sólo bajo tal sistema pueden cumplirse las funciones de conservación, producción y recreación de los manglares.

No todas las áreas de manglar son igualmente productivas o tienen el mismo potencial. Por ello, las decisiones en cuanto a destino deben tener en cuenta usos potencialmente compatibles, a fin de permitir una diversidad de actividades, evitar situaciones irreversibles, que pueden ocaionarse por opciones de un solo uso y garantizar la integridad del ecosistema. A continuación se describen brevemente los objetivos de la ordenación de los manglares para la producción de madera como uso principal:

- * Mantener un suministro continuo de productos madereros domésticos e industriales, como postes, leña, pilotes, etc.
- * Garantizar la regeneración de las especies y masas comercialmente valiosas utilizando técnicas apropiadas.

- * Conservar e intensificar la función protectora del bosque en las áreas designadas y junto a las márgenes de los ríos, estuarios y demás terrenos forestales marginales.

La información principal necesaria para lograr tales objetivos incluye un conocimiento completo de la composición y localización del tipo de bosque, el volumen de la masa en pie, la tasa de crecimiento y el estado de la regeneración.

Planificación operativa

La planificación operativa se refiere a las técnicas y estrategias a aplicar en las operaciones forestales, como por ejemplo la explotación maderera y el drenaje. La información principal necesaria incluye el volumen de madera por especies, dimensión y calidad. Además, es fundamental el conocimiento de la localización precisa de la madera y de la accesibilidad de las áreas a aprovechar, aclarar o plantar.

Para fines de planificación forestal se necesita, por lo tanto, un inventario forestal más detallado, en contraste con la planificación del uso de las tierras, en que resulta adecuado, en la mayoría de los casos un estudio forestal y una estimación aproximada del volumen total.

4.1.3. Seguimiento y evaluación

La preocupación general sobre el deterioro progresivo de los bosques tropicales y la necesidad de contar con una información segura, para las decisiones sobre ordenación y las medidas de conservación, han llevado a varios países a iniciar programas nacionales de seguimiento y evaluación. Aunque los objetivos de tales programas pueden ser específicos según las condiciones naturales inherentes a las diferencias entre unos y otros países, se pretende con ellos ante todo evaluar los cambios de la cubierta forestal con el transcurso del tiempo.

Las directrices y procedimientos para planificar un programa de seguimiento y evaluación se tratan en diversos informes y documentos (FAO, 1985). La finalidad de incluir esta sección en las presentes directrices es únicamente indicar que tales programas tratan sólo de establecer comparaciones entre las condiciones forestales en dos o más ocasiones, basándose en estudios periódicos. Incluyen muchas actividades comunes a otras aplicaciones de los estudios forestales y la teledetección que se tratan en secciones posteriores. Estas actividades se refieren a la clasificación forestal, procedimientos cartográficos, diseño, planificación y ejecución de estudios.

4.2. OBTENCION DE LA INFORMACION NECESARIA

La ordenación eficaz de los recursos forestales exige una gran cantidad de información actualizada. Para la mayoría de las áreas forestales, las principales necesidades de información incluyen la extensión y distribución de la cubierta forestal y una evaluación de la biomasa maderera, la producción vegetativa y las condiciones del bosque. Debido a la estructura particular del bosque, a la composición y difícil accesibilidad de los manglares, la tarea de recoger esta información suele llevar mucho tiempo y es por lo tanto muy costosa.

La realización de un estudio, que puede dar como resultado la clasificación y cartografiado de los recursos y potencialidades del área correspondiente, debe ser el primer paso en la obtención de la información indicada. A este respecto diversas técnicas de

teledetección han demostrado ser unas herramientas extremadamente valiosas para la recogida rápida y relativamente económica de los datos principales. En el Capítulo siguiente se encuentra una breve descripción de su utilidad en las áreas de manglar.

El **Capítulo 6** trata de los aspectos de la planificación y ejecución de los estudios de manglar para distintos niveles de planificación, incluyendo la clasificación de los manglares y la presentación de los resultados de los estudios en forma cartográfica. Estos estudios varían desde estudios cartográficos y en fases múltiples para la planificación de usos de las tierras hasta estudios más detallados para fines de planificación forestal.

El próximo capítulo trata de los aspectos de la evaluación de los recursos y de los inventarios forestales realizados para obtener una información más detallada, particularmente sobre los recursos madereros disponibles en los manglares.

A continuación viene la **Parte IV** de estas directrices que está centrada en las necesidades de información más detallada para la ordenación de los manglares a nivel regional o comarcal: selvicultura, sistemas de ordenación, técnicas de aprovechamiento, temas de conservación y uso múltiple de los recursos a nivel sostenible.

5. UTILIZACION DE LA TELEDETECCION EN LOS MANGLARES

La necesidad de los gestores forestales y de los responsables de la política de contar con información precisa, es fundamental en los manglares, cuya ausencia de datos en muchos países ha sido un obstáculo real para cualquier ordenación. Esta situación puede deberse a la falta de conocimientos de las técnicas existentes, a la falta de los fondos necesarios y de personal especializado, o simplemente porque la información obtenida con las técnicas de teledetección se ha reservado para usos no civiles.

Cuando se van a utilizar las técnicas de teledetección, cualquier análisis de datos exige del usuario un mínimo de conocimientos sobre la materia a que se aplican estas técnicas. El usuario debe ser consciente también de las limitaciones de estas técnicas con respecto a su carácter práctico y a su precisión y también en cuanto a la calidad y cantidad de información que puede obtenerse de los soportes de datos de teledetección, tanto aérea como espacial.

La capacidad de los sensores remotos para distinguir entre diversas características terrestres, depende de diversos factores entre los cuales están las características espectrales de los objetos del terreno y su morfología, y también de las capacidades de discriminación del sensor empleado.

Entre la amplia variedad de sistemas disponibles y procedimientos desarrollados en el empleo de la teledetección para identificar la cubierta vegetal, clasificarla y cartografiarla, se debe utilizar la técnica o combinación de técnicas que:

- * Permitan una rápida adquisición de los datos;
- * Proporcionen la información necesaria;
- * Sean eficaces en cuanto a costo.

Los principales sistemas de teledetección reconocidos por tener un verdadero lugar en la clasificación y cartografiado de la vegetación -particularmente respecto a los manglares- se incluyen la fotografía aérea, los escaners multiespectrales (SME) y el radar. Las ventajas principales de cada uno de ellos son:

- * La fotografía aérea es fácil de utilizar, y se presta para aplicaciones de gran escala;
- * Los SME proporcionan una mayor variedad de información que los otros sistemas, siendo adecuados para el proceso automático de datos y para aplicaciones de satélite;
- * El radar tiene la capacidad de servir para cualquier tiempo meteorológico, lo que es especialmente útil en áreas nubladas, como las zonas tropicales, siendo adecuado para un seguimiento regular.

Al final de este documento, en el Apéndice 1, se presenta una descripción resumida de las características técnicas de las diversas fuentes de teledetección.

5.1. ELECCION DEL SENSOR

En los manglares se puede prever la aplicación de la teledetección en tres niveles de planificación: nivel nacional, nivel de ordenación regional o local y nivel operativo, cada uno de ellos con metas específicas.

A estos niveles de planificación se pueden asociar tres niveles de clasificación de tierras:

- * Usos de los terrenos de manglar;
- * Clasificación de estaciones forestales;
- * Cartografiado de tipos de bosque.

El nivel de detalle puede determinar también los criterios a considerar para la clasificación. Los criterios geográficos y ecológicos, por ejemplo, se suelen adoptar en el nivel más general de investigación, mientras que los criterios funcionales son más apropiados para el nivel de mayor detalle. En el caso de estudios extensos, con el empleo de técnicas de teledetección, son importantes los criterios fisiográficos.

Los principales elementos en que se basa la elección del sensor -para cada una de estas situaciones- son las características de los datos, que determinan en esencia la calidad y cantidad de información, y la dimensión del área afectada por el estudio. La mayoría de los sistemas de teledetección aplicados actualmente -utilizando estos criterios- pueden ordenarse provisionalmente de una forma jerárquica, para ajustarse más o menos a los niveles de planificación antes mencionados. Un ajuste exacto es lógicamente imposible de alcanzar, debido a la superposición parcial de los ámbitos de resolución en el terreno, entre sensores pero da una indicación de cierta utilidad sobre la capacidad de los sensores remotos para cumplir los requisitos en cuanto a tipo, calidad y cantidad de información realmente necesaria en una situación dada. El Diagrama 5.1. indica los requisitos aproximados de resolución relacionados con los niveles de datos del estudio y los principales sensores empleados que podrían aplicarse a los estudios de manglares.

TIPO DE ESTUDIO	RESOLUCION (m) 0-1-----10-----100
NIVEL NACIONAL Características fisiográficas Modelo de actividades humanas Modelo de drenaje	-----
NIVEL DE ORDENACION Todos los temas anteriores Clasificación del uso de las tierras Clasificación general de la vegetación	-----
NIVEL OPERATIVO Todos los temas anteriores Identificación de tipos forestales Mediciones forestales	-----
SENSORES REMOTOS Fotografía aérea Imágenes Spot Landsat Thematic Mapper Landsat Multi Spectral Scanner (Scanner multiespectral Landsat) Radar de Avión de imágenes oblicuas	--AP-- --SPOT----- --TM----- -MSS--- -SLAR--

Diagrama 5.1.: Requisitos de resolución y niveles de estudio

5.1.1. Aplicación de la fotografía aérea a las áreas de manglar

La fotografía aérea pancromática, en color y en infrarrojo ha sido la base de diversos estudios e inventarios de manglares. A escalas pequeñas pueden emplearse para estudios de reconocimiento, o para la clasificación general de tipos de bosque en zonas extensas. Mediante recubrimiento fotográfico a escala media, se puede obtener una estratificación forestal detallada -basada en las dimensiones de las copas de los árboles o en las alturas de la masa forestal- e identificar el uso de las tierras. La fotografía de gran escala es un valioso soporte para la medición de masas forestales. En muchos casos se pueden emplear como "verdad-terreno" en estudios en que se combinan imágenes pequeñas y grandes. Los estudios mediante reconocimiento aéreo a baja altura, utilizando un avión ligero y cámaras pequeñas, pueden desempeñar un papel crucial a este respecto. Mediante estos vuelos, es posible recoger información precisa sobre las condiciones de los manglares, áreas denudadas, estanques de pesca, plantaciones y otros usos de las tierras y características costeras.

Mediante ejemplos de aplicaciones de la fotografía aérea a los manglares, con el objetivo de reconocer las especies, Rollet (1974) demostró que sobre imágenes pancromáticas a escala 1:33.000 se pueden distinguir las masas puras de *Avicennia* y de *Rhizophora*. Sin embargo, la separación de especies es más difícil en masas mezcladas. En fotografías pancromáticas a escala 1:20.000, se podían separar muy bien las masas de *Avicennia* de las de *Rhizophora*, debido a su tono gris y a su textura más gruesa (véanse las Figuras 5.1.

Hamilton y Snedaker (1984) indicaron que en fotografía aérea en blanco y negro a escala 1:25.000, se reconocían fácilmente los géneros de manglar por el tamaño de la copa, el tono y la altura relativa.

La introducción de fotografía infrarroja en combinación con película pancromática, mejora mucho la posibilidad de reconocer las especies de manglar (Rollet, 1974), lo que se ilustra en la **Figura 5.3**. El autor señaló también que la textura de las copas es un elemento importante a tener en cuenta para mejorar la precisión del reconocimiento de especies basado en el matiz de color.

Con respecto a la **utilización de los terrenos de manglar**, la fotografía aérea en blanco y negro demostró su utilidad para la identificación y elaboración de cartografía de terrenos recientemente acrecentados, basándose en las diferencias de tono de la sequedad superficial y de las condiciones de humedad. Se ha utilizado también para clasificar las plantaciones recientes de manglar según la altura de los árboles y la densidad de masa (Rahman et al., 1986). En otro estudio para evaluar la localización y extensión de los estanques de camarón y de pesca, Shahid y Pramanik (1986) señalaron que la fotografía aérea en blanco y negro (1:30.000) y en infrarrojo (1:50.000) demostraron ser válidas.

En zonas de manglar cuya accesibilidad es un problema real, la fotografía aérea a baja altura es una herramienta útil que puede emplearse con éxito junto con ciertos datos del terreno, para registrar información sobre la cubierta forestal y otros usos no forestales de los terrenos.

Este tipo de fotografía, normalmente de gran escala, contiene una valiosa información que se puede emplear como "verdad terreno", ya sea para corregir errores de interpretación o como datos de referencia para la construcción de una clave de fotointerpretación. Siendo muy versátil, puede combinarse también con imágenes satélite, para obtener datos sobre las condiciones ambientales existentes en el momento en que se tomaron las fotografías.



Figura 5.1.

- Mb pur: Masa pura de grandes *Laguncularias* (Mangle blanco)
- 15 bis: Arboles grandes de *Laguncularia* (Mangle blanco)
- 15 ter: Masa baja de *Avicennia*

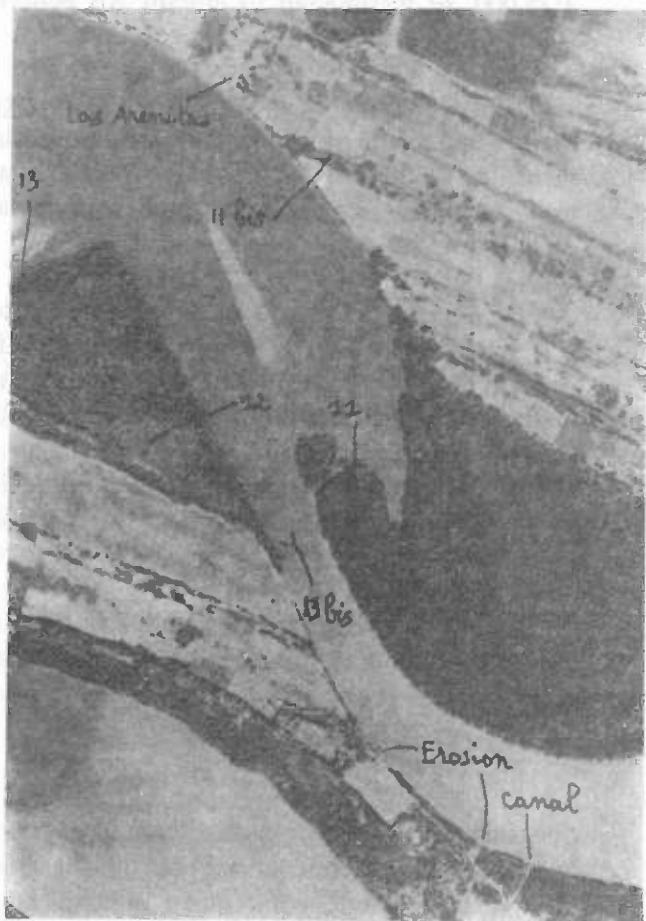


Figura 5.2.

- 11: Masa pura de árboles grandes de *Laguncularia* con regeneración de *Rhizophora* y algo de *Avicennia*
- 11 bis: Manchas de monte bajo de hoja semicaduca
- 11 ter: Masa dominante de *Laguncularia* (mangle blanco) detrás de una banda de *Rhizophora*
- 12: *Avicennia* pura de poca altura, con muchos troncos grandes podridos de *Laguncularia*
- 13: Masa pura de *Laguncularia* (25 m. de altura y 30 cm. DAP)

Figuras 5.1. y 5.2.:

Fotografías aéreas que muestran varios tipos de vegetación de manglar de México (Escala 1:20.000 (Fuente: Rollet, 1974))

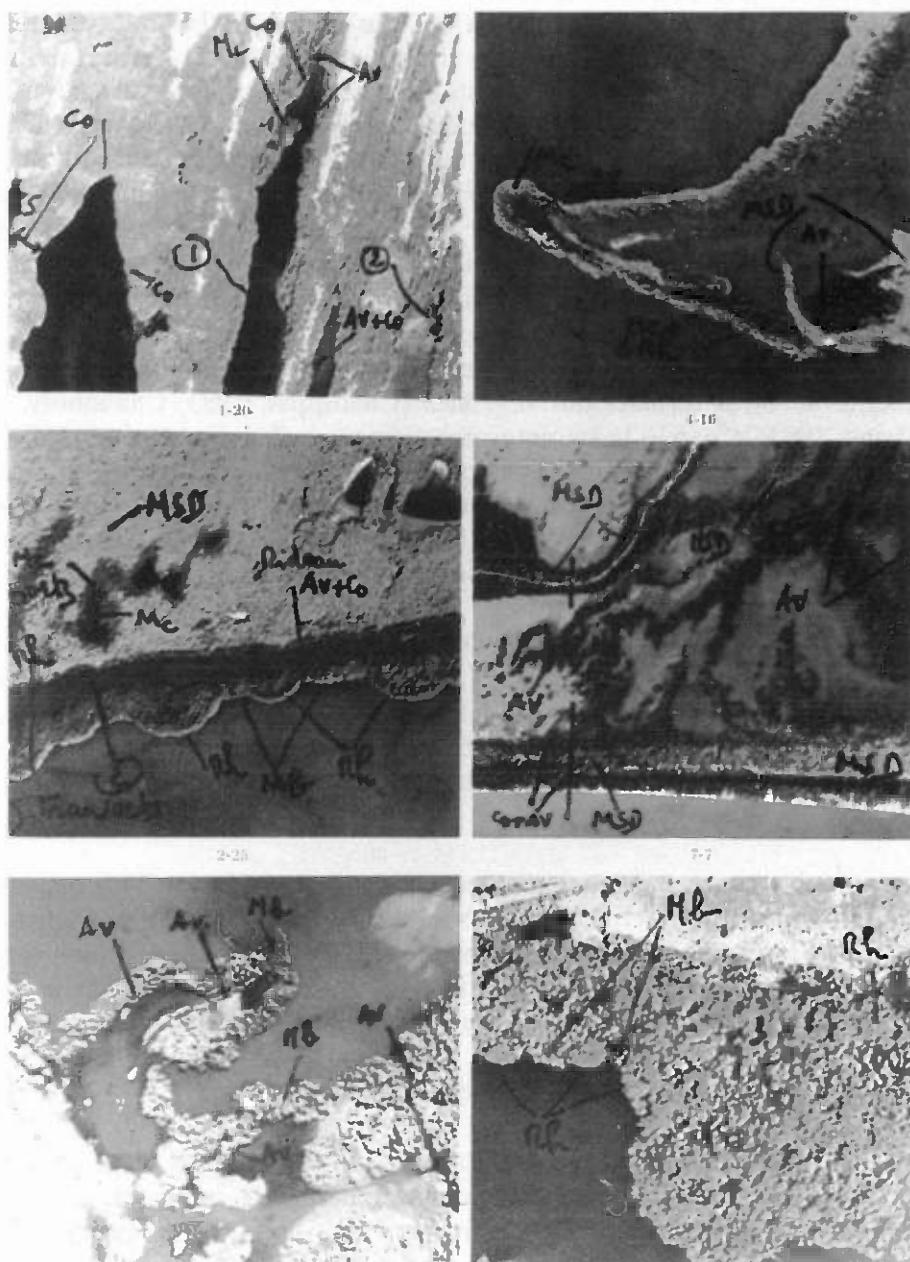


Figura 5.3.: Fotos aéreas en color IR que muestran varios tipos de vegetación de manglar (Méjico)
 (Fuente: Rollet, 1974)

Co: *Conocarpus*

Mb: *Laguncularia* grande (Mangle blanco)

Me: Monte bajo de *Laguncularia* (Mangle chino)

MSD: Monte de hoja semicaducua

Av: *Avicennia* sp.

Rly: *Rhizophora* sp.

5.1.2. Aplicación de las imágenes satélite a las áreas de manglar

En los países tropicales donde se han comenzado programas de estudios de vegetación, la clasificación y la elaboración de cartografía del uso de las tierras incluyen los manglares como una de las clases de vegetación dentro del grupo general de terrenos forestales. Sin embargo, se han llevado a cabo pocos estudios destinados específicamente a recoger información sobre los manglares. Las imágenes Landsat, con el uso del Scanner Multi Espectral (SME), han sido la principal fuente de información, habiéndose aplicado el análisis visual y de datos digitales, con nivel variable de éxito. En las imágenes fotográficas, la vegetación de manglar se suele caracterizar por una textura suave debido a las pequeñas copas de los árboles y a la densidad relativamente fuerte de las masas. La asociación de la vegetación de manglar con los estuarios es también un elemento valioso para su identificación.

En numerosos estudios se indica que en las imágenes satélite los manglares se pueden separar fácilmente de otras formaciones vegetales (Charuppat, 1983; Chaudhury, 1983, 1985, 1986; Silapathong, 1983). Cuando la fotointerpretación se realiza, por ejemplo, sobre imágenes en blanco y negro y diazocopias, Ishaq-Mirza et al. (1986) indican que la vegetación de manglar se puede clasificar en vegetación densa, normal y esparsa, basándose sólo en diferencias de tono. También, en la escala original de 1:1.000.000, las diazocopias en color pueden dar un mejor contraste tonal que las imágenes en blanco y negro a escala 1:250.000.

Se ha intentado también la **clasificación en tipos de cubierta de manglar**, basada en especies y densidad, utilizando datos del SME Landsat. No se podían separar todas las especies y la continua confusión entre los tipos de cubierta indica que los mapas de estos tipos de cubierta, a partir de los datos del Landsat, no serían posibles en los bosques mezclados de manglar. Sin embargo, se distinguen fácilmente los manglares naturales de las áreas plantadas (Chaudhury, 1986).

A partir de las pocas imágenes disponibles de Return Beam Vidicom, de zonas de manglar, el mismo autor señala que la mayoría de los ríos, canales y arroyos se podían identificar, habiéndose empleado imágenes ampliadas (1:250.000) para realizar un mapa de los Sundarbans de Bangladesh. Además de utilizarlo para la localización precisa de las características de los manglares de esta extensa formación, este mapa se emplea también a efectos de navegación. La ventaja de este sistema es que puede producir resultados planimétricamente más correctos que las imágenes SME.

Se han ensayado clasificaciones más detalladas de los datos del SME para formaciones de manglar y la mayoría de los resultados demuestran que la interpretación visual de las imágenes satélite de baja resolución debe limitarse a una clasificación general forestal y de utilización de tierras.

La clasificación digital de los datos de satélite ha sido considerada también en numerosos estudios de vegetación, incluyendo manglares. Se han hecho diversos intentos para estudios de manglares, identificación de uso de las tierras, e incluso para el cartografiado de tipos forestales.

En cuanto a la precisión de la clasificación, en diversas ocasiones se ha demostrado que el proceso informático de las imágenes satélite es superior a la clasificación visual. Utilizando datos de imágenes en ordenadores compatibles se puede lograr una mayor flexibilidad en el proceso de imágenes. Además, no se pierden detalles radiométricos como sucede en el proceso fotográfico.



Figura 5.4.: Vista parcial de una Composición en Falso Color obtenida mediante combinaciones de ratios 5/4, 5/7 y 6/5 de las bandas del SME Landsat. El manglar aparece en color rojo anaranjado, la vegetación de ciénaga en negro rojizo, los matorrales en amarillo, los cultivos en rojo brillante y las áreas salinas en blanco (Golfo de Kache, Datos del Landsat, India, 1982) (Cortesía: Nayak).



Figura 5.5.: Una CFC de la misma área anterior, obtenida a partir de combinaciones de la banda 5 y ratios de 5-7/5+7. Los manglares aparecen en amarillo, las ciénagas en negro verdoso, la vegetación de marisma en rojo y los cultivos y terrenos sin vegetación en azul blanquecino. (Cortesía: Nayak).

Figuras 5.4. y 5.5.:

Ejemplos de imágenes SME Landsat de áreas de manglar

De los resultados obtenidos, parece deducirse también que las transformaciones de los datos espectrales son fundamentales porque destacan las diferencias entre los distintos tipos de cubierta del terreno. Las técnicas de mejor resultado incluyen la ampliación del contraste, el análisis de las componentes principales y las proporciones entre bandas (para más detalle sobre estas técnicas, véase el **Apéndice 2**). Las proporciones de las bandas Landsat 5 y 7 y 5-7/5+7, dieron los mejores resultados. Nayak et al. (1985, 1986) mencionan que las proporciones basadas en estas combinaciones resaltan mucho las diferencias sutiles entre los manglares y la vegetación de marismas y de ciénagas (véanse las **Figuras 5.4.** y **5.5.**). La vegetación de manglar podía separarse también de la vegetación de ciénaga en las composiciones de falso color obtenidas a partir de los datos transformados de los componentes principales. Se averiguó que los datos Landsat procesados digitalmente proporcionaban también una información útil sobre la localización de los llanos de barro, áreas arenosas y terrenos acrecentados recientemente.

Al aplicar la suavización de imágenes para la clasificación de manglares, se consiguió distinguir dos clases diferentes: vegetación densa y abierta. Se obtuvo incluso una definición mejor de los límites del bosque cuando se sustituyó el valor del pixel central de los bloques por la mediana de los valores del bloque en vez de por su media.

Además, a fin de obtener resultados más precisos, deben establecerse suficientes "áreas de entrenamiento", distribuyéndolas por todos los tipos de cubierta del área de manglar, donde pueden establecerse datos de verdad-terreno. Como los tipos de manglar en la mayoría de los casos siguen un modelo de zonificación más o menos característica, tales áreas de entrenamiento pueden distribuirse con frecuencia de modo uniforme a lo largo de un transecto que vaya desde la línea costera hasta tierra firme.

En cuanto a la **identificación de las principales especies del manglar**, y a la separación de tipos de bosque (especies-densidad), se aplicaron clasificaciones supervisadas y no supervisadas de los datos del Landsat, sin resultados satisfactorios. Debido a las limitaciones intrínsecas del SME Landsat -debido a su baja resolución espacial- que se traducen en la identificación sin éxito de las distintas especies de árboles, se han realizado intentos basados en datos simulados SPOT. Algunas aplicaciones recientes a la clasificación de manglares han demostrado que, aunque no se podía lograr una separación total de las distintas especies, podían alcanzarse mejoras sustanciales en la clasificación de manglares tanto de bosque como de otros tipos (Abdus Shahid, 1985; Berenger, 1985; Hossein, 1985). A partir de las imágenes SPOT, se utilizan también ampliaciones y siendo posible la escala 1:100.000 e incluso la 1:50.000.

Tal como se presenta en la **Figura 5.6.**, Lantieri (1986) indica que el manglar se podía cartografiar con precisión (90% de precisión a escala 1:50.000) pero la separación de las especies principales sólo es posible en el caso de grandes masas puras. El autor señala también que cuando se lleva a cabo un realce de contraste, o una descorrelación de bandas, la interpretación de composiciones de color demuestra que algunas áreas de manglar se podrían separar por su densidad. Otros resultados prometedores fueron logrados por Blasco et al. (1986) en la clasificación de una zona tropical costera que incluye las principales especies de manglar (véanse las **Figuras 5.7.** y **5.8.**).



Figura 5.6.: Composición en falso color de una imagen SPOT después de una correlación de bandas
Escala 1:50.000 Resolución: 10 m.
Zona costera de Ngomeni, Kenia)
(Fuente: Lantieri, 1986)

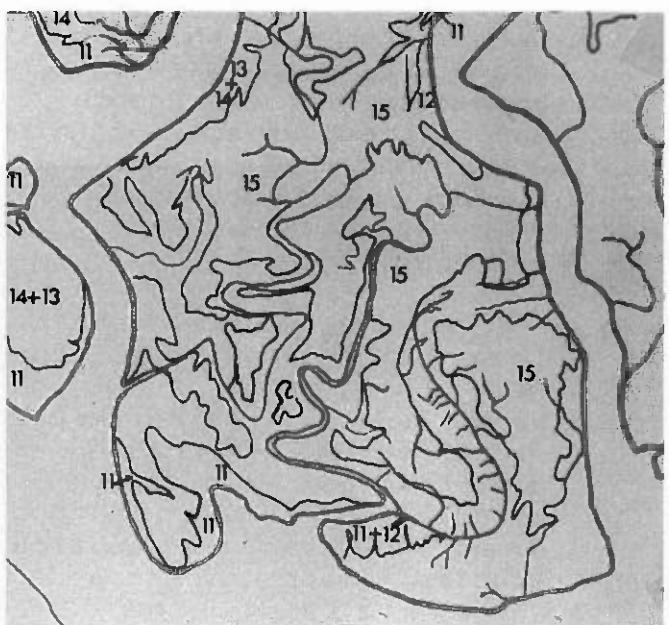
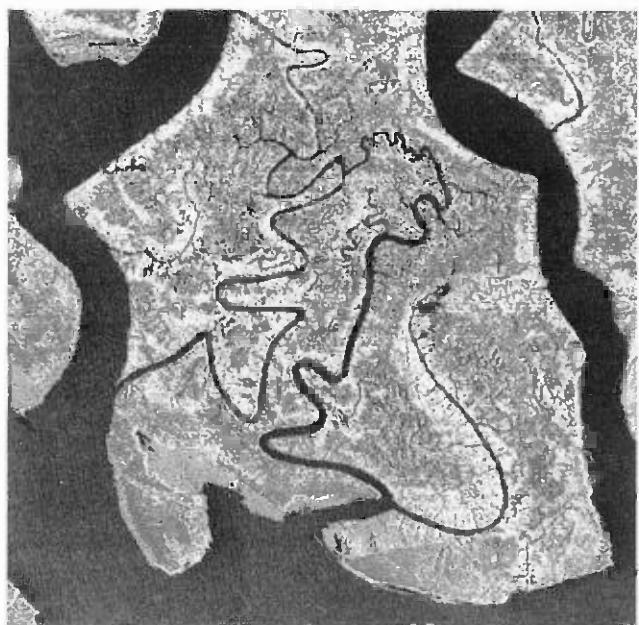


Figura 5.7.: Composición en color de una imagen SPOT y croquis correspondiente que muestra las principales especies de manglar
Resolución: 20 m. (Bangladesh)
(Fuente: Blasco et al., 1986).

Leyenda:

1:	Manglar natural denso (principalmente <i>Sonneratia</i>)	11:	Hierba
2:	Manglar natural claro (<i>Sonneratia caseolaris</i>)	12:	<i>Nypa fruticans</i>
3 y 4:	Plantaciones	13:	<i>Sonneratia apetala</i>
5:	Vivero	14:	<i>Excoecaria agallocha</i>
A:	Agua salobre	15:	Predominantemente, <i>Heritiera fomes</i>
C:	Barra de arena		

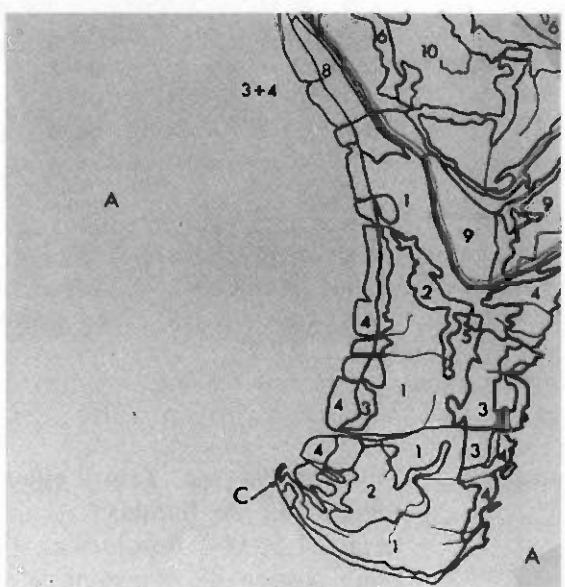


Figura 5.8.: Composición en color y mapa, con plantaciones de manglar (Bangladesh)
(Fuente: Blasco et al., 1986).

A partir de datos simulados del SPOT, Loubersac (1983) y Hossein (1985) informaron que es posible lograr una clasificación precisa de los manglares, utilizando una estratificación previa antes de analizar imágenes multiespectrales de cada unidad. Con este procedimiento se reduce la varianza, pudiendo optimizarse los resultados obtenidos mediante algoritmos estadísticos.

Basándose en los resultados experimentales obtenidos de diversas aplicaciones de imágenes satélite para la elaboración de cartografía de manglares, parece que no hay ningún procedimiento de interpretación absoluto. Corresponde al analista de imágenes examinar todas las combinaciones de los productos de imágenes con que se cuenta, a fin de determinar el que produce los mejores resultados, ya que para la obtención de cada clase de interés pueden ser necesarios diferentes procedimientos de realce. Con todos los sistemas disponibles, el éxito de la transformación de los datos de las imágenes en una información útil depende principalmente todavía de la profundidad de conocimientos del usuario sobre el tema especializado para el que se apliquen estas técnicas y de su habilidad para captar los efectos incluidos en el análisis de la interpretación.

5.1.3. Aplicación de las imágenes de radar a las áreas de manglar

En muchos países tropicales, la cubierta persistente de nubes durante largos períodos impide la adquisición de imágenes sin nubes con los sensores fotográficos o del SME. A pesar de sus resultados bien comprobados, sus limitaciones obedecen a su incapacidad para penetrar la cubierta de nubes y a su sensibilidad frente a las perturbaciones atmosféricas (véanse las Figuras 5.9. y 5.10.). Un sistema para resolver este problema es utilizar el radar de apertura sintética (RAS).

Entre las diversas aplicaciones del RAS para los estudios de recursos forestales, la elaboración de cartografía de bosques costeros y manglares, es un caso en que el sistema ha tenido gran éxito (Imhoff y Vermillon, 1986). Este sensor se puede emplear para estudiar extensas áreas y puede ser útil para la elaboración de mapas regionales o de reconocimiento de tipos de vegetación en pequeña escala (1:200.000-1:500.000). Estos mapas pueden emplearse posteriormente para seleccionar áreas prioritarias para estudios más detallados mediante teledetección y sobre el terreno.

En las imágenes de radar, **no se pueden identificar las especies forestales**. Toda la información necesaria para la ordenación forestal, como la composición de especies, la estructura del bosque y la descripción de la masa, hay que obtenerla a partir de estudios de reconocimiento en el terreno o desde el aire. Además, todas las masas de agua presentan el mismo tono oscuro y las barras de arena y los bancos de barro junto a los estuarios deben estar por encima del nivel del agua para registrarlos en la imagen. A pesar de esta limitación, las imágenes de radar dan una buena impresión de las condiciones fisiográficas del terreno y, como resultado de ello, en zonas de tierras bajas como los manglares, aparece claramente visible el modelo de drenaje. Además, las zonas inundadas se pueden separar fácilmente de los bosques de tierras secas (Sicco-Smit, 1975). Esto se ilustra en la Figura 5.11., que es una vista parcial de una imagen que muestra un área tropical costera.

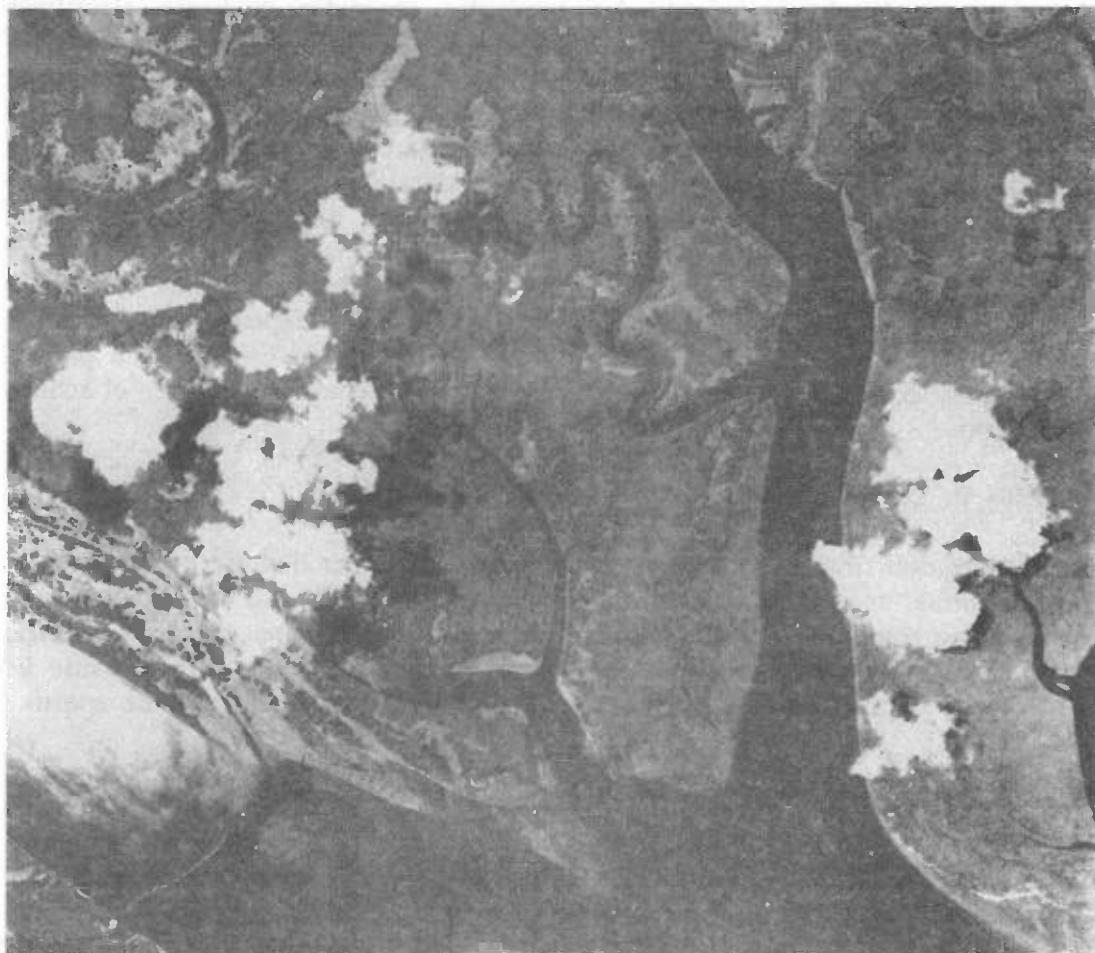


Figura 5.9.: Foto aérea que muestra una cubierta de nubes sobre un área de manglar (Colombia)
(Cortesía: Sicco-Smit)

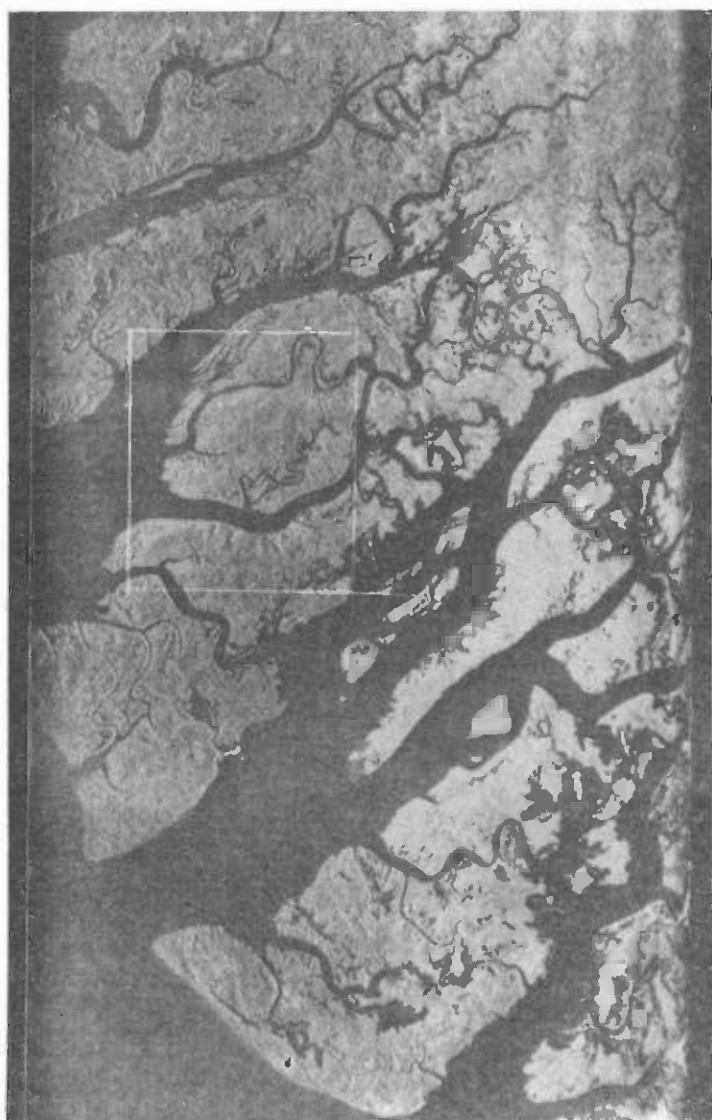


Figura 5.10.: Imagen de radar de la zona costera de Colombia
(Se indica para fines de comparación la superficie cubierta por la foto
aérea de la Figura 5.9.).
(Cortesía: Sicco-Smit).

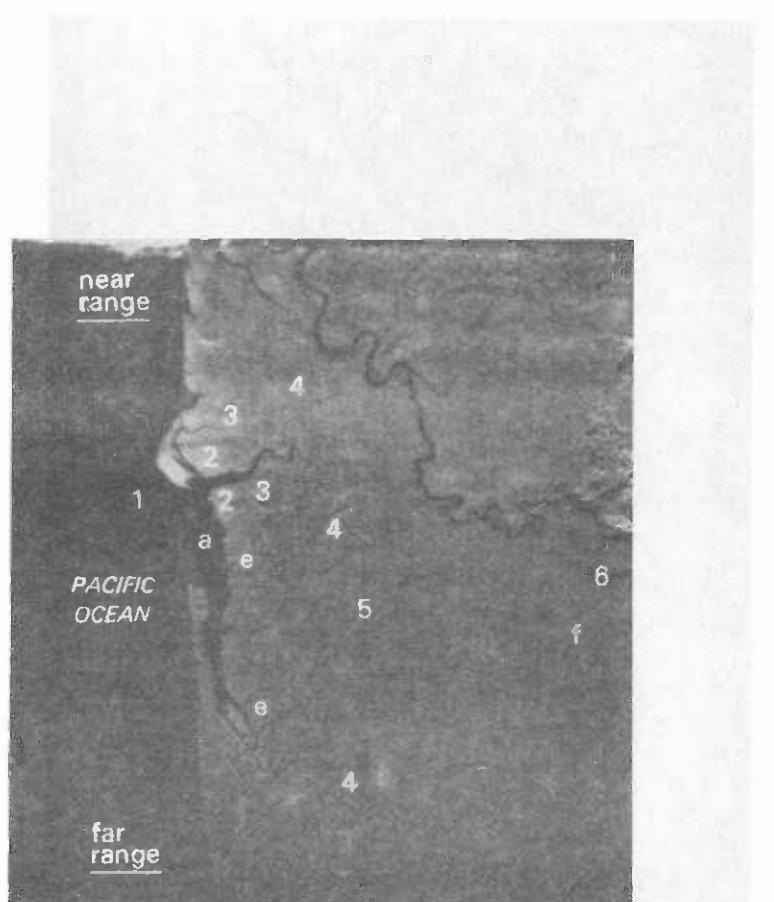


Figura 5.11.* Imagen de radar en la que aparecen formaciones de manglar

Escala: 1:220.000 (Colombia)

(Cortesía: Sicco-Smit)

Leyenda:

1. Barra sobre el nivel del agua
2. Manglar
3. Marisma, agua salada o salobre
4. Límite entre la vegetación de manglar y el bosque de marisma de agua dulce
5. Marisma con vegetación herbácea
6. Bosque bajo de marisma
- a. Agua salada de estuario
- e. Arroyo de la zona entre mareas
- f. Meandro antiguo

5.1.4. Comparación entre los principales sensores

Con el fin de elegir el sensor y la técnica que proporcionen la información necesaria, la cuestión fundamental que hay que preguntarse es qué tipo de datos y con qué precisión se pueden obtener mediante una técnica determinada, a fin de atender las necesidades de información del planificador o del gestor. Para contestar a esta pregunta el usuario debe conocer el rendimiento técnico de los diferentes sensores, es decir, su capacidad para distinguir diferentes características del terreno de acuerdo con la resolución y los requisitos que convienen para el tipo de información que se busca. Además del tipo de información necesaria para los fines de la planificación, la elección de los sistemas de teledetección depende también, en gran medida, del tamaño de la superficie a estudiar y de los fondos disponibles.

En un estudio comparativo de imágenes interpretadas de fotografía aérea pancromática y de Radar Suttle Imaging (SIR-A), Castellu encontró los resultados que se presentan en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1.: Fotointerpretación comparativa de fotografía pancromática y de imágenes SIR-A (Resultados parciales de Castellu, 1985)

TIPO DE VEGETACION	FOTOGRAFIA PANCRONATICA	IMAGENES SIR-A
Manglar	M1 Copas densas pequeñas de tonos oscuros, 60% del área de manglar	Aspecto granular muy fino, como sal y pimienta (*)
	M2 Al igual que M1 pero con tonos más claros	Se confunde con M1
	M3 Arboles esparcidos en la costa, tonos claros; árboles pioneros	No identificado
<i>Nypa fruticans</i>	N1 denso Sin aspecto granular Tonos grises de medios a oscuros; homogéneo	Tono gris oscuro Aspecto granular ligero (**)
	N2 mezclado Al igual que N1 pero menos homogéneo	Al igual que N1 pero más claro (*)
Areas costeras	P1 Granulación muy fina, tonos claros, vegetación baja	Fajas costeras estrechas y blancas (*)
	P2 Sin aspecto granular, tonos uniformes ligeramente moteados, uniformes, vegetación baja	Sin identificación (Areas recientemente creadas)

(*): Buena identificación

(**): Muy buena identificación.

A fin de mejorar la posibilidad de interpretación de la imagen, tal como se ilustra en las Figuras 5.12. y 5.13., Imhoff y Vermillon (1986) indican que pueden utilizarse también las técnicas de realce del contraste, filtrado y separación de densidades de la imagen del radar.

A continuación se resumen las ventajas e inconvenientes de la fotografía aérea, el SME y el radar, según informe de Roberts (1975)

Cuadro 5.2. Ventajas relativas a los sensores más importantes

VENTAJAS DEL SME FREnte A LA FOTOGRAFIA AEREA	INCONVENIENTES DEL SME FREnte A LA FOTOGRAFIA AEREA
<ul style="list-style-type: none"> * Mayor ámbito de información espectral; * Calibración más sencilla de las señales; * Buen registro entre bandas espectrales; * Más apropiado para transformación digital y proceso automático; * Más apropiado para aplicación de satélite y para aplicaciones regulares multitemporales. 	<ul style="list-style-type: none"> * Peor resolución; * Menos apropiado para aplicaciones locales.
VENTAJAS DEL SME frente a las IMAGENES DE RADAR	INCONVENIENTES DEL SME FREnte A LAS IMAGENES DE RADAR
<ul style="list-style-type: none"> * Mayor variedad de información que permite una mayor posibilidad de distinguir entre diferentes condiciones de la vegetación; * Menos problemas de distorsión geométrica; * Es posible una mejor resolución 	<ul style="list-style-type: none"> * Interferencia mucho mayor de nubes y neblinas y, en consecuencia, mucha menos capacidad para todo tiempo; * Imposibilidad de obtener imágenes nocturnas, excepto a partir de los canales térmicos infrarrojos; * Depende del nivel y calidad variables de las radiaciones de origen y no del rendimiento constante del instrumento; * Menos posibilidad de obtener información del terreno situado por debajo de la vegetación.



Figura 5.12.: Imagen en blanco y negro del Radar Shuttle Imaging (SIR-B)
(Nótese la apariencia de sal y pimienta de la imagen antes del filtrado)
(Bangladesh)
(Cortesía: SPARRSO-Imhoff)



Figura 5.13.
Composición realizada en color de una imagen radar SIR-B
(Igual área que en la de la Figura anterior 5.12.)
(Cortesía: SPARRSO-Imhoff)

6. PLANIFICACION Y EJECUCION DE ESTUDIOS FORESTALES EN AREAS DE MANGLAR

Los objetivos de un estudio forestal consisten en obtener información segura y actualizada sobre la cantidad y calidad de los recursos forestales. El tipo y cantidad de información que corresponde a un estudio forestal y los medios a utilizar para su ejecución, dependen del área a estudiar y de los fondos disponibles y difieren, según que la información se necesite para la planificación del uso de las tierras a nivel nacional o regional, para la ordenación de tierras forestales a nivel de una comarca o de un monte o para una planificación operativa.

El grado de detalle de una clasificación forestal basada en un estudio determinado depende del nivel de información necesaria y de la fuente utilizada para la obtención de datos mediante teledetección. La información procedente de imágenes de escala grande a mediana se puede emplear en todos los niveles de planificación. Sin embargo, debido a los inconvenientes de costo de estas escalas, tales imágenes sólo se utilizan corrientemente como base para la planificación operativa y para mediciones forestales en que se requiere información más detallada, mientras que los datos sobre el uso de las tierras se pueden obtener mediante fotografía de altura media a elevada e imágenes satélite en órbita, de pequeña escala.

El empleo de la teledetección por satélite en estudios de ecosistemas de manglar es relativamente reciente pero se han encontrado ventajas importantes de las imágenes satélite para diversas aplicaciones. Estas incluyen:

- * La posibilidad de realizar estudios en gran escala con un costo menor por unidad de superficie. Este es un elemento fundamental a considerar, porque los terrenos de manglar y zonas costeras pueden ser muy extensos.
- * La posibilidad de utilizar el proceso informático para mejorar el valor de la información.
- * En ecosistemas de manglar que están cambiando rápidamente, la capacidad de los satélites para obtener una visualización repetitiva, hace mucho más fácil el seguimiento de los cambios.

En áreas extensas, la clasificación del uso de las tierras, que no requiere información detallada, puede realizarse bien mediante estudios espaciales o aéreos, y la localización de las tierras puede representarse adecuadamente en mapas o en fotografías aéreas de pequeña escala. Pueden proporcionarse también cifras de superficies y una descripción de carácter general, para completar la información.

A pesar de las ventajas que presentan los satélites, en cuanto a rapidez y regularidad de la obtención de datos, la escasa resolución espacial de sus imágenes no cumple todos los requisitos de información necesarios para la planificación de la ordenación a nivel de comarca o de monte. La fotografía aérea de escala media y grande es necesaria para la adquisición de los datos del terreno, como topografía, fisionomía y accesibilidad. También se puede obtener, en cierta medida, información sobre las características de las masas y los árboles, a partir de fotografía aérea de escala grande pero siempre se necesitan recorridos de reconocimiento en el campo para completar y corregir los datos obtenidos a partir de las imágenes de teledetección.

Considerando el costo, los inconvenientes de tiempo y logística correspondientes a la difícil tarea de estudiar en el terreno los manglares, ya sea para recoger nueva información o como apoyo a un programa de seguimiento, hay que aprovechar los sistemas de teledetección, tanto espaciales como aéreos.

En las áreas de manglar se puede emplear con éxito una combinación de imágenes satélite y fotografía aérea (normal y de pequeño formato). Hay que señalar, sin embargo, que los estudios de campo se deben considerar como parte integral de cualquier estudio de tierras o bosques, a cualquier nivel. A este respecto, debe recordarse que el ambiente del manglar es muy diferente del bosque del interior desde el punto de vista logístico y que hay que tener especial cuidado para planificar las operaciones de campo (medios de transporte, suministros, etc.).

6.1. CLASIFICACION DE LOS MANGLARES

Las decisiones sobre ordenación, en cualquier nivel en que se adopten, requieren el desarrollo de un sistema de clasificación que subdivida el terreno y las características de la vegetación en clases homogéneas compuestas por materias similares, basadas en características físicas y ambientales. Tal sistema de clasificación debe ser parte integral de cualquier estudio forestal.

La teledetección desempeña un papel fundamental en el establecimiento de sistemas de clasificación, porque permite identificar y cartografiar tipos y estaciones forestales. Un sistema de clasificación es también la base para la estratificación forestal y es fundamental en la preparación de los mapas forestales necesarios para la planificación y ejecución de estudios más detallados e inventarios forestales y también para la elaboración y ejecución de planes de ordenación forestal. En las difíciles condiciones naturales de trabajo que caracterizan a los manglares, tales tareas son difícilmente posibles sin unos mapas detallados.

En el **Diagrama 6.1.** se presenta un esquema general para un sistema de clasificación de manglares. Como puede verse, el primer paso de una clasificación de manglares es la distinción entre terrenos de bosque y sin bosque. El reconocimiento del bosque puede no ser tan sencillo como parece, particularmente en áreas en que las masas de manglar han estado sujetas a una degradación avanzada. Por ello, hay que tener mucho cuidado para establecer una definición apropiada de las clases antes de comenzar el estudio.

Las áreas no arboladas existentes dentro de los límites forestales deben clasificarse también de acuerdo con algún sistema definido, basado en la naturaleza física de los terrenos pero también, siempre que sea posible, de acuerdo con el uso a que se dediquen los terrenos. Los terrenos no arbolados pueden ser:

- * Terrenos agrícolas y estanques de sal;
- * Terrenos utilizados actualmente para acuicultura o asignados para este fin;
- * Áreas urbanas y mineras, infraestructuras, etc.

Las zonas de manglar pueden dividirse todavía en:

- * **Bosques productivos:** integrados por masas bien establecidas y desarrolladas cuya regeneración puede garantizarse y,

* **Bosques no productivos:** áreas que en la actualidad no tienen una cubierta forestal productiva. Incluyen las zonas degradadas que puedan transformarse en masas productivas (áreas potencialmente productivas) y las tierras apropiadas para la protección de especies de fauna silvestre y tipos de vegetación donde se debe evitar la corta y extracción de madera (áreas de protección). En estas últimas se incluyen también las áreas que es necesario mantener bajo cubierta forestal permanente para contrarrestar la erosión y el aterramiento consiguiente de ríos y estuarios.

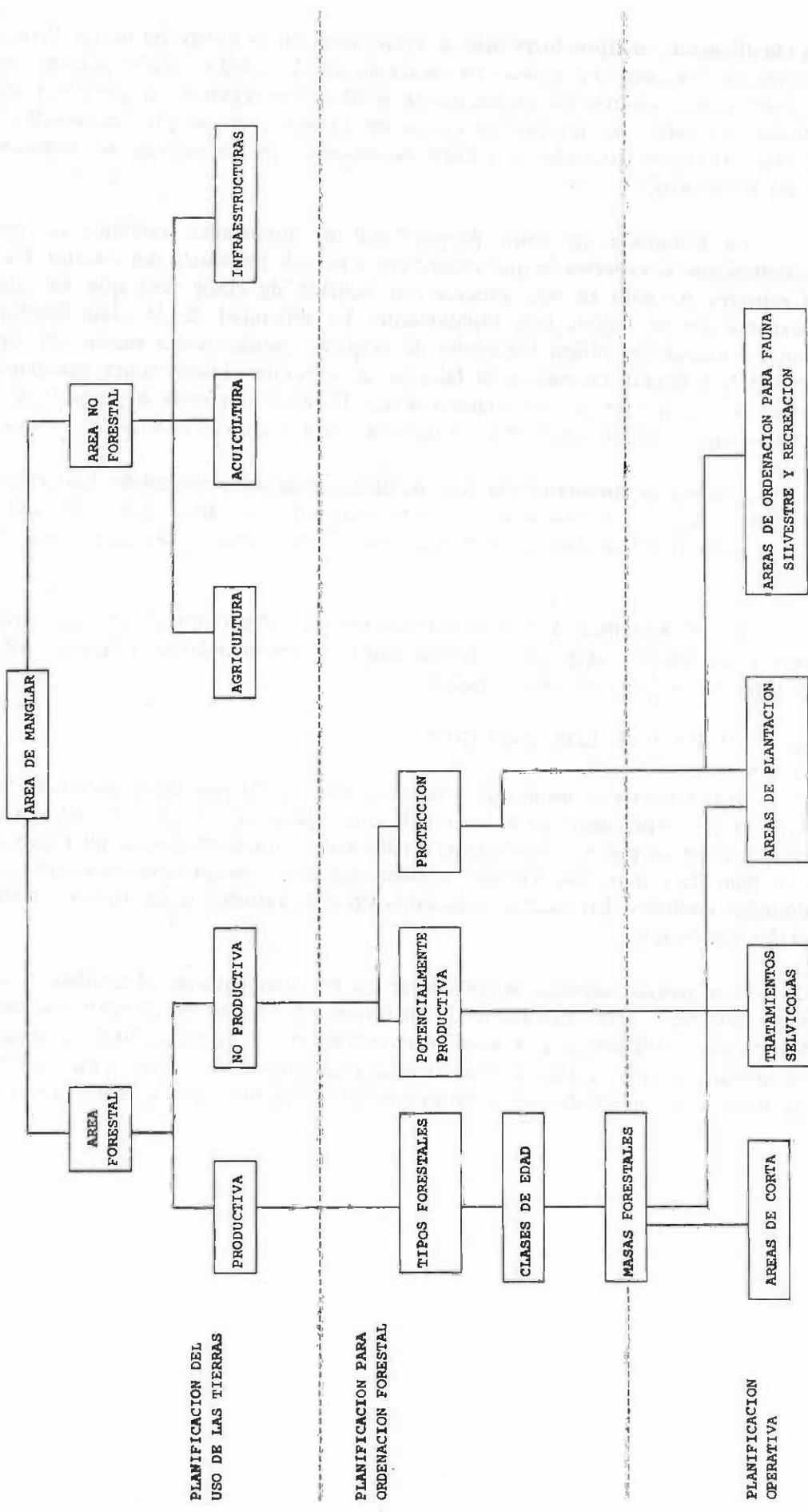


Diagrama 6.1. Clasificación esquemática de las áreas de manglar

La clasificación en tipos forestales se suele basar en la fotografía aérea. Para este fin, en la mayoría de los casos convendrá una escala media (1:10.000-1:30.000) para identificar los tipos de vegetación y evaluar sus características gráficas. En regiones en que hay pocas especies de árboles forestales, las fotografías aéreas en blanco y negro pueden resultar satisfactorias. Cuando las masas forestales contienen numerosas especies pueden ser mejores las imágenes en color infrarrojo.

La fotografía en color proporciona un importante aumento de precisión en la **identificación de especies** lo que contribuye a reducir los costos del estudio. La **identificación de especies** no sólo es más precisa con película de color sino que los resultados de la interpretación se logran más rápidamente. La dificultad de la identificación de especies aumenta cuando se utiliza fotografía de pequeña escala (como sucede en muchos estudios tropicales) y debido también a la falta de unas buenas descripciones normalizadas sobre las formas de los árboles en la fotografía aérea. En cualquier caso, hay que realizar estudios de reconocimiento en el campo para complementar y rectificar la fotointerpretación.

Las **masas forestales** pueden identificarse también utilizando fotografías aéreas, pero también en este caso, los estudios de reconocimiento de campo, los mapas antiguos, registros y planes anteriores de trabajo son elementos fundamentales para garantizar una clasificación precisa.

En el Apéndice A.2. se describen los procedimientos de fotointerpretación para la clasificación visual y con apoyo de ordenador de los manglares, utilizando fotografías aéreas e imágenes satélite (incluido el radar).

6.2. DISEÑO DE LOS ESTUDIOS

Hay numerosos diseños de estudios forestales. Al planificar un estudio forestal, se debe elegir el más apropiado para las condiciones existentes. Puede diseñarse un estudio, que abarque todo un país o una provincia, para una evaluación general de recursos; como apoyo a un plan de ordenación forestal; o para evaluar la producción en volumen de madera en pequeñas unidades. En cada uno de estos tipos de estudio, la información a obtener varía en detalle y precisión.

Un aspecto especial a considerar en los manglares es el cambio de superficie. Este puede deberse al acrecentamiento de los terrenos formados por depósitos costeros o ribereños lo que puede utilizarse para nuevas plantaciones, o a la disminución de la superficie de tierras ocasionada por una erosión crónica debida a un cambio de las corrientes costeras. El Cuadro 6.1. sirve como indicación de la importancia relativa de algunos elementos de los estudios.

Cuadro 6.1. Importancia relativa de los elementos de un estudio forestal de manglares

NIVEL DEL ESTUDIO	ESTIMACION DE SUPERFICIE	ACCESIBILIDAD	INSTALACIONES DE TRANSPORTE	ESTIMACION DE VOLUMENES	EVALUACION DE CRECIMIENTOS	TENENCIA DE LA TIERRA	ESTABILIDAD DEL SUELO EROSION/ACRECENTAMIENTO
Estudio a nivel nacional	XX	XX	X	XX	X	XX	X
Estudio de ordenación forestal	XXX	XXX	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
Estudio a nivel operativo	XXX	XXX	XX	XXX	X	X	-
X: Poco interés XX: Prioridad media XXX: Muy importante							

Para cualquier nivel de información, se debe preparar bien el estudio forestal. En la fase de preparación hay que adoptar decisiones sobre:

- * El tipo de información necesaria;
- * El método de estudio a aplicar a fin de adquirir los datos necesarios con el menor costo posible.

Al mismo tiempo, es indispensable llevar a cabo un estudio completo de todos los documentos existentes y datos disponibles sobre el área a que afecta el estudio. Tales documentos incluyen informes de estudios anteriores, mapas, documentos de investigación, etc.

6.2.1. Estudios a nivel nacional

En un estudio a nivel nacional, el objetivo principal es proporcionar datos que puedan servir para la adopción de decisiones sobre política forestal nacional (o regional) y para la ejecución de planes generales de desarrollo, independientemente de que el sector forestal esté ya desarrollado o no. En las áreas de manglar, un estudio de este tipo es aquel cuyo principal interés consiste en el conocimiento de la extensión del área de vegetación de manglar, y su distribución y en la clasificación general de los terrenos, tanto para usos forestales como no forestales. En las secciones siguientes se analizan algunas alternativas.

Estudio cartográfico

Puede definirse como estudio cartográfico aquel que se basa principalmente en la interpretación de imágenes y cuyos objetivos se limitan con frecuencia a la producción de mapas temáticos. En áreas extensas, la fotografía aérea de pequeña escala o las imágenes satélite son fuentes apropiadas de datos para dicha tarea. La recopilación de mapas requiere un recubrimiento de las imágenes del 100% y todas las imágenes se interpretan siguiendo un esquema de clasificación establecido antes de la interpretación.

La baja resolución de las imágenes satélite no permite una clasificación detallada de todos los tipos forestales. Pueden emplearse únicamente para la clasificación de bosques perennes y bosques de manglar pero la identificación de los manglares en imágenes SME se facilita por su localización a lo largo de los estuarios. En composiciones de color, su color rojo oscuro es también muy indicativo. Para aumentar la precisión de la clasificación se utilizan combinaciones de las bandas espectrales. Por ejemplo, se interpreta la banda 5 del Landsat

para la delimitación del manglar y de diversos tipos de uso de las tierras y para la identificación de la red de caminos. La banda 7 se utiliza sobre todo para identificar las ciénagas, las líneas costeras y las masas de agua, como ríos y embalses. Las copias se interpretan independientemente, pero suele ser útil la comparación entre ellas y con las composiciones en color.

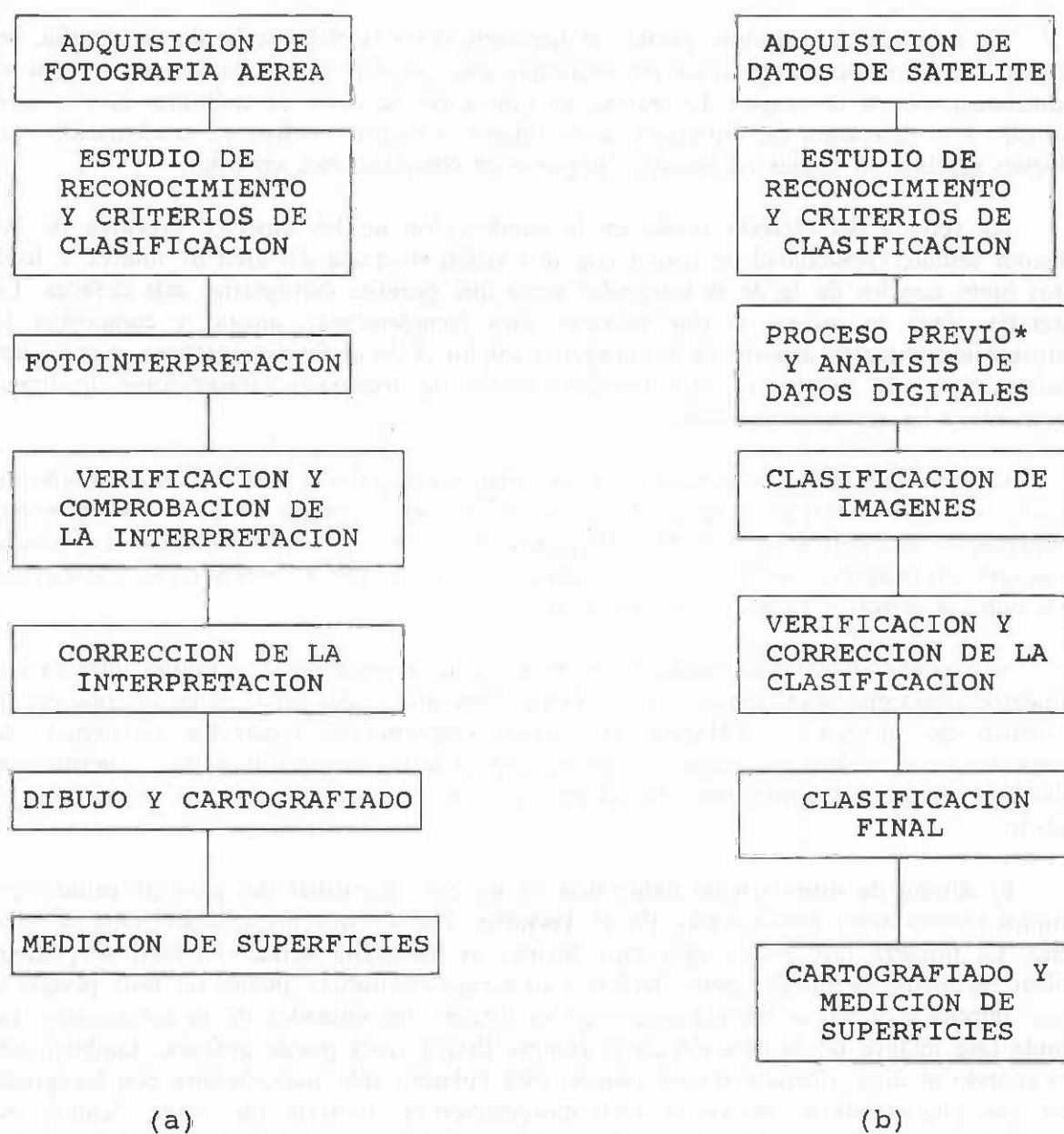
Los mapas y mosaicos, como los descritos e ilustrados en la **Sección 6.3. y el Apéndice A.3.** se consideran como los principales resultados finales del estudio.

La evaluación de la precisión de los mapas y la corrección de los errores de interpretación pueden lograrse por medio de una comprobación reducida en el campo. Pueden realizarse también con éxito misiones aéreas de vuelo bajo para comprobar rápidamente la fotointerpretación y reducir los costosos estudios de campo.

El procedimiento de comprobación en el campo consiste en dibujar sobre las imágenes una serie de unidades de muestreo, localizarlas en el campo y comprobar su clasificación. Como la finalidad del muestreo en este tipo de estudios es principalmente evaluar la clasificación de las imágenes y la precisión de la cartografía, la técnica más sencilla consiste en utilizar una malla regular con puntos que representan la localización de las muestras. A continuación se comparan las clasificaciones en las imágenes y en el campo, empleando los procedimientos de matriz de errores analizados en el **Apéndice A.3.** Se puede aplicar el muestreo estratificado eligiendo una muestra independiente en cada estrato o siguiendo la técnica de selección presentada en el **Apéndice A.3.**

El **Diagrama 6.2.** presenta la secuencia de actividades en un estudio cartográfico basado en a) fotografía aérea y b) imágenes satélite, respectivamente.

También se puede aplicar con éxito una combinación de fotografía aérea e imágenes satélite, tal como se presenta en el **Estudio del caso 1.**



*: En el caso de interpretación visual de imágenes satélite, esta etapa se salta

Diagrama 6.2.: Secuencia de un estudio cartográfico basado en (a) fotos aéreas y (b) imágenes satélite

Estudios de fases múltiples

En este tipo de estudios, puede ser necesaria o no la elaboración de cartografía. Se recogen los datos de las parcelas de muestreo que pueden estar distribuidas al azar o sistemáticamente en la imagen. El sistema de utilización de datos de múltiples niveles está destinado a la aplicación de fotografía aérea (blanco y negro o color) en combinación con imágenes satélite, en copias en blanco o negro o en composiciones en color.

La ventaja del método reside en la combinación de los aspectos positivos de las imágenes satélite (posibilidad de contar con una visión sinóptica del área de interés, a bajo costo) junto con los de la de la fotografía aérea que permite cartografiar más detalles. La fotografía aérea se utiliza en este proceso para complementar, ajustar y comprobar la interpretación obtenida a partir de las imágenes satélite. Con el fin de mantener el costo del estudio en valores reducidos, la fotointerpretación de fotografía convencional se limita únicamente a las áreas de muestreo.

La aplicación del procedimiento en los estudios forestales se traduce en un diseño de muestreo en fases múltiples. Con tal diseño se utilizan ambas bases de datos para producir estadísticas de clasificación con una mayor precisión, en comparación con la clasificación basada únicamente en imágenes satélite y con un menor costo que el que se obtendría si la fotografía aérea fuera la principal fuente de información.

Se recomienda también incluir en el proceso de interpretación cualquier información secundaria, como mapas existentes u otros documentos, que pueda servir como orientación en el análisis de imágenes. Análogamente, deben emprenderse recorridos frecuentes de reconocimiento de campo mientras se está realizando la interpretación, a fin de permitir al analista de imágenes familiarizarse con el área de estudio y con los objetos a identificar y delinear.

El **diseño de muestreo de doble fase** es un caso particular del plan de estudio en múltiples niveles antes mencionado. En el Apéndice 4 se da una breve descripción de este diseño. La primera fase de su aplicación incluye la fotografía aérea. También se pueden emplear las imágenes satélite pero, debido a su escasa resolución, puede ser muy pesado o incluso imposible localizar correctamente en el terreno las unidades de la submuestra. La segunda fase incluye la clasificación en el campo. Esta técnica puede aplicarse también con éxito cuando el área afectada por el estudio esté cubierta sólo parcialmente con fotografía aérea, que puede haberse volado en fajas independientes, es decir, sin solape. Aunque no siempre se necesita cartografiar los resultados, el procedimiento es más fácil si se utiliza un mapa o mosaico ya existente.

La aplicación de un **muestreo en tres fases** para los manglares utilizando imágenes satélite, fotografía aérea y muestreo de campo, se ilustra con un ejemplo en el Apéndice 4.

Tales métodos de muestreo en fases múltiples se utilizan con frecuencia para obtener una estimación de la superficie cubierta por los manglares y también para la clasificación en diferentes tipos forestales. La misma técnica se puede aplicar con éxito en la evaluación de recursos y en inventarios forestales, como se describe en el Capítulo 7 y en el Estudio del Caso 3.

6.2.2. Estudios de ordenación forestal

En los manglares, al igual que en los otros bosques, el consumo creciente y las demandas de producción obligan a los gestores forestales a responder a los interrogantes siguientes: Qué clase de información, dónde y en qué cuantía se debe conseguir mediante análisis de los datos obtenidos, ya sea en estudios de campo, estudios aéreos o de ambas clases. La información que se necesita se refiere en la mayoría de los casos a la situación y distribución de los recursos, especies arbóreas, dimensiones y calidades, crecimientos y calidad de las estaciones. Aunque toda esta información no se puede obtener mediante teledetección, pueden aplicarse con éxito procedimientos que combinan el análisis estadístico con unos estudios limitados de campo.

Mientras que los estudios de gran dimensión (nacionales) se refieren a áreas extensas, los estudios de ordenación forestal suelen limitarse a los bosques de una comarca o una unidad inferior. La información que un gestor forestal espera obtener de un estudio de ordenación se refiere sobre todo a:

- * Una estimación precisa de superficies;
- * Clasificación del bosque en tipos de cubierta, con su descripción;
- * Cálculo de las existencias en pie;
- * Evaluación de la regeneración;
- * Evaluación del crecimiento de los árboles y de la masa forestal.

En la Sección 6.4. de este capítulo se describen brevemente los métodos para la estimación de las superficies de manglar.

Mientras que la clasificación en tipos forestales se puede lograr con éxito utilizando fotografía aérea de escala apropiada en combinación con comprobaciones de campo limitadas, el cálculo de las existencias en pie y la evaluación de la regeneración dependen con frecuencia de enumeraciones de campo más intensas y de estudios en el terreno. Este es también el caso cuando es necesario evaluar el crecimiento de árboles y masas forestales. En estos casos, los estudios se suelen unir a la información recogida mediante los inventarios forestales descritos en el capítulo siguiente y en el **Estudio del Caso 2**.

Delimitación de tipos forestales

Antes de la enumeración de campo, se debe completar una clasificación precisa del bosque en tipos de cubierta arbolada. La finalidad de la clasificación forestal es doble: en primer lugar, es fundamental para la estratificación, que puede permitir una reducción de la enumeración de campo, y en segundo lugar, es necesaria para la elaboración de los mapas de ordenación. Esta clasificación se lleva a cabo muy fácilmente, como se describe en la Sección 1, con el uso de fotografías aéreas.

Cuando se programa el recubrimiento con fotografía aérea de áreas de manglar, debe prestarse especial atención a la época del año y al momento del día, para garantizar una interpretación precisa. Para el cartografiado y la interpretación de la vegetación, la mejor

estación es aquélla en que se pueden detectar con facilidad las diferencias entre los árboles y entre las clases de vegetación.

En las áreas de manglar esta época puede corresponder al final de la estación lluviosa. Además, la fotografía se debe tomar cuando el cielo esté libre de nubes y de polvo.

En las latitudes en que están situados los manglares, el mejor período para la fotografía es entre las 9:00 am y las 3:00 pm. Sin embargo, a medio día, la posición alta del sol puede ocasionar una reflexión especular en algunos puntos, especialmente cuando se emplean cámaras de gran angular. Además, hay que tener en cuenta también los niveles de las mareas y su amplitud, porque pueden afectar a los resultados de la fotointerpretación. A continuación se indican algunas ventajas (+) e inconvenientes (-) relacionados con las pleamaras y bajamaras.

Cuadro 6.2. Influencia del nivel de las mareas sobre el recubrimiento con fotografía aérea

Bajamaras	Pleamaras
+ Son visibles los llanos de fango en las zonas bajas del litoral	+ Son visibles las zonas de máxima inundación
+ Es más fácil detectar las áreas con aguas estancadas	+ Se puede detectar la mayoría de los canales
- No son adecuadas para estudiar los niveles de inundación	- Pueden ocasionar desviaciones en las mediciones sobre las fotos de las alturas de los árboles
- No se pueden detectar los canales entre riachuelos, que pueden ser útiles para planificar los estudios de campo (acceso)	- No es posible detectar los sistemas de ríos y canales en áreas degradadas o desarboladas

Hay que señalar también que para la clasificación forestal se necesitan fotointérpretes muy calificados que estén familiarizados con el ambiente de manglar.

Hay valiosas ayudas adicionales para la fotointerpretación, además de las claves de fotointerpretación, entre las que se incluye la fotografía terrestre que revela las estaciones ecológicas de cada tipo forestal, los estereogramas y la descripción de los tipos.

Con respecto a la distinción de tipos forestales en los manglares, un elemento principal de la clasificación suele ser el valor comercial potencial de la madera de construcción y otros productos madereros. La separación entre los bosques productivos y los no productivos se traducirá en un empleo más racional de los medios utilizados en el estudio. Por ejemplo, en áreas con escaso potencial de producción maderera, puede ser suficiente una descripción visual de la vegetación, mientras que en masas productivas se necesitará un inventario forestal más detallado que incluya información sobre la composición por especies.

De acuerdo con el **Diagrama 6.1.**, las masas cuyos bosques representan un valor potencial de madera de construcción y otros productos madereros, se pueden subdividir en clases más depuradas como tipos forestales. Estos últimos pueden definirse como grupos de árboles que tienen las mismas características, que crecen en las mismas condiciones y que tienen la misma utilización.

Su separación puede lograrse utilizando criterios de fácil distinción, por ejemplo:

- * composición
- * altura de los árboles

* densidad de la masa

Con respecto a la composición, se pueden utilizar los géneros cuando no sea posible distinguir las especies individuales del manglar. Además, se pueden incorporar también factores ecológicos, como la textura y el estado del suelo, y las clases de inundación, para lograr una mejor clasificación de las estaciones forestales.

La edad es también un elemento importante de clasificación a tener en cuenta, pero en los manglares, a menos que las masas estén sometidas a una ordenación intensiva, como por ejemplo en la Reserva de Manglares de Matang (Perak, Malasia), la edad no se conocerá normalmente.

La altura de los árboles es también un buen criterio para la clasificación de las masas forestales. Su utilidad proviene del hecho de que la altura de los árboles se puede medir con una precisión aceptable con fotografías aéreas apropiadas. En los manglares la altura de la masa se puede dividir, por ejemplo, en tres o cuatro clases, lo que permite una descripción suficiente del desarrollo de la masa del modo siguiente:

ALTURA DE LA MASA	DESCRIPCION
0 - 9 m.	Regeneración
10 - 19 m.	Masa joven
> 20 m.	Masa adulta

Las clases de altura pueden variar de amplitud según la especie, pero se debe mantener un número razonablemente reducido (3 a 4). Debido a las variaciones de especies y condiciones de desarrollo, entre distintos países e incluso dentro de un mismo país, no se recomiendan clases de edad normalizadas. Las clases deben basarse en observaciones locales y en las necesidades de información.

Debe recordarse que cuando se determina la altura de los árboles, a partir de fotografía aérea por medio de mediciones de paralaje, puede ser necesario realizar ajustes para corregir la fluctuación de las mareas.

La densidad del bosque es una medida de sus existencias en pie. También es un valioso factor de clasificación que se utiliza con frecuencia porque tiene una fuerte correlación con el volumen. Además, puede expresarse directamente utilizando mediciones de la cobertura de copas sobre las fotografías aéreas. Al igual que la altura de la masa, la densidad del bosque se puede subdividir en varias clases, por ejemplo del modo siguiente:

COBERTURA DE COPAS EN PORCENTAJE	EXISTENCIAS EN PIE
10 - 40	Escasas
40 - 70	Medias
> 70	Buenas

Tampoco es posible, en este caso, generalizar respecto al número de clases y sus límites. Las clases deben reflejar la existencia de especies locales y sus características.

La mayoría de los criterios antes mencionados (que se utilizan en la clasificación de tipos forestales) pueden servir de base para el establecimiento de claves de fotointerpretación. Para su elaboración es necesario, en primer lugar, determinar las características fotográficas de las diferentes especies de los manglares, en diversas condiciones. Seguidamente, mediante observaciones de parcelas diseminadas en el terreno que comprendan los diferentes tipos de vegetación, estaciones, etapas de desarrollo y nivel de utilización, se pueden establecer relaciones físicas con las condiciones reales del terreno.

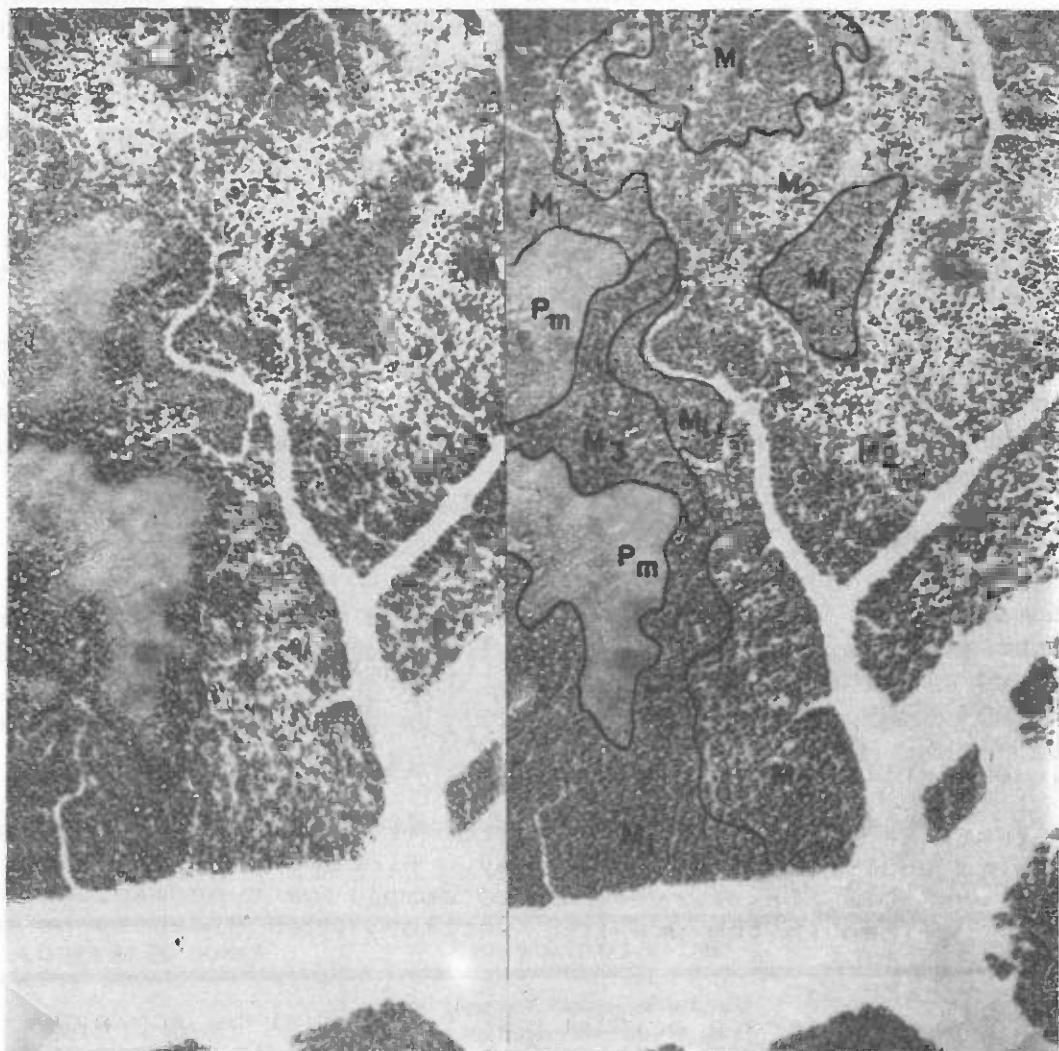
La forma más fácil de proporcionar al fotointérprete material de referencia útil es probablemente la utilización de estereogramas comentados que presenten los diversos objetos a identificar. En la Figura 6.1. se presenta un ejemplo de tales estereogramas. Como información suplementaria de los estereogramas se puede incluir también una descripción clara de las características de los objetos y exposiciones donde se describa la significación de cada tipo.

Las características descriptivas de la vegetación correspondientes a los aspectos de la imagen, que interesan para el análisis de las fotos, son la textura (relacionada con la densidad de la cubierta forestal); la altura de los árboles y la dimensión de las copas de los árboles dominantes; y la variación de tono de los diferentes pisos de vegetación. Una descripción en el terreno sobre accesibilidad, como los cursos de agua y el impacto de la acción del hombre sobre el medio ambiente, puede constituir también una valiosa información a incluir con los estereogramas. El uso de estereogramas garantiza un buen control de la fotointerpretación y su aplicación se traduce en una estratificación más uniforme y lógica.

Delimitación de masas forestales

Esta delimitación se refiere a una división adicional de los tipos de bosque en rodales de manglar. Estas unidades, que se utilizan con frecuencia como trazones, consisten en masas coetáneas u homogéneas de otro carácter que deben estar sujetas a tratamientos idénticos selvícolas o de otro tipo. Un rodal forestal es por lo tanto una unidad operativa, que se identifica durante el proceso de planificación de la ordenación forestal y que se utiliza extensamente en la ordenación operativa de cualquier bosque.

Se dispone de fotografías aéreas recientes en gran escala, digamos 1:10.000, y el área ha estado sujeta a ordenación intensiva utilizando durante mucho tiempo un sistema de cortas rasas, será bastante fácil distinguir los diferentes rodales en estas fotos. Sin embargo, éste es un caso raro cuando se trata de manglares, por lo que será necesario combinar estos trabajos con estudios extensos de campo.



- M1: Bosque bajo de manglar. Parcialmente pantanoso con copas de árboles pequeñas pero densas y con algunos árboles grandes. Especie dominante: *Avicennia sp.*
- M2: Manglar de altura media con una mezcla de M1 y M3.
- M3: Bosque alto de manglar con copas de grandes árboles.
- Pm: Terrenos pantanosos de agua salada, existentes entre los rodales de mangle y las áreas más bajas.

**Figura 6.1.: Estereograma que muestra los tipos de manglar
(Colombia)**
Cortesía: Sicco-Smit.

6.2.3. Estudios a nivel operativo

Los estudios de este nivel consisten la mayoría de las veces en enumeraciones de campo (u observaciones) o estudios topográficos en el terreno, para complementar los estudios antes mencionados y registrar los cambios producidos desde que se realizó el último estudio.

En el próximo capítulo se describe la enumeración de campo para recoger información sobre recursos madereros, y al final de esta manual se presentan estudios de algunos casos.

Los estudios topográficos se describen en numerosos manuales forestales y de topografía, por lo que no se tratan en este manual. Debido a los inconvenientes para realizar tales estudios en las áreas de manglar (existencia de muchos ríos y arroyos, terreno a veces muy blando, las pleamaras que hacen bastante difícil la toma de datos de los terrenos próximos a las márgenes y a los ríos, y las frecuentes altas tasas de erosión y acrecentamiento) se recomienda emprender estos estudios sólo en pequeñas superficies y obtener fotografías aéreas recientes, en escala suficientemente grande, para ayudar a cualquier trabajo de cartografía y cálculo de superficies.

6.3. CARTOGRAFIA DE MANGLARES

La presentación de los resultados de los estudios se suele hacer en forma de mapa. La finalidad de elaborar un mapa puede ser para la planificación de estudios más detallados o para ayudar a la toma de decisiones referentes al uso y desarrollo de los recursos, con distintos niveles de aplicación. Con referencia especial a los manglares, la información necesaria para cada aplicación incluye diversos temas. En el Cuadro 6.3. se presentan algunos de ellos.

Cuadro 6.3.: Tipos de información y requisitos de escala cartográfica para distintos niveles de aplicación

NIVEL DE APLICACION	TIPO DE INFORMACION	RANGO DE LA ESCALA
Nacional	- Distribución geográfica de los manglares-extensión superficial - Uso general de las tierras	1:50.000 a 1:250.000
Planificación de la ordenación	- Estaciones de manglar - Grandes clases forestales	1:25.000 a 1:50.000
Planificación operativa	- Recursos forestales del manglar - Rodales y tipos forestales	≥ 1:25.000

La precisión y cuantía de los detalles representados deben guardar relación con el valor potencial del terreno que representan. En bosques más intensamente ordenados las escalas deben ser mayores porque se deben registrar más datos en una superficie menor.

A nivel nacional, el cartografiado consiste en la presentación de la distribución general de los manglares de un país o una región. Para esta tarea, son apropiadas las imágenes de los satélites en órbita, combinadas con fotografía aérea de escala pequeña a mediana.

La información que se puede representar en la cartografía puede incluir lo siguiente:

- * Terrenos de bosque (naturales y plantados);

- * Terrenos usados para acuicultura (estanques de pesca/cultivos de camarón);
- * Terrenos agrícolas dentro de las áreas de manglar;
- * Zonas mineras e industriales;
- * Infraestructuras, asentamientos y áreas urbanas.

La **Figura 6.2.** es una ilustración de un mapa de pequeña escala, que muestra una extensión de manglar y otros usos de las tierras.

A nivel medio (ordenación), se puede realizar una cartografía semidetallada del uso de las tierras, con el fin de elaborar mapas de escalas medias, en los que se pueden representar diversas estaciones forestales. Estas pueden definirse por la densidad del bosque y sus condiciones de desarrollo. Pueden ser:

- * Areas cuyos manglares están bien preservados pudiendo asignarse para la producción de madera de construcción y con la posible imposición de algún tipo de ordenación forestal intensiva, y
- * Areas destinadas para fines de conservación y protección o asignadas para otros usos, distintos de la producción de madera, debido a la naturaleza de la masa forestal.

Los mapas de escala media pueden dar también información sobre la distribución de los terrenos de bosque y sobre el uso de las tierras. Esto se aclara en la **Figura 6.3.**

Las aplicaciones de la ordenación forestal intensiva exigen mapas detallados de los tipos de masas, con una buena precisión planimétrica. La clasificación de las masas forestales debe proporcionar información actualizada sobre ciertos parámetros importantes, incluyendo especies arbóreas o grupos de especies, clases de edad, regeneración, actividades de corta, nivel de existencias, etc. La clasificación de los terrenos arbolados en distintos tipos forestales sólo se puede lograr con fotografía aérea que tenga resolución suficiente, complementada con observaciones en el terreno. La **Figura 6.4.** contiene un ejemplo de manglar ordenado, donde se ven los tramos y se indica el avance de las cortas. Para información más detallada sobre la preparación de mapas y mosaicos, se recomienda el **Apéndice 3.**

6.4. ESTIMACION DE SUPERFICIES

Se han utilizado diversas técnicas para obtener estimaciones de superficies. La más corriente consiste en el uso de un planímetro sobre un mapa planimétrico establecido previamente para todo el área. Las mediciones se realizan en mapas que contienen detalles fotográficos como tipos de bosque. Las mediciones de superficies se pueden realizar directamente sobre las fotografías aéreas en terrenos relativamente planos, lo que constituye otra ventaja normal de las áreas de manglar.

Los principales inconvenientes de este método consisten, sin embargo, en la forma de las áreas de manglar, que están interceptadas con mucha frecuencia por ríos y arroyos, y en el tamaño y forma de la superficie mínima de las unidades de clasificación. Las **Figuras 5.8., 5.10. y 6.2.** contienen ejemplos que aclaran este punto.



Figura 6.2.: Mapa de uso del suelo de pequeña escala, basado en la clasificación digital de una imagen Landsat, con un proceso de filtrado
Escala 1:230.000
(Fuente: Tikumponvarokis et al., 1985).

[Dotted pattern]	Bosque tropical de hoja persistente	[White box]	Agua y terrenos sin clasificar
[Dashed pattern]	Manglar	[White box]	Pastizal/sabana/terrenos de arroz
[Vertical stripes]	Plantaciones de caucho	[Line symbol]	Camino
[Diagonal stripes]	Bosques deteriorados		

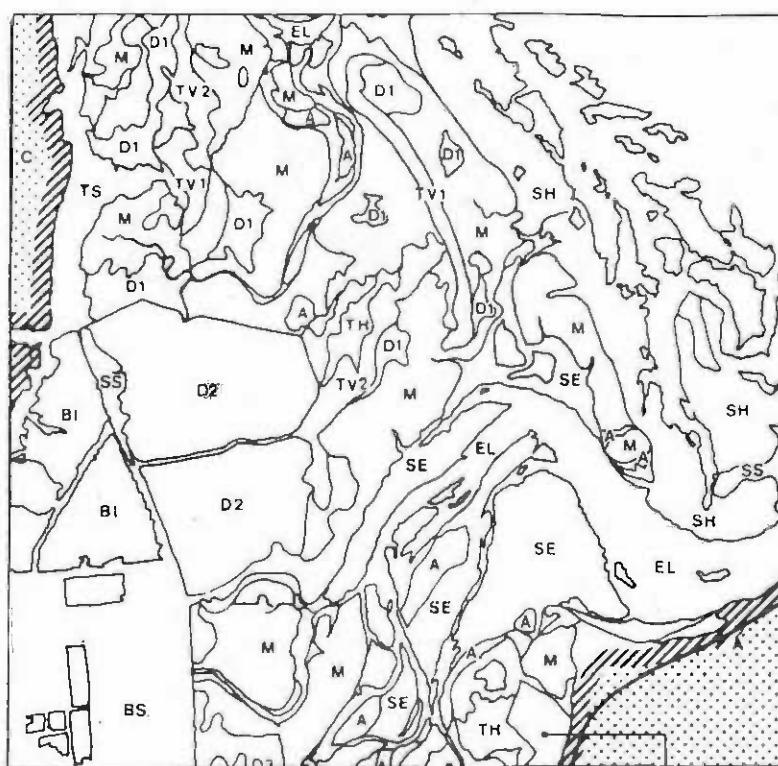


Figura 6.3.: Mapa de uso del suelo, y de tipos forestales, de escala media, basado en una imagen SPOT.

(Igual área que la de la Figura 5.6.)

(Ngomeni, Kenia)

(Fuente: Lantieri, 1986)

ZA:	Zona agrícola	TS:	Terrenos secos improductivos
C:	Zona no agrícola	TH:	Terrenos húmedos improductivos
A:	Aldea	TV1:	Terrenos improductivos con cubierta vegetal baja
	Camino	TV2:	Terrenos desnudos con cubierta vegetal alta
	Límite de la zona intermareal	BI:	Estanques inundados
		BS:	Estanques secos
		EL:	Agua
		SS:	Arenas secas de coral
		SH:	Arenas húmedas de coral
		M:	<i>Rhizophora</i>
		A:	<i>Avicennia</i>
		D1:	30% de árboles sin hojas
		D2:	100% de árboles sin hojas
		D3:	Arenas cortadas. Madera en el terreno
		D4:	Madera de especies distintas del manglar. Suelo húmedo.

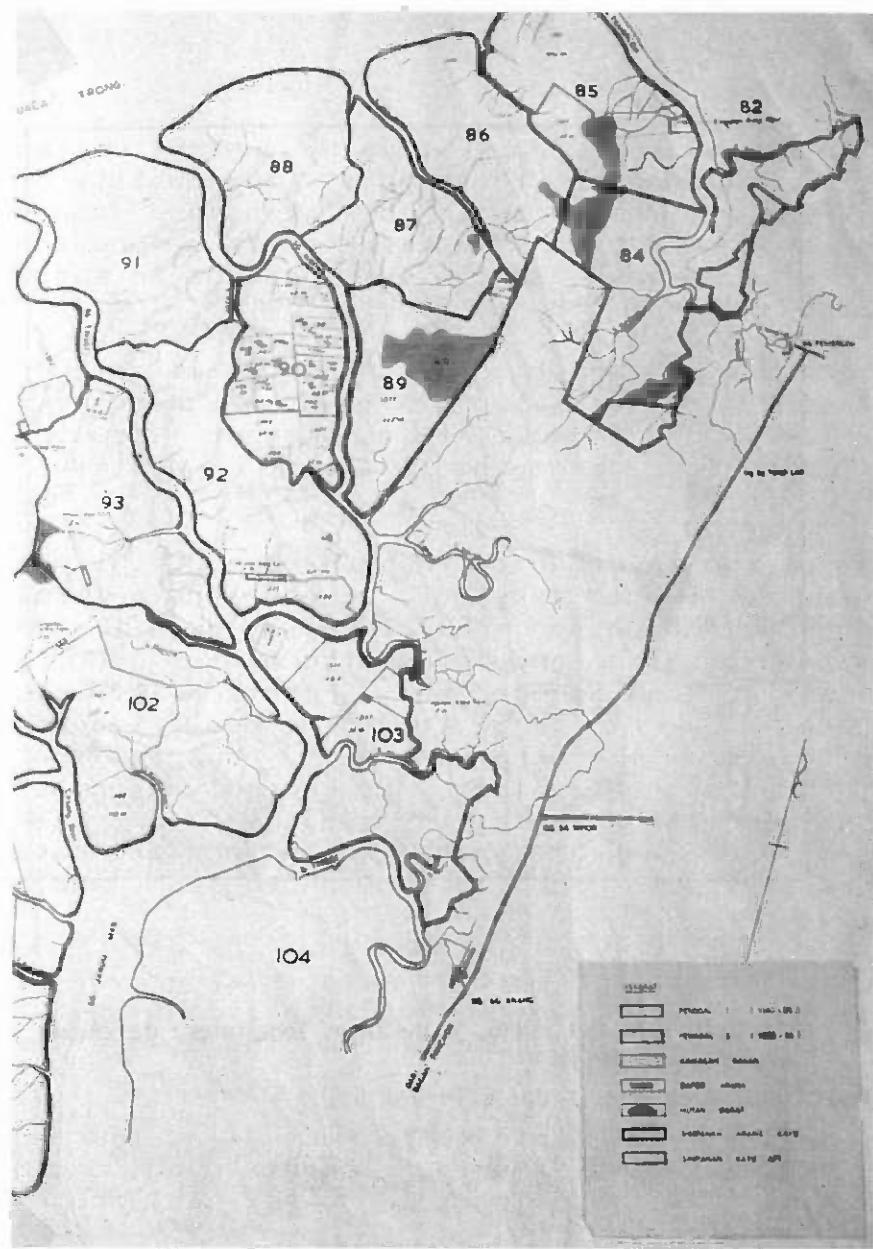


Figura 6.4.: Mapa de ordenación de manglares, de gran escala, que muestra los tramos y las áreas de explotación maderera
(Reserva de Manglares de Matang, Malasia)
(Cortesía: Dirección Forestal, Malasia)

Se han aplicado también varios procedimientos de muestreo incluyendo el método de la cuadrícula de puntos y el de transectos. Entre éstos, el sistema de cuadrícula se considera el más ventajoso en la práctica.

La técnica es fácil de utilizar y se aplica extensamente. Consiste en colocar una cuadrícula transparente con puntos igualmente espaciados sobre un mapa o una fotografía. Cada punto que cae dentro de una clase o estrato determinado, se cuenta y se emplea para estimar la superficie total de la clase. La técnica está descrita en detalle en varios libros y documentos sobre inventarios forestales (Spurr, 1952; Loetsch y Haller, 1973).

Si K es el número total de puntos que caen en el área de estudio y K_j es el número total de puntos contados en el estrato j , la proporción de la superficie del estrato j se obtiene mediante:

$$P_j = \frac{K_j}{K}$$

Cuando se emplea el sistema de cuadrícula de puntos con fotografía aérea, la variación de escalas puede ocasionar la desviación de las estimaciones de superficies, pero en terrenos llanos, como es el caso de los manglares, la variación de escalas es pequeña, pudiendo emplearse el conteo de puntos sin ningún ajuste.

La cuadrícula de puntos y otras técnicas de muestreo se ven afectadas también por la superficie mínima en que se basa la fotointerpretación. La dimensión de la unidad mínima de superficie varía de acuerdo con la escala de la foto y la intensidad del estudio.

La bibliografía forestal demuestra que se han utilizado generalmente superficies mínimas entre 1 ha. y 20 ha. Moesner (1957) determinó que la estimación de proporciones de superficies y los costos del estudio aumentan al aumentar la dimensión de la superficie mínima. El costo se ve afectado en realidad por el tamaño de la superficie mínima, pero, sobre todo, por el aumento de la variabilidad de la vegetación, haciendo más difícil la fotointerpretación. Sin embargo, para la determinación de superficies, se recomienda en general utilizar áreas mínimas pequeñas, porque las estimaciones de superficies son más aproximadas.

La limitación más importante del procedimiento de la cuadrícula de puntos es la determinación del error de los cálculos de superficies. El problema estadístico en la técnica de la cuadrícula es que los puntos están distribuidos sistemáticamente en la superficie y no es adecuado utilizar el modelo binomial suponiendo una distribución al azar. A fin de salvar este problema conceptual, se han desarrollado varias fórmulas de error, con diversos grados de complejidad.

Chevrou (1979) sugiere utilizar la siguiente expresión que es fácil de utilizar y corregir:

$$CV(S) \% = 50 P^5 N^{-2}$$

donde:

CV = coeficiente de variación o error relativo

S	=	estimación de superficies
N	=	número de puntos que caen en la superficie S
P	=	proporción de perímetro, es decir, el perímetro S dividido por el perímetro de un círculo de la misma dimensión.

Cuando se emplean datos de imágenes o mapas en forma digital, es con frecuencia posible obtener directamente una estimación de superficies, sin ninguna medición manual, aparte de las necesarias para comprobar la precisión del mapa y su escala.

7. EVALUACION DE RECURSOS E INVENTARIOS FORESTALES DE LOS MANGLARES

7.1. EVALUACION DE RECURSOS FORESTALES EN LAS ZONAS DE MANGLAR

El término "evaluación de recursos forestales" se emplea aquí en el sentido de una apreciación de los recursos, o estimación aproximada de los recursos madereros disponibles. Esta estimación no es ni tan precisa ni tan detallada como los resultados de un inventario forestal, pero se ha demostrado que el método es útil cuando se desea una evaluación rápida de recursos.

Esta evaluación puede basarse, ya sea en mediciones tomadas directamente sobre imágenes de teledetección, o en un muestreo limitado en el campo o, naturalmente, en una combinación de estas dos técnicas.

7.1.1. Estimación de volúmenes a partir de imágenes de teledetección

Los costos crecientes de las técnicas convencionales de inventariación y la necesidad urgente de información, han llevado a los dasómetras y gestores forestales a utilizar procedimientos de estimación de volúmenes a partir de imágenes de teledetección, en especial de fotografías aéreas. Varias características de los bosques y de los árboles se pueden medir sobre fotografías aéreas de escala y calidad adecuadas, habiéndose utilizado desde hace muchos años la fotografía aérea para la estimación directa de volúmenes.

El procedimiento general para la estimación del volumen de un árbol o de un rodal es el establecimiento de un modelo matemático, mediante el cual se pueden medir o estimar directamente las variables independientes a partir de fotografías aéreas. Estos componentes del volumen de la fotografía se relacionan con el volumen medido en el terreno, mediante técnicas de regresión.

Mediciones de alturas

Entre los parámetros utilizados, se ha demostrado que la altura del árbol es la variable más estrechamente relacionada con el volumen. El método del paralaje, utilizando aparatos sencillos, como la cuña o la barra de paralaje, es el que se aplica más corrientemente. La precisión de las alturas se ha comprobado en varios estudios y se sabe que depende en gran medida de la altura de vuelo y del tipo de cámara. Se pueden obtener excelentes resultados con imágenes de escala muy grande pero se pueden lograr también estimaciones de altura bastante aceptables con escalas medias (1:10.000-1:20.000). La fórmula siguiente se utiliza para la determinación de alturas:

$$h = \frac{D_p \cdot H}{b + D_p}$$

donde:

$$\begin{aligned} h &= \text{altura del árbol o de la masa} \\ H &= \text{altura del vuelo sobre el terreno} \end{aligned}$$

D_p = diferencia de paralaje entre el extremo superior y el pie del árbol
 b = base aérea media de la foto.

A fin de aumentar la precisión de la altura de vuelo y, en consecuencia, de las mediciones de las alturas de los árboles y de la escala de la foto, se han desarrollado instrumentos eficaces y prácticos. Un ejemplo es el altímetro de radar que penetra a través del follaje. Se puede acoplar a los sistemas fotográficos a bordo de un avión ligero, para obtener una distancia segura desde el avión al terreno. Esta información falta en la mayoría de los casos cuando se emplea un avión ligero para el recubrimiento fotográfico con sistemas de cámara pequeña.

Mediciones de las copas de los árboles

La anchura de las copas de los árboles, el grado de espesura de copas y la superficie de copas, son otros parámetros que se introducen también en los cálculos de las ecuaciones de volúmenes. Se miden directamente sobre las fotografías aéreas por medio de aparatos sencillos. Mientras que la superficie y la anchura de copas se determinan para las ecuaciones simples de volúmenes de árboles, la espesura de copas, que mide el porcentaje de la cubierta, se utiliza para la determinación de la ecuación de volumen en pie. Las escalas de densidad de copas se construyen con puntos negros sobre fondo blanco o viceversa. La densidad de puntos representa las distintas gamas de densidad de copas. La densidad de copas se determina comparando el patrón de escala y la densidad de la foto, en las parcelas.

Densidad de masa

En algunas situaciones, la densidad de la masa ha demostrado ser un parámetro interesante a combinar con la espesura de las copas, para la determinación del volumen. Sin embargo, el conteo de los árboles se hace tanto más impreciso cuanto menor es la escala de la foto, especialmente en masas jóvenes.

Estimación de volúmenes

Se han realizado numerosos estudios para establecer la relación entre los parámetros anteriores y el volumen real en el terreno, para distintas especies arbóreas y tipos forestales de bosques de tierra firme y de sabana. Sin embargo, en las zonas de manglar se han realizado sólo unos pocos estudios de este tipo. Khan, Choudhury e Islam (1990) informan sobre los intentos realizados para estudiar la posibilidad de calcular el volumen en pie en los Sundarbans, utilizando variables que se pueden medir sobre fotografías aéreas. Se resolvieron catorce ecuaciones de volúmenes en pie utilizando variables combinadas de las fotos y del terreno como variables independientes. Se calculó el error estandar y el coeficiente de correlación y se comprobaron las ecuaciones contrastándolas con el volumen correspondiente, calculado a partir de datos del terreno. Mientras que el uso del área basimétrica, como variable independiente, dio los mejores resultados y el error estandar del cálculo fue del 16% cuando se empleaban variables de la foto y del terreno, se encontró que cuatro ecuaciones diferentes, utilizando sólo variables que pueden obtenerse de las fotos aéreas (número de árboles/ha., porcentaje de cubierta de copas y altura media del rodal) daban un error estandar del cálculo, del orden del 18 al 19% con coeficientes de correlación de 0,887-0,898. Sin embargo, hay que señalar que en los experimentos anteriores las variables de las fotos se obtuvieron en realidad a partir de un estudio de campo y, por ello, los resultados sólo dan una indicación de las posibilidades de utilizar mediciones tomadas directamente sobre fotografías aéreas de escala apropiada (1:10.000 ó 1:5.000 para la estimación de volúmenes de

madera).

Los mismos autores informan también sobre los intentos realizados para estimar el volumen en pie empleando datos Landsat, pero ninguna de las primeras ecuaciones dieron resultados satisfactorios.

7.1.2. Estimación de volúmenes con muestreo de campo limitado

Empleando este método, se toman en el campo mediciones de diámetros y alturas de los árboles en unas pocas parcelas de muestreo representativas de los tipos forestales (u otras unidades de clasificación). Con la ayuda de tablas de volúmenes establecidas previamente se calcula el volumen de cada parcela y el volumen medio de cada uno de los tipos forestales o unidades de clasificación, se multiplica seguidamente por la superficie total de cada tipo y se suman para obtener una estimación del volumen total de madera disponible. Para más detalles, se recomienda la Sección 7.2. de este capítulo.

La intensidad de muestreo suele ser muy baja y las unidades de muestreo no se distribuyen ni al azar ni de forma regular por toda la superficie, sino que con frecuencia se sitúan en grupos en áreas fácilmente accesibles. En consecuencia, las tablas de volúmenes empleadas, no se verifican ni se revisan para reflejar las condiciones locales.

Por lo tanto, la estimación obtenida no es muy precisa, siendo imposible determinar el error de los resultados. Sin embargo, como se dispone de muy poca información sobre los recursos de manglar, este método es valioso para obtener una primera indicación de la extensión de los recursos a escala nacional o regional.

7.2. INVENTARIOS FORESTALES DE MANGLARES

Los inventarios forestales tienen por objeto obtener estimaciones más detalladas y precisas, sobre todo de los volúmenes de madera en pie. Proporcionan una información valiosa, necesaria para la preparación de planes de ordenación forestal y para la preparación y ejecución de planes operativos, como los planes de aprovechamiento maderero, en los que generalmente se necesita un conocimiento muy detallado sobre la cantidad y calidad de madera disponible y una estimación exacta de la dimensión del área donde van a tener lugar las operaciones de aprovechamiento maderero.

Esta información requiere generalmente un inventario intensivo, en su mayor parte de campo, pero los mapas y las fotografías aéreas son auxiliares valiosos para la preparación del inventario, en la localización de los tramos y subtramos afectados por el mismo.

7.2.1. Diseños de muestreo

En los bosques tropicales, se suelen aplicar técnicas de muestreo en fajas y en parcelas alineadas. En las secciones que siguen se hace una breve exposición sobre su aplicación en los manglares. En el Apéndice 4 se describen otros diseños de muestreo.

Las líneas de muestreo orientadas perpendicularmente a los cursos de agua, se prestan con frecuencia para una buena captura de datos, debido a la tendencia natural de los manglares a presentar zonificaciones paralelas a los cursos de agua. El difícil ambiente de trabajo y la falta general de señales en el terreno, favorecen también los sistemas de muestreo sistemático en líneas.

Muestreo en fajas

Este diseño de muestreo consiste en el trazado de fajas continuas de anchura uniforme, dispuestas a través de la pendiente topográfica y de la configuración del drenaje, con el fin de abarcar la mayoría de las condiciones de la masa. Las fajas se pueden elegir al azar pero, en la práctica, generalmente se emplean fajas espaciadas regularmente. La **Figura 7.1.** contiene un ejemplo de trazado en fajas.

Las fajas de muestreo se sitúan normalmente a una distancia entre 500 y 1.000 m. y tienen una anchura de 10 a 20 m., dependiendo de la intensidad de muestreo.

En la práctica, el muestreo en fajas plantea dificultades en el campo, donde con frecuencia hay sotobosque denso y árboles caídos por el viento. En las áreas de manglar éste es un problema más agudo todavía porque el avance en el campo se ve impedido con frecuencia por el terreno enfangado y por la densidad de las raíces de sostén, y la dificultad consiguiente para mantener la anchura constante de la faja, se traduce en errores considerables.

Además, para una misma intensidad de muestreo, el número de unidades de muestreo, utilizando el método de fajas, es relativamente pequeño en comparación con el método de muestreo de parcelas alineadas, que desde el punto de vista estadístico es bastante desacertado. Otro inconveniente del muestreo en fajas es la gran longitud del perímetro en relación con la superficie, lo que se traduce en la frecuente presencia de árboles de borde.

Cuando se emplea el muestreo en fajas, las observaciones de campo se pueden registrar utilizando una contabilidad acumulada para todas las fajas o una contabilidad independiente por fajas o incluso dentro de ellas. Los datos se registran por segmentos independientes que son entonces las unidades de muestreo.

Las fajas pueden ser de longitudes iguales o diferentes. Cuando son diferentes, hay que emplear sistemas de regresión o de estimadores de razón para calcular el volumen medio y el error estandar de la media. Esta disposición sigue siendo válida para el caso de fajas divididas en segmentos, que a su vez pueden ser diferentes de tamaño, especialmente en los extremos de las fajas.

Un ejemplo de muestreo en fajas se presenta en el **Estudio del Caso 2.**

Muestreo en parcelas alineadas

En el muestreo en parcelas alineadas, se sitúan en todo el área de estudio una serie de parcelas de campo, generalmente del mismo tamaño. Por razones prácticas, en la mayoría de los inventarios, cuando se emplea esta técnica, se utiliza una distribución sistemática de las parcelas (véase la **Figura 7.2.**), a pesar de la dificultad estadística correspondiente al cálculo de la varianza de la estimación.

Para una determinada intensidad de muestreo, se pueden diseñar diferentes esquemas de trazado, dependiendo del tamaño de la muestra, de la distancia entre parcelas en línea, y de la distancia entre líneas. En Tailandia, por ejemplo, el sistema adoptado consiste en líneas separadas 100 m. con parcelas circulares de 5,64 m. de radio (100 m^2) a distancias de 100 m. dentro de la línea. Este esquema da una intensidad de muestreo del 1%.

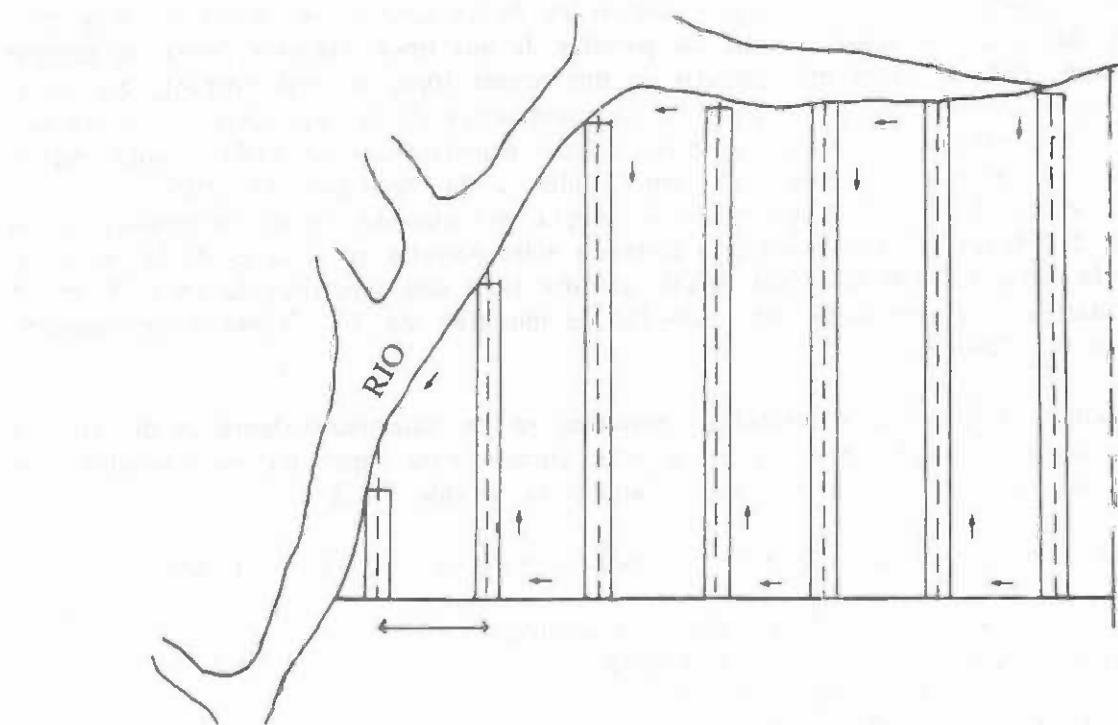


Figura 7.1.: Ejemplo de trazado sistemático en fajas

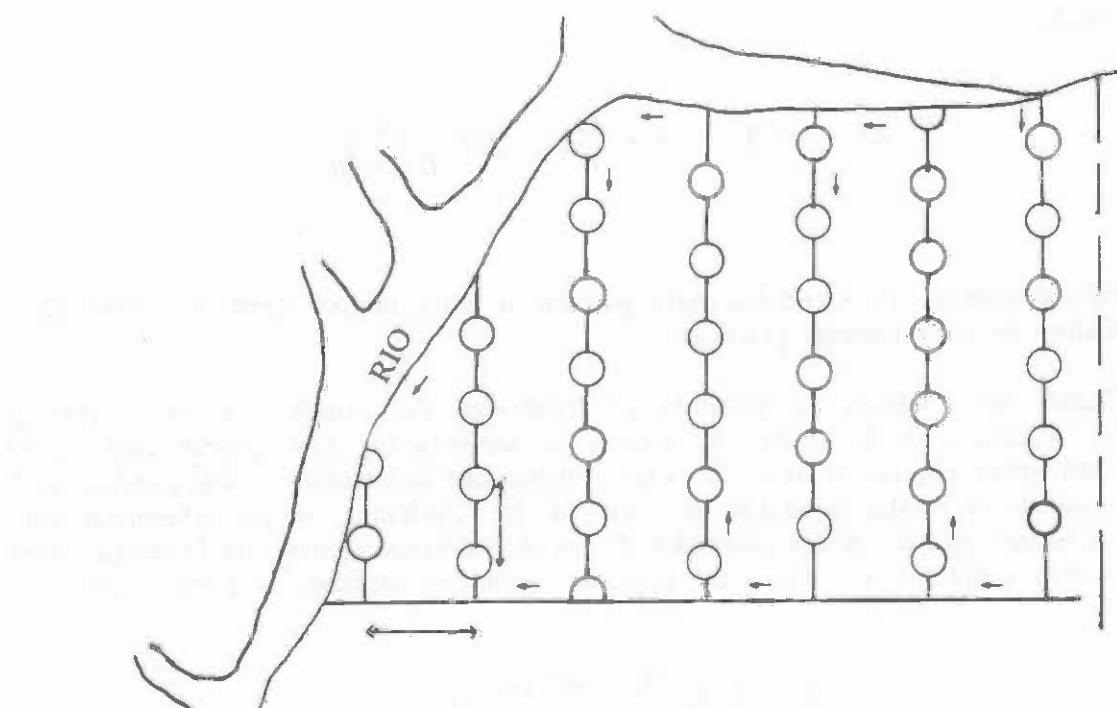


Figura 7.2.: Ejemplo de trazado en parcelas alineadas

Sin embargo, es más normal una distribución de las parcelas en que la distancia entre líneas es mayor que la distancia entre las parcelas de una línea. De esta forma, se utilizan menos líneas, pero al haber más parcelas en una misma línea, es más probable que en la muestra estén representadas la mayoría de las condiciones de la vegetación y del bosque. Debido a la distribución zonal de la vegetación del manglar, esto se suele cumplir cuando las líneas se orientan en dirección perpendicular a la pendiente topográfica y a la configuración del drenaje. Esta disposición se adopta, por ejemplo, en los inventarios de los manglares de Matang, Malasia, donde la distancia entre parcelas en línea es de 20 m. y las líneas están separadas 100 m. Cada parcela circular tiene una superficie de unos 79 m² (5 m. de radio) lo que representa una intensidad de muestreo del 4%. Véase a este respecto el Estudio del Caso 4.

Cuando se elige la intensidad de muestreo en un muestreo sistemático de parcelas alineadas, puede ser conveniente realizar algunos ensayos para determinar la variabilidad de los parámetros de la masa forestal. Véase también la Sección 7.2.2.

Un diseño de parcelas alineadas se puede elaborar de la forma siguiente:

Sea A la superficie total que abarca el inventario,
 Ap el área forestal que se mide realmente,
 a la superficie de la unidad de muestreo,
 n el número de unidades de muestreo,
 f la intensidad de muestreo,
 Dl la distancia entre líneas,
 Dp la distancia entre parcelas en línea,

en este caso,

$$Ap = f * A; \quad n = \frac{Ap}{a}; \quad f = \frac{a}{Dl * Dp}$$

Para determinar los intervalos entre parcelas o entre líneas, habrá que elegir Dl o Dp, basándose en conveniencias prácticas.

Cuando las unidades de muestreo se distribuyen de acuerdo con un sistema de cuadrícula, el cálculo de la media, del total y su varianza se suele realizar como si las unidades estuvieran elegidas al azar. Se puede obtener una aproximación más ajustada de la varianza real de la media utilizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre parcelas sucesivas, en vez de los cuadrados de las desviaciones a partir de la media, como en el muestreo simple al azar. Esta aproximación se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$S_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^{n_j} \frac{[x_{ij} - x(i+1)_j]^2}{2n \sum_{j=1}^L (n_j - 1)} (1-f)}$$

Donde:

S_x	=	Error estandard de la media
L	=	número de líneas
n_j	=	número de unidades de muestreo en la línea j
n	=	número total de unidades de la muestra
f	=	n/N siendo N el número del total de unidades de muestreo de la población.

Comparado con el método de fajas, el diseño de parcelas alineadas tiene las siguientes ventajas:

- * No es necesaria la delimitación de las fajas, por lo que el avance en el bosque es más fácil y menos engoroso.
- * La distribución uniforme de las parcelas por toda la superficie proporciona unos datos más precisos, especialmente en zonas de manglar cuyas condiciones forestales varían desde zonas de inundación profunda hasta terrenos secos.

7.2.2. Intensidad del muestreo

Cuando se va a realizar un inventario por muestreo, hay que definir la intensidad de muestreo. Esta es función, entre otras variables, de la extensión del bosque y su accesibilidad, del diseño de muestreo elegido, de los fondos disponibles y de la precisión requerida. Las técnicas de enumeración y la intensidad de muestreo variarán, dependiendo de:

- a) que se programe una evaluación general de recursos, cuyos resultados pueden necesitarse para grandes unidades administrativas, o
- b) que los resultados del inventario se vayan a utilizar para una ordenación intensiva, para la venta y explotación de madera, lo que requiere una información bastante precisa sobre unidades o rodales de pequeña superficie.

En general, hay que llegar a un compromiso entre el costo de la operación y la precisión de los resultados. Como es lógico, la solución óptima es lograr una gran precisión con el mínimo costo, pero además de todas estas consideraciones teóricas, la viabilidad y los aspectos prácticos son factores importantes.

En el caso de un muestreo simple al azar, con una precisión especificada, el número de unidades de muestreo n viene dado por la fórmula general:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2 + \frac{t^2 S^2}{N}}$$

Donde:

t ≈ significa el valor del la t de Student, correspondiente a un nivel de

	=	probabilidad ($1-\alpha$)
s ²	=	estimación de la varianza de la población
n	=	número total de unidades de toda la población
E	=	error máximo admisible de la estimación.

La fórmula anterior puede adoptar otras formas, pudiendo simplificarse cuando N es grande (población infinita) del modo siguiente:

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

Se puede fijar también el costo del inventario, debiendo ejecutarlo dentro de una asignación limitada de fondos. Considerando que el costo total C es:

$$C = C_0 + nC_1$$

Donde C₀ son los costos generales y C₁ es el costo de la enumeración de una unidad de muestreo. El número de unidades de muestreo se puede calcular de la forma siguiente:

$$n = \frac{C - C_0}{C_1}$$

En tal caso, la precisión de la estimación se calcula de acuerdo con los recursos disponibles.

Cuando los manglares se caracterizan por masas relativamente homogéneas y las especies son de valor económico moderado, suele considerarse suficiente una densidad de muestreo próxima al 2%.

7.2.3. Forma y tamaño de la unidad de muestreo

El efecto de la dimensión y forma de las parcelas sobre la varianza de las estimaciones, ha sido objeto de numerosos estudios. Con respecto a la forma de las parcelas, el factor principal que influye en su elección debe ser la longitud del perímetro y la facilidad de establecimiento de las parcelas. Las parcelas circulares son teóricamente más eficaces porque tienen la máxima relación superficie/perímetro, reduciéndose por lo tanto al mínimo la existencia de árboles de borde. También se reduce al mínimo, en el caso de parcelas circulares, el tiempo de desplazamiento durante la medición de las mismas.

Sin embargo, aunque algunos autores recomiendan el uso de parcelas circulares, otros han demostrado que las parcelas largas y estrechas pueden ser eficaces, siguiendo la pendiente del terreno o el gradiente de fertilidad. En la práctica, las parcelas circulares suelen ser satisfactorias y se utilizan mucho en inventarios forestales, pero para fines de investigación, como las parcelas permanentes empleadas en inventarios forestales continuos, las de forma

cuadrada o rectangular pueden ser más apropiadas porque son más fáciles de señalar y replantar con precisión.

El tamaño de la unidad de muestreo es otro tema a determinar antes de comenzar el estudio. Teóricamente, como la precisión de las estimaciones depende del número de unidades para la misma intensidad de muestreo- las unidades de pequeña superficie son más eficaces que las unidades de gran superficie. A la inversa, varios estudios han demostrado que, en cierta medida, las unidades de gran dimensión llevan consigo un pequeño coeficiente de variación, que es la variable principal que afecta al tamaño de la muestra.

Con respecto a las áreas de manglar, se suelen adoptar parcelas pequeñas. Esto se debe a que las masas de manglar suelen ser muy homogéneas. También, al utilizar parcelas pequeñas, es pequeña la probabilidad de que haya más de un tipo forestal en la parcela.

En los manglares, esto tiene una especial importancia porque, además de la posibilidad de introducir una desviación, el procedimiento de trasladar la parcela para incluirla enteramente en un estrato, por ejemplo, puede llegar a ser más laborioso en el terreno que el enumerar todas las partes de la parcela que caen en estratos diferentes.

En cualquier caso, puede ser necesario, en las condiciones específicas de los manglares y de la situación local, el determinar el tamaño de la unidad de muestreo basándose en ensayos preliminares utilizando varios tipos de unidades de muestreo, y eligiendo el tamaño más adecuado en base a la precisión máxima, al costo y a la conveniencia práctica, teniendo presente que el tamaño óptimo de las unidades de muestreo es una superficie que contenga como promedio de 10 a 25 árboles a medir.

En masas de manglar naturales o maduras, pueden necesitarse tamaños mayores de parcelas. Véase la discusión en el Estudio del Caso 4.

7.2.4. Inventario forestal continuo (IFC)

La tendencia real de los inventarios forestales para fines de ordenación, es utilizar información basada en datos procedentes de parcelas permanentes. Puede ser también conveniente considerar la combinación de unidades de muestreo permanentes en el campo y en la fotografía aérea. Este sistema es un método eficaz para evaluar los cambios producidos (Schmid-Haas, 1980).

El uso de información basada en parcelas permanentes, para las decisiones en materia de ordenación, requiere que su elección y establecimiento sean prudentes. Estas parcelas deben ser representativas de las diversas condiciones forestales, y estar sujetas a los mismos tratamientos selvícolas que la parte del bosque no muestreada.

Para cumplir el requisito de establecimiento, la fotografía aérea es una ayuda inestimable para su localización y también para su replanteamiento periódico. Hay que destacar que se debe hacer una descripción precisa de las estaciones, utilizando mediciones de orientación y distancia, detalles topográficos y señales del terreno.

Para conseguir que las parcelas permanentes estén sujetas a tratamientos similares que las restantes partes de la masa donde están situadas, se recomienda utilizar señales disimuladas. En vez de poner, por ejemplo, etiquetas en determinados árboles de la parcela, se puede hacer un plano con la situación de los troncos, en una hoja con el croquis de la parcela, con

sus coordenadas y números.

Como los datos recogidos de las parcelas permanentes se van a utilizar para la determinación de la posibilidad y el crecimiento y en la evaluación de los cambios con el tiempo, debe tenerse cuidado durante la enumeración de campo para conseguir cierta coherencia en lo referente a las mediciones de las características de los árboles.

La información de la parcela que puede registrarse en cada unidad de muestreo, incluye los siguientes temas:

DATOS DE LA PARCELA	DATOS DE LOS ARBOLES
Fecha de la medición	Número de árbol
Número de la parcela y localización	Especie
Tipo de bosque	Diámetro (DAP y otros)
Tamaño y estado de la masa	Altura total
Densidad (clase)	Forma y calidad
Tipo de suelo	Vigor
Clase de inundación	
Vegetación del sotobosque	

7.3. DASOMETRIA DE LOS MANGLARES

7.3.1. Mediciones de las características de los árboles

Como en los demás inventarios forestales, el diámetro y la altura son las principales variables a medir. Los principios de estas mediciones y sus relaciones con el volumen se analizan en muchos libros sobre inventarios. A continuación se trata, sin embargo, de presentar algunos aspectos prácticos que conciernen a estas mediciones en las condiciones particulares del manglar.

Diámetro (DAP)

El diámetro se puede medir con una forcípula o una cinta. El problema del error de medición del DAP, ocasionado por la excentricidad o la forma ovalada a la altura del pecho, tiene importancia secundaria en la mayoría de las especies del manglar, cuyos troncos tienen forma relativamente normal, por lo que se suele utilizar una cinta como lo menos engoroso. En las condiciones de fuerte humedad y aire salino de los manglares, las cintas de fibra de vidrio son preferibles a las cintas de acero.

Más importante que la elección del instrumento de medición, es el nivel en el que deben tomarse las mediciones, siendo aplicables las normas generales empleadas en otras formaciones forestales. Pueden ser necesarias algunas modificaciones de acuerdo con las condiciones locales y las conveniencias prácticas. Sin embargo, hay una excepción importante que se refiere a los árboles de manglar con raíces de sostén, como la *Rhizophora sp.* cuyas mediciones de diámetros deben hacerse a 30 cm. por encima de la raíz más alta, lo que se traduce en una deformación del tronco (FAO, 1981). Esto puede representar en algunos casos hasta 4 a 6 m. sobre el nivel del terreno.

En cuanto a las anomalías del diámetro que pueden encontrarse en el punto de medición, como bifurcaciones, protuberancias u otras formas anormales, se pueden aplicar los sistemas de medición convencionales.

Altura

La altura se suele medir con un clinómetro. En los manglares pueden ser preferibles los instrumentos que no requieren mediciones de distancias. Un instrumento barato y manual de este tipo es el hipsómetro de Christen. Un anteojos de alcance óptico puede ser conveniente también para una evaluación rápida de alturas. Sin embargo, el observador debe colocarse directamente bajo el árbol a medir, a fin de evitar una estimación excesiva de la altura del árbol.

En masas bajas, las mediciones de altura se pueden obtener con un jalón telescopico. También se puede emplear una pértiga de madera o bambú que lleve una escala graduada.

Debido a la importancia de las funciones de la altura y el diámetro para obtener información sobre las condiciones estructurales de las masas, se han realizado algunos estudios en manglares habiéndose creado varios modelos (véase Sandrasegaran, 1971).

Corteza

La corteza de algunas especies de manglar es valiosa comercialmente. Hay que hacer por ello, mediciones de la corteza para evaluar la producción. Para la estimación de la madera de construcción, la transformación de madera con corteza en madera sin corteza (madera comercial), requiere el conocimiento del volumen de corteza o su proporción. La medición del espesor de corteza se hace por medio de un calibrador de corteza o simplemente con una regla, después de haber quitado la corteza en una superficie reducida del tronco.

7.3.2. Determinación del volumen

En árboles en pie, el volumen se suele determinar indirectamente mediante tablas de volumen o funciones de volumen. El volumen se expresa generalmente en función del diámetro normal (DAP) o de la circunferencia, combinado a veces con la altura. En la mayoría de los manglares en que se establecieron hace años funciones o tablas de volumen, los datos no fueron siempre adecuados. Sin embargo, en inventarios forestales más recientes, se han determinado ecuaciones, basadas en observaciones suficientes, para algunas áreas y especies (véase por ejemplo Boonyobhas, 1986, y ODA, 1985 y los ejemplos que se dan en el Apéndice 5).

Las tablas de volúmenes suelen ser monoespecíficas pero, en los bosques tropicales de especies mezcladas que tienen la misma utilización y que crecen en las mismas condiciones, pueden desarrollarse ecuaciones de volumen para masas mezcladas. Es importante señalar que en los manglares de masas relativamente homogéneas, puede ser conveniente considerar unas funciones de volumen simplificadas, basadas en el árbol medio. Las existencias totales se pueden determinar multiplicando el volumen del árbol medio (árbol con la superficie basimétrica media) por el número de pies existentes por unidad de superficie.

La determinación del volumen de árboles cortados incluye la aplicación de fórmulas universales aplicadas a las trozas (conocidas como fórmulas de Huber, Smalian y Newton). Se remite al lector al Estudio del Caso 5 donde se describen los pasos que incluye la elaboración

de una tabla local de volúmenes para la *Rhizophora racemosa*.

Determinación del volumen de corteza

La estimación de volúmenes incluye con frecuencia la corteza, que en algunos casos es un producto valioso de por sí por lo que se deben hacer mediciones para evaluar el volumen o el peso de la corteza, y revisar en consecuencia las estimaciones de volúmenes.

El Cuadro 7.1. presenta un análisis del volumen de corteza de *Rhizophora mangle* y *R. harrisonii*, cortados por entresaca y medidos en Playa Garza, Costa Rica (Chong, 1988).

Cuadro 7.1.: Porcentaje del volumen total de corteza de árboles de *Rhizophora mangle/R. harrisonii* de diferentes clases diamétricas

DIAMETRO a.p. (cm.)	10	15	20	25	30	35	40	45
Volumen total (con corteza)	0,0550	0,1460	0,2917	0,4989	0,7734	1,1204	1,5447	2,0504
Volumen total (sin corteza)	0,0425	0,1169	0,2393	0,4173	0,6571	0,9647	1,3454	1,8041
Porcentaje del volumen de corteza %	0,0125 22,7	0,0291 20,0	0,0523 18,0	0,0816 16,4	0,1162 15,0	0,1557 13,9	0,1992 12,9	0,2462 12,0

Se puede emplear también el método del factor de corteza (método de Meyer) para determinar el volumen de corteza. En el Recuadro 7.1. se presenta un ejemplo).

7.3.3. Determinación del crecimiento

Se han realizado intentos en varios países para determinar el crecimiento del diámetro normal (DAP), de la altura y del volumen de especies del manglar. Sin embargo, en los manglares las cifras sobre producciones y crecimientos se han basado hasta ahora, en la mayoría de los casos, en datos escasos y fragmentarios.

Aunque se han realizado recientemente, en países con una estación seca anual marcada, algunos intentos de medir el crecimiento en diámetro de los manglares, mediante el estudio de los anillos de crecimiento, la evaluación del crecimiento de los árboles del manglar se puede determinar mejor a partir de parcelas permanentes, por medio de mediciones periódicas de árboles y masas, siendo por lo tanto una tarea lenta y difícil la determinación del crecimiento. No obstante, los datos sobre crecimientos son fundamentales para la planificación de la ordenación forestal, la determinación del potencial productivo del bosque y el establecimiento del mejor sistema selvícola a aplicar.

7.4. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

La presentación de los resultados de la evaluación de recursos se suele hacer en forma de un cuadro sencillo que presenta: el tamaño de la superficie cubierta por cada uno de los distintos tipos forestales (correspondientes al mapa de tipos forestales elaborado anteriormente), la estimación del volumen medio en pie por hectárea (de cada tipo) y el volumen total de la superficie forestal en cuestión.

Los resultados de los inventarios forestales son más detallados y con frecuencia se refieren a una superficie menor, como una comarca forestal. Se suele disponer de un mapa

de tramos y algunos de los resultados del inventario se pueden incorporar al registro de tramos. Sin embargo, con frecuencia se utilizan tablas independientes e histogramas para presentar la mayor parte de la información obtenida.

Para cada una de las principales especies o tipos forestales se calcula la superficie de cada clase de edad (o clase diamétrica, cuando la edad es desconocida) y los resultados se presentan en forma tabular o se ilustran en un histograma. Cuanto más homogénea es la distribución, más próximo está el bosque al "bosque normal" y más fácil es mantener una producción constante en el tiempo, garantizándose así una ordenación forestal sostenible (Véase el Capítulo 9 para más información sobre el concepto de bosque normal).

En la reserva de Terraba-Sierpe de Costa Rica, se cortaron y midieron 27 árboles de *Rhizophora harrisonii* a fin de establecer la relación entre los diámetros con corteza (d_o) y sin corteza (d_u) a la altura del pecho. El dibujo de d_u en función de d_o dio una relación lineal, con una intersección del eje de las y's próxima al origen. La ecuación correspondiente para esta correlación puede escribirse por consiguiente bajo la forma general $d_u = kd_o$, donde k es el coeficiente de regresión o factor de corteza. Como el coeficiente de regresión k (0,936) se obtuvo a partir de mediciones de diámetros tomados a la altura del pecho, se le denomina factor de corteza del fuste inferior.

Dado un valor medio de k , el volumen de corteza (V_b) para cualquier sección del tronco se puede obtener utilizando la relación siguiente:

$$\text{Volumen de corteza } (V_b) = \text{Volumen con corteza } (V_o) - \text{Volumen sin corteza } (V_u)$$

Dados:

- | | | |
|----------|---|---|
| d_{mo} | = | diámetro con corteza en la sección media; |
| d_{mu} | = | diámetro sin corteza en la sección media; |
| L | = | longitud de la sección; |
| V_o | = | volumen con corteza. |

$$V^o = \frac{\pi(d_{mo})^2}{4} L \quad y \quad V_u = \frac{\pi(d_{mu})^2}{4} L \quad (A)$$

Siendo:

$$d_{mu} = Kd_{mo}, \text{ por lo tanto}$$

$$V_u = \frac{\pi(Kd_{mo})^2}{4} L = k^2 V_o \quad (B)$$

Sustituyendo:

$$V_b = V_o - V_u = V_o - k^2(V_o)$$

Por lo tanto

(C)

$$\text{Volumen de corteza } V_b(\%) = \frac{V_o(1-k^2)}{V_o} 100 = (1-k^2) 100$$

En la práctica, V_b , obtenido mediante la ecuación (C), será mayor que el "volumen apilado" real porque las mediciones del diámetro con corteza, realizadas normalmente con cintas diamétricas, incluyen los espacios de aire situados entre los salientes de la corteza, mientras que el volumen apilado es menor debido a la compresión de la corteza. El volumen apilado para trozos sin pelar, será menor que el calculado en la ecuación (C) pudiéndose incluir un factor de corrección en la ecuación C, como por ejemplo:

$$V_b = 0,8 V_o (1 - k^2) \quad (D)$$

donde se ha empleado un factor de corrección de 0,8.

Recuadro 7.1.: Determinación del volumen de corteza

También se elaboraron tablas de existencias para cada especie principal y tipo de bosque, que presentan el volumen en pie para cada clase de edad o diámetro.

En el Cuadro 7.2. se presenta un ejemplo de tabla de existencias de *Rhizophora harrisonii/R.mangle* y *Pelliciera rhizophorae*, basada en un inventario de 63 parcelas en Playa Garza, Costa Rica. Obsérvese, sin embargo, que esta tabla presenta el número de árboles/ha. para cada clase diamétrica, en lugar del volumen de existencias/ha.

Cuadro 7.2.: Tabla de existencias de *Rhizophoras/Pelliciera rhizophorae*

CLASES DIAMETRICAS (cm.)	1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAL POR HECTARE A
	10 < 15	15 < 20	20 < 25	25 < 30	30 < 35	35 < 40	40 < 45	> 45	
<i>Rhizophora</i>	121	88	73	34	18	15	4	1	354
<i>Pelliciera</i>	176	117	77	25	8	6	3	0	412
TOTAL	297	205	150	59	26	21	7	1	769

Fuente: Chong (1988a)

En la Figura 7.3. se presenta un ejemplo de cuadro de existencias para un "bosque normal". Se supone un incremento anual uniforme.

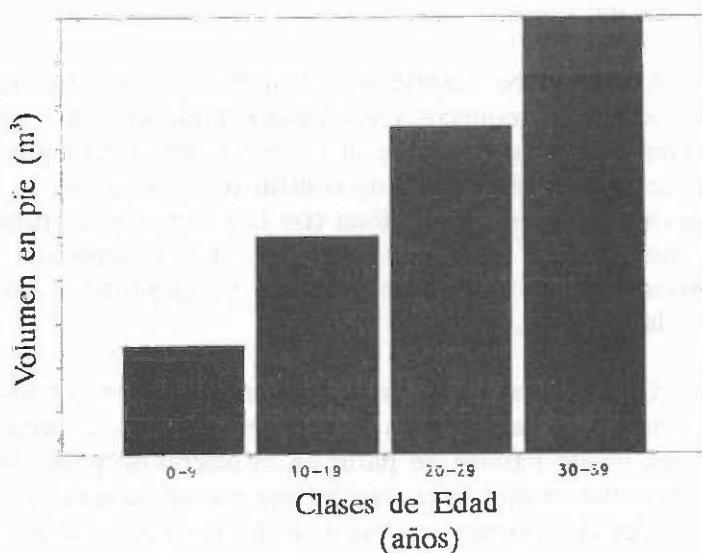


Figura 7.3.: Ejemplo de tabla de existencias para un "bosque normal"

Las tablas locales de volúmenes pueden presentarse, ya sea en forma tabular con una o dos entradas, o expresarse como una regresión del volumen y presentarse gráficamente. Se presentan ejemplos en el Estudio del Caso 5 y en el Apéndice A5.

PARTE IV. ORDENACION SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS

Esta parte se centra en la aplicación de conocimientos biológicos, de gestión, técnicos, económicos y sociales, y de recursos de mano de obra, para ordenar el uso de los recursos del manglar, de tal forma que se obtengan beneficios sostenibles para el mayor número de personas, sin deteriorar el medio ambiente.

8. PRINCIPIOS Y POLITICAS DE PLANIFICACION DE LOS RECURSOS NATURALES

8.1. PLANIFICACION PARA LA ORDENACION DEL USO MULTIPLE

La planificación integrada de la ordenación presupone que se obtienen los máximos beneficios sociales cuando se ordenan los bosques para un conjunto de bienes y servicios, sobre una base sostenible.

Se analizan los usos potenciales, madereros y no madereros, y sus consecuencias económicas sostenibles. Se formula una estrategia de uso múltiple que armoniza los usos posibles. Al contrario que en los sistemas tradicionales de planificación, no se hace hincapié excesivo en la producción de madera, a costa de los componentes no madereros del ecosistema. En ningún caso es más obligada la necesidad de conseguir el equilibrio entre los diferentes usos, que en los manglares, donde la mayoría de las veces las oportunidades no madereras pueden ser económica y socialmente más importantes. Es necesaria, por tanto, la planificación para lograr la combinación deseada de usos forestales, en el espacio y en el tiempo, de tal modo que se puedan utilizar y sostener de forma óptima los diversos componentes productivos del sistema forestal, con el fin de cumplir los objetivos pretendidos.

La ordenación forestal debe basarse teóricamente, en un conocimiento completo de todos los parámetros sociales, económicos y ecológicos implicados. Sin embargo, el que sean incompletos los conocimientos actuales sobre el funcionamiento ecológico y las interacciones biológicas de algunos recursos no madereros, no constituye un impedimento para su ordenación sostenible. La ordenación forestal se perfecciona con la práctica y sus fundamentos científicos se fortalecen mediante ensayos y experimentación. La ordenación se puede realizar empíricamente basándose en un inventario limitado y apoyándose en la experiencia, el razonamiento lógico y la intuición.

Una cuestión fundamental a largo plazo consiste en encontrar la forma de compatibilizar unas actividades ambientales saludables con las expectativas de desarrollo económico. La respuesta puede basarse en parte en el diseño de políticas que favorezcan un modelo de desarrollo económico que haga uso de una mayor variedad y de una combinación integrada de oportunidades de recursos, en lugar de hacer una explotación excesiva para un solo uso. Este sistema diversificado, y menos intensivo respecto a un solo recurso, es un aspecto de la planificación integrada para el uso múltiple.

La planificación de la ordenación de manglares debe ser parte, por lo tanto, de un Programa de Ordenación Integrada de Areas Costeras (OIAC). La OIAC asegura el uso sostenible de los bienes y servicios económicos generados por los ecosistemas costeros para cumplir los objetivos de desarrollo y preservar el medio ambiente, la calidad de los recursos y la integridad ecológica de las áreas costeras.

Desde un punto de vista práctico, como los usos no madereros suelen ser manejados por organismos no forestales, se deduce la necesidad de coordinar y establecer vínculos entre los correspondientes usos de las tierras y los organismos y usuarios interesados. Muchos usos distintos de un área de manglar (como la producción de madera, la apicultura, la protección costera y la pesca de captura en pequeña escala) son plenamente compatibles y se pueden realizar simultáneamente. Otros (como la acuicultura en gran escala, la protección de los hábitats de la fauna silvestre y las operaciones forestales intensivas) son menos compatibles, por lo que puede ser necesaria una zonificación del área, según usos prioritarios.

Aunque se defiende con fuerza la ordenación integrada de los manglares, la atención de este documento se centra en los aspectos de la ordenación forestal, debiendo acudir a otras fuentes de información sobre la ordenación de otros recursos del manglar como la pesca y la fauna silvestre.

8.2. OFERTA Y DEMANDA

Aunque es fundamental ordenar los recursos del manglar sobre una base sostenible, un método puramente biológico para la ordenación de los recursos suele ser inaceptable, porque las necesidades de la sociedad pueden ser totalmente distintas y con frecuencia no se ajustan a la capacidad del territorio para atender dichas necesidades. Por ejemplo, en el Sur de Vietnam fue necesario destinar algunos manglares importantes a la cría de camarón, porque la población local no podía sobrevivir sólo con las actividades forestales. En otras zonas menos pobladas, los bosques pueden producir más de lo que necesitan las comunidades locales y los costos de transporte pueden hacer prohibitiva la exportación de madera a otras zonas.

Por lo tanto, para formular unos planes apropiados de utilización forestal hay que determinar en primer término las demandas de la población en cuanto a bienes y servicios. La demanda puede ser local o regional. En un sentido económico la demanda se mide por el costo, calidad y localización del servicio a proporcionar en relación con otras ofertas alternativas y sustitutivas. Como los beneficios forestales no son infinitos, la utilización del recurso de una forma será, con frecuencia, a expensas de otros usos alternativos. Por esta razón, hay que considerar también la pérdida de otras oportunidades por el uso de una combinación de recursos.

El próximo paso es analizar en qué medida pueden atenderse estas demandas a partir del área de manglar en cuestión, basándose en la evaluación de los recursos actuales y potenciales.

8.3. PARTICIPACION DE LA POBLACION

"El fallo principal del sistema convencional es que, al planificar, raramente se consulta a la población rural pobre, o se le asigna un papel activo en las actividades de desarrollo. Esto se debe a que los pobres no tienen una organización que represente sus intereses". Por lo tanto, la primera tarea es determinar las necesidades de los beneficiarios directos e indirectos y orientar la planificación a atender al máximo posible las necesidades de los grupos destinatarios. La lección es evidente: si las poblaciones rurales pobres no reciben los medios para participar plenamente en el desarrollo, serán excluidos de sus beneficios.

8.4. MARCO POLITICO

La planificación para la ordenación de uso múltiple es una tarea complicada, porque los problemas hay que contemplarlos desde distintas perspectivas y necesidades. Será necesario relacionar la política a aplicar a nivel regional, comarcal y local para reducir los conflictos de la planificación.

Análogamente, hay que armonizar también las metas a largo y corto plazo, en distintos niveles. En muchas áreas de manglar una parte importante de la producción puede emplearse para atender necesidades del exterior del área forestal. Por ejemplo, los manglares de Ayeyarwady en Myanmar, están muy agotados y degradados debido a la fuerte demanda urbana de carbón vegetal en Yangon, estimada en 700.000 t/año. Hasta hace poco se suministraban, a partir de los manglares, cerca de 500.000 toneladas anuales. En otros casos, los precios de la leña subieron tanto que sobrepasaron el interés de los pobladores locales por comprarla, forzándoles a cortar leña de los montes públicos. Hablando en términos generales, los planes forestales deben ser suficientemente flexibles para acoplarse a los cambios de las condiciones políticas, económicas y ambientales.

Los planes forestales deben ser además parte de un programa de OIAC, que se elabora en un marco multisectorial, y que trata de armonizar las relaciones ambientales, reduciendo al mínimo los efectos derivados de los diversos tipos de desarrollo sectorial, y mediante la reasignación y a veces, disminuyendo el acceso a los recursos naturales.

8.5. PRINCIPIOS DE LA PLANIFICACION

Se utilizan los siguientes principios como orientación de la planificación forestal:

- (a) Los recursos madereros y no madereros se ordenan y utilizan para atender necesidades locales, regionales o nacionales:

La importancia del suministro de un recurso no viene determinada por sus características físicas o biológicas sino por la prioridad que la sociedad asigna a su uso. El desarrollo de políticas nacionales y regionales asignará la importancia necesaria entre los diversos sectores, con un costo apropiado para el nivel total de ingresos deseado. La planificación plasmará las políticas en programas que sean compatibles con las condiciones locales.

- (b) Una evaluación de las necesidades y de la participación pública constituye parte integral del proceso de planificación:

La ordenación de los recursos naturales para atender las necesidades de las poblaciones, implica el conocimiento de lo que necesitan. La población puede sostener opiniones con el tinte de las costumbres locales, de carácter religioso y de otros valores. La participación de la población en el proceso de planificación se utiliza como instrumento para conseguir información sobre los puntos de vista de valores y prioridades de la población.

- (c) Los planes deben estar orientados a los objetivos:

Una vez conocidos los problemas, hay que formular una serie de objetivos para abordar los temas fundamentales. Los objetivos deben contener metas cuantificables que sirvan

para orientar el esfuerzo de la ordenación y medir sus resultados.

- (d) Los planes deben tratar de lograr a largo plazo el máximo de bienes para el mayor número posible de personas:

Hay que ponderar los intereses de las minorías en relación con el bienestar general de la mayoría de la comunidad. En la práctica, es imposible lograr un apoyo total o unánime para todas las decisiones de la planificación.

- (e) Nunca se debe sobrepasar la capacidad ecológica de carga y hay que dar una gran prioridad a la sostenibilidad de los recursos.

Este es un requisito innegociable, si se quiere lograr un desarrollo sostenible. En el temario de la planificación, este requisito debe recibir una gran prioridad.

- (f) Hay que reconocer la necesidad de conservar la biodiversidad y la fauna silvestre

Esto hay que incorporarlo dentro del plan en conformidad con la extensión de la superficie a ordenar. En un área pequeña o muy fragmentada, será imposible reservar grandes extensiones de vegetación inalterada para fines de conservación. En vez de ello, será más viable establecer parcelas de control bien situadas.

- (g) La planificación es un proceso dinámico en marcha:

La planificación debe ser suficientemente flexible para acomodarse a los cambios de la oferta y la demanda y de las prioridades. Como los valores sociales cambian con el tiempo, la planificación es un proceso dinámico en marcha. Hay que prever los cambios con anticipación.

Generalmente cuanto mayor es el área geográfica, mayor es el horizonte de planificación (en el tiempo). Los objetivos de política regional son necesariamente a largo plazo y se basan en tendencias generales que sólo se ven afectadas por grandes cambios. Los Planes de Ordenación de Comarcas Forestales, se basan por otra parte, en objetivos de planificación a medio plazo y se revisan con más frecuencia a medida que aumenta la base de información. Los planes operativos son a corto plazo (véase el Cuadro 8.1.).

- (h) El plan debe proveer medios para mejorar la recogida de datos a fin de reducir las áreas de incertidumbre derivadas de una base de información débil o incompleta:

El objetivo final puede lograrse por fases, teniendo en cuenta la mejora con el tiempo de la base de información y aplicando un sistema conservador cuando se observe que es grande la incertidumbre.

- (i) El proceso de toma de decisiones debe ser visible y justo:

Es necesaria la participación del público en el proceso de toma de decisiones, para fomentar el apoyo local y la aceptación de la planificación para la ordenación forestal integrada. Al igual que el deber del servicio forestal es explicar al público las consecuencias de las diversas decisiones, el mayor valor de la contribución del público será muy probablemente su conocimiento sobre las condiciones y necesidades locales.

A ser posible, deben respetarse los derechos tradicionales. La toma de decisiones no debe dejar al margen los ingresos tradicionales de la población local ni su acceso a un volumen razonable de productos forestales, sin ofrecerles alternativas prácticas y aceptables.

(j) Funciones y responsabilidades de la planificación:

La responsabilidad de las funciones de planificación se debe exponer claramente en los distintos niveles. Lo normal es que un Servicio Forestal Nacional tenga al frente un Director General de Montes (Conservador Principal) ayudado por sus Adjuntos (Conservadores Adjuntos del Director) y apoyado por varios oficiales forestales con base territorial a nivel estatal o provincial (Conservadores/Oficiales Forestales Regionales) y Oficiales Forestales Comarcales (Conservadores Adjuntos).

Los términos entre paréntesis serán familiares sin duda a los que han trabajado en los servicios forestales coloniales británicos. El Servicio Forestal, como dirección general, está a las órdenes de un Ministro responsable de los temas forestales.

La planificación debe realizarla una unidad de planificación o una Subdirección de Planes de Trabajo, o Dirección, dentro del Servicio Forestal. En el **Cuadro 8.1.** se presenta como orientación los distintos niveles y responsabilidades de ordenación forestal.

Cuadro 8.1. Niveles y responsabilidades de planificación de la ordenación forestal

NIVEL	OBJETIVO	DOCUMENTACIÓN	CONTENIDO DE LOS PLANES	PREPARADO POR
POLÍTICA NACIONAL	Proporcionar el marco político y definir los criterios sobre las acciones de ordenación de los ministerios responsables de los recursos forestales, a nivel federal o nacional.	Leyes, Estatutos, Reglamentos, Reglamentos, Estatutos y de Dirección General	Objetivos y prioridades de la política nacional sobre la situación forestal o para cumplir los requisitos establecidos en la Ley Forestal General de Montes	El Ministro responsable de los temas forestales, informe sobre la situación forestal o para cumplir los requisitos establecidos en la Ley Forestal General de Montes
PLAN REGIONAL	Establecer la política general sobre ordenación y desarrollo de los recursos, para el desarrollo de una región geográfica completa o de sus principales subdivisiones o de cualquier región en el que se expone una o más alternativas de especificada que incluya una serie de divisiones ordenación, basadas en un análisis de los recursos administrativos y zonas municipales	Programa Forestal del General/Conservador Principal de Montes u Oficial Forestal (estatal, de División, o Regional, incluye una serie de cuarteles administrativos)	Director Plan en el que se identifican las metas y oportunidades regionales para el uso integrado y se detallan los objetivos de producción (incluye las oportunidades y limitaciones socioeconómicas)	Oficial o Personal de Planes de Trabajo o División de Planes de Trabajo en consulta con otros Ministerios/Direcciones Generales
PLAN DE ORDENACIÓN Y EN EL USO DE LAS TIERRAS OFICIALES FORESTALES	Preparar los planes y programas de desarrollo basados en las necesidades y metas definidas para el área de ordenación y en el uso de las tierras Director General de Montes, para el uso de los oficiales forestales regionales y comarcas (incluye una serie de cuarteles administrativos)	Plan de Ordenación Forestal aprobado por el Director General de Montes, para el uso de los oficiales forestales regionales y comarcas	A largo plazo: Fijar la Corte Anual Admisible a partir de un análisis de la demanda, de los datos del inventario y de los usos de los recursos. A corto plazo: Programas de caminos; Montes, junto con el Oficial Forestal interesado, aprovechamiento de productos madereros y no madereros, conservación, recreación y actividades sylvícolas	Oficial Forestal de División, Regional o Comarcal
PLAN DE TRABAJO OPERATIVO	Resolver los conflictos de uso de los recursos y preparar las directrices y prescripciones para la ejecución de la ordenación forestal a nivel operativo	Plan de Trabajo, aprobado por el Oficial Forestal y sancionado por la División de Trabajo de la DGM, donde se dan directrices específicas para el desarrollo y utilización de los recursos.	Prescripción de técnicas operativas y de tratamiento sylvícola	Normalmente el Oficial Forestal Regional o Comarcal que trabaja con el personal de la Sede de la División
PLAN OPERATIVO LOCAL	Identifica qué medidas específicas de la estación se deben adoptar por el contratista de la madera (adjudicatario) para garantizar una extracción orientada, de acuerdo con los objetivos y prioridades definidos para la ordenación de los recursos.	Plan detallado. En el caso de madera un Plan de la estación: p. ej. sistemas de explotación maderera, especificaciones de los caminos, trazado de cargaderos y vías de arrastre, selección de especies, diámetro de corte, orden de los lotes de corte, etc.	Oficial Forestal Comarcal/forestales de Área y Personal Superior de Guardería	

9. PLANIFICACION DE LA ORDENACION DE MANGLARES

La ordenación de manglares se basa en las ciencias y conocimientos de geología, pedología, climatología, hidrología, botánica, selvicultura, tecnología forestal y economía, para la selección y tratamiento de los recursos madereros y no madereros.

Un plan conciso que establece los requisitos y controles a aplicar y las actividades a desarrollar en el espacio y en el tiempo, en una secuencia lógica, para lograr los objetivos deseados, se denomina plan de ordenación.

Este plan puede ser **un documento sobre recursos y desarrollo** aplicable a un país o a una región; un **plan de ordenación forestal** o **plan de trabajo** para una reserva forestal o una comarca forestal o un **plan operativo** para un área forestal (o parte de ella).

9.1. PRINCIPALES PASOS DE LA PLANIFICACION

Los principales pasos de la planificación aplicables, con pequeñas modificaciones, a cualquier nivel de planificación, pueden describirse de esta forma:

(a) Exposición de responsabilidades

Definición del área de ordenación, horizonte de planificación, recursos financieros y humanos y estructura de tiempos asignados para realizar las tareas. Esto no será problema en el ejercicio de revisión de un plan, en que se conoce la superficie y se dispone de datos de costos de un anterior estudio. Sin embargo, en un área sin ordenar hay que centrar la atención en lo que es factible y admisible.

(b) Recolección de información básica

Se recogen, recopilan y anotan en formato bien estructurado los datos de interés, socioeconómicos, ecológicos y sobre los recursos. Se consultan y actualizan los mapas existentes, datos disponibles y antecedentes de inventarios anteriores.

(c) Determinación de impedimentos

Los impedimentos suelen ser inflexibles, pero pueden salvarse en algunos casos. Por ejemplo, si la zona de montes a ordenar es demasiado pequeña, un cambio para productos de mayor valor añadido, o para la ordenación de servicios, puede justificar los gastos operativos correspondientes. En cambio, cuando hay terrenos disponibles, se puede ampliar el patrimonio forestal mediante adquisición o reserva de tierras. Los impedimentos se pueden clasificar del modo siguiente:

- (1) **Técnicos/biológicos:** Ciertos factores técnicos o biológicos pueden impedir los métodos de extracción a aplicar o los productos a obtener. Por ejemplo, las limitaciones de la estación restringirán las especies que pueden establecerse.
- (2) **Financieros:** La tasa de rentabilidad del capital puede ser insuficiente para cumplir las rígidas normas establecidas por las instituciones prestatarias.
- (3) **Socioeconómicos:** Un plan no puede funcionar aisladamente. Los recursos asignados para el mismo no estarán disponibles para otros usos. El beneficio

general para la comunidad incluye el empleo generado, el impacto ambiental y los beneficios "invisibles" resultantes de ahorros en otros sectores, como la mejora de la pesca, el ecoturismo, la protección costera, etc. Las costumbres, la cultura y las creencias religiosas locales pueden impedir el uso y fomento de ciertos productos y servicios, como el alcohol de la savia de *Nypa* fermentada o la carne de jabalí.

- (4) **Institucionales:** Estas son limitaciones impuestas por la organización y capacidad de gestión del organismo que ejecute el plan, el marco legal, el modelo y las actitudes sociales, la reducidas tasas de alfabetismo, etc.

(d) **Formulación de objetivos**

Hay que diseñar unas metas de producción para atender al máximo posible las necesidades sociales de cada recurso, dentro de los límites de la sostenibilidad. También se deben considerar otras metas sobre protección del medio ambiente, el suelo y el agua y sobre desarrollo rural.

(e) **Desarrollo de alternativas de ordenación**

Cuando se dispone de datos económicos y financieros, se pueden comparar diversas alternativas de ordenación en cuanto a costo-eficacia, teniendo en cuenta otras consideraciones igualmente válidas, como los factores sociales, culturales y ambientales. La elección y clasificación de prioridades dependerá de las alternativas que permitan lograr mejor el conjunto de objetivos preferentes.

(f) **Preparación del Plan de Ordenación**

El término "plan de ordenación" se utiliza aquí en un sentido genérico para incluir los planes aplicables a cada nivel de planificación. Como ya se mencionó, este plan debe formar parte de un programa de Ordenación Integrada de la Zona Costera, para garantizar el uso múltiple sostenible de los recursos de manglar.

(g) **Ejecución del plan**

Se elabora un calendario de actividades para ejecutar las metas del plan. Puede ser necesario recoger nuevos datos, por ejemplo mediante un muestreo de regeneración, previo a la explotación maderera.

(h) **Seguimiento y evaluación de los resultados del plan**

Es necesaria una revisión periódica de los resultados del plan para comprobar cómo se están cumpliendo los objetivos e introducir los ajustes necesarios. Para facilitar el proceso de evaluación, se elaboran "criterios" o "indicadores" que permitan medir el éxito o eficacia del plan adoptado. Un criterio conveniente debe, (1) proporcionar en una sola cifra toda la información necesaria para adoptar una decisión; (2) ser aplicable a todas las alternativas, y (3) ser fácil de calcular.

Los criterios del Gobierno pueden ser:

- * el número de puestos de trabajo creados y su localización;

- * la generación de ingresos y sus efectos distributivos;
- * el impacto sobre la disponibilidad de divisas;
- * la TIR (tasa interna de rentabilidad), el VAN (valor actualizado neto) y la relación Costo/Beneficio.

Los criterios de la Dirección de Montes pueden ser:

- * la tasa de crecimiento de los árboles y las áreas de plantaciones creadas;
- * la rentabilidad (relación ingresos/gastos);
- * la tasa de deforestación/degradación.

Los criterios de las instituciones prestatarias pueden incluir:

- * el ritmo de devolución del préstamo;
- * la suma total de capital invertido.

Desde el punto de vista de la conservación, si aceptamos la premisa de que la biodiversidad es la variedad, el número de especies diferentes y la cantidad de cada especie, en un bosque y en su ambiente correspondiente, los criterios para aceptar la alternativa de ordenación elegida, deben reflejar adecuadamente estas circunstancias. Esto puede originar intereses conflictivos. En una localización determinada el número de especies cambiará debido a la sucesión ecológica y a la longevidad de las especies. Sin embargo, un sistema de ordenación que mantiene el árbol como elemento estructural fundamental del paisaje ecológico, tiene una mayor probabilidad de mantener la biodiversidad que un ambiente degradado.

9.2. DEFINICION DEL AREA DE ORDENACION Y DE LA DURACION DEL PLAN

El nivel de planificación de la ordenación depende de las unidades geográficas (**Cuadro 8.1.**). El **plan de ordenación regional** se divide territorialmente en una serie de bosques o comarcas forestales que son unidades autosostenibles. Debe señalarse que, mientras que las provincias y comarcas son unidades administrativas, que se pueden demarcar sociopolíticamente, los distritos forestales se delimitan según características topográficas naturales que pueden coincidir o no con las unidades administrativas anteriores. Como la superficie abarcada es extensa, el horizonte de planificación es necesariamente a largo plazo, porque se necesitan grandes inversiones para la ejecución del plan. Los planes forestales regionales tienen con frecuencia un marco de tiempo de 10 a 20 años.

Al nivel de plan de ordenación forestal o de plan de trabajo, el área de ordenación será probablemente una comarca forestal, instituida con frecuencia como Reserva Forestal. El **plan de ordenación forestal** comprende todo el bosque y aunque se prevén las extracciones y se prepara un plan de cortas para toda la rotación (25 a 30 años), el período del plan puede ser de 10 años o menos debido a las dificultades de prever la situación económica y la evolución de la demanda durante largos períodos.

El **plan de trabajo**, por el contrario, sólo comprende las áreas en que se van a realizar operaciones forestales dentro del período del plan de trabajo, que suele ser más breve que el plan de ordenación forestal de la comarca, a fin de tener en cuenta nuevos factores o cambios (normalmente 5 a 10 años). El plan de trabajo puede dividirse a su vez en planes independientes que incluyan la selvicultura, las operaciones de aprovechamiento, etc.

Un plan operativo supone una nueva división del área porque incluye especificaciones detalladas sobre las operaciones a realizar en cada estación en un próximo futuro (1 a 3 años en la mayoría de los casos) pudiendo prepararse para cada extensión dentro del bosque.

9.3. RECOLECCION DE INFORMACION BASICA

9.3.1. Tipos de datos

Antes de comenzar la recolección de datos hay que aclarar cuáles son las necesidades con el fin de ahorrar tiempo y dinero. Los datos se recogen para ayudar a la formulación de líneas de acción realistas, para poder evaluar las posibles líneas de acción y por último para facilitar el proceso de toma de decisiones. Se necesitan cinco clases de datos:

- | | |
|-----|--------------------------|
| (a) | datos sobre recursos; |
| (b) | datos operativos; |
| (c) | datos sobre utilización; |
| (d) | datos socioeconómicos; |
| (e) | datos institucionales. |

9.3.2. Datos sobre recursos

La principal información que se necesita para cada recurso es: (a) disponibilidad, (b) productividad y (c) costo. Los datos correspondientes se resumen así:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| * | Superficie y tipo de tierras |
| * | Cubierta arbolada, pesca, agricultura |
| * | Materiales y equipos |
| * | Recursos financieros |
| * | Recursos humanos |

Para la evaluación de la superficie de tierras y de los recursos de manglar se remite al lector a la Parte III de estas directrices. En el Capítulo 11 se describe la productividad de los recursos de manglar. Los restantes datos sobre recursos se recogen de igual forma que para otros tipos forestales y, por ello, no se detallan en este documento.

9.3.3. Datos operativos

Se debe prescribir el método operativo preferente y definir las actividades de trabajo de la forma siguiente: (a) extensión abarcada (ha. o Km.); (b) insumos (días/hombre, horas-máquina, materiales, etc.); (c) producción (ha/día, Km/día); y, (d) costo por unidad de superficie o esfuerzo. El incremento previsto (IAM) y las tasas de supervivencia son puntos de referencia convenientes para medir los resultados. Las necesidades de datos operativos se pueden resumir de la forma siguiente:

- * Desmonte de tierras, incluyendo el aprovechamiento de la madera, extracción, quema, construcción de estanques, construcción de canales, etc.
- * Preparación del sitio para forestación o reforestación
- * Establecimiento de viveros, recolección de propágulos, etc.
- * Plantación
- * Mantenimiento y protección
- * Mejora y control de la producción
- * Logística del transporte fluvial, canales, etc.

Para más detalles se recomiendan los Capítulos 10-12.

9.3.4. Datos sobre utilización

Debe haber un sistema eficaz para la previsión de la demanda de los productos y servicios forestales que se espera obtener de los bosques en distintos niveles. Este tipo de datos es necesario para los manglares productores de madera y leña. Incluso en las áreas de ordenación ambiental, los objetivos pueden cambiar con el tiempo para incluir funciones productivas. Los correspondientes factores a considerar son los siguientes:

- * Especies preferentes, tipos y propiedades;
- * Espaciamiento, clasificación por tamaños, dimensión de las trozas, calidad, etc.
- * Superficie, volumen de madera, dimensión y tipos de hornos, otras industrias caseras;
- * Tasa de crecimiento, programa de producción.
- * Localización del bosque, unidades de transformación e instalaciones de transporte;
- * Condiciones de la estación que influyen en los costos de explotación forestal;
- * Características de los usos tradicionales, madereros y no madereros.

La mayoría de estos datos se pueden obtener mediante el examen de ordenaciones y utilizaciones anteriores y de estudios especializados sobre demanda.

9.3.5. Datos socioeconómicos

Es necesario estudiar los aspectos económicos y no sólo los estrictamente financieros, porque un análisis limitado a los gastos e ingresos de caja no tiene en cuenta plenamente el costo real y el beneficio real para la comunidad en su conjunto. En la ordenación para el uso múltiple, se puede reducir la producción de madera para preservar o mejorar la producción acuícola, comparando los intercambios entre las diferentes alternativas. Como la cuantificación económica de los costos intangibles está aún en su etapa inicial en lo referente al sector forestal y a los manglares en particular, se pueden utilizar en su lugar estimaciones bien fundadas.

Los datos socioeconómicos necesarios son los siguientes:

- * Costos-sombra de la mano de obra;
- * Costos de oportunidad de la mano de obra;
- * Costos sociales relacionados; p. ej. inversiones públicas en viviendas, suministros de agua, canalizaciones, pasos fluviales, etc.;
- * Tasa de descuento a utilizar;
- * Precio-sombra de los productos que reflejen las distorsiones de los precios debidos a impuestos, aranceles y mecanismos de control de precios;
- * Valor de los beneficios no comerciales. P. ej. mejora del medio ambiente, sanidad, protección, control de la erosión, recreación, etc.;
- * Efecto de los beneficios intangibles en el desarrollo de la economía local o regional, la formación, etc.

9.3.6. Datos institucionales

Los factores institucionales son, sobre todo, de naturaleza política pero también incluyen el marco legal. El plan de ordenación debe incluir los siguientes apartados:

- * Obligaciones legales;
- * Privilegios y derechos legales;
- * Directrices sobre política;
- * Apoyo a las comunidades, enseñanza y capacitación;
- * Medidas de interacción;
- * Actitudes locales e impacto sobre la sociedad local;
- * Articulación de la investigación y apoyo a la misma.

9.4. METAS Y OBJETIVOS DE LA ORDENACION

La primera tarea es definir el potencial productivo del bosque e identificar los principales impedimentos [6.1 (c)]. Se definen las funciones productoras, protectoras y sociales de los bosques como propósitos de la ordenación, según prioridades. Mientras que las metas se refieren a una perspectiva deseada a largo plazo, los objetivos se refieren a actividades medibles (resultados) prescritas dentro del período del plan. En el **Recuadro 9.1.** se incluyen ejemplos de objetivos de la ordenación. La producción sostenida de madera y de productos forestales no madereros, es una función importante. Las funciones protectoras, incluyen, entre otras, las siguientes:

- * La protección fluvial y costera;
- * la conservación de vegetales y animales silvestres mediante la ordenación de sus hábitats;
- * la preservación de masas forestales o ecosistemas singulares

A:	<u>Selvicultura y producción</u>
(1)	Producir un rendimiento sostenido de madera de calidad para la elaboración de carbón vegetal para atender la demanda interna y para la exportación;
(2)	Producir corteza (tanino) como producto secundario de (1);
(3)	Producir postes y pilotes de calidad para el consumo local;
(4)	Producir un rendimiento sostenido de leña para suplementar las necesidades de leña doméstica e industrial y de energía de la nación;
(5)	Producir estacas para pescar y materiales de construcción para las comunidades locales;
(6)	Producir otros productos forestales relacionados con el manglar que puedan necesitar las industrias terciarias o caseras de carácter rural;
(7)	Planificar la utilización integrada de los recursos del manglar.
B:	<u>Selvicultura ambiental</u>
(1)	Proteger, restaurar y ordenar los ecosistemas de manglar que se necesiten como campos de cría o fuentes de nutrición o como refugio de camarones, moluscos, pesca y otros mariscos ricos en proteínas;
(2)	Mantener la integridad de la vegetación de los manglares a lo largo de costas y estuarios que sirvan como barreras contra las tormentas, y para el control de inundaciones y de la erosión; y que sirvan de apoyo y protección ambiental a los cultivos agrícolas y a las comunidades costeras;
(3)	Preservar y mantener inalteradas áreas suficientes de ecosistemas naturales de manglar como reservas de biodiversidad y para la conservación de recursos genéticos vegetales y animales;
(4)	Reservar suficientes áreas según se requiera para fines de investigación, enseñanza y capacitación;
(5)	Ordenar las áreas necesarias para recreación y turismo;
(6)	Promover la aceptación social en favor de la selvicultura, de una mejor utilización y de la ordenación forestal;
(7)	Regular, en general, el uso de las vías fluviales, canales, y riachuelos, dentro de los manglares de tal modo que no se perjudique su valor para la navegación.

Recuadro 9.1. Objetivos de la ordenación

En Vietnam, hay empresas de manglares que se gestionan como centros de beneficios. Los fondos generados a partir de los bosques se utilizan para financiar el desarrollo forestal y mejorar el bienestar social de las comunidades del área de la empresa.

La estrategia de producción puede incluir una combinación de productos que comprende pesca, camarones, carbón vegetal, postes, madera de construcción, hojas de *Nypa* para techar, ladrillos, etc. (Véase el Recuadro 9.2.).

1. Metas de la selvicultura de producción

1a *En general.* ordenar, desarrollar y proteger los recursos del manglar a fin de lograr una producción sostenible de madera y beneficios no madereros para atender las necesidades locales y costeras de energía, materiales de construcción y otros productos madereros.

1b *Especificamente.* producir un rendimiento sostenido de los siguientes productos para el consumo local, a precios asequibles y estables:

madera verde de calidad para la elaboración de carbón vegetal, para el cocinado doméstico, y otras necesidades industriales y energéticas;
 leña a precios justos;
 estacas para pescar, postes, pilotes y materiales de construcción para las comunidades locales;
 trozas de aserrar adecuadas para uso local;
 corteza (tintes a base de taninos);
 productos forestales afines al manglar, incluyendo la nipa para industrias de elaboración terciaria o domésticas.

2. Metas de la selvicultura social

2a *En general.* mejorar el nivel y la calidad de vida de la población dependiente de los manglares (incluyendo pescadores y criadores de camarón) dentro de la empresa forestal Dat Mui, con atención particular a lo siguiente:

empleo útil de carácter sostenible;
 calidad de la vivienda, adecuada y mejorada;
 disponibilidad de asistencia médica fundamental;
 instalaciones de enseñanza adecuadas y mejoradas;
 mejores instalaciones culturales y comunitarias;
 servicios de comunicación adecuados y asequibles, para promover una mayor interacción social, la comercialización de los productos y la distribución eficaz de bienes y servicios sociales; y,
 fomentar los valores escénicos y recreativos del bosque

2b *Especificamente.* mediante actividades de extensión, demostración y capacitación, aumentar el conocimiento y la aceptación de la población acerca de los programas forestales.

3. Metas de la selvicultura ambiental

3a *En general.* mantener la integridad de la vegetación de manglar a lo largo de costas y ríos, para que sirvan como barreras contra las tormentas, para el control de las inundaciones y la erosión; y servir como apoyo y protección ambiental de la agricultura costera, la acuicultura y las viviendas.

3b *Especificamente.* proteger, restaurar y ordenar los ecosistemas de manglar que se necesiten como campos de cría o fuentes de nutrición o como refugio de camarones, moluscos, pesca y otros mariscos ricos en proteínas;

preservar los ecosistemas naturales de manglar como reservas de biodiversidad y para la conservación de recursos genéticos vegetales y animales;
 reservar áreas suficientes para fines de investigación, enseñanza y capacitación;
 ordenar áreas para recreación y turismo;
 promover la aceptación social de los programas forestales y
 mantener la navegabilidad de los canales y vías fluviales.

Recuadro 9.2.: Metas y objetivos de ordenación de la Empresa Forestal Dat Mui

9.5. ESTRATEGIA DEL PLAN

En base a los objetivos de la ordenación, se elige una estrategia del plan que refleje las condiciones locales. En países como Vietnam, donde no existen autoridades locales o no pueden proporcionar los incentivos sociales básicos a las comunidades que dependen de los manglares, será con frecuencia responsabilidad, por ejemplo, de la empresa forestal local el hacerse cargo también de las actividades de desarrollo de la comunidad rural. En consecuencia, durante el período del plan la estrategia puede incluir, entre otras, algunas de las medidas enumeradas en el Recuadro 9.3.

- * promover la ordenación racional del uso de las tierras locales, coordinando con otros usuarios de las tierras;
- * elevar la capacidad técnica, de gestión y extensión, de la empresa;
- * aumentar los conocimientos comerciales de la empresa forestal mediante la diversificación de las inversiones, a fin de aumentar su rentabilidad y poder brindar una serie mayor de beneficios sociales a los destinatarios;
- * promover el bienestar de los trabajadores forestales proporcionándoles instalaciones adecuadas de alojamiento, sanidad, recreación, enseñanza y capacitación;
- * diseñar un programa de reasentamiento de la población dependiente del manglar hacia lugares menos frágiles ecológicamente y más apropiados agrícolamente;
- * poner el acento en la ordenación y participación orientadas a la población, mediante la extensión;
- * desarrollar un plan adecuado de energía local;
- * aplicar una ordenación forestal racional de uso múltiple;
- * desarrollar un plan energético adecuado y suficiente;
- * utilización más completa de la producción y reducción al mínimo de los residuos de transformación;
- * promover las industrias rurales de carácter doméstico y otras oportunidades rurales generadoras de ingresos y empleo.

Fuente: Chong, (1989a)

Recuadro 9.3.: Estrategia de planificación de una empresa forestal de Vietnam

Otro ejemplo de estrategia de planificación es el de los manglares de Sierpe-Terraba, de Costa Rica, donde, dada la gran extensión de bosques irregulares que fueron explotados selectivamente, y la necesidad de regularizar e introducir lo antes posible un control de la ordenación, se recomendó la estrategia descrita en el Recuadro 9.4. a fin de aumentar y conservar los recursos de leña.

Siempre que se pueda, habrá que elaborar y evaluar estrategias alternativas de ordenación, de acuerdo con su capacidad para cumplir el conjunto deseado de objetivos de ordenación, dando la debida atención al concepto del desarrollo sostenible del ecosistema de manglar.

- * reservar y dejar en descanso temporalmente las masas excesivamente cortadas;
- * regular y mejorar las extracciones;
- * transformación selvícola del bosque en masas uniformes de mayor productividad;
- * crear bosquetes de aldeas locales;
- * incorporar medidas de seguimiento y control ambiental;
- * mejorar la capacidad de gestión de manglares del Servicio Forestal; y
- * proporcionar capacitación local y apoyo técnico a las cooperativas locales/ONGs.

Fuente: Chong, (1988b)

Recuadro 9.4.: Estrategia de planificación de los manglares de Sierpe-Terraba, de Costa Rica

9.6. CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ECOSISTEMA

El concepto de desarrollo sostenible, respecto a los recursos forestales, se ha descrito con frecuencia como el principio del rendimiento sostenido. Sin embargo, este término tiene connotaciones de producción de madera y no evoca la producción de servicios ambientales que -especialmente en el caso de los manglares- son de igual importancia. Es necesario, por tanto, un enfoque holístico, debiendo evaluarse los impactos ambientales de las diferentes estrategias de ordenación, incluyendo la producción de madera, a fin de garantizar el desarrollo sostenible de todo el ecosistema.

Con respecto a la producción de madera, el uso sostenible representa que nunca debe disminuir el rendimiento de productos madereros. En las áreas de manglar, (como en otros bosques), que no han estado sujetas anteriormente a un régimen de ordenación, este concepto es demasiado rígido, porque el bosque puede ser muy heterogéneo o contener una gran abundancia de árboles sobremaduros, estando en consecuencia lejos del concepto de "bosque normal" utilizado con frecuencia como la meta a alcanzar. Véase a continuación el Recuadro 9.5.

Bosque normal es aquel que está constituido teóricamente por tales volúmenes de árboles de diversas edades, distribuidos de tal modo y creciendo de tal forma, que producen volúmenes iguales de productos que se pueden extraer de forma permanente sin detrimento de la producción futura y del medio ambiente.

Recuadro 9.5.: Definición de un "bosque normal"

Esta norma ideal rara vez se logra en todas las partes del bosque, debido a cambios ecológicos, a las demandas variables del mercado y a otros factores imprevistos, como las plagas y enfermedades.

En áreas, cuyo principal objetivo es la producción de madera, se necesitará normalmente una fase de transformación para convertir los bosques irregulares en bosques ordenados regulares de mayor productividad. Durante esta fase, se concreta la idea de lo qué es factible biológica, técnica y económicamente, en la reestructuración de las existencias. La falta de información sobre planificación de la ordenación en cuanto a la dinámica del crecimiento de la masa y a otros aspectos, así como la necesidad de introducir la ordenación forestal lo antes posible, puede hacer oportuno extraer experiencias de otras fuentes o países.

Se aplican normas provisionales para lograr las existencias requeridas para el aprovechamiento final, y éstas se van afinando a medida que mejora la base de datos de información. *No son aconsejables, sin embargo, las prescripciones generales para todo tipo de bosques, porque los manglares son ecosistemas dinámicos y a pesar de sus semejanzas estructurales de carácter general son, no obstante, muy específicos de la estación.*

Para lograr un desarrollo sostenible a largo plazo, puede ser necesario cortar algunos rodales inmaduros durante la fase de transformación a fin de aproximar las clases de edad a la distribución normal, lo que implica tener que hacer sacrificios para lograr en el futuro tal producción sostenible. Sólo el planificador de la ordenación puede aconsejar sobre si el sacrificio es o no demasiado grande teniendo en cuenta que hay árboles que hoy no son comerciales y que pueden convertirse mañana en madera comercial.

Como puede suceder que no sea alcanzable la normalidad en una sola rotación, las extracciones anuales se deben mantener razonablemente flexibles. Dependiendo de la demanda, es admisible algún exceso de corta, siempre que se hagan ajustes periódicos para que las extracciones no sobrepasen el potencial biológico del bosque. Mientras que determinados rodales pueden cortarse demasiado pronto o demasiado tarde y la producción anual puede variar, hay que mantener una producción sostenida dentro de un cuartel administrativo durante el período del plan de ordenación.

9.7. DIVISION DEL AREA

El **plan de ordenación regional** se divide territorialmente en una serie de bosques o comarcas forestales que son unidades autosostenibles bajo la responsabilidad de un Oficial Forestal de Comarca.

Los bosques están con frecuencia declarados legalmente como Reservas Forestales que se dedican a la ordenación forestal para la producción de madera y de beneficios no madereros. Las reservas se subdividen en una serie de tramos. El "tramo" es la menor unidad administrativa de ordenación, localización y registro de información, que se define territorial y permanentemente para fines de descripción y registro de datos. Se señalan en el terreno siguiendo límites naturales y se definen mediante mapas levantados topográficamente. El tamaño del tramo varía de acuerdo con la intensidad del trabajo a realizar. El primer paso para la organización de la ordenación forestal es preparar un mapa de tramos y un programa de trabajos para el estudio, demarcación e identificación de los tramos en el terreno. Sólo es necesario marcar las reservas forestales donde se va a trabajar durante el período actual del plan, porque se trata de una actividad costosa que lleva mucho tiempo.

El subtramo es la unidad de tratamiento. Puede definirse como la subdivisión de un tramo, generalmente de naturaleza temporal, diferenciado por su descripción y tratamiento especial. Los subtramos funcionan como unidades operativas de carácter selvícola y productivo, mientras que los tramos tienen funciones administrativas y de gestión.

La propiedad forestal se organiza también selvícolamente en una serie de unidades de la forma siguiente:

- (a) Cuartel administrativo (C.A.): Los subtramos se agrupan en diferentes cuarteles administrativos (C.A.) Un C.A. se define como "una superficie (que forma la totalidad o parte del área sujeta a un proyecto de ordenación) organizada con un objetivo determinado y bajo un sistema selvícola y una serie de prescripciones del proyecto de

ordenación"

La asignación de subtramos a los C.A. depende de los factores de estación, de los tipos forestales y de los tratamientos selvícolas necesarios, de acuerdo con los objetivos de la ordenación. Puede ser necesaria la suspensión de cuarteles administrativos, por ejemplo, cuando los mismos tramos contienen no sólo recursos de moluscos, sino también bosques productores que requieren distintos tipos de tratamientos. Otros C.A. pueden ser designados en cambio para recreación y fauna silvestre o para fines de protección costera.

Para fines de control y supervisión, los C.A. se subdividen en demarcaciones territoriales bajo el control de un sobreguarda forestal (supervisor de monte). En demarcaciones grandes existen varios sectores, cada uno de ellos supervisado por un guarda forestal.

(b) Sucesión de cortas: Para administrar las operaciones de aprovechamiento y regeneración y dar empleo estable un cuartel administrativo puede dividirse en dos o más sucesiones de cortas. Una "sucesión de cortas" es un área de bosque, delimitada para fines de ordenación, que constituye la totalidad o parte de un cuartel administrativo. Su finalidad es, en primer lugar, establecer una distribución de áreas de corta y regeneración ajustadas a las condiciones locales y, en segundo lugar, mantener o fomentar una distribución equilibrada de clases de edad. Cada sucesión de cortas es una unidad de rendimiento sostenido.

(c) Cuartel periódico de cortas: Las operaciones de corta se pueden organizar según cuarteles periódicos en masas más o menos regulares. El cuartel periódico se define como la parte, o partes, de un bosque que se reserva para ser regenerada o para ser tratada durante un período específico. La regeneración se puede asegurar mediante una o más cortas de regeneración o mediante regeneración artificial. Si la rotación (R) es de 25 años y el período de regeneración (PR) es de 5 años, el número de cuarteles periódicos es cinco, teniendo cada cuartel un quinto de la sucesión de cortas. La superficie del cuartel periódico (A) para una sucesión de cortas (SC) de 1.000 ha., será de 200 ha. La fórmula para obtener la superficie del cuartel periódico es $S = SC \times PR/R$.

Los cuarteles periódicos pueden ser "permanentes, anulables o simples". En el primer caso, los cuarteles periódicos se eligen de modo permanente y no se pueden cambiar. En el método anulable, los rodales se pueden reasignar a otros cuarteles y en el último método se da siempre prioridad a la regeneración selvícola basada en el cuartel periódico, a la utilización y a los factores de la estación. El último método puede considerarse como un caso especial del método de cuartel periódico anulable.

9.8. ELABORACION DEL PLAN DE TRABAJOS

El "plan de trabajos" es aquella parte del Plan de Ordenación Forestal que trata de las prescripciones de los trabajos a realizar dentro del período del plan e incluye como anteproyecto operativo, el plan selvícola y de tratamientos, el plan de cortas, los dispositivos para la recaudación de rentas y las previsiones financieras, una descripción básica del área del plan de trabajos, incluido un mapa y las directrices y prioridades para la ordenación del área.

Un plan de trabajos debe contener un informe claro que indique la corta media anual durante un tiempo determinado, por ejemplo para los próximos 10 años. Se establecen unas prescripciones claras para lograr las metas de producción de madera y los programas de regeneración forestal y otros tratamientos selvícolas programados. En las secciones siguientes se analizan las principales componentes de un plan de trabajos.

10. SELVICULTURA DE LOS MANGLAres

Hay que disponer de un sistema para ordenar la vertiente productiva del bosque, como apoyo a los objetivos pretendidos de la ordenación y a las metas operativas. La producción de bienes y servicios sobre una base permanente tiene muchas ventajas de carácter social y económico, que son beneficiosas para las comunidades rurales, especialmente en cuanto al suministro sostenible de leña. Un plan selvícola es un medio para transformar gradualmente los rodales forestales en entidades productivas más manejables y eficientes. Constituyen una excepción los bosques destinados a preservación o a transformación para otros usos no madereros.

10.1. ELECCION DEL SISTEMA SELVICOLA

"Un sistema selvícola puede definirse como el proceso mediante el cual las masas que componen un bosque se cuidan, se extraen y se sustituyen por nuevas masas, lo que se traduce en la producción de masas de forma diferente" (Matthews, 1989). El sistema selvícola a aplicar depende de la facilidad de regeneración natural de las especies deseables, en el ambiente alterado por la explotación maderera, y del grado con que se presten a los métodos de regeneración artificial. Existen ya algunos sistemas, que pueden emplearse directamente, ajustados a las situaciones locales. Un sistema selvícola comprende tres componentes principales:

- (1) el método de regeneración elegido ajustado a la ecología local, al potencial de la estación y a la selvicultura de las especies preferidas;
- (2) la forma de masa producida; y
- (3) la disposición sistemática de las masas en toda la propiedad forestal, teniendo en cuenta las circunstancias selvícolas y de protección y el aprovechamiento eficiente de la producción.

En el Recuadro 10.1. se presenta una clasificación de los sistemas selvícolas.

A continuación se analizan brevemente algunos sistemas selvícolas que pueden aplicarse a los manglares y sus principales ventajas e inconvenientes:

10.1.1. Sistemas de cortas a hecho

Los sistema de cortas a hecho pretenden establecer una masa regular, extrayendo en una sola operación las masas maduras. Cuando las especies principales son de luz y se pueden regenerar naturalmente, y las estaciones son favorables, estos sistemas pueden ser muy eficientes en cuanto a costo. Los manglares de Matang llevan ordenados a lo largo de tres rotaciones, empleando sistemas de cortas a hecho en bloques o cuarteles de corta, sin ningún problema importante, con la excepción de que hay que regenerar artificialmente grandes áreas,

al someter a ordenación intensiva más sitios marginales, siendo la especie principal la *R. apiculata*.

El impacto visual, tras la explotación, puede resultar desconcertante para los no forestales y los conservacionistas. No se debe practicar en áreas donde se contempla el ecoturismo y las cortas no deben ser muy extensas. En el Recuadro 10.2. se enumeran los pros y los contras de tales sistemas.

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS SELVICOLAS

- A1 SISTEMAS DE MONTE ALTO** (normalmente a partir de brizales)
- B1 Corta/regeneración limitadas únicamente a algunas partes de los bosques
- C1 Masa desmontada con una sola corta, lo que se traduce en una masa regular **Sistemas de cortas a hecho**
- C2 Masa desmontada mediante cortas sucesivas de regeneración; se traduce en masas más o menos regulares.
- D1 Regeneración distribuida por tramos
- a. Apertura homogénea de la cubierta; masas jóvenes más o menos regulares y uniformes: **Sistemas uniformes**
 - b. Apertura de la cubierta en manchas esparcidas; masas jóvenes más o menos regulares por manchas: **Sistemas de bosquetes**
 - c. Apertura de la cubierta irregular y gradual, lo que se traduce en masas un tanto irregulares: **Sistema de aclareo sucesivo irregular**
- D2 Regeneración limitada a subtramos/fajas
- a. Cortas en fajas: **Sistemas de cortas en fajas**
 - b. Cortas en cuñas: **Sistemas de cortas en cuñas**
- B2 Corta/regeneración distribuida de forma continua por toda la superficie; masa completamente irregular
- Otros sistemas (variantes) producidos mediante:
- a. la introducción de una masa joven, debajo de otra inmadura ya existente: **Monte alto de dos pisos**
 - b. la retención de ciertos árboles de la masa vieja, después de completarse la regeneración: **Monte alto con reservas**
- A2 SISTEMAS DE MONTE BAJO** (principalmente de propagación vegetativa)
1. Masas procedentes en su totalidad de brotes vegetativos:
Masa regular y cortada a hecho: **Sistema de monte bajo**
Masa irregular y cortada parcialmente: **Sistema de entresaca de monte bajo**
 2. Las masas comprenden en parte brotes vegetativos y en parte árboles con origen de brizal. **Monte bajo con sistemas de resalvos**
- A3 SISTEMAS DE ACLAREOS SUCESIVOS** Término genérico que describe los sistemas de cortas sucesivas de regeneración y los sistemas de entresaca.
- Nota: "Coetáneo" es sinónimo de "uniforme" o "regular". El término "irregular" y el "no coetáneo" son también sinónimos. La clasificación anterior está adaptada de "Silvicultural Systems" de J.D. Mathews, 1989.

Recuadro 10.1.: **Sistemas selvícolas**

En varios países (Tailandia, Venezuela, Cuba y Costa Rica) se practica un "sistema de cortas a hecho en fajas alternas", con y sin resalvos remanentes (portadores de semilla). Las fajas de corta son estéticamente más aceptables. Las perspectivas de la regeneración natural se mejoran debido a la anchura limitada y a los bordes muy largos en relación con la dimensión de la superficie cortada. Es sencillo aplicar el control de la ordenación.

Sistemas de cortas a hecho

Ventajas:

- (a) sencillos de ejecutar y supervisar;
- (b) los costos de explotación forestal son generalmente inferiores, con una mayor rentabilidad;
- (c) la masa sobremadura se extrae en una operación;
- (d) se necesita menos técnica que con los otros métodos de regeneración;
- (e) se crean bosques regulares en una rotación;
- (f) permite una iluminación completa, como requieren las especies de luz.

Inconvenientes:

- (a) los riesgos de erosión y deterioro de la estación, pueden ser mayores;
- (b) los brizales pueden estar distribuidos de forma irregular;
- (c) las especies deben ser capaces de soportar las condiciones abiertas;
- (d) grandes daños a la regeneración existente, si no se realiza bien la explotación maderera;
- (e) reduce los valores estéticos y recreativos de las masas;
- (f) se cortan todos los árboles, independientemente de la especie y de su valor comercial;
- (g) produce una gran cantidad de desechos y restos de corte.

Recuadro 10.2.: Ventajas e inconvenientes de los sistemas de cortas a hecho

Se recomienda este sistema, debido a su simplicidad, cuando hay escasez de personal capacitado y obreros preparados. También es apropiado para aquellos países cuyos manglares se han sometido recientemente a ordenación.

10.1.2. Sistemas de entresaca

Los sistemas de entresaca se caracterizan por dos condiciones: las masas son irregulares y la cubierta forestal nunca se extrae por completo, por lo que no se suprime el abrigo y la sombra para la regeneración y los brizales. Generalmente, estos sistemas favorecen a las especies tolerantes a la sombra, pero puede graduarse el nivel de apertura de la cubierta de copas para favorecer también a las especies de luz (p. ej. entresaca por bosquetes).

En los Sundarbans se ha practicado desde hace mucho tiempo un sistema de entresaca y también en los manglares de Ayeyarwady, de Myanmar. Este es un sistema respetuoso con el medio ambiente porque se aprovechan periódicamente los árboles comerciales en todas las zonas del bosque. Sin embargo, en la práctica, la ordenación puede ser muy complicada a menos que los bosques tengan existencias adecuadas y que el personal técnico y los subordinados estén bien entrenados, además de contar con contratistas responsables. En el Recuadro 10.3. se resumen las ventajas y desventajas de los sistemas de entresaca.

Una variante del método de Entresaca es la Entresaca por Bosquetes. Este sistema crea unos huecos de corta mayores, que favorecen la regeneración de las especies de luz y fomenta la formación de pequeños grupos de rodales regulares. En consecuencia, los costos de aprovechamiento son menores y la extracción de la madera es más sencilla.

Sistemas de entresaca

Ventajas:

- (a) único sistema de mantener una masa irregular;
- (b) se obtiene fácilmente la reproducción de las especies tolerantes a la sombra;
- (c) la protección de la estación es excelente;
- (d) las masas se pueden adaptar fácilmente para atender las fluctuaciones de la demanda;
- (e) rendimientos del capital con breves intervalos.

Inconvenientes:

- (a) se necesita un alto nivel de preparación técnica y de control de la ordenación;
- (b) los costos de extracción son mayores, y menores las extracciones por unidad de superficie;
- (c) las dimensiones de los productos son más variables;
- (d) los árboles aprovechados están espaciados por toda la masa;
- (e) es difícil el análisis de los datos del inventario y la previsión de crecimientos y rendimientos;
- (f) no es favorable para el desarrollo de las especies no tolerantes a la sombra.

Recuadro 10.3.: Ventajas e inconvenientes de los Sistemas de Entresaca

Sistemas de Aclareos Sucesivos**Ventajas:**

1. protege a aquellas especies que tienen una etapa juvenil delicada;
2. protege muy bien el suelo, y reduce la invasión de malas hierbas;
3. menor riesgo de multiplicación de los insectos perjudiciales que prosperan en las cortas a hecho;
4. las masas son más resistentes al viento y se adaptan mejor en áreas ciclónicas;
5. son más agradables estéticamente que los sistemas de cortas a hecho;
6. los árboles elegidos pueden conseguir un mejor crecimiento mediante los tratamientos de mejora de la masa y la apertura de bosques.

Inconvenientes:

1. exige más técnica;
2. el trabajo se dispersa, las cortas y extracciones son menos rentables;
3. mayor daño de la explotación maderera a las masas jóvenes;
4. el retraso de la regeneración que puede ser costoso;
5. la regulación del rendimiento y la selvicultura son más complejos.

Recuadro 10.4.: Ventajas e inconvenientes de los Sistemas de Aclareos Sucesivos

En los manglares de Sierpe-Terraba, de Costa Rica, se recomendó un sistema de entresaca para áreas con potencial comprobado de moluscos, ya que el bivalvo comercial Piangua (*Anadara tuberculosa*, Sowerby), que parece estar asociado con las raíces de la *Rhizophora* y la *Pelliciera*, no parece prosperar en condiciones abiertas, al contrario que sus variedades asiáticas. La extracción parcial del piso dominante reduce la perturbación de la estación y el exceso de exposición.

10.1.3. Sistemas de aclareos sucesivos

Los sistemas de aclareos sucesivos son aquellos sistemas de monte alto en los que la masa joven se establece bajo la sombra o la protección lateral de la masa vieja, denominada piso dominante. El piso dominante protege la estación y mantiene el microambiente forestal que favorece la regeneración y el desarrollo de los árboles más jóvenes. El término se utiliza también para incluir algunas variantes del sistema de entresaca que utilizan cortas sucesivas de regeneración. En el Recuadro 10.4. se describen los pros y los contras de tales sistemas.

10.2. ELECCION DE ESPECIES

Hay que elaborar una lista de preferencia de especies, basada en requisitos selvícolas y comerciales, como orientación para dar prioridad a los tratamientos. Las especies elegidas como deseables varían con el tipo de ecosistema, la localización y la demanda comercial. En Costa Rica, la *Rhizophora harrisonii* y la *R. mangle* son las deseables, mientras que en Sierra Leona, África Occidental, la *R. mangle* tiene porte enano, siendo la *R. racemosa* la especie preferida. En Malasia, Tailandia y el Delta del Mekong de Vietnam, las de mayor preferencia son *Rhizophora conjugata*, *R. apiculata* y *R. mucronata*. En los Sundarbans de Bangladesh, el Sundri (*Heritiera fomes*) es la principal especie maderera, seguida por la Gewa (*Excoecaria agallocha*), especie acreditada para pulpa. En los manglares de Guanal, en Cuba, la *Avicennia germinans* (mangle prieto) es la especie preferida porque su madera es adecuada para traviesas de ferrocarril y para uso doméstico. En el Recuadro siguiente se presenta un ejemplo de lista de especies para los manglares de Sierpe-Terraba, de Costa Rica.

Deseables	1. <i>Rhizophora harrisonii</i> 2. <i>Rhizophora mangle</i> #
Preferibles	3. <i>Pelliciera rhizophorae</i> 4. <i>Avicennia germinans</i>
Aceptables	5. <i>Laguncularia racemosa</i>
Indesables	6. <i>Otras especies</i>

Hay que evitar la forma enana de la *Rhizophora mangle*, probablemente un ecotipo.

10.3. REGENERACION NATURAL

Los partidarios de la regeneración natural defienden que estos sistemas selvícolas están más de acuerdo con la ecología forestal natural indígena. En el Recuadro 10.5. de la página siguiente se describen los pros y los contras de la regeneración natural frente a la regeneración artificial.

Regeneración natural

Ventajas:

1. más económica de establecer;
2. se necesita menos mano de obra y equipo pesado;
3. el origen de los recursos de semillas suele ser conocido;
4. mejor desarrollo inicial de la raíz mediante brizales naturales;
5. normalmente, menor perturbación del suelo.

Inconvenientes:

1. menor control del espaciamiento, existencias iniciales y distribución de los brizales;
2. riesgo de pérdida de árboles semilleros;
3. no es fácil introducir plantas genéticamente mejoradas;
4. posibles retrasos y fallos de la regeneración;
5. mayor necesidad de aclaros no comerciales;
6. las masas no son aptas para la extracción mecanizada.

Recuadro 10.5. Ventajas e inconvenientes de la Regeneración Natural

10.3.1. Origen de la semilla en la regeneración natural

En un "sistema de cortas a hecho en fajas alternas", la procedencia natural de la regeneración es la siguiente:

- (a) repoblado preexistente de brizales y chiriales;
- (b) diseminación de los árboles del perímetro que circunda la faja de corta;
- (c) diseminación de los resalvos (árboles padre);
- (d) propágulos acarreados por el viento procedentes de masas vecinas;
- (e) propágulos procedentes de árboles cortados.

10.3.2. Retención de resalvos (portadores de semilla)

En las masas de *Rhizophora* el número necesario de resalvos (portadores de semilla) es de unos 12 árboles por hectárea. Estos deben estar bien distribuidos y se deben dejar estratégicamente en áreas con regeneración insuficiente o sin regeneración. Generalmente, se necesitan más resalvos hacia la parte interior de la marisma, debido a su menor potencial intrínseco de regeneración. Cuando la explotación maderera coincide con un año de fuerte diseminación, puede reducirse el número de resalvos.

El empleo de resalvos significa que la especie puede dar suficientes propágulos para reseñar el sitio después de la explotación maderera y que los árboles reservados pueden soportar la exposición y el aislamiento. En la Costa norte más seca, del Pacífico de Costa Rica, Jimenez ha observado que sólo los pies dominantes de más de 15 cm. de DAP(cc) llevan propágulos (com. pers.). El número de propágulos varía de 6 a 350 por árbol. Las *Rhizophoras* son propensas a abrasarse con el sol y los pies de tamaño medio parecen soportar mejor el exceso de exposición. El derribo por el viento siempre es un riesgo en estaciones con suelos muy blandos o expuestas a fuertes vientos.

Los árboles semilleros deben elegirse y marcarse antes de la explotación maderera. Los criterios para la selección de resalvos o árboles semilleros son los siguientes:

- (a) árboles de tamaño medio (mayor de 16 cm. DAP(c.c.), vigorosos, de copa sana, que se piense que son capaces de sobrevivir una rotación);
- (b) árboles que tengan o sean capaces de producir propágulos viables (copas sanas y sin romper);
- (c) evitar los árboles sobremaduros o muy grandes porque:
 - son propensos a que los tire el viento y a los rayos: al caer pueden causar daños importantes a la regeneración;
 - pueden no producir propágulos viables;
 - contienen volúmenes importantes de madera que, si no se extraen, reducen de forma notable los rendimientos económicos;
 - son propensos a los ataques de las termitas y al quemado de la corteza.
- (d) pueden seleccionarse unos pocos árboles mal formados, si están sanos y tienen propágulos viables, pero hay que evitarlo, si se puede.
- (e) no se deben aceptar los resalvos que se dañen durante la explotación maderera;
- (f) en sustratos fluidos o inestables, se seleccionan más resalvos que deben estar en grupos de dos o tres árboles para favorecer su resistencia al viento;
- (g) como resalvos, sólo se eligen especies deseables;
- (h) en las áreas posteriores de la marisma se deben elegir y mantener más resalvos.

Recuadro 10.6.: Criterios para la selección de árboles semilleros (resalvos)

10.4. ESPESURA DE LA REGENERACION

La plantación artificial es necesaria para repoblar los sitios vacíos y estaciones con regeneración natural insuficiente. Sin embargo, siempre es preferible la regeneración natural porque es más barata. Por esta razón, debe realizarse una evaluación de la densidad de la regeneración antes y después de la explotación maderera. Un muestreo lineal de la regeneración (MLR) dará una idea del potencial de regeneración de la estación, por la

abundancia de brizales, distribución, especies y tamaños; Algunos de los aspectos a considerar son los siguientes:

10.4.1. Regeneración inadecuada

La regeneración puede ser insuficiente o inexistente, debido a lo siguiente:

- (a) extracción incompleta del piso superior (en el caso de especies de luz);
- (b) daños excesivos durante la explotación maderera, debidos a una supervisión incompleta o a que la operación maderera es demasiado prolongada;
- (c) cantidad excesiva de despojos de explotación no apilados adecuadamente;
- (d) condiciones desfavorables del suelo;
- (e) falta de resalvos;
- (f) lavado excesivo de las mareas (lugares de gran energía) debido a la extracción indiscriminada de árboles protectores de borde;
- (g) competencia de malas hierbas (p.ej. helechos *Acrostichum*).

10.4.2. Clases de regeneración

Los brizales de más de 30 cm. de altura se suelen denominar "regeneración establecida" y los inferiores se denominan "regeneración potencial". En el **Recuadro 10.7.** se muestran las clases de regeneración, reconocidas y registradas durante el muestreo de regeneración MLR.

Sin embargo, hay que señalar que este sistema de clasificación hay que adaptarlo a las condiciones locales porque los propágulos de *Rhizophora*, por ejemplo, pueden exceder muy bien los 30 cm. de longitud sin poder considerarse como "regeneración establecida".

CLASES DE REGENERACION (CR)	DESCRIPCION
I	Brizales de más de 30 cm. pero menos de 1,5 m. de altura;
II	Brizales o chirpiates de 1,5 m. o más de altura pero menos de 3 m. de altura;
III	Brizales de 3 m. o más de altura, pero con menos de 5 cm. de DAP c.c.

Recuadro 10.7.: Clases de regeneración

10.4.3. Normas sobre densidad suficiente de la regeneración

Para una regeneración natural adecuada, se necesita un mínimo de 2.500 brizales, bien distribuidos por hectárea (CR I), equivalentes a un espaciamiento de 4 m²/brizal para plantaciones de *Rhizophora* de uso múltiple. Para plantaciones bioenergéticas, de corta rotación, pueden necesitarse de 10.000 a 20.000 brizales/ha. En este caso, la finalidad es conseguir el óptimo de biomasa aérea, en lugar de producir una mezcla de productos como pilotes, postes y rollizos de gran dimensión para carbón vegetal.

Aplicando unas tasas de mortalidad del 50, 30 y 10 por ciento, para los períodos 1-10, 11-20 y 21-30 años, las densidades de masa correspondientes serán de 1.250, 875 y 788 árboles/ha. al final de los años 10, 20 y 30 (**Cuadro 10.1.**). La tasa general de mortalidad aplicada es el -3,78% compuesto, anual.

Cuadro 10.1. Densidad media de masa y tasa de mortalidad para la *Rhizophora apiculata*

PERIODO (años)	MORTALIDAD (%) PARA EL PERIODO	DENSIDAD pies/ha.	MORTALIDAD ANUAL (%)
0 - 10	50	2.500 - 1.250	-6,70
11 - 20	30	1.250 - 875	-3,50
21 - 30	10	875 - 788	-1,04

La plantación artificial se debe iniciar si a los 3 años se ha regenerado menos del 70 por ciento de la masa con las especies deseadas. En áreas invadidas por el helecho *Acrostichum*, debe asegurarse una regeneración adecuada pasados dos años.

Las normas sobre densidad conveniente de la regeneración, para el muestreo lineal de regeneración (MLR), con diferentes tamaños de parcelas se muestran en el Cuadro 10.2.

Cuadro 10.2.: Densidad mínima de regeneración de brizales para distintos tamaños de cuadrado de muestreo (CRI)

CUADRADO DE MLR dimension	SUPERFICIE EN hectárea	CUADRADOS por ha.	DENSIDAD MINIMA por cuadrado
2,5 m. x 2,5 m.	0,000625	1.600	2@
5 m. x 5 m.	0,002500	400	6
10 m. x 10 m.	0,010000	100	25

Nota: brizales : 30 cm. < = altura < 1,5 m.; @ redondeado

10.4.4. Muestreo de regeneración lineal

Los estudios lineales de regeneración, basados en hileras sistemáticamente distribuidas, se utilizan para evaluar el estado de la regeneración. Los parámetros utilizados en el análisis e interpretación de los resultados incluyen lo siguiente:

- (a) Espesura del repoblado: da una indicación sobre el cumplimiento o distribución de la regeneración;
- (b) Abundancia: Se refiere al número de individuos por cuadrado, para los cuadrados con repoblación. Da una idea de la densidad para las clases mayores de regeneración y del potencial de regeneración en el caso de la regeneración de brizales.
- (c) Tamaño de la regeneración: Se registran las "clases de tamaño de la regeneración" para la ya existente (se refiere a la clasificación de la regeneración antes descrita).

10.4.5. Repoblado efectivo

Para evaluar la intensidad efectiva del repoblado, se ponderan la presencia relativa, la abundancia y los tamaños de todas las clases de regeneración CR I-III. Cuando existen brizales o chiriales de mayor tamaño (CR II-III), se considera su contribución potencial a

las existencias de la masa final, especialmente cuando se encuentra que faltan los brizales jóvenes (CRI) o son insuficientes. El análisis e interpretación del muestreo de la regeneración, no será por tanto completo si no se considera el papel de las clases superiores de regeneración.

Si la densidad efectiva es inferior al 70 por ciento, debe determinarse la causa mediante inspección de campo. Si se pueden plantar las áreas vacías, debe emprenderse la regeneración artificial durante la estación siguiente de plantación. Se registran en la historia de los tramos todos los costos de plantación y de operaciones selvícolas. Por otra parte, si hay partes del área vacías debido a inundación profunda o a otras causas naturales que hacen imposible volver a plantar, deben marcarse tales partes (si son suficientemente grandes, p. ej. 2 ha.) en el mapa de tramos y anotarse en la historia correspondiente de los tramos.

10.5. REGENERACION ARTIFICIAL

En la plantación de manglares, las plantas que pertenecen a la Rhizophoraceae son las especies más corrientemente utilizadas y la descripción que sigue se aplica principalmente a *Rhizophora spp.* Para información sobre la regeneración artificial de otras especies, se recomienda al lector acudir a Das y Siddiqi (1985) y Siddiqi et al. (1993).

10.5.1. Fenología

Debe estudiarse el comportamiento en cuanto a floración y fructificación de las principales especies económicas, a fin de garantizar la recolección oportuna de propágulos maduros.

La selección de árboles "plus" como árboles semilleros potenciales y el establecimiento de "huertos semilleros", puede ser ventajoso cuando hay escasez de semilla de calidad y se planifica un programa de plantación en gran escala.

Las *Rhizophoras* producen propágulos anualmente. En Costa Rica, la *R. harrisonii* produce propágulos maduros principalmente los meses de junio y julio, aunque los hay más rezagados. La *R. mangle* florece más libremente.

En Sierra Leona, África Occidental, la estación principal de fructificación de la *Rhizophora racemosa* coincide con el comienzo de la estación de lluvias en mayo-julio y los propágulos maduros se reconocen fácilmente por la aparición de un "collar" por debajo del pericarpio.

En Malasia, las principales *Rhizophoras* fructifican de junio a diciembre. Estudios preliminares indican que la mayoría de las especies florecen y tienen frutos varios meses antes en las estaciones más secas, en la zona del Delta de Ayeyarwady, de Myanmar. Por ejemplo, la *Aegiceras corniculatum* florece y fructifica desde mayo a mediados de julio en las estaciones más secas, lo que sólo sucede entre julio y mediados de agosto en la zona intermareal inferior. Esta tendencia general se aplica a la mayoría de las especies que se dan naturalmente en una amplia variedad de estaciones.



Figura 10.1.: Regeneración natural densa de *Rhizophora spp.*, Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie.



Figura 10.2.: Regeneración artificial de *Rhizophora apiculata*, Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie.

10.5.2. Recolección de propágulos

En Costa Rica, los propágulos de *Rhizophora mangle* y de *R. harrisonii* parecen bastante similares, aunque los últimos tienen un radical más largo, son más lenticelados y se hacen más cónicos hacia la parte del brote. Los propágulos se recogen de rodales maduros de *R. harrisonii/R. mangle*, porque hay variedades (ecotipos) que tienden a producir múltiples tallos o formas enanas. Los "mangleros" pueden distinguir fácilmente entre el mangle caballero (*R. harrisonii*) y el mangle gateador (*R. mangle*), siendo contratados para la recolección de semillas. En Matang, los propágulos de *R. apiculata/R. mucronata* se recogen medianie el sistema de ofertas desde junio a diciembre. Los contratistas entregan los brizales a las estaciones de plantación, donde los recibe o desecha el Inspector o Sobreguarda Forestal.

En el delta de Ayeyarwady, en Myanmar se observan dos estaciones de fructificación. En la parte superior de la zona intermareal las semillas maduras se recogen desde mediados de mayo a principios de junio, antes de comenzar el monzón. En la zona más húmeda la estación de recolección va desde mediados de julio a principios de agosto. Los propágulos maduros son de color castaño oscuro con un tinte púrpura y se separan fácilmente del árbol sacudiéndolos. También se recogen los propágulos recientemente caídos y que están flotando. Como orientación, se aceptan únicamente los propágulos maduros y sanos de tamaño normal, y con radicales bien formados, que no tengan manchas por el ataque de insectos.

10.5.3. Preparación de la estación

Después de la explotación maderera, se cortan los despojos, se recogen y apilan en hileras ordenadas perpendicularmente o formando 45° con los cursos de agua. Esto se hace para favorecer el flujo de la marea, la dispersión de los propágulos que transporta el agua y para reducir el movimiento de los despojos, favorecido por las mareas, que puede ocasionar daños a los brizales establecidos y a la regeneración ya existente en el terreno.

En áreas invadidas por *Acrostichum*, deben realizarse inmediatamente medidas de extirpación. Se recomienda hacerlo manualmente porque el rociado con herbicidas puede afectar negativamente al ambiente marino.

10.5.4. Operaciones de vivero

En la mayoría de los casos en que se planta *Rhizophora sp.*, los propágulos se trasplantan inmediatamente al campo y no son necesarias las operaciones de vivero. Sin embargo, en áreas fuertemente invadidas de cangrejos o en áreas propensas a inundaciones profundas, puede ser conveniente producir los brizales en vivero antes de plantarlos en el campo.

Para otras especies como *Sonneratia spp.*, *Avicennia spp.* y *Excoecaria agallocha*, que tienen todas semillas relativamente pequeñas, es conveniente la producción de plántulas o brizales en vivero. Una exposición excelente sobre las prácticas de vivero de manglar desarrolladas en Bangladesh para una serie de especies (se recomienda consultar Siddiqi et al., 1993).

10.5.5. Plantación

En Matang, se prepara un plan de reforestación antes de la plantación, enumerando la extensión y las áreas a plantar, y se completa con una estimación de los recursos de apoyo necesarios.



Figura 10.3.: Propágulos de *Rhizophora racemosa* listos para plantar, Sierra Leona
Foto de M.L. Wilkie.



Figura 10.4.: Vivero de manglar con *R. apiculata* y *B. gymnorhiza*, Indonesia
Foto de M.L. Wilkie.

Las distancias de plantación son de 1,5 x 1,5 m. dentro de la marisma para *Rhizophora apiculata* y 1,8 x 1,8 m. junto a los cursos de agua para *Rhizophora mucronata*. Los brizales se plantan introduciendo suavemente la parte radical en el fango blando, hasta unos 5 a 7 cm. de profundidad.

La siembra aérea, sobre una base experimental, se ensayó en los manglares indios de Sundarbans con resultados prometedores, tal como se expone en el Recuadro 10.8.:

Experiencia de la India en la siembra aérea de manglares

La reforestación de ciénagas en la Isla de Kakdwip por medio de siembra aérea con helicóptero, fue realizada por primera vez en los Sundarbans de la India en agosto de 1989. Las estaciones tratadas en la zona de mareas comprenden ciénagas regularmente inundadas, limoso-arcillosas, cubiertas de hierba Dhani ghas (*Porteraria coarctata*), y matas bajas de Hargoja (*Acanthus ilicifolius*). Se empleó el Baen (*Avicennia officinalis*, *A. Alba*) y la Keora (*Sonneratia apetala*), que son las especies colonizadoras naturales.

El periodo de siembra va de mediados de agosto a primeros de setiembre, después de las pleamaras de luna llena. Con un helicóptero HILLER VI-EKB que transportaba 300 Kg. de semilla, se sembraron 30 ha. diarias a razón de 6 ha. de siembra por hora. De esta forma se trató una superficie total de 450 ha.

Los estudios de supervivencia realizados en febrero del año siguiente indicaron unas tasas de establecimiento de 150 a 3.880 brizales/ha. Los brizales no estaban distribuidos uniformemente pero con un mejor diseño de la tolva de la semilla y utilizando un tipo de avión Beaver, se obtuvieron mejores resultados.

Fuente: Lahiri, A.K. 1991.

Recuadro 10.8.: Siembra aérea de manglares

En Sierra Leona, los alumnos de las escuelas primarias ayudaron a la plantación de manglares en ocasión del Día Nacional de Plantación del Árbol. Véanse las Figuras 10.5. y 10.6.

10.5.6. Forestación de ciénagas de formación reciente

En la Bahía de Bengala se ha realizado desde hace muchos años una forestación muy extensa para acelerar la recuperación de ciénagas de formación reciente a lo largo de la costa. Las especies preferentes son *Sonneratia apetala* y *Avicennia officinalis* (Das y Sidiqqi, 1985). Otras especies, incluidas algunas que no son características de los manglares, como *Acacia nilotica*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Casuarina equisetifolia*, tolerantes a los suelos salinos, pueden plantarse también en los lugares más consolidados. El hundimiento natural del suelo en ciénagas recientemente acrecentadas puede dar lugar a que desaparezcan las plantaciones de la noche a la mañana. Sin embargo, en su conjunto estos esfuerzos de recuperación han acelerado la retención de sedimentos, han estabilizado los nuevos acrecentamientos y los terraplenes protectores creando al propio tiempo más terrenos que son necesarios para alojar a una población rural creciente y para otros usos agrícolas.



Figura 10.5.: Plantación de manglares por escolares Sierra Leona. Foto de M.L. Wilkie

Figura 10.6.: *Rhizophora racemosa* a los dos años de la plantación
Sierra Leona. Foto de M.L. Wilkie



10.5.7. Reforestación de áreas degradadas

En 1988, se inició un ensayo de plantaciones con *R. harrisonii* en Boca Chica, en la reserva de Sierpe-Terraba de Costa Rica, donde existían más de 5.000 ha. de terrenos pantanosos invadidos de *Acrostichum*. Una proporción importante de las márgenes del río se encontraba sin vegetación. El helecho, de unos 2 m. de altura, se eliminó manualmente en hileras perpendiculares a las vías fluviales. El espaciamiento que se empleó en la plantación fue de 1,5 m. x 1,5 m. Se logró una baja tasa de supervivencia (alrededor del 50%) debido a que la estación estaba bastante seca y a que la *R. harrisonii* podría no ser la especie adecuada. Las plántulas fueron atacadas también por insectos perforadores.

A partir de 1990 se realizaron plantaciones experimentales con 12 especies, en los municipios de Laputta y Bogalay del delta de Ayeyarwady en Myanmar. En las estaciones elevadas y más secas, la especie más prometedora fue la *Excoecaria agallocha*. Se reproduce muy bien mediante chirpias, comienza lentamente pero acelera su crecimiento en altura una vez consolidado su sistema radical. Las raíces principales crecen en profundidad en el barro, por lo que se dañan con menos facilidad por el agrietamiento superficial del suelo, que tiene lugar durante los meses cálidos y secos. Algunas *Bruguieras* también prosperan bien en estaciones similares pero requieren unas mejores condiciones de humedad en el suelo. La más difícil de restablecer fue la *Heritiera fomes* porque necesita una buena provisión de agua dulce superficial. La red de los neumatóforos de la *Heritiera* no se puede desarrollar adecuadamente cuando se endurece la superficie del suelo y se agrieta durante los meses secos. Las especies *Sonneratia apetala*, *S. caseolaris* y *Avicennia officinalis* se desarrollan bien en la zona húmeda intermareal que está siempre mojada y se inunda regularmente. Análogamente, las *Rhizophoras* se desarrollan bien en las ciénagas húmedas pero más consolidadas que se inundan regularmente. La *Ceriops decandra* y la *C. tagal* se regeneran bien bajo la palmera *Phoenix paludosa*, con diversos grados de sombra, en los suelos más secos. En términos generales, los ensayos de plantación indicaron que no es fácil la restauración de terrenos antes agrícolas y en estaciones elevadas desprovistas de vegetación. Hay que seleccionar especies apropiadas y plantarlas en el momento y lugar adecuados, debiendo tener cuidado en asegurarse de que el agua del mar pueda alcanzar las áreas plantadas.

Puede ser necesaria la preparación de la estación para reforestar terrenos de arroz abandonados situados en estaciones marginales y más secas, que pueden ser a veces fuertemente ácidas. El primer paso es restaurar y mejorar las condiciones naturales del suelo, posibilitando que las mareas vivas y las lluvias saturen el suelo. Esto se puede lograr muy fácilmente rompiendo los diques artificiales que impiden el movimiento del agua. También pueden construirse canales de riego de poca profundidad para dirigir el agua del mar hacia los sitios de plantación. El flujo regular del agua elimina los productos químicos tóxicos del suelo y recarga éste con nutrientes. La plantación de tales áreas hay que realizarla con plántulas producidas en vivero inmediatamente antes y durante las lluvias monzónicas.

Los suelos de manglar son ricos en sales disueltas y en azufre procedente de las piritas (FeS_2). Cuando se desagua el suelo y se deja secar tiene lugar la oxidación. La oxidación de las piritas, favorecida por la acción bacteriana (*Thiobacillus ferroxidans*) produce ácido sulfúrico que reduce el pH del suelo. Cuando éste se hace muy ácido, los iones del sulfato reaccionan con las partículas de arcilla, liberando cantidades tóxicas de iones de aluminio que impiden el enraizamiento de las plantas e incluso ocasionan su muerte, lo que constituye una de las causas principales que obligan a abandonar los terrenos de arroz situados en antiguas áreas de manglar.

10.5.8. Reposición de marras

Transcurrido un año de la plantación, se realiza un estudio para determinar la supervivencia de las plántulas. En las áreas con menos del 70% de supervivencia hay que proceder a la reposición de marras durante la siguiente estación de plantación.

10.6. CONTROL DE MALAS HIERBAS

En la mayoría de las áreas de manglar no hay prácticamente malas hierbas. Sin embargo, en estaciones más secas y en áreas más marginales existe una excepción importante: el helecho *Acrostichum* que en Matang, Malasia, parece afectar incluso a las mejores estaciones. Este helecho es difícil de erradicar y en áreas fuertemente infestadas puede ser mejor hacer sólo una limpieza en coros alrededor de las plántulas recientemente puestas, producidas preferentemente en vivero. Se recomienda la corta manual, aunque se utiliza en algunos países el herbicida Velpar. Aún está por determinar su efecto sobre el ambiente marino.

10.7. CONTROL DE ENFERMEDADES Y PLAGAS

Los cangrejos pueden ser un problema importante para el establecimiento de manglares, porque atacan a los propágulos suculentos. Se han ensayado diversos métodos para proteger los propágulos de estos ataques, por ejemplo pintando el hipocótilo con pintura amarilla, colocándolos dentro de un cilindro de bambú y plantando plántulas en vez de propágulos. No obstante, el método de más éxito (y más barato) parece ser dejar que los propágulos se sequen un poco, manteniéndoles almacenados durante un par de semanas antes de la plantación, ya que esto les hace menos atractivos para los cangrejos.

Las plántulas de *Rhizophora* son destruidas a veces por perforadores del tallo. Hay que evaluar la frecuencia y gravedad de tales ataques, relacionándolos con los factores de la estación. En Cuba, una gran proporción de propágulos de *Rhizophora mangle* son atacados también por perforadores.

En Maswari, Sierra Leona, rodales vírgenes de 35-40 m. de altura de *R. racemosa* fueron totalmente defoliados en 1989, por un tipo de oruga de la hoja, pero afortunadamente los árboles fueron capaces de producir una nueva foliación y sobrevivieron al ataque.

Murphy y Meepol (1990) y Rau y Murphy (1990) describen ataques de herbívoros a los manglares de Tailandia, (sobre todo por especies pertenecientes a los órdenes Coleoptera, Lepidoptera y Diptera).

Con frecuencia se encuentran termitas (*Nasutitermes termitaria*) en chancros que se desarrollan en troncos, ramas y raíces por encima de las marcas de la pleamar. Los troncos infestados se ahuecan, siendo propensos a su rotura por el viento. La incidencia de las termitas y el hecho de que los árboles aislados sufran la quemadura de la corteza, hacen imposible retener grandes troncos como semilleros, teniendo como finalidad la producción de árboles con corteza de más de 75 mm. de espesor.

En los Sundarbans de Bangladesh, se ha registrado la muerte en gran escala de las copas de una de las principales especies (*Heritiera fomes* o Sundri) (Véase por ejemplo BARC,

1990). Aunque en los árboles afectados se encuentran frecuentemente chancros con agallas, estas infecciones parecen ser de naturaleza secundaria. El aumento de la salinidad del suelo también se ha descartado como causa principal y la opinión general es que puede deberse a una combinación de factores abióticos y bióticos.

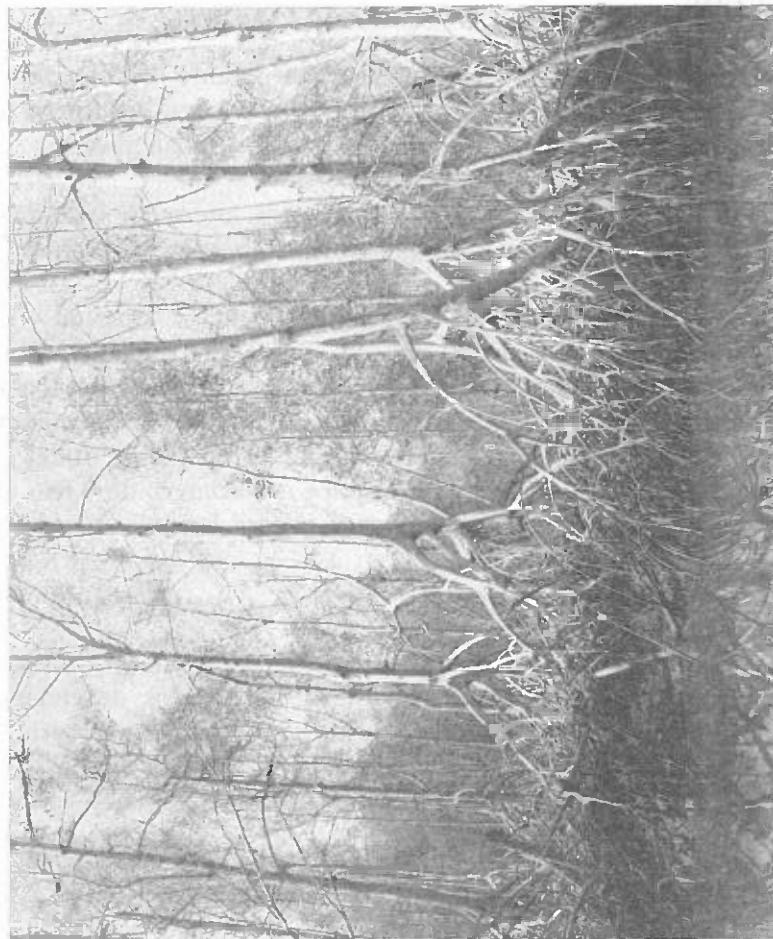


Figura 10.8.: Defoliación de un rodal virgen de *R. naemosa*, Sierra Leona.
Foto de M.L. Wilkie

Figura 10.8.a

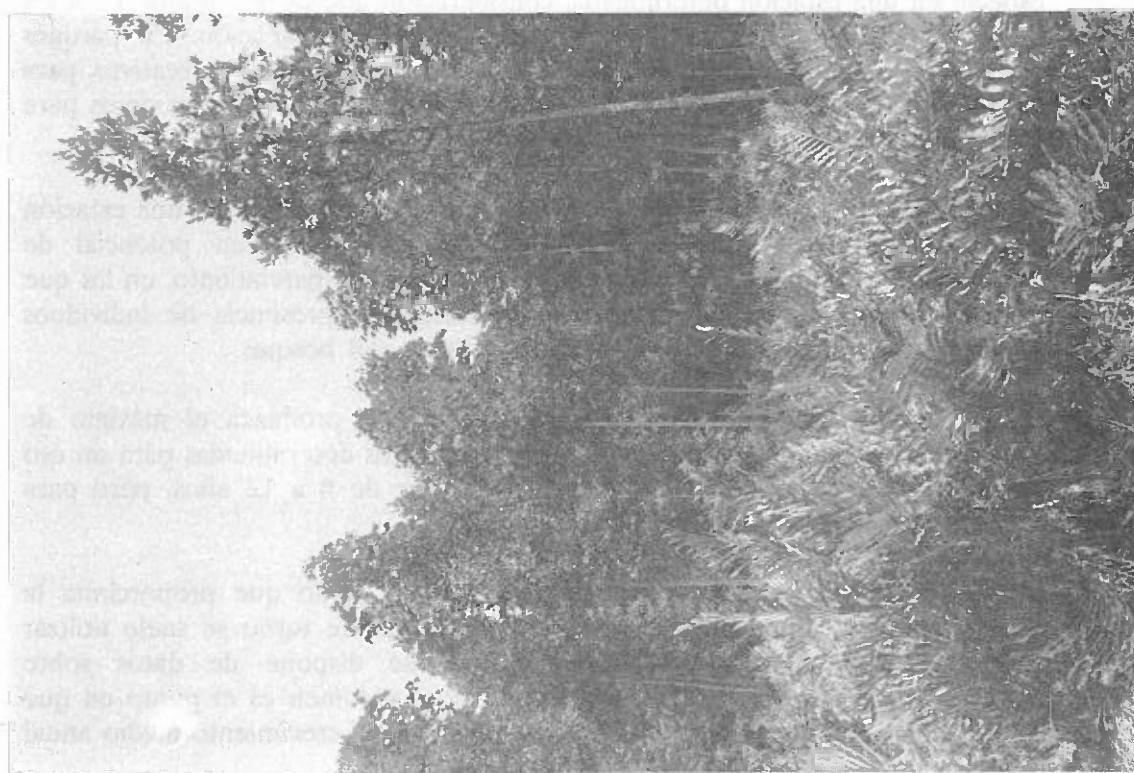


Figura 10.7.: Área invadida por *Acrostichum* en Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie

Figura 10.7.a

10.8. ACLAREOS

Dependiendo de la tasa de crecimiento, del período de rotación y de la posibilidad de comercializar los productos de pequeña dimensión, pueden realizarse aclareos de las masas para aumentar el crecimiento en diámetro de la masa remanente.

En Matang, Malasia, se realizan dos aclareos intermedios cuando la masa tiene 15 y 20 años respectivamente. El método empleado se denomina el aclareo "del palo".

En la primera clara, se emplea un palo de 1,2 m. de longitud y se selecciona un buen árbol recto. Se cortan todos los demás árboles situados en un radio de 1,2 m., y se vuelve a elegir un nuevo árbol, repitiéndose el procedimiento. El primer aclareo se traduce así en una distancia relativa entre árboles de 1,2 m. con respecto a la masa remanente, equivalente a un promedio de 6.944 árboles/ha. El segundo aclareo, en el que se utiliza un palo de 1,8 m. de longitud, se traduce en una masa en pie, después del aclareo, de 3.086 árboles/ha. La madera obtenida de los aclareos se vende como postes o para leña.

10.9. ELECCION DEL TURNO

Existe una dimensión o edad óptima para la producción de los árboles. El período de años necesario para que una masa alcance las condiciones deseadas de madurez, ya sea económica o natural, se conoce como turno. Este depende de una serie de factores, como los fines de la ordenación, la especie o combinación de especies sujetas a ordenación, sus tasas de crecimiento, etc. Ambientalmente, hay que considerar también los efectos de la duración del turno sobre la caída de hojarasca.

Los turnos se pueden clasificar en cuatro grandes tipos, del modo siguiente:

- (i) Turno físico: Este turno coincide con la duración natural de la vida de una especie en una estación determinada, consideración que es importante para los bosques recreativos, jardines, parques o bosques de protección. En parques frecuentados por el público o en la ordenación de bosques recreativos para turismo, puede ser necesario extraer los árboles moribundos o muy viejos para reducir los peligros debidos a la caída de ramas y árboles.
- (ii) Turno selvícola: Es el turno que permite que una especie dada en una estación determinada, continúe manteniendo una regeneración y un potencial de crecimiento satisfactorios. Es útil para los bosques de esparcimiento, en las que la extensa variedad de tamaños de los árboles y la presencia de individuos grandes y maduros, favorecen el valor paisajístico del bosque.
- (iii) Turno técnico: Es el turno que permite que una especie produzca el máximo de materia prima de un tamaño especificado o de características determinadas para un uso especial. Para la producción de leña el turno puede ser de 6 a 12 años, pero para rollizos de carbón vegetal varía entre 12 y 30 años.
- (iv) Turno de máxima producción en volumen: Es el turno que proporciona la máxima cantidad anual de materia prima. Este tipo de turno se suele utilizar para lograr la máxima producción cuando se dispone de datos sobre crecimientos. El turno de máxima producción en volumen es el punto en que el crecimiento corriente anual (CCA) se iguala con el crecimiento medio anual (CMA).



Figura 10.9.: Rodal de *Rhizophora apiculata* después del primer aclareo, Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie



Figura 10.10.: Rodal maduro de *Rhizophora apiculata* listo para la corta final, Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie

A lo anterior hay que mencionar el "turno financiero" que pretende obtener el óptimo rendimiento económico del capital, bajo el principio de la renta forestal. La renta forestal es similar a la culminación del CMA, salvo que el crecimiento se mide por el dinero neto obtenido, en vez de obtenerse en unidades volumétricas.

10.9.1. Elección del tipo de turno

Los turnos pueden clasificarse en tres grandes grupos, para cumplir diversos fines, del modo siguiente:

- (a) Controlar el suministro de ciertos servicios, p. ej. para bosques de esparcimiento (utilizar el turno selvícola y el físico);
- (b) Controlar la producción de productos forestales seleccionados (utilizar el turno técnico y el de volumen máximo);
- (c) Controlar los rendimientos financieros (utilizar el turno financiero).

El turno técnico es apropiado cuando se necesita un suministro sostenido de madera para atender necesidades industriales prioritarias o demandas sociales. El turno financiero va mejor cuando existe un impedimento en cuanto a los fondos para tratamientos selvícolas.

En los manglares de Matang, Watson (1928) estimó que el CMA culmina con 10,6 m³/ha/año a los 39-40 años. Si la principal finalidad es obtener árboles con corteza de más de 75 mm. de grueso, que se encontrará normalmente en árboles de más de 75 mm. DAP, se requiere un turno de más de 40 años. Este turno tan prolongado puede ser difícil de justificar económicamente e incluso difícil de aplicar, como en el caso de los manglares de Terraba-Sierpe, de Costa Rica, debido a la fuerte incidencia de los ataques de termitas y hongos. Por estas razones (y debido al desperdicio de madera) no es práctico ordenar los bosques exclusivamente para la producción de corteza. La corteza debe producirse, por lo tanto, como un producto secundario de la extracción de madera.

Pueden elegirse lógicamente distintas duraciones del turno para diferentes especies, dentro del mismo bosque, pero también para la misma especie según las condiciones de la estación, el uso final, finalidad del rodal, etc., es decir, un turno para cada cuartel administrativo.

La duración del turno depende de los factores siguientes:

- * el crecimiento del volumen en pie, que varía con:
 - (a) la especie de que se trate;
 - (b) el factor estacional;
 - (c) la intensidad del aclareo y el tratamiento.
- * la selvicultura de la especie, como edad de diseminación, calidad de la madera, etc.
- * la erosionabilidad o deterioro del suelo, después de exposiciones frecuentes.
- * los factores técnicos relativos a los equipos de corta y extracción.
- * la economía

10.10. AREAS DE CONSERVACION Y PROTECCION

10.10.1. Biodiversidad genética

Un sistema de rendimiento sostenido, basado en unas pocas especies deseables o incluso en plantaciones monoespecíficas, reduce la diversidad genética del ecosistema. Para evitarlo deben reservarse áreas para mantener la biodiversidad. Véase la Figura 10.11. como ejemplo de un área de manglares vírgenes, reservada para preservación en Malasia.

10.10.2. Control de la erosión

El manglar es un ecosistema dinámico en el que las influencias de las mareas y las hidrológicas determinan el modelo de sedimentación y erosión. La masa de barro y acarreos, estabilizada y sostenida por la vegetación de manglar es la mejor forma de protección natural. El acrecentamiento y la erosión de las márgenes fluviales son fenómenos naturales y es la forma en que la naturaleza construye la marisma con sedimentos y la enriquece con los nutrientes transportados. Hay que distinguir esto de la erosión inducida por el hombre, que puede ser muy destructiva e incluso irreversible. Hay que evitar la destrucción de la vegetación ribereña y de borde mediante la adecuada ordenación y control.

10.10.3. Avifauna

Las aves costeras migratorias que crían en Siberia, China y Japón, utilizan los manglares y ciénagas costeras del sudeste de Asia como lugares de descanso y abastecimiento en su migración anual a Australia.

El mantenimiento de Reservas Naturales, en las que se prohíbe la explotación maderera, es necesario para la avifauna. Las garzas se encuentran corrientemente en muchos lugares importantes para las zancudas migratorias. Algunas construyen sus nidos entre los helechos de *Acrostichum*. Otras especies como la cigüeña lechosa *Mycetaria cinerea* y el *Leptoptilos javanicus* parecen preferir los árboles altos y viejos para la reproducción (*B. gymnorhiza/R. apiculata*).

Sus poblaciones se reducen en número debido a (a) al cambio o pérdida de sus hábitats (faltan los árboles viejos que son fundamentales para hacer los nidos); (b) la caza (se recogen huevos y pajarillos para el consumo); y (c) las perturbaciones humanas (algunos lugares son perturbados regularmente por los pescadores de cangrejos). Los conteos de aves en los riachuelos de los manglares de Matang revelaron la importancia de tales riachuelos para una serie de especies de aves, incluyendo la pequeña garza verde (*Butorides striatus*), el andarrío común (*Actitis hypoleucus*), cinco especies de martín pescador y el Masked Finfoot. Algunas especies tienen técnicas de alimentación adaptadas para la consecución del alimento durante la pleamar.

10.10.4. Otras especies de fauna silvestre

Otras especies de fauna silvestre, como el Tigre Real de Bengala y el ciervo moteado, que se encuentran en los Sundarbans, requieren también áreas protegidas y que no se perturben ciertas áreas durante la estación de reproducción.

10.10.5. Pesca

Como los peces y otros animales marinos emplean las áreas de manglar como terrenos de desove, alimentación y protección, hay que mantener intacta una faja de manglares a lo largo de todos los cursos de agua, excepto en los lugares necesarios para descarga y carga en las operaciones de explotación maderera.

10.10.6. Recreación y educación

Se deben establecer y mantener también sitios suficientes para fomentar el valor recreativo y educativo de los manglares. La Figura 10.2. presenta un ejemplo de la construcción de un sendero sobre soportes en un área de manglar destinada a recreación.

Todas las áreas anteriores pueden tener necesidades selvícolas especiales.



Figura 10.11.: "Reserva de Selva Virgen" de Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie

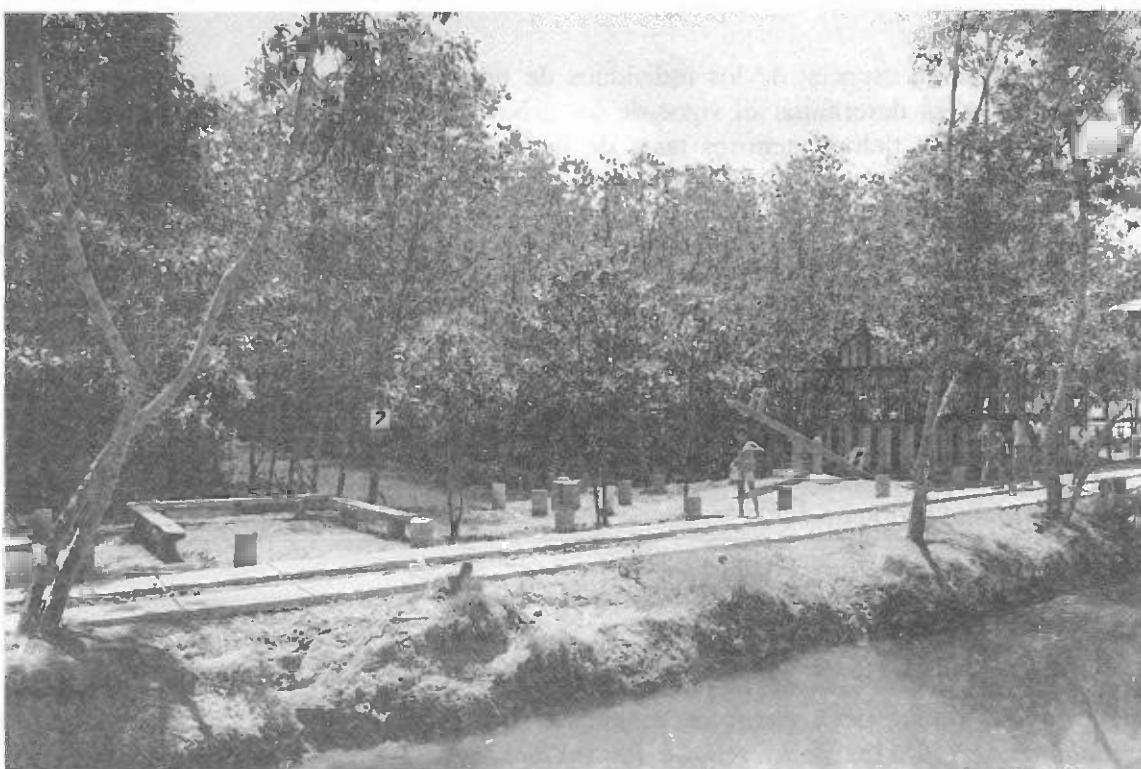


Figura 10.12.: Sendero sobre soportes, en Cilacap, Indonesia
Foto de M.L. Wilkie

11. LA PRODUCCION Y SU REGULACION

11.1. ESTIMACION DE LA PRODUCCION

11.1.1. Tasas de crecimiento

Las tasas de crecimiento varían, entre otras circunstancias, con la especie, las condiciones de la estación, la posición espacial en la masa, la situación de competencia, el vigor y la edad. A pesar de su variabilidad intrínseca, se suele utilizar el incremento medio por clase diamétrica (si no se conoce la edad) como medida del crecimiento y para la proyección de la masa. Puede suceder que los datos sobre crecimientos no estén disponibles localmente, pero se pueden obtener indicaciones útiles empleando datos disponibles de otros lugares (Véase el Cuadro 11.1. que presenta datos del área de manglares de Matang, en Malasia).

Cuadro 11.1.: Tasas de crecimiento diamétrico de árboles de *R. apiculata* por clases diamétricas (1920-81)

Diámetro (cm)*	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Periodo medido	1920-81	1920-81	1920-81	1946-81	1975-81
Incremento medio anual ponderado (cm/año)	0,26	0,28	0,29	0,25	0,24

Fuente: Putz y Chan, 1986 (* Diámetro con corteza a la altura del pecho)

La posición espacial de los individuos de una masa, expresada por el dominio de las copas, es útil para determinar el vigor de los árboles. Como cabe esperar, generalmente, los árboles deprimidos tienen menores tasas de incremento que los dominantes y codominantes (Véase el Cuadro 11.2., Putz y Chan, 1986).

Cuadro 11.2.: Incremento diamétrico de *R. apiculata* según clases de copa en Pulau Kecil

CLASES DE COPA	INCREMENTO DIAMETRICO (cm/año)
Dominantes	0,35
Codominantes	0,25
Sub-dominantes/intermedios	0,15
Deprimidos/dominados	0,09

Fuente: Putz y Chan, 1986

En el Cuadro 11.3. se resumen los datos de incrementos diamétricos recogidos por Jimenez, J.A. (com. per.) para los manglares del Pacífico Norte, en bosques puros de *Rhizophora* y en la zona de mezcla de *Rhizophora sp.* y *Avicennia germinans*.

Cuadro 11.3.: Incrementos del DAP (con corteza) para *Rhizophoras* en zonas puras y mezcladas a lo largo de la costa Norte del Pacífico, Costa Rica

CLASE DIAMETRICA (cm.)	ZONA DE RHIZOPHORA		CLASE DIAMETRICA (cm.)	ZONA DE RHIZOPHORA	
	PURA	MEZCLADA		PURA	MEZCLADA
A. 1,7-2,9 media desv. típ. número	0,10 0,50 50	0,11 0,10 47	F. 15,0-19,9 media desv. típ. número	0,08 0,07 24	0,15 0,13 30
B. 3,0-6,0 media desv. típ. número	0,11 0,11 50	0,14 0,12 47	G. 20,0-24,9 media desv. típ. número	0,10 0,09 21	0,13 0,07 21
C. 3,5-5,9 media desv. típ. número	0,14 0,10 35	0,13 0,09 36	H. 25,0-29,9 media desv. típ. número	0,16 0,14 13	0,14 0,07 12
D. 6,0-9,9 media desv. típ. número	0,19 0,15 44	0,13 0,11 42	I. 30,0-34,9 media desv. típ. número	0,09 0,05 15	0,14 0,07 14
E. 10,0-14,9 media desv. típ. número	0,17 0,15 30	0,17 0,14 40	J > 35 media desv. típ. número	0,09 0,07 10	0,17 0,08 15
Fuente: Jimenez, J.A. (sin publicar, 1987)					

11.1.2. Rendimiento y producción

El **rendimiento** es la cantidad realmente extraída, mientras que la **producción** es el incremento total acumulado de madera, se extraiga o no se extraiga. El plan de trabajos debe dar una previsión de los flujos de ingresos obtenidos de una estimación de la madera comercial en pie. Para masas irregulares y bosques naturales, de los que no existen datos precisos sobre tasas de crecimiento, el rendimiento potencial puede determinarse mediante una estimación del volumen actual en pie.

Por ejemplo, en Costa Rica, un inventario de los bosques de Playa Garza dio unos volúmenes de parcelas de 34,6 m³ a 373,2 m³/ha. para madera de tronco de más de 10 cm. (DAP. cc.). El volumen medio en pie era de 280,5 m³/ha. que era alto, ya que el bosque se había explotado anteriormente. El volumen medio de la masa de *Rhizophora* era de 163 m³/ha. En el **Cuadro 11.4.** se muestra una indicación de la distribución de volúmenes/ha. por clases diamétricas.

Cuadro 11.4.: Volumen en m³/ha. por clases diamétricas, Playa Garza, Costa Rica

CLASES DIAMETRICAS (cm.)	1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAL POR ha.	
	10<15	15<20	20<25	25<30	30<35	35<40	40<45	>45	m ³	%
Rhizophoras	14,2	22,8	36,0	28,0	22,6	25,7	10,7	3,0	163,0	58,1
Pelliciero	17,6	27,5	32,7	17,9	8,4	8,5	4,8	0,0	117,5	41,9
TOTAL	31,8	50,2	68,7	45,9	31,0	34,2	15,5	3,0	280,5	100,0

Fuente: Chong (1988a)

Se llegó a la conclusión de que la corta final produciría como mínimo 150 m³/ha. de *Rhizophora* en base a un turno de 25 años y un volumen igual o superior de otras especies.

En Matang, Malasia, la densidad y volumen medios para masas de 30 años de *R. apiculata* son de 1.343 árboles/ha. y 53 m³/ha. respectivamente. En Ranong, Tailandia, se han registrado existencias medias de 812 árboles/ha. y un volumen medio de 226 m³/ha.

En el Cuadro 11.5. se expone la productividad de las plantaciones en el Golfo Superior de Tailandia, basada en un inventario de plantaciones de propiedad privada de Yeesarn realizado por Wechkit (1987). No se trata de una tabla de rendimientos porque los datos proceden de diversas estaciones.

Cuadro 11.5.: Crecimiento y rendimiento de plantaciones de *Rhizophora apiculata* de diferentes edades y estaciones de Yeesarn, provincia de Samut Songkram, Tailandia

EDAD EN AÑOS	DENSIDAD DE MASA Nº DE PIES POR HECTAREA	DIAMETRO (dap) (cm.)	ALTURA m.	VOLUMEN COMERCIAL (m ³ /ha.)	CRECIMIENTO ANUAL m ³ /ha./año	VOLUMEN TOTAL m ³ /ha.
1	23.800	-	0,45	-	-	0,60
2	23.000	-	1,07	-	-	1,53
3	21.700	0,94	1,76	-	-	2,88
4	22.000	1,59	2,36	2,15	0,54	8,79
5	20.400	2,26	3,71	18,38	3,68	23,17
6	20.700	2,50	4,41	26,03	4,34	29,98
7	21.000	2,83	4,92	41,68	5,95	45,18
8	20.000	2,97	5,58	49,29	6,16	52,34
9	19.000	3,26	6,82	69,30	7,70	71,50
10	18.000	3,65	7,30	88,39	8,84	90,82
11	16.200	4,31	8,94	128,28	11,66	131,17
12	13.300	5,18	10,19	161,97	13,50	164,90
13	11.200	5,51	10,76	163,14	12,55	165,77
14	11.500	5,98	11,40	231,00	16,50	233,56
15	10.300	6,26	12,36	219,29	14,62	221,85

Fuente: Weechakit, 1987

El crecimiento medio anual se obtiene dividiendo el volumen comercial total por la edad conocida y aunque el cuadro parece indicar que el incremento medio anual IMA crece fuertemente después del año 10, los datos están fuertemente influidos por factores de la estación.

11.1.3. Área efectiva de explotación maderera

El área efectiva de explotación maderera se refiere a la superficie realmente trabajada después de haber excluido las áreas denominadas improductivas, como ríos y canales, áreas necesarias para conservación, protección costera, investigación, recreación u otros fines incompatibles con la corta de árboles, y también los sitios naturalmente improductivos. El rendimiento en volumen se calcula entonces multiplicando el área efectiva a cortar por el volumen medio por ha.

11.1.4. Estimación de la mezcla de productos

La mezcla de productos forestales a producir durante el período de un plan se debe estimar en el plan de trabajos en forma de toneladas de rollizos para carbón vegetal, metros cúbicos o estéreos de leña, número de pilotes y postes, etc. En el **Recuadro 11.1.** se describe un ejemplo de la estimación de la mezcla de productos, de Costa Rica.

Se determinaron los productos finales potenciales de las masas con predominancia de *Pelliciera rhizophorae* estimando el número de trozas de 1,5 m. de longitud obtenibles de madera de tronco comercial, hasta de 10 cm. sin corteza, para distintas clases diamétricas.

Se obtuvo la relación entre la altura comercial (H_c), con un diámetro en punta de 10 cm. sin corteza, y el DAP cc., mediante una regresión lineal ($H_c = -6,564 + 0,864(DAP)$) con un coeficiente de correlación de 0.94 (error standar 2,194 y relación F 170,6). Se utilizó esta regresión para predecir la altura comercial (o sea, tronco comercial) para distintas clases diamétricas. Con estos datos, se determina la mezcla potencial de productos finales basándose en las especificaciones conocidas de los productos y sus valores comerciales para un país determinado, como se presenta por ejemplo para Costa Rica en los Cuadros 11.6. y 11.7.

Los postes de telégrafo o transmisión se pueden emplear también para fines constructivos. En Costa Rica, las normas empleadas para los postes de madera se basan en las del Cedro Rojo Occidental y el Pino Ponderosa, en vez de basarse en la madera de construcción del país. Localmente, se utilizan también postes de hormigón que son bastante más caros que los de madera.

Fuente: Chong (1988a)

Recuadro 11.1. Estimación de la mezcla de productos en Costa Rica

Cuadro 11.6.: Especificaciones generales para productos seleccionados basados en el manglar, en Costa Rica

PRODUCTOS	DIAMETRO/ARBOL (cm.)	LONGITUD (m.)
1. Leña	<10	1 - 1,5
2. Carbón vegetal	10 - 25	1,5
3. Piquetes para cercas	10 - 21	2 - 2,5
4. Postes de telégrafo	17 - 21	8,0
5. Postes de transmisión	22 - 31	12,0
6. Trozas para aserrar	>30	4 - 8,0

Cuadro 11.7.: Gama estimada de productos basada en clases diamétricas y altura comercial (10 cm. con corteza)

ALTURA COMERCIAL (m.)	CLASES DIAMETRICAS (cm.)			
	I (10<15)	II (16<21)	III (22<31)	IV ≥ 31
3 - 7	Leña	Rollizos Pilotes	Rollizos Pilotes	Madera aserrada Pilotes
8 - 12		Rollizos Telégrafo	Rollizos Pilotes	Madera aserrada
3 - 15			Pilotes Transmisión	Madera aserrada
16+			Madera aserrada	Madera aserrada

Fuente: Chong (1988a)

11.2. Regulación del rendimiento forestal

Un bosque regulado es aquél cuya condición de rendimiento sostenido funciona en todas las partes de la propiedad ordenada. Esto es difícil en la práctica. Viene determinado por (a) el turno y (b) la corta anual.

11.2.1. Determinación de la corta anual

Todas las operaciones selvícolas culminan con la extracción de los productos forestales como leña, postes, pilotes y madera de construcción, etc. La corta final tiene una influencia decisiva sobre los bosques y es en sí misma una operación selvícola. La determinación del tipo, localización y cuantía de la corta, es por tanto fundamental para la conformación y desarrollo futuro de los bosques.

Una política de cortas determina lo siguiente: cuánto se va a cortar, el tipo, calidad y dimensión de los productos a aprovechar y dónde cortar y con qué secuencia. Esto viene orientado por las consideraciones siguientes:

- (a) lograr los objetivos de la ordenación;
- (b) situación comercial de los diferentes productos;
- (c) necesidades e impedimentos selvícolas;
- (d) impedimentos para los aprovechamientos;
- (e) impacto ambiental sobre los valores no madereros, p. ej. potencial de pesca, moluscos, apicultura, fauna silvestre y ecoturismo, que puede verse perturbado por cortas raras extensas;
- (f) aspectos sociales, como empleo sostenido, las oportunidades de empleo fuera de temporada, etc.

Hay dos sistemas posibles para determinar la corta: (a) mediante control de superficie y (b) mediante control de volumen.

Ningún método puede ser por sí mismo totalmente satisfactorio porque un volumen a cortar sólo tiene significado si es específico en cuanto a localización, pues de lo contrario es difícil de aplicar y supervisar. Por lo tanto, los métodos por superficie y por volumen son complementarios y con frecuencia se combinan.

Control por superficie

El principio del control por superficie es que anualmente se dispone de una cierta superficie de bosque para la corte final. Cuando la estación es muy variable o la superficie es grande, no suele ser posible estabilizar la producción en volumen basándose en la corte anual de una superficie igual de bosque. Las fluctuaciones de los rendimientos anuales en volumen pueden suavizarse mediante el sistema de utilizar áreas equiproductivas o "reducidas" que tienen en cuenta la capacidad productiva de la estación.

Ejemplo: Si un bosque uniforme se ordena con un turno de 30 años, cada año 1/30 de la superficie total del bosque llega a la edad del turno y se aprovecha y regenera. Esto puede expresarse mediante la fórmula siguiente:

$$\begin{array}{lcl} CA = S/T & CA & = \text{Corte anual en ha/año;} \\ & S & = \text{Superficie total de bosque productivo en ha;} \\ & T & = \text{Turno en años.} \end{array}$$

Nota: La Corte Anual en este ejemplo es la superficie disponible anualmente para la corte final. Una superficie de igual tamaño estará disponible para cada uno de los aclareos intermedios prescritos.

Control por volumen

En este método, la corte se determina mediante el volumen y la distribución de las existencias en pie y su crecimiento. Los datos necesarios se obtienen a partir de los resultados del inventario forestal. La fórmula de Von Mantel, que está basada enteramente en las existencias en pie, puede utilizarse como orientación. La fórmula puede expresarse de la forma siguiente:

$$\begin{array}{lcl} CA = 2 (Ep/T) & \text{donde } CA & = \text{Corte anual (m}^3\text{);} \\ & Ep & = \text{Existencias en pie (m}^3\text{);} \\ & T & = \text{Turno (años).} \end{array}$$

Ejemplo: Dada una superficie total de bosque de 3.000 ha con unas existencias en pie de 360.000 m³ y un turno de 30 años; la corte anual en m³ vendrá determinada de la forma siguiente:

$$\begin{array}{lcl} CA & = & 2 \times (360.000/30) \\ & = & 24.000 \text{ m}^3/\text{año} \\ & = & 8 \text{ m}^3/\text{ha/año.} \end{array}$$

Nota: Este cálculo de la corte anual admisible en m³/ha. incluye el volumen extraído a través de los aclareos intermedios.

El valor de la fórmula de Von Mantel está en su sencillez, en los pocos datos que se necesitan para utilizarla y en sus resultados, que suelen ser bastante conservadores.

Sin embargo, sólo puede servir como una estimación rápida y aproximada y su aplicación se limita a los bosques con masas regulares y con una distribución equilibrada de clases de edad, es decir un "bosque normal". En la práctica, este caso es bastante raro.

Hay métodos de control más precisos que incorporan los crecimientos anuales y combinan los métodos de control por superficie y por volumen, que son complementarios. Para este sistema combinado la necesidad de datos es más exigente, pudiendo ser difícil conseguirlo.

Como norma general, para plantaciones con turnos relativamente cortos, el método de control por superficie da unos resultados aceptables, mientras que en los bosques naturales con masas irregulares el método de control por volumen da mejores resultados.

Un tratamiento detallado de métodos de control más complicados, queda fuera del alcance de estas directrices. Conviene citar a este respecto los textos normales sobre ordenación forestal (p. ej. Davis, K. 1966; Osmaston, F.C., 1968; Clutter, J.L. et al., 1983).

11.2.2. Regulación de masas coetáneas (regulares)

Las masas cuyos árboles dominantes y codominantes son aproximadamente de la misma edad, se definen como masas "regulares". Se pueden establecer masas regulares de la forma siguiente:

- * Forestación o reforestación después de una corta a hecho;
- * Sistema de monte bajo;
- * Método de árboles semilleros y regeneración natural (sistema de aclareos sucesivos).

Sin embargo, al depender completamente de la regeneración natural, puede ser difícil lograr la situación de masa regular a menos que se adopten medidas para intervenir mediante plantación, por manchas, de enriquecimiento o incluso por lotes grandes, cuando se juzgue que la densidad de la regeneración es inadecuada en número o por su distribución irregular.

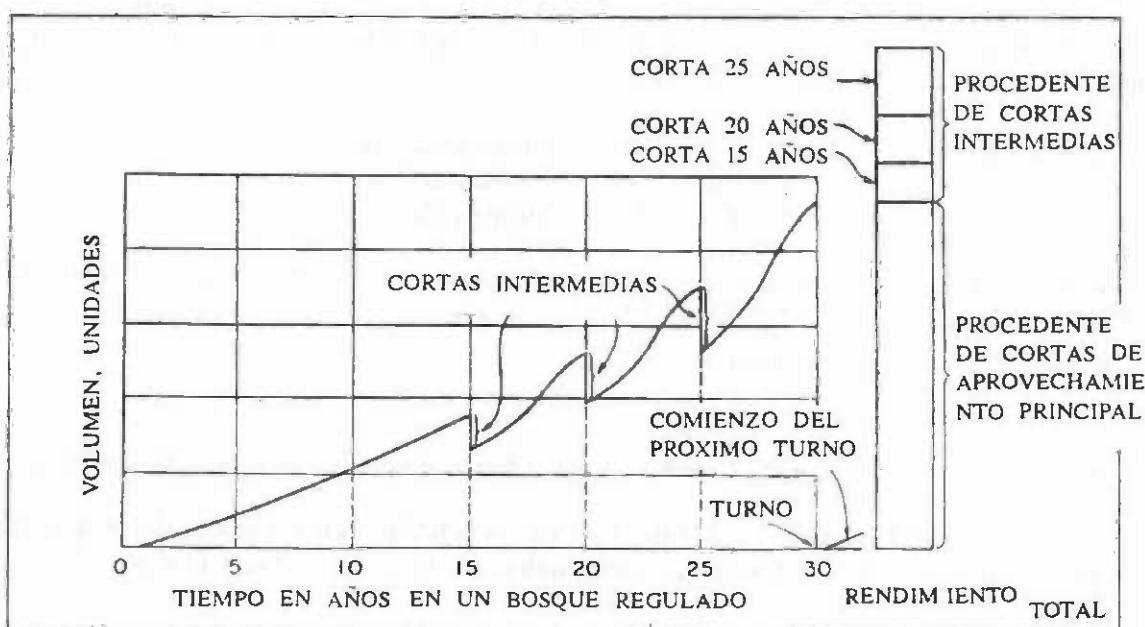


Figura 11.1.: Historial de una masa regular

La ordenación de masas regulares se caracteriza por la aplicación de turnos claramente definidos y de medidas selvícolas dirigidas a lograr una distribución homogénea de clases de edad. La Figura 11.1., adaptada de Davis (1966), describe gráficamente el modelo de una masa regular en un turno de 30 años.

11.2.3. Regulación de masas irregulares

La Sociedad de Forestales Americanos (Society of American Foresters) define como masa irregular aquélla en que existe una considerable diferencia de edad de los árboles, estando representadas tres o más clases de edad.

La ordenación de masas irregulares está directamente relacionada con un cierto ciclo de cortas que comienza con una determinada reserva de existencias en pie.

El ciclo de cortas es el intervalo programado entre operaciones de corta principal en la misma masa y viene determinado por el crecimiento del volumen en pie. La corta comienza una vez que las existencias han alcanzado el volumen deseado o las dimensiones deseadas. Se extrae un número de pies marcados o seleccionados cuyo volumen total es igual al crecimiento total en volumen de la masa dentro del ciclo de corta.

El objetivo general es hacer el aprovechamiento antes de que el crecimiento del volumen en pie disminuya de modo importante y mantener una reserva definida de existencias. La **Figura 11.2.** muestra los efectos del ciclo de cortas en las existencias de una masa irregular.

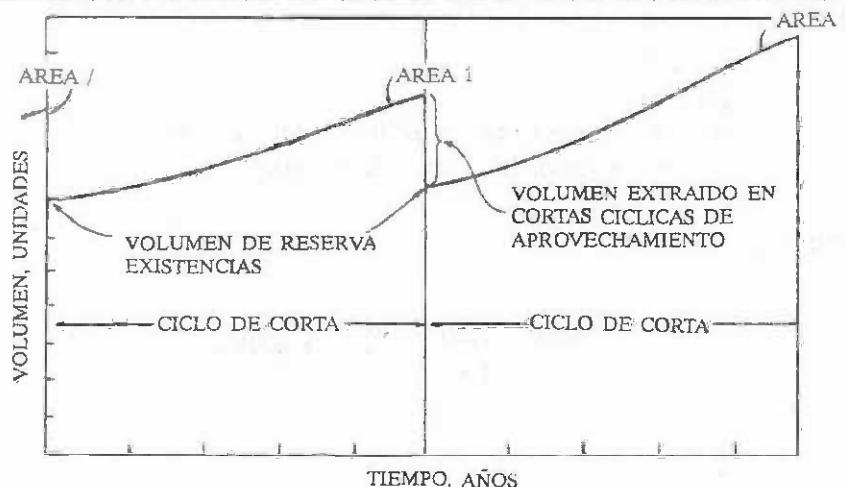


Figura 11.2. Historial de una masa irregular

11.2.4. Control de aprovechamientos

Debido a la variación entre distintas masas, es imposible extraer iguales volúmenes todos los años, por lo que cabe esperar una variación del 5 al 10% en el rendimiento anual. A fin de controlar el rendimiento, la corta programada se compara con la corta real mediante inventarios periódicos. La finalidad es mantener un rendimiento sostenido en productos forestales.

Es evidente que sólo en situaciones ideales la corta anual real se corresponde con la que fue determinada al comienzo del período de inventario. Sin embargo, en principio, la corta real total o aprovechamiento en términos volumétricos, dentro del período de planificación, debe corresponder a la programada; es decir, la corta total dividida por el número de años del período de planificación debe dar como resultado la corta anual programada. Esto puede controlarse utilizando la fórmula siguiente:

$$C = \frac{(V_{t+n} - V_t) + Hn}{n} \quad (m^3/ha/año)$$

- C = crecimiento medio anual durante el período, en $m^3/ha/año$;
 V_{t+n} = volumen en pie en m^3/ha . al final del período de planificación;
 V_t = volumen en pie en m^3/ha . al comienzo del período de planificación;
 Hn = suma de las extracciones intermedias en m^3/ha . dentro del período de planificación;
 n = período de planificación en años.

Se estimará que se mantiene la ordenación para el rendimiento sostenido si la corta real total durante un período del plan no excede del crecimiento anual acumulado durante el mismo período.

Ejemplo:

- V_{t+n} = 180 m^3/ha .
 V_t = 120 m^3/ha .
 Hn = 30 m^3/ha . (en forma de aclareos para postes);
 n = 10 años (período del plan de trabajos);

Sustituyendo, por lo tanto:

$$C = \frac{(180 - 120) + 30}{10} = 9 \text{ } m^3/ha/año$$

En este ejemplo, el crecimiento medio anual de 9 $m^3/ha/año$ es ligeramente superior a la corta media anual de 8 $m^3/ha/año$, tal como se demuestra en el ejemplo anterior. El volumen en pie ha aumentado, habiéndose logrado el rendimiento sostenible.

12. APROVECHAMIENTO Y EXTRACCION DE MADERA DE LOS MANGLARES

12.1. PLAN DE CORTAS

El plan de cortas establece la secuencia de las operaciones de explotación maderera, en el espacio y en el tiempo, completado con las prescripciones de corta para orientar al gestor forestal de la zona.

La preparación de un plan de cortas comienza con el diseño de los inventarios, que deben plantearse cuestiones básicas como las siguientes: dónde, cuándo y cómo tendrán lugar las operaciones de corta y explotación forestal (véase el Cuadro 12.1.). Un plan de cortas debe contener una exposición clara que indique la corta media anual durante un período determinado, por ejemplo, los próximos 10 años. Se establecen unas prescripciones claras para lograr las metas de producción y los planes de renovación del bosque programados.

Cuadro 12.1.: Ejemplo de objetivos detallados de un inventario del plan de cortas

PARTES DEL OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO DETALLADO	ESPECIFICACION DE DATOS
Dónde	1. Cartografiado de masas, tramos y subtramos (unidades de tratamiento) 2. Descripción de rodales y tramos con respecto a factores topográficos, dasonómicos y dendrológicos	Fotografía aérea, fotointerpretación, estudio de campo-mapas Trabajo de campo. Integración de datos de inventarios estratégicos (proceso de datos)
Cuándo y cómo deben tener lugar las operaciones de corta y explotación	3. Clasificación operativa y aplicable de rodales y tramos desde el punto de vista del sistema de ordenación, prioridades para un período de 10 años y sistema de corta y explotación a aplicar	Clasificación orientada a los problemas. Estudios de accesibilidad

Fuente: N.E., Nilsson, 1978.

12.1.1. Fajas de corta

Dimensiones

La anchura de las fajas de corta suele ser de 50 m. que viene a ser de 1,6 a 2 veces la altura de los árboles predominantes. Puede variarse.

Orientación de las fajas de corta

Las fajas de corta se orientan normalmente en dirección perpendicular o formando un ángulo de 45° con la retirada de la marea a fin de facilitar el flujo de las mareas, favorecer la dispersión de la semilla, reducir la insolación y dar protección contra los fuertes vientos dominantes. Generalmente, las fajas no deben estar inclinadas en la dirección de la corriente del río cerca de la desembocadura, debido al peligro de un depósito excesivo de sedimentos durante las máximas crecidas. Más lejos de la costa, en áreas estuarinas más abrigadas, la orientación de las fajas es menos importante. En este caso, el principal problema es facilitar la extracción eficiente de la madera sin perjudicar el medio ambiente.

12.2. ELECCION DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO

Un sistema de aprovechamiento es el conjunto coordinado de actividades y métodos empleados para cortar los árboles, elaborar y arrastrar las trozas y transportarlas al mercado. Los principales impedimentos para elegir un sistema de aprovechamiento pueden ser el clima, el suelo, la topografía, el equipo disponible y también la necesidad de proteger el sitio y los árboles residuales. Teóricamente, el sistema elegido debe dar lugar al mínimo costo por unidad de volumen a pie de monte o de madera de construcción entregada en el mercado, sin perjudicar ni a la estación ni a las existencias en pie.

La planificación de un sistema de aprovechamientos en una marisma es una empresa complicada porque las opciones disponibles son limitadas. Hasta hace poco, las difíciles condiciones del terreno han impedido siempre la extracción de la madera por cualquier método que no fuera el manual primitivo. El reducido valor unitario de los productos limita también el empleo de sistemas intensivos costosos, mientras que la necesidad de reducir la perturbación del terreno implica el tener que incluir medidas de precaución con sus costos correspondientes. Hay, por lo tanto, un abismo entre lo deseable selvícolamente y lo posible económica y técnicamente.

Cada sistema selvícola produce una forma característica de masa que origina problemas particulares de corte y extracción. Un sistema uniforme puede ser más eficaz en cuanto a costo, porque se extrae mayor cantidad de madera por unidad de superficie. Al mismo tiempo, los productos pueden ser más uniformes de tamaño y más fáciles de manejar. Un sistema que retiene un número importante de árboles semilleros no será adecuado, por ejemplo, para un sistema de extracción por cable aéreo.

En Asia, las operaciones forestales son generalmente muy intensivas en mano de obra. La industria de extracción está encontrando cada vez más dificultades para contratar mano de obra especializada. En África Occidental, la extracción de madera no se suele organizar adecuadamente porque lo corriente es que no existan industrias transformadoras de apoyo. En América Central, hasta hace poco, se hacía hincapié en la recolección de corteza más que en los rollizos para carbón vegetal y otros productos. En Venezuela, se utilizó una barcaza equipada con un sistema de cable con un armazón en A para extraer *Avicennia sp.* para apeas de mina, durmientes de ferrocarril y postes de telégrafo y de transmisión. Estas operaciones sólo son posibles en manglares con canales profundos. Los aprovechamientos deben ser también suficientemente grandes para justificar la inversión necesaria de capital en estas operaciones mecanizadas. En Cuba, donde hay escasez de durmientes de ferrocarril para la industria de la caña de azúcar, las trozas de *Avicennia germinans* se extraen mediante un sistema de canales artificiales.

En la fase inicial de transformación (ordenación y selvicultura), el bosque puede contener muchos árboles sobremaduros que hay, que cortar, extraer y utilizar si se quiere que tenga éxito el sistema selvícola elegido. Esta primera masa puede plantear, por lo tanto, problemas especiales mientras que en la masa siguiente la dimensión de los productos forestales será más uniforme y manejable.

Hay que evitar un sistema intensivo de capital en aquellos países en que predomina generalmente una política de sustitución de importaciones y de conservación de divisas. En vez de ello, hay que adoptar sistemas sencillos pero eficaces en cuanto a costos, que pueden mejorarse progresivamente a medida que se vaya disponiendo de instalaciones locales de servicios de apoyo. A lo largo de la zona costera, la escasez generalizada de servicios

mecánicos de apoyo y el elevado costo de transporte de las piezas de recambio a los manglares son inconvenientes adicionales a considerar. Además, debido al ambiente salino corrosivo y a la naturaleza mareal de los manglares, el equipo mecánico requiere un mantenimiento cuidadoso.

Los principales métodos empleados para la extracción de los productos madereros de los manglares son: (a) la carretilla, (b) el tranvía forestal, (c) los canales, (d) el cable aéreo, (e) el cabrestante portátil y (f) el manual. A continuación se hace un breve análisis de estos métodos.

12.2.1. Método de la carretilla

Este método se utiliza todavía en Matang. Es intensivo en mano de obra. Se colocan tablones de madera (de 1" de grueso x 9" de ancho) y de unos 5 m. de longitud a través del área de corta. Las cargas de rollizos o de leña, de unos 300 Kg., se empujan a mano hasta los cargaderos de barcas utilizando carretillas fabricadas localmente, con una distancia media de 150 m. Se utilizan, con frecuencia, unos tirantes para ayudar a levantar y equilibrar la carretilla. Los tablones se sustituyen cada 6 meses aproximadamente. Tanto la rueda como el eje de la carretilla, se hacen de madera, para resistir la corrosión de la sal. Este método es apropiado para la extracción de rollizos (1,6 m. de longitud) y no se utiliza para la extracción de postes de claras. Es un método sencillo, práctico y barato. Puede no ser conveniente para zonas frecuentemente inundadas porque los tablones pueden ser arrastrados por el agua de las mareas al retirarse. (Véanse las Figuras 12.1. y 12.2.).

Los rollizos se cargan manualmente en las barcas, siendo remolcadas, dos o más de ellas por otra barca con motor diesel de 25-35 hp. Cada barca puede transportar unas 3 t. En Tailandia hasta 12 barcas son remolcadas por una sola remolcadora.

12.2.2. Tranvía forestal

A diferencia de las masas dominadas por *Rhizophora*, que están situadas en la zonas más bajas entre mareas y están sobrecargadas de raíces de soporte enmarañadas, los bosques de la zona elevada hacia el interior terrestre están dominados por especies que generalmente no tienen raíces aéreas prominentes, como la *Bruguiera gymnorhiza* y la *B. caryophylloides*. Estos árboles pueden alcanzar grandes dimensiones y como están situados en áreas inundadas, con menos frecuencia, suelen ser fácilmente accesibles mediante carros ligeros o carretones con ruedas pequeñas, sobre carriles de madera, o tranvías forestales.

12.2.3. Canales

Los canales de extracción se utilizan en muchas partes del mundo, notablemente en Malasia, Vietnam y Cuba. En Cuba, los primeros pobladores españoles excavaron canales para extraer la Yana (*Conocarpus erectus*) para hacer carbón vegetal. Aunque existen ciertas reservas sobre su empleo, porque puede ser inconveniente desde el punto de vista ambiental, debido a una posible alteración importante del microrelieve y la ecología, no se han registrado resultados negativos cuantificables. Los canales, alineados paralelamente a la faja de corta (50 m. x 200 m.) facilitan la extracción rápida y ordenada, reduciéndose con ello la perturbación al repoblado existente. Durante la explotación maderera, suelen producirse fuertes daños a los brizales y chiriales. La mayor parte de la regeneración más joven y menos significada de *Rhizophora*, se regenerará mediante chiriales pudiendo erigirse por sí mismos hasta la posición vertical, si son derribados y hundidos por los restos de corta. Las trozas, pilotes y

rollizos se suelen cargar en las barcas en la pleamar.

Los canales se construyen a mano, mecánicamente, o con explosivos. En Matang los canales se excavan a mano. Los rollizos se transportan manualmente o con carretillas a los lugares de apilado y carga. La corta se realiza mediante una combinación de sierra de cadena y sierra manual o hacha.



Figura 12.1.: Extracción de madera mediante carretilla, Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie



Figura 12.2.: Carga de rollizos en una bárca, Matang, Malasia
Foto de M.L. Wilkie

Las pequeñas barcas son llevadas canal arriba durante la pleamar y se cargan manualmente, a continuación se sacan del canal y normalmente se llevan a remo o a vela al mercado en puntos determinados de recogida. Actualmente, se emplean barcas motorizadas. Es un método muy intensivo en mano de obra y muy apropiado para poblados rurales donde hay abundancia de mano de obra y son limitados los puestos de trabajo.

En la Península de Ca Mau, en el Sur de Vietnam, los principales canales de comunicación se hicieron mediante dragas y algunas empresas forestales todavía trabajan con ellas. La mayoría de los canales secundarios de extracción fueron construidos a mano. Estos se pueden adaptar temporalmente para la cría del camarón, en ciertos casos, sin perturbar el medio ambiente.

En Guanal, Cuba, los canales de extracción se construyen con explosivos (Amonita GJB, Amonal, amonita Roca y Nitromiel). Es muy rápido, emplea abundante mano de obra y es eficaz en cuanto a costo. Los canales se hacen bajo la supervisión de expertos en explosivos que los proporciona la milicia local. Si no se programa y ejecuta adecuadamente, este método puede ser ecológicamente perturbador, en especial para la fauna silvestre en las estaciones de reproducción. Análogamente, si los canales no se hacen abiertos, comunicando dos masas de agua, puede inducirse un aumento localizado de la salinidad durante los meses de verano. Hay que señalar que los métodos mecánicos son más perturbadores y requieren una fuerte intensidad de capital. Véase la Figura 12.3.

En el Recuadro 12.1. se resumen algunas directrices sobre canalización, basadas en la zona de Guanal, como ejemplo de las precauciones que deben adoptarse para evitar impactos ambientales negativos.



Figura 12.3.:

Canal artificial de Guanal, Cuba

Foto de P.W. Chong.

- * Hay que estudiar y cartografiar la red existente de canales principales y secundarios, incluyendo su anchura y profundidad navegable;
- * Antes de la construcción hay que estudiar previamente el canal. Debe estar alineado en la dirección de los vientos dominantes, para favorecer el movimiento del agua superficial y su oxigenación.
- * Hay que intercomunicar los canales principales, en ambos extremos, con las vías fluviales.
- * Hay que explosionar en primer término la sección media, dejando intactos y cerrados los dos extremos del canal y para reducir la perturbación de la estación y los impactos ambientales negativos.
- * Cuando se ha aclarado el agua de la sección explosionada, se pueden romper los extremos, preferentemente durante la bajamar, con el fin de que los ácidos puedan ser arrastrados hacia el mar.
- * La profundidad de los canales no debe exceder de 1,5 m. para reducir al mínimo las tierras a remover. La remoción excesiva de suelo aumenta los riesgos de sulfatación ácida, impide el movimiento del agua, cubre demasiado suelo superficial fértil y daña al reboleado existente.
- * No deben emplearse explosivos cerca de los sitios donde anida o descansa la fauna silvestre, especialmente en los períodos de nidificación e incubación (febrero-abril y abril-junio son las temporadas de nidificación respectivas de los cocodrilos cubanos y americanos).
- * Hay que realizar una evaluación de impacto ambiental en áreas seleccionadas. En particular, debe determinarse el impacto de la canalización sobre los factores estacionales locales (suelos/salinidad/pH), el movimiento del agua, la flora y la fauna.

Fuente: Chong (1989b)

Recuadro 12.1.: Directrices para la canalización con explosivos en Guanal, Cuba

12.2.4. Sistema de cable de tiro alto

En la zona de San Juan-Guarapiche, Venezuela, el aprovechamiento de troncos y postes de *Avicennia* se organiza mediante fajas cortadas a hecho perpendiculares a la margen del río. Las fajas tienen como promedio 50 m. de anchura y hasta 300 m. de longitud. Se emplea un sistema de cable de tiro alto montado en una barcaza y tirado mediante un remolcador, para extraer la madera hasta los lugares de apilado y carga, situados junto a la orilla del río. Dentro de cada faja cortada se emplean normalmente dos emplazamientos de cable, de tal modo que el alcance máximo lateral del sistema de cable se limita a 25 m. o menos. Esto reduce los daños al suelo.

La madera se utiliza para postes telegráficos o telefónicos, apeas de mina y madera de uso doméstico general. Las trozas y los postes se traspasan a barcas y se transportan hasta el muelle.

Se emplean también pequeñas barchas para traspasar la madera a las barcas, especialmente cuando los lugares de apilado están situados a lo largo de riachuelos de poco fondo. La barcaza tiene una capacidad de 400 a 450 postes o de 18.000 a 24.000 Kg. de rollizos. En Venezuela, el transporte a larga distancia hasta las industrias transformadoras se realiza mediante plataformas flotantes tiradas por barchas remolcadoras.

El sistema de cable de tiro alto es intensivo en capital, por lo que sólo se puede emplear económicamente en áreas con un alto volumen de madera comercial o cuando haya que transportar la madera a largas distancias. Adicionalmente, sólo se puede emplear para cortas a hecho porque el funcionamiento de los cables de tiro alto destruye cualquier árbol remanente situado dentro del área. Además, los ríos y arroyos tienen que tener profundidad suficiente para permitir el uso de barcas remolcadoras de poco calado.

12.2.5. Cabrestante portátil

En Costa Rica, un cabrestante portátil tirado por el motor de una pequeña motosierra ha demostrado ser una alternativa útil para el aprovechamiento de la madera. Se extraen troncos, postes, leña y rollizos para carbón vegetal con una mínima perturbación para el repoblado existente. Se probó primero en la reserva de manglares de Sierpe-Terraba a lo largo de la costa sur del Pacífico. Se empleó un método de cortas a hecho por fajas. El objetivo final era transformar los bosques irregulares con predominancia de *Rhizophora*, en una serie de rodales equiproductivos y regulares. Durante la fase de transformación, el bosque existente que ha sido explotado selectivamente, tiene una alta proporción de árboles residuales sobremaduros que hay que cortar, extraer y utilizar, si se quiere que tenga éxito el sistema selvícola elegido de masa regular.

La extracción manual de ejemplares de gran dimensión era difícil porque el suelo es blando. Los diámetros varían de 10 cm. a más de 45 cm. Debido a su facilidad de transporte, un cabrestante ligero podía trasladarse fácilmente de un lugar a otro. Se encontró que era muy práctico, de costo reducido y fácil de aplicar. Una carga de rollizos acoplada en una especie de trineo de 1/2 t. se podía arrastrar sin dificultad una distancia de 200 a 250 m. La capacitación fue fácil porque la mayoría de la población local sabía hacer funcionar una motosierra.

Con este método se encontró que era posible extraer los árboles de gran dimensión que se dejaban con frecuencia los recolectores de corteza, que sólo explotaban la corteza y

no la madera.

En las condiciones de Cuba, trabajando en bosques con predominio de *Avicennia germinans*, se estimó que la distancia media de arrastre, utilizando un cabrestante portátil experimental, era de unos 60 a 80 m. y de 20 a 30 m. con métodos manuales. Con un cabrestante mayor y cables más largos, pueden reducirse de forma importante los intervalos entre los canales de extracción. Sobre esta base se hizo una comparación de costos entre los métodos manuales y con cabrestante, que se muestra en el Cuadro 12.2.

Cuadro 12.2. Costes comparativos de arrastre utilizando métodos manuales y con cabrestante

METODO DE ARRASTRE	MANUAL	CABRESTANTE
Densidad de los canales (m/ha.)	200	62
Costo de los canales (pesos/ha.)	414	128
Fuente: Chong, 1988/Eugenio Poussin Molinet, 1989		

12.2.6. Extracción manual

En Sierra Leona, los árboles se cortan utilizando un tipo de hacha local. Los rollizos pequeños para leña normalmente se atan y se transportan a mano a las canoas.

Extensos ensayos realizados en Mali demuestran que un trabajador puede transportar un estéreo de leña a una distancia de 100 m. aproximadamente en 1.2 horas (Atlanta, 1986). Con respecto a los rollizos más grandes, la mayoría de los trabajadores no transportan una carga de más de 150 lbs. y en tal caso sólo a pequeñas distancias.

Es posible aplicar la corta dirigida con hachas apropiadas, sierras manuales y cuñas. La extracción de los rollizos puede facilitarse mediante una corta estudiada de árboles apropiados, de tal modo que los troncos despuntados queden tendidos, coincidiendo extremo con extremo, y formando una pista tosca a través de la marisma.

12.3. Daños de la explotación maderera

A continuación se describen las principales causas de los daños de explotación, en relación con el sistema de aprovechamiento elegido, junto con las medidas a adoptar para disminuirlos, basadas en Hamilton y Snedaker (1984). Los impactos ambientales de la ordenación de manglares *per se* son el tema del Capítulo 14. al que se remite al lector para mayores detalles.

El aprovechamiento y extracción de productos madereros siempre ocasiona algunos efectos negativos en el suelo del monte a menos que las trozas se extraigan mediante cable de tiro alto sin tocar el terreno.

El arrastre de árboles y trozas se traduce en la remoción de la capa superior del suelo, en daños a la regeneración natural y a los árboles semilleros remanentes y en la compactación del suelo. Esto último es ocasionado también por el uso de tranvías forestales y carriles de

madera. Las vías de desembosque pueden ser propensas después a inundaciones profundas, lo que tiene un efecto negativo sobre la regeneración natural.

La construcción y ensanche de canales altera la influencia de las mareas y la estructura del drenaje.

De lo anterior, resulta evidente que todos los sistemas de aprovechamiento descritos tienen ventajas e inconvenientes y ninguno de ellos puede aplicarse universalmente debido a las diferencias de las condiciones de trabajo de los países. A fin de reducir al mínimo los daños de la explotación maderera, hay que tener en cuenta lo siguiente, al escoger y poner en práctica un determinado sistema de aprovechamiento:

- * Seleccionar el sistema de aprovechamiento más apropiado, teniendo en cuenta los impactos ambientales de cada sistema y su viabilidad técnica y económica en las condiciones locales;
- * Diseñar los métodos de extracción para reducir al mínimo los daños a los árboles semilleros y al repoblado existente. Tales medidas incluyen la corta dirigida, el diseño adecuado de los cargaderos y de las vías de arrastre y el uso de dos emplazamientos para barcazas en cada faja de corta cuando se emplea el sistema de cable de tiro alto;
- * Ajustar la anchura de las fajas en las cortas a hecho para conseguir regeneración suplementaria a partir de las áreas contiguas sin cortar;
- * Mantener unas fajas de amortiguación a lo largo de ríos y cursos de agua, para estabilizar las márgenes y como hábitat para las aves y la vida marina;
- * Tratar de reducir el tamaño y volumen de los desechos. Una gran cantidad de desechos representa no sólo la subutilización del recurso maderero sino también un elemento perjudicial para la regeneración natural hasta que se descompone.

13. EJECUCION DEL PLAN, SEGUIMIENTO Y EVALUACION

13.1. PLAN DE TRABAJOS

El plan de trabajos puede ser o un plan que comprenda todos los aspectos de la ejecución de la ordenación forestal, dentro de una comarca o demarcación forestal, limitado en el tiempo a 2 ó 3 años, o puede constar de planes especializados para cada una de las principales operaciones, como un plan selvícola o un plan de cortas, que se suelen preparar para el período completo del plan (10 años) con planes más detallados desarrollados para cada año.

Tales planes especifican la localización y las operaciones detalladas a realizar e incluyen información sobre la organización del trabajo, las horas-hombre y los equipos necesarios, los costos y las metas anuales. Los planes de trabajos se utilizan para dirigir la ejecución día a día del plan general de ordenación forestal de la comarca.

13.2. SEGUIMIENTO DEL PLAN

13.2.1. Registros a mantener

A fin de conseguir que se cumplan los objetivos del plan de ordenación, es necesario mantener una serie de registros donde se anotan los logros reales junto con las metas anuales.

Para las operaciones selvícolas, tales registros contienen información sobre la dimensión de la superficie plantada, el número de briznas o propágulos por hectárea, hombres-hora, costos, tasa de supervivencia después de 1 ó 2 años de la plantación, etc. Para las operaciones de corta, los registros contienen la dimensión de la superficie a cortar, el rendimiento esperado y el real, horas-hombre, costos e ingresos, situación de la regeneración natural, etc.

13.2.2. Supervisión y control

La supervisión de las actividades es realizada por los inspectores o guardas mayores, guardas forestales y otro personal forestal. Sin embargo, algunos aspectos pueden ser atendidos por los contratistas.

Actividades de corta

En la cortas a hecho del método de fajas alternas, con o sin retención de resalvos, el contratista debe realizar lo siguiente antes de comenzar la explotación maderera:

- * después de que el guarda mayor ha mostrado al contratista el área de explotación (área de corta) y sus límites, debe marcar convenientemente los límites antes de poder comenzar la explotación;
- * se identifican y marcan todos los árboles semilleros bajo las instrucciones del forestal del área;
- * debe dar una lista de los subcontratistas u obreros comprometidos para trabajar en el área autorizada;
- * el lugar de la corta se subdivide en dos lotes más de corta, siendo responsabilidad del contratista conocer plenamente el trazado de los lotes.

El guarda mayor forestal o inspector de zona debe preparar un mapa del plan de cortas a escala 1:5.000 ó 1:10.000, anotando lo siguiente:

- * puntos de almacenaje y carga;
- * claros con buena regeneración donde es necesaria la corta dirigida;
- * áreas excluidas, como parcelas de investigación, etc.
- * avance de los trabajos en los lotes de corta.

Control entre las fajas de corta

Las cortas deben realizarse de una forma ordenada y secuencial. Normalmente el contratista no está autorizado a extraer madera de las fajas de la segunda corta y subsiguientes, a menos que se haya trabajado convenientemente por lo menos el 80% de la faja de corta precedente. No se puede trabajar simultáneamente en más de dos fajas de corta.

Control del interior de las fajas de corta

La superficie efectiva de cada faja de corta se subdivide a lo largo en lotes de corta, con unos 100 m. de intervalo. Se permite la corta en los dos primeros lotes, pero no se permite en los lotes tercero y siguientes, a menos que se haya "concluido" el lote precedente. El oficial de zona prepara un "informe de terminación" basado en una inspección de campo.

Los resalvos señalados no deben dañarse o cortarse y los despojos de la explotación deben colocarse adecuadamente. Si se han dañado accidentalmente los resalvos, habrá que sustituirlos por otros árboles. Los pies sobremaduros o moribundos se cortan y extraen.

Control de productos extraídos

Para regular las extracciones, hay que supervisar y controlar el movimiento de los productos.

En Matang sólo están autorizados dentro de la Reserva Forestal los barcos registrados por el Departamento Forestal permitiéndoseles manejar y transportar productos forestales. Lo mismo se aplica en los Sundarbans de Bangladesh, donde la Dirección Forestal es responsable de otorgar licencias para la pesca y para la recolección de miel dentro del área, teniendo para ello puestos de control situados en todos los puntos de entrada de los cursos de agua a la Reserva.

Actividades selvícolas

La mayoría de las medidas selvícolas aplicadas en los manglares, como la plantación, la extracción de malas hierbas y el control de plagas las realiza el personal forestal bajo la supervisión del guarda mayor o inspector forestal.

13.2.3. Costos e ingresos

Un objetivo fundamental, durante el período del plan, es cuantificar los costos de establecimiento del bosque, su aprovechamiento y administración. Cada zona o demarcación forestal debe tratarse como un centro de costos.

Los registros de costos son similares a los que se mantienen para los bosques del interior, variando según los países por lo que no se describen aquí en detalle.

Recaudación de ingresos

Hay tres métodos para la recolección de ingresos o derechos: (a) recolección a pie de árbol (en el tocón), (b) en los sitios de elaboración de la madera, y (c) en tránsito, por medio de estaciones de control.

Es recomendable el primer método porque requiere poco personal y estimula a los contratistas a ser más eficientes en el aprovechamiento y extracción de la madera. Sin embargo, requiere inventarios bastante intensivos de las masas, antes de la corta.

En Matang, Malasia, la prima por la madera destinada a carbón vegetal, se paga antes de comenzar las operaciones de corta, basándose en un inventario del área a cortar. Los derechos, por otra parte, se recogen una vez que se ha producido el carbón vegetal en lugares

de elaboración designados. Los derechos correspondientes a leña, pilares y postes se recogen en el origen en forma de autorizaciones de pago anticipado o mediante la expedición de autorizaciones de extracción, convalidadas en puntos de control aprobados.

13.3. EVALUACION Y REVISION DEL PLAN

Lo ideal es que el plan de ordenación forestal se evalúe al menos una vez durante el período del plan, incorporándose revisiones cuando sea necesario. Sin embargo, debido al volumen de trabajo que representa este ejercicio, la evaluación del plan se suele realizar únicamente coincidiendo con la preparación del próximo plan de ordenación.

La evaluación debe abarcar, entre otros temas, la determinación de lo siguiente:

- * volumen en pie y tasa de crecimiento en comparación con la producción estimada y el rendimiento real;
- * impactos ambientales del sistema de aprovechamiento actual y examen de las medidas que podrían adoptarse para reducirlos;
- * objetivos del plan;
- * necesidad de cambios en las operaciones selvícolas actuales; y
- * nuevas investigaciones necesarias para mejorar las prescripciones actuales de ordenación.

14. IMPACTOS AMBIENTALES DE LA ORDENACION DE MANGLARES

14.1. PROBLEMAS AMBIENTALES

Existen varios problemas ambientales referentes al uso y ordenación de los ecosistemas de manglar. Sin embargo, el nivel de los problemas varía entre distintos países y regiones en cuanto a la gravedad y a los sectores afectados por los impactos. Los problemas adquieren su mayor importancia a nivel local, donde son muy necesarias las medidas correctoras.

Los problemas más corrientes a escala mundial son:

- (i) La deforestación de los manglares;
- (ii) El agotamiento de la pesca y otros recursos vivos dependientes del manglar;
- (iii) La pérdida de la función protectora de los manglares, en particular en áreas costeras sujetas a fuertes tormentas y acciones del oleaje;
- (iv) Importante degradación o destrucción de hábitats críticos;
- (v) Pérdida de biodiversidad y recursos genéticos.

A nivel local, los problemas se refieren a pérdidas más específicas de producción y de potenciales productivos y de servicios (véase la Parte II).

14.2. LAS ACTIVIDADES DE ORDENACION Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES

Las cuestiones a plantearse se concretan en si los manglares pueden ordenarse en realidad sobre una base sostenida y, si es así, saber si la ordenación tiene algún efecto perjudicial importante sobre el medio ambiente. Respecto a la primera pregunta, tenemos que confiar en la experiencia obtenida en dos áreas que han estado sujetas a ordenación durante mucho tiempo, que son la Reserva de Manglares de Matang, en Perak, Malasia, y los manglares de Sundarbans, en la Bahía de Bengala.

La Reserva de Manglares de Matang ha estado sometida a ordenación intensiva desde principios de siglo. El bosque está regulado en clases coetáneas (regulares) y las masas aprovechadas se vuelven a plantar inmediatamente y en proporción limitada se regeneran naturalmente; la forestación de áreas marginales incorporadas a la reserva, se logra exclusivamente por medio de plantaciones. La especie preferida es la *Rhizophora apiculata* aunque también se utilizan otras especies.

Con respecto a los 5 problemas antes enumerados, es oportuno preguntarse si esta forma de ordenación intensiva de los manglares, que se ha considerado generalmente como un modelo ideal, que se ha copiado o adaptado en la práctica a las condiciones locales en Tailandia y otros lugares, ha sido sostenible; y si tiene algún efecto negativo sobre:

- * la pesca y otros recursos vivos dependientes del manglar;
- * los hábitats críticos;
- * la biodiversidad.

El seguimiento de las parcelas permanentes de muestreo instaladas en la reserva, no ha demostrado ninguna disminución en los rendimientos durante los 3 últimos turnos (Haron, 1981). La incorporación de áreas marginales mediante canalización y plantación, ha aumentado la dimensión del área de ordenación a lo largo de los años. Se debe llegar, por lo tanto, a la conclusión de que es posible la **ordenación forestal de rendimiento sostenido** al menos durante 3 períodos de turno de 30 años.

Con una cubierta completa de copas y la regeneración inmediata de las áreas aprovechadas, se ha encontrado que la producción de hojarasca en el bosque ordenado es superior a la de las masas naturales vírgenes (Ong et al, 1982). La hojarasca es una importante fuente de energía para el tejido alimentario que afecta a la pesca y a otros organismos vivos dependientes del manglar. No se ha registrado durante el período de ordenación ninguna disminución importante de las **capturas comerciales de pesca, moluscos y mariscos** en las aguas costeras adyacentes a la Reserva de Matang.

No se puede excluir el que se hayan modificado o cambiado radicalmente ciertos hábitats críticos en Matang, aunque no existen informes a este respecto. Se han obtenido áreas marginales para la producción maderera, mediante canales para reducir los niveles de salinidad hasta los apropiados para la *Rhizophora apiculata* y la *Rhizophora mucronata* y otras especies arbóreas deseables. Es posible que en este proceso se hayan perturbado algunos hábitats críticos.

Es muy probable que la **biodiversidad** natural de los manglares originales haya sido afectada en las partes reguladas de Matang, porque sólo se han utilizado unas pocas especies preferidas para regenerar las áreas aprovechadas. En consecuencia, con este tipo de ordenación, hay que reservar ciertas áreas en la etapa inicial de planificación (o en el ejercicio de planificación de la Ordenación Integrada de Areas Costeras), como reservas ordenadas por sus recursos genéticos y no por su producción de madera comercial.

En los manglares de Sundarbans, se ha aplicado la ordenación desde hace mucho más tiempo que en la reserva de Matang y se ha desarrollado además siguiendo orientaciones distintas. Las diferencias fundamentales están en que la superficie en ordenación es casi 10 veces mayor; que se utilizan muchas más especies, siendo un proyecto importante la madera aserrada; y que se aplica el sistema de aclareos sucesivos para favorecer la regeneración natural.

Aunque el sistema de regeneración debe mantener la **biodiversidad**, la complejidad intrínseca del sistema hace difícil evaluar si esto ha sucedido en realidad. No obstante, se podría dar por sentado que ha sucedido así. Pero la ventaja más importante de la ordenación forestal de estos manglares es que se han mantenido por completo. Al igual que ha sucedido en otras partes de las zonas tropicales, los manglares de Sundarbans han estado sometidos a una fuerte presión para transformarlos para la producción de alimentos, esto es para estanques de pesca, para la cría del camarón, y para agricultura. El hecho de que aún exista en la actualidad tal extensión de manglares, en dos países con algunas de las máximas presiones demográficas del mundo, se debe en gran medida a que una parte importante de ellos se reservó en la etapa inicial de la ordenación forestal.

En ningún lugar del mundo son más importantes los manglares para la protección de las vidas humanas y sus actividades que en la Bahía de Bengala, que se ve afectada periódicamente por peligrosos tifones. En consecuencia, puede afirmarse con seguridad que la **ordenación forestal** de estos manglares ha tenido un impacto positivo sobre el medio ambiente.

Todavía existe también en los Sundarbans alimentación natural acarreada por el agua, para los criadores de pesca y camarón, al contrario de algunas partes del mundo, donde la fuerte deforestación de los manglares, no sujetos a ordenación, ha hecho necesario a los criadores de camarón acudir en años recientes al pienso artificial (Ecuador).

El uso de técnicas de ordenación inapropiadas puede tener, sin embargo, un efecto perjudicial en los manglares, que se traduce en deforestación, pérdida de hábitats críticos y de biodiversidad. El aprovechamiento de los manglares para la producción de astillas, utilizando grandes y costosas máquinas, ha hecho económicamente necesario hacer cortas a hecho en grandes áreas (Indonesia, Sabah y Sarawak). La regeneración de estas áreas ha fracasado o ha demostrado ser muy difícil, por lo que se ha detenido este tipo de operaciones, al menos en parte. Para más detalles sobre los daños de la explotación de madera en relación con los diversos sistemas de aprovechamiento, puede acudirse al **Capítulo 12**.

La canalización de los manglares para facilitar la extracción de la madera y dejar que el agua del mar penetre en llanuras salinas improductivas, es beneficiosa, si se realiza adecuadamente. Sin embargo, se han observado casos en que los canales construidos con explosivos se disponían de tal forma que no se permitía la libre circulación del agua en el área afectada. Esto ha motivado a su vez la existencia de manchas localizadas con una alta concentración de sal, con el consiguiente desarrollo achaparrado de los árboles.

En conclusión, parece que la ordenación forestal de los manglares, si se realiza en forma adecuada, tiene un efecto muy beneficioso para el medio ambiente. No obstante, la planificación de la ordenación integrada debe garantizar que se atienden todos los bienes, servicios y valores. A fin de garantizar que esto sea una realidad, se recomienda que la planificación de la ordenación incluya una Evaluación de Impacto Ambiental, y que la ordenación real sea vigilada periódicamente por una Auditoría Ambiental.

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Estas conclusiones dirigidas a lograr la ordenación sostenible de los manglares, son el resultado de experiencias regionales y de países seleccionados. Son, en consecuencia, de naturaleza general. Análogamente, las directrices sobre los "sistemas recomendados", destacadas en letras cursivas hay que adaptarlas también para ajustarlas a las necesidades locales.

15.1. POLITICA Y LEGISLACION FORESTAL

15.1.1. Política de utilización de tierras

Para lograr las metas de ordenación deseadas una condición previa importante es volver a definir o preparar una política de utilización de tierras, de tal modo que los manglares sean reconocidos como una forma legítima de utilización prioritaria de tierras en lugar de considerarlas como una utilización residual.

Hay que volver a definir o, formular y poner en práctica una política nacional de utilización de tierras para garantizar la utilización sostenible de los recursos de manglar y hacer posible el establecimiento de una base permanente de recursos.

- (a) *Las propuestas para la transformación de manglares para usos no madereros deben estar apoyadas por informes favorables de evaluación de impacto ambiental.*
- (b) *La producción de sal marina mediante energía solar sólo debe realizarse en zonas semiáridas o estacionalmente secas y localizarse en salinas naturales con cubierta de vegetación natural limitada o esparsa.*
- (c) *Los suelos de manglar con sulfato ácido potencial o actual no deben cultivarse con arroz u otros cultivos sin una fuente adecuada de agua dulce, en secano o bajo riego.*
- (d) *Hay que evitar las actividades de minería del estaño a lo largo de la costa y la descarga de las minas se debe limitar a estanques de sedimentación, no debiendo hacerse directamente al sistema fluvial.*
- (e) *Hay que evitar la fumigación aérea de pesticidas y fertilizantes químicos junto a los manglares.*

15.1.2. Concepto del uso múltiple

Hay que evitar la ordenación para un solo uso porque se excluyen muchos beneficios y servicios, directos e indirectos, que el ecosistema natural puede ofrecer sobre una base permanente.

Se debe formular y apoyar políticamente, al máximo nivel de gobierno, una declaración política sobre la ordenación de los recursos de manglar para el uso múltiple, especialmente para la selvicultura, la pesca y la conservación de la fauna silvestre.

A fin de conseguir un planteamiento integrado de la planificación y ordenación de manglares, el plan de ordenación forestal debe estar de acuerdo con un programa aprobado de Ordenación Integrada de Áreas Costeras.

- (a) **CONAM:** En apoyo de la política anterior, se requiere una coordinación entre los organismos interesados y los usuarios de tierras. Con el fin de coordinar y promover un desarrollo ambientalmente favorable de los recursos de manglar, se debe establecer un Comité Nacional de Coordinación de Manglares. Como miembros de CONAM se consideran los Ministerios y Direcciones interesadas, instituciones de investigación y enseñanza y las ONGs.
- (b) **Consenso:** A fin de lograr un consenso nacional, el CONAM debe organizar seminarios y talleres para discutir la política de ordenación de manglares y la utilización de sus tierras.
- (c) **Estrategia de desarrollo:** Hay que elaborar y poner en práctica una estrategia para la ordenación y utilización sostenible de los recursos terrestres y acuáticos, incluyendo la conservación de la fauna silvestre y la biodiversidad.
- (e) **Coordinación:** Se debe fomentar una estrecha coordinación entre los Servicios Forestales de Pesca, Medio Ambiente y Agricultura, direcciones afines y ONGs que tengan interés en la ordenación, utilización, regulación o investigación de los manglares.
- (d) **Selvicultura social:** En la selvicultura, hay un subsector económico y de bienestar. El atender las necesidades básicas de los pobres es responsabilidad sobre todo del sector público. Hay que asignar suficientes manglares para el suministro local de los bienes y servicios que necesitan las comunidades rurales.

15.1.3. Legislatión

Generalmente, las zonas costeras están protegidas por varias disposiciones legales superpuestas de carácter marítimo, pesquero, forestal y de otro tipo. Es importante que la política acordada tenga la fuerza de la ley, que no esté en conflicto con la legislación existente del país.

Hay que formular, revisar o enmendar una legislación sobre conservación de manglares que refleje la política forestal acordada. Esta legislación debe armonizarse con el conjunto de disposiciones legales del país.

15.2. INVENTARIO DE RECURSOS

Se debe determinar la naturaleza, forma y extensión de los manglares mediante inventarios nacionales:

Se deben inventariar los recursos de manglar (terrestres y acuáticos), independientemente de su situación en cuanto a propiedad, con el fin de determinar su relativa importancia económica y ecológica, y las exigencias de la ordenación a nivel nacional y local.

15.3. ESTABLECIMIENTO DE RESERVAS PERMANENTES DE MANGLAR

Una base permanente de recursos constituye el cimiento para la ordenación y el uso sostenible, a fin de conseguir su máxima contribución al desarrollo nacional.

Con el fin de conseguir su protección y conservación, los manglares, independientemente

del carácter de propiedad, deben constituirse como reservas de manglar, reservándose áreas suficientes para fines de producción.

15.3.1. Clasificación en categorías de uso forestal

El potencial económico de los manglares procede de tres fuentes principales: productos forestales, productos marinos y ecoturismo (*función productiva*). Además, los manglares tienen *funciones de protección*. Hay también manglares marginales en la zona inter-terrestre que son más apropiados para agricultura permanente u otros usos no madereros (*bosques a transformar*).

Los manglares deben clasificarse en tres categorías funcionales: (a) Bosques de producción, (b) Bosques de protección, y (c) Bosques a transformar. La última categoría puede convertirse en otros usos, sujetos a 15.1.1. (a).

15.3.2. Tenencia y usufructo de las tierras

Se deben aclarar los derechos consuetudinarios y de usufructo de la población indígena y de las comunidades rurales sobre la producción de los bosques, como parte del mecanismo diseñado para promover los programas forestales de amplia participación.

Con el fin de aumentar la base de recursos, hay que fomentar las plantaciones de manglar basadas en las comunidades y los bosquetes privados, sobre todo en áreas con escasez de leña. Se deben adoptar las medidas correspondientes para aclarar los derechos de usufructo y las disposiciones sobre tenencia de la tierra concernientes a las comunidades rurales.

15.4. SERVICIO FORESTAL

Es muy conveniente establecer una unidad de ordenación de manglares dentro del Servicio Forestal, que sea responsable de la planificación de la ordenación, los aprovechamientos, la reforestación y la protección, en los países dotados con abundantes recursos de manglar.

15.4.1. Asistencia técnica internacional

En los países donde no está institucionalizada la ordenación, protección y utilización integrada de los recursos de manglar, hay necesidad de asistencia para fortalecer la calidad técnica y de gestión de los servicios forestales correspondientes.

La asistencia internacional puede comprender lo siguiente:

- * *Becas y viajes de estudio;*
- * *Creación de una biblioteca de trabajo sobre ecosistemas de manglar, su ordenación, y utilización, y conservación y protección de fauna silvestre.*
- * *Organización de seminarios, talleres y cursos de formación en instituciones académicas y de investigación y ONGs;*
- * *Demostraciones piloto;*
- * *Aporte de conocimientos internacionales sobre preparación de planes modelo de ordenación para áreas piloto seleccionadas y aporte de la experiencia disponible;*
- * *Aporte de asistencia técnica para formular y llevar a la práctica programas de investigación apropiados.*

Habrá que proporcionar fondos adecuados, vehículos, barcas, equipos, materiales y herramientas para realizar la ordenación sostenible de los manglares. También se necesita investigación de apoyo.

15.5. ORDENACION, SELVICULTURA Y UTILIZACION

La producción continua de madera y beneficios no madereros depende mucho de la eficacia de las medidas de ordenación forestal:

- (a) Objetivos de la ordenación: Es básico para actuar el dar forma a los objetivos de la ordenación, que deben atender los requisitos socioeconómicos, técnicos y ambientales de los bosques. (Véase el Capítulo 9).
- (b) Planificación de la ordenación: El requisito primero y fundamental para la ordenación forestal es la preparación de planes de ordenación a largo plazo que integren la producción de recursos seleccionados madereros y no madereros, las necesidades de la población rural, la recreación, la conservación de los recursos genéticos y la protección de suelos y aguas.
- (c) Parcelas de crecimiento y rendimiento: La ordenación científica depende, entre otros temas, de los datos sobre crecimientos y rendimientos y de la información sobre regeneración y características fenológicas de las especies deseables. De acuerdo con ello, deben establecerse parcelas de crecimiento, y rendimiento y parcelas selvícolas para obtener datos de crecimientos y datos biológicos para la predicción del rendimiento del bosque, su regulación y ordenación.
- (d) Planteamiento selvícola: El planteamiento selvícola debe pretender el rendimiento sostenido, y eficaz en cuanto a costo, de los productos deseados sin perjudicar el medio ambiente. La elección de los sistemas selvícolas debe tener en cuenta los requisitos del planteamiento del uso múltiple contenido en 15.1.2.

Un sistema de cortas a hecho con retención de resalvos, empleando el método de fajas alternas de corta, se ha utilizado con éxito en muchos países. La edad de rotación puede ser de 9 a 12 años para la leña o para masas ordenadas bajo el sistema de monte bajo con resalvos o de 25 a 35 años para las masas vigorosas de Rhizophora (véase el Capítulo 10).

Se debe aplicar un sistema de cortas de entresaca basado en un diámetro mínimo de corte (p. ej. 15 a 18 cm. con corteza) si el objetivo fundamental de la ordenación es optimizar la producción no maderera o la conservación (p. ej. el cultivo de moluscos, cría o engorde de camarón comercial o de especies de pesca, o fauna silvestre).

- (e) Corta anual admisible: La corta anual admisible de productos madereros, la captura permisible de pesca y los niveles de utilización para servicios (ecoturismo) se deben establecer con flexibilidad, con criterio conservador y armonizados para asegurar la ordenación sostenible. (Véase el Capítulo 11).
- (f) Plan de aprovechamientos: Los aprovechamientos se deben regular mediante un plan de aprovechamientos. El sistema de aprovechamientos empleado debe ser compatible con los requisitos ecológicos y ambientales de la estación, aparte de ser eficaz en cuanto a costos. Tampoco debe perjudicar la producción de otros recursos no madereros.

Es necesario realizar estudios posteriores a los aprovechamientos para evaluar los daños de la explotación maderera, la suficiencia de la regeneración y para planificar las medidas necesarias de tratamiento subsiguientes.

15.6. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS Y FINANCIEROS

Un requisito fundamental es la distribución justa de los incentivos, costos y beneficios de la ordenación forestal, entre la administración forestal, los propietarios forestales, las comunidades rurales y los empresarios privados.

15.7. SELVICULTURA, SOCIAL, EXTENSION Y DEMOSTRACION

- (a) **"La voz del pueblo"**: Los planes de ordenación independientemente de que estén bien articulados, no pueden tener éxito sin tener en cuenta las necesidades y aspiraciones de las poblaciones indígenas y locales. El éxito depende, entre otros factores, de ser capaces de *acompañar los objetivos de la ordenación con los intereses de las poblaciones locales, y de garantizar su apoyo y compromiso a través de la extensión.*
- (b) **Participación local:** *Hay que dar prioridad a la participación de las comunidades rurales en pequeñas actividades industriales basadas en los manglares.* También es muy conveniente estimular un cierto nivel de "auto-ordenación" propia entre los diversos usuarios del ambiente del manglar como los criadores de camarón, agricultores, pescadores, carboneros, de tal modo que puedan participar en la protección de sus propios recursos.
- (c) **Sensibilización:** La sociedad no percibe el potencial de los manglares para el desarrollo rural. Por lo tanto, el principal problema es conseguir que los planificadores y los responsables de las decisiones tengan acceso a una información objetiva sobre el papel y el potencial de los manglares. *A fin de crear una conciencia pública hay que organizar seminarios, charlas, talleres, proyecciones de películas y exposiciones sobre los productos y servicios de los manglares, programados para diferentes audiencias.*
- (d) **Nuevas alternativas económicas:** La sobreexplotación obedece menos a la falta de conocimiento de los problemas que a la falta de alternativas económicas. *Para ganar la aceptación y el apoyo público a los programas forestales, es necesario establecer proyectos piloto in situ para demostrar la viabilidad económica, la sostenibilidad, y la facilidad de manejar la plantación de manglares, una carbonización apropiada y unos buenos sistemas de ordenación forestal, y también el ecoturismo.*
- (e) **Formación de personal:** *Los oficiales forestales profesionales deben recibir cursos cortos sobre ecología del manglar, organizados, si es posible, por universidades locales, a fin de ampliar su conocimiento y aprecio sobre las bases técnicas necesarias para realizar con acierto la ordenación forestal integrada.*

15.8. INVESTIGACION APPLICADA

La ordenación racional se basa en un conocimiento profundo del bosque y su ambiente que sólo puede obtenerse mediante una serie de observaciones y mediciones programadas referentes a la composición, estructura y ecología de los manglares.

15.8.1. Investigación sobre impactos ambientales

Hay que realizar estudios multidisciplinares para determinar los efectos biológicos, físicos y socioeconómicos de los principales usuarios de las áreas de manglar. Los objetivos consisten en determinar:

- * *las interrelaciones de la maricultura, los sistemas selvícolas normales y otras actividades humanas basadas en sus recursos;*
- * *los costos y beneficios, tanto sociales como económicos, de los distintos usos alternativos;*
- * *sistemas alternativos de acuicultura coherentes con la ecología local;*
- * *criterios para la elección de sitios en las áreas de manglar para el desarrollo de la acuicultura.*

15.8.2. Estudios socioeconómicos

Los objetivos consisten en analizar:

- * *la situación social y económica de la población dependiente de los manglares;*
- * *los niveles de ingresos, fuentes y distribución de los ingresos en tales comunidades costeras;*
- * *actividades e inversiones económicas alternativas;*
- * *estructura del mercado para los productos del manglar; y*
- * *sistemas y técnicas empleados en la recolección de los productos del manglar.*

15.8.3. Demanda de los productos del manglar

Los objetivos son:

- * *Estimar la demanda local, regional y nacional de los productos del manglar, incluyendo su potencial de exportación;*
- * *analizar la oferta actual y futura y las tendencias de la demanda;*
- * *determinar las tendencias de los precios; y*
- * *analizar los factores que influyen en la demanda de tales productos.*

15.8.4. Evaluación de las políticas y programas de ordenación de manglares

Los objetivos son:

- * *analizar y formular políticas sobre utilización, ordenación, conservación e investigación;*
- * *determinar el nivel de aplicación de tales políticas y programas; y*
- * *analizar el impacto de tales políticas y programas sobre la población dependiente de los manglares.*

15.8.5. Estudios ecológicos y selvícolas

Se deben iniciar estudios sobre sucesión vegetal, desarrollo estructural, fenología, efectos del tratamiento y otros aspectos afines porque sus conclusiones son muy importantes para la formulación de sistemas selvícolas y prescripciones de ordenación apropiados.

15.8.6. Zonificación y clasificación de estaciones

Hace falta un estudio sobre las relaciones entre la zonificación de la vegetación, la influencia de las mareas, la salinidad y las condiciones del suelo a fin de determinar el tratamiento selvícola más apropiado a aplicar, las especies a utilizar en reforestación o forestación, el potencial de las estaciones y la planificación integrada del uso de las tierras.

15.9. CONSERVACION, FAUNA SILVESTRE Y TURISMO

- (a) **Contaminación:** Los manglares se ven afectados por influencias mareas y terrestres en cuanto a sus efectos hídricos, bioquímicos y ecológicos. Los animales acuáticos y las plantas terrestres son afectados por la calidad del agua y la sedimentación. *Hay que realizar el seguimiento de los contaminantes industriales y humanos que pueden afectar negativamente al ecosistema de manglar, y adoptar medidas reglamentarias para reducir al mínimo la contaminación estuarina y costera.*
- (b) **Sistemas de utilización de tierras en zonas altas:** *Las corrientes fluviales sin regular y la fuerte sedimentación debida a una mala ordenación de las tierras en las cuencas hidrográficas, junto al uso intensivo de pesticidas, están produciendo impactos negativos en los manglares.*
- (c) **Ordenación de la fauna silvestre:** Los manglares sirven como hábitats para una gran variedad de especies de fauna silvestre y avifauna. *Hay que realizar estudios sobre poblaciones, alimentación y migración de las principales especies de fauna silvestre. Estos datos pueden utilizarse para formular un plan para la ordenación interactiva y el control de estas especies.* Mediante una planificación y ordenación apropiadas, el potencial de la fauna silvestre no sólo se puede preservar sino que también se puede explotar comercialmente y fomentar el potencial recreativo del área.
- (e) **Cría de cocodrilos:** *Conviene explorar la viabilidad económica y técnica de la cría del cocodrilo, cuando existan suficientes poblaciones silvestres y sean apropiadas las instalaciones de apoyo, incluyendo la disponibilidad de alimentos (véase el Capítulo 3).*
- (f) **Apicultura:** La mayoría de los manglares tienen potencial para sostener una industria apícola próspera que es ambientalmente compatible. *Conviene iniciar un estudio para determinar la importancia de las plantas melíferas (recurso de miel y polen) con el fin de mejorar o introducir la apicultura local como una fuente de ingresos in situ para los pobladores costeros de los manglares (véase el Capítulo 3).*
- (g) **Ecoturismo:** Si se realiza de forma adecuada, el ecoturismo puede servir para la población como una alternativa viable frente a la destrucción de su ambiente.

Los manglares tienen muchas características escénicas naturales de vegetación, pesca, fauna silvestre y aves, que son atractivos para los ecoturistas. *Hay que explorar plenamente el potencial del ecoturismo como una alternativa económica viable para la población rural y como medio de conservar el medio ambiente y sus recursos naturales. (Véase el Capítulo 3).*

ESTUDIOS DE CASOS

INDICE

1.	EJEMPLO DE UN ESTUDIO CARTOGRAFICO DE MANGLAres EN TAILANDIA	234
1.1.	Objetivos	234
1.2.	Foto-interpretación aérea	234
1.3.	Análisis de datos digitales del Landsat	234
1.4.	Resultados	235
2.	EJEMPLO DE ESTUDIO E INVENTARIO PARA LA ORDENACION DE MANGLAres EN VENEZUELA	238
2.1.	Clasificación de tipos de bosque	238
2.2.	Inventario forestal	239
3.	INVENTARIO FORESTAL EN GRAN ESCALA DE LOS SUNDARBANS DE BANGLADESH	241
3.1.	Estratificación	241
3.2.	Clasificación de los tipos de bosque	241
3.3.	Diseño de muestreo y mediciones de campo	241
3.4.	Determinación de volúmenes	242
3.5.	Resultados	242
4.	INVENTARIO EN PEQUEÑA ESCALA DEL AREA DE MANGLAres DE MA-SWAR, SIERRA LEONA	245
4.1.	Introducción	245
4.2.	Métodos y materiales	245
4.3.	Resultados	245
4.4.	Discusión	246
5.	CONSTRUCCION DE UNA TABLA LOCAL DE VOLUMENES EN SIERRA LEONA	248
5.1.	Introducción	248
5.2.	Métodos y materiales	248
5.3.	Resultados	252
5.4.	Discusión	254

6.	ORDENACION PARA EL USO MULTIPLE DEL BOSQUE DE SUNDARBANS DE BANGLADESH	255
6.1.	Introducción	255
6.2.	La flora de los Sundarbans	257
6.3.	Evaluación de los recursos madereros	258
6.4.	Fauna de los Sundarbans	260
6.5.	Importancia socioeconómica de los Sundarbans	261
6.6.	Pasado y presente de la ordenación del bosque	263
6.7.	Administración actual de la ordenación	265
6.8.	Ordenación sostenible de recursos madereros	266
6.9.	Ordenación de productos secundarios madereros y no madereros	273
6.10	Ordenación de la fauna silvestre	276
6.11	Conclusión	276

BIBLIOGRAFIA	278
---------------------	------------

LISTA DE CUADROS

- 1.1. Comparación de los resultados de clasificación en el Distrito de Klung, Tailandia, en el período decenal 1975-1986
- 4.1. Resultados del inventario, de Ma-swar, Sierra Leona
- 6.1. Resumen de los volúmenes comerciales netos en los años 1950
- 6.2. Superficie de los principales tipos de bosque
- 6.3. Volumen comercial de diferentes especies en los años 1980
- 6.4. Producción anual de los Sundarbans
- 6.5. Demarcaciones de los Sundarbans

LISTA DE FIGURAS

- 1.1. Mapa basado en fotointerpretación de fotografía aérea IR
- 1.2. Mapa basado en el análisis digital de imagen Landsat
- 2.1. Elaboración de cartografía de tipos forestales sobre fotografía aérea estereoscópica
- 2.2. Mapa de tipos de manglar basado en la interpretación de fotos aéreas
- 3.1. Parte del mapa de tipos de bosque de los Sundarbans
- 5.1. Manglar natural maduro
- 5.2. Medición de un árbol cortado
- 5.3. Pesando las raíces de sostén de un árbol cortado
- 5.4. Medición de la densidad en verde de muestras de madera
- 6.1. Mapa de situación de los manglares de Sundarbans
- 6.2. Operación de atado de madera de *Excoecaria*
- 6.3. Madera de *Excoecaria* lista para transportar a la industria de papel para periódicos
- 6.4. Barca cargada con hojas de *Nypa*
- 6.5. Barca de pesca y tripulación
- 6.6. Ciervo moteado bajando a beber a un abrevadero artificial
- 6.7. Los Sundarbans: bosque de manglar con gran biodiversidad

LISTA DE DIAGRAMAS

- 1.1. Diagrama de actividades del análisis de imágenes digitales

LISTA DE RECUADROS

- 6.1. Normas generales de aprovechamiento de la madera
- 6.2. Normas de aprovechamiento de madera utilizadas por la Industria de Papel para Periódicos
- 6.3. Normas de aprovechamiento de la madera utilizadas por las Fábricas de Fósforos
- 6.4. Normas de aprovechamiento de las hojas de *Nypa* (Golpatta)

ESTUDIO DEL CASO 1
EJEMPLO DE UN ESTUDIO CARTOGRAFICO DE MANGLARES EN TAILANDIA
(Fuente: Ratanasernmong, 1986)

1.1. OBJETIVOS

Uno de los objetivos de este estudio fue recopilar información sobre la distribución y clasificación de los manglares y elaborar mapas temáticos. En algunos sitios de ensayo, se realizó fotointerpretación visual y análisis digital de los datos del Landsat, para poder hacer una comparación de ambos métodos.

1.2. FOTO-INTERPRETACION AEREA

Se interpretaron fotos en blanco y negro a escala 1:15.000 tomadas en 1975 y fotos en infrarrojo a escala 1:20.000 de 1985, con el fin de identificar y asignar "áreas de entrenamiento" para el análisis de los datos de satélite. La Fotointerpretación permitió la distinción de las nueve clases siguientes:

1. Manglar de clase I: Situado cerca de la orilla del mar, sobre suelo blando y húmedo. El bosque está compuesto predominantemente por *Rhizophora mucronata* y *Bruguiera gymnorhiza*. En otras áreas las especies dominantes incluyen *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Avicennia sp.* y *Xylocarpus moluccensis*.
2. Manglar de clase II: Situado en terrenos más bajos que la clase I. Esta zona permanece sumergida después de la pleamar. Se compone principalmente de masas puras de *Ceriops tagal*. En la zona de transición entre la clase I y la clase II, están presentes el *Acrostichum aureum* y el *Xylocarpus sp.*:
3. Manglar de clase III: Esta clase está situada en terrenos más altos de suelo duro, que se inunda sólo ocasionalmente. Las especies principales son *Lumnitzera littorea*, *Lumnitzera racemosa*, *Phoenix paludosa*, *Intsia bijuga* y *Melaleuca sp.*;
4. Plantación de manglar;
5. Desmontes de manglar (para criaderos de camarón);
6. Terrenos de arroz;
7. Criaderos de camarón;
8. Huertos y otros árboles en pie solitarios;
9. Agua.

1.3. ANALISIS DE DATOS DIGITALES DEL LANDSAT

Se emplearon en el análisis imágenes de las bandas 4, 5 y 7 del Landsat. Se realizó también un realce de las imágenes utilizando la relación entre la diferencia y la suma de las bandas 5 y 7 ($5-7/5+7$).

La clasificación se basó en áreas de entrenamiento obtenidas a partir de los resultados de la fotointerpretación. Se aplicó el método de máxima probabilidad en la clasificación de imágenes. Se aplicó además un proceso de filtrado a fin de reducir el aspecto desigual de las características clasificadas. El **Diagrama 1.1.** de la página siguiente aclara la secuencia del proceso del análisis de imágenes.

1.4. RESULTADOS

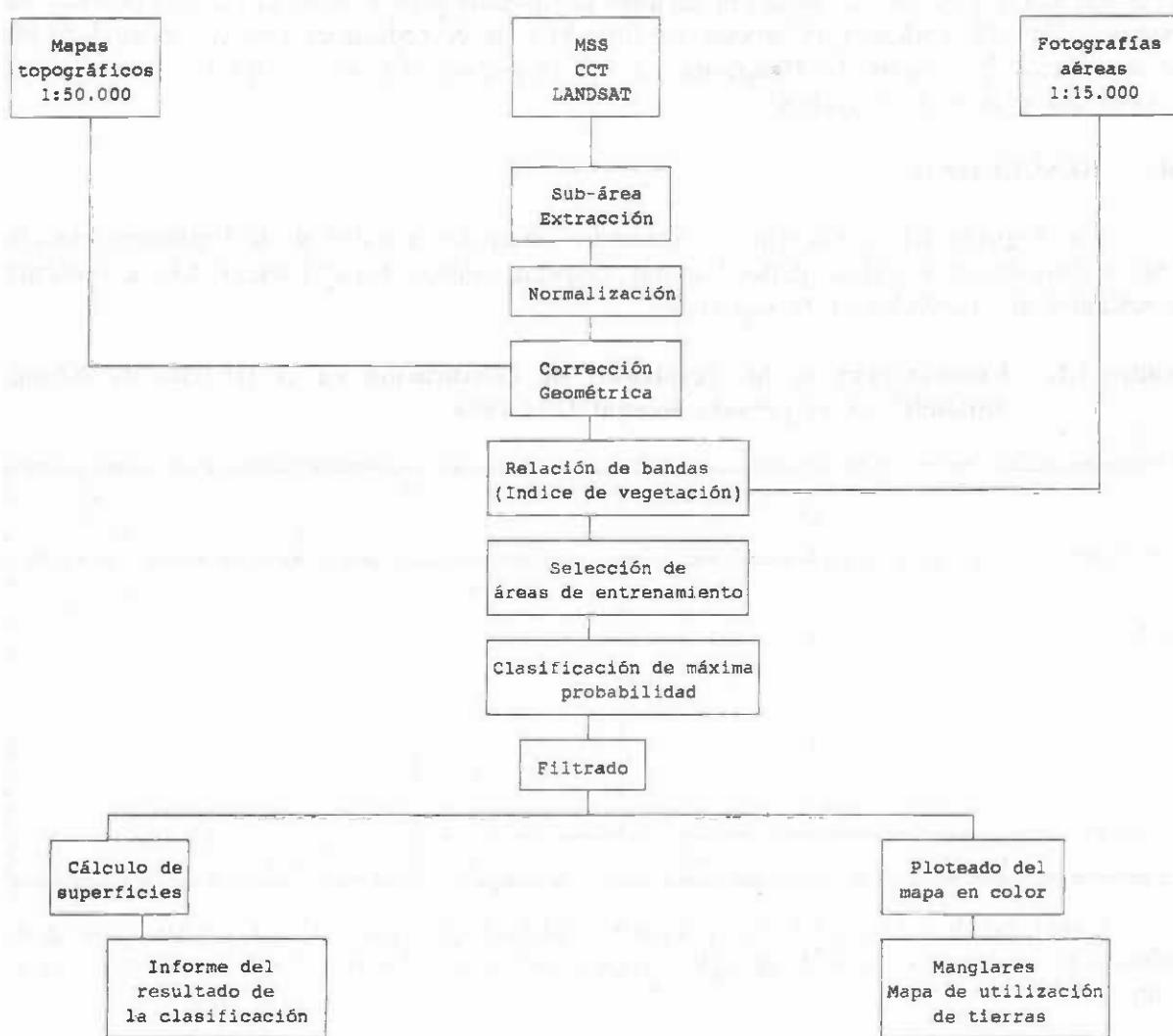
Las **Figuras 1.1. y 1.2.** son los resultados obtenidos a partir de la fotointerpretación y del análisis digital de las imágenes Landsat, respectivamente. En el **Cuadro 1.1.** se presenta un resumen de la estadística de superficies.

Cuadro 1.1. Comparación de los resultados de clasificación en el Distrito de Klung, Tailandia, en el período decenal 1975-1986

CLASE	FOTOS AEREAS 1975 Km ²	LANDSAT Nov. 1975 Km ²	FOTOS IR Oct. 1985 Km ²	LANDSAT Ene. 1986 Km ²
Manglar clase I	22,75	12,60	18,04	11,25
Manglar clase II	8,92	17,90	2,43	11,50
Manglar clase III (inundado)	-	6,30	-	-
Manglar clase III	13,12	7,90	13,94	14,50
Plantación de manglar	1,30	2,50	-	-
Área desmontada	1,38	3,60	6,84	9,70
Criaderos de camarón	0,92	1,30	4,20	3,40
Campos de arroz	10,01	5,35	15,45	11,00
Arboles en pte	6,75	5,90	4,27	3,50
Ciénagas	-	1,90	-	-
Agua	24,85	22,95	24,85	24,85
Sin clasificar	-	2,00	-	1,30
TOTAL	90,00	90,00	90,00	90,00

Como puede observarse en el Cuadro anterior, se encontró que existía una gran confusión entre las tres clases de manglar, lo que sugiere que las tres clases se deben agrupar en una.

La precisión de la clasificación podría mejorarse considerablemente juntando las clases 5 y 7 (Manglares desmontados para criaderos de camarón, y criaderos de camarón).



(Fuente: Informe sobre Teledetección en el Proyecto de Manglares, Tailandia 1985).

Diagrama 1.1.: Diagrama de actividades del análisis de imágenes digitales

**LEYENDA**

- Manglar clase 1
- Manglar clase 2
- Manglar clase 3
- Terreno de arroz
- Criadero de camarón
- Arboles en pie
- Desmonte de manglar
- Agua

Figura 1.1.: Mapa basado en la fotointerpretación de fotografía aérea IR
Distrito de Klung, Chantaburi, Tailandia

**LEYENDA**

- | | |
|---------------------|---------------------|
| Manglar I | Criadero de camarón |
| Manglar II | Terreno de arroz |
| Manglar III | Arboles en pie |
| Desmonte de manglar | Agua |

Figura 1.2.: Mapa basado en el análisis digital de imagen Landsat
Se utilizaron las bandas 4, 5 y 7 de MSS. La misma área del mapa anterior.

ESTUDIO DEL CASO 2

EJEMPLO DE ESTUDIO E INVENTARIO PARA LA ORDENACION DE MANGLAres EN VENEZUELA

(Fuente: Luna Lugo, 1976)

La superficie total incluida en el estudio abarca unas 20.000 ha., comprendidas el agua y los manglares sin valor comercial.

2.1. CLASIFICACION DE TIPOS DE BOSQUE

Sobre fotografías aéreas pancromáticas de escala 1:25.000 se distinguieron tres géneros de manglar, basándose en el tono, altura relativa y diámetro de copas, tal como se presenta en el Cuadro siguiente.

GENERO	DIAMETRO DE LA COPA	TONO DE LA COPA	ALTURA DE LOS ARBOLES
<i>Rhizophora</i>	pequeño	oscuro	bajos
<i>Laguncularia</i>	mediano	gris	intermedios
<i>Avicennia</i>	grande	blanco	altos

Se logró una nueva subdivisión utilizando la altura de los árboles y la densidad de la cubierta. En los dos Cuadros siguientes se indican las clases adoptadas de altura y densidad.

Clases de altura

CODIGO	ALTURA TOTAL	TIPO
1	> 30 m.	Alta
2	20 - 30 m.	Media
3	10 - 20 m.	Baja
4	< 10 m.	Muy baja

Clases de densidad

CODIGO	DENSIDAD (%)	CUBIERTA DE COPAS
a	85	Muy densa
b	75	Densa
c	65	Normal
d	55	Ligera
e	45	Clara
f	35	Muy poco densa
g	25	Escasa

La altura se midió ocasionalmente con una barra de paraje y la densidad se estimó usando una cuadrícula transparente.

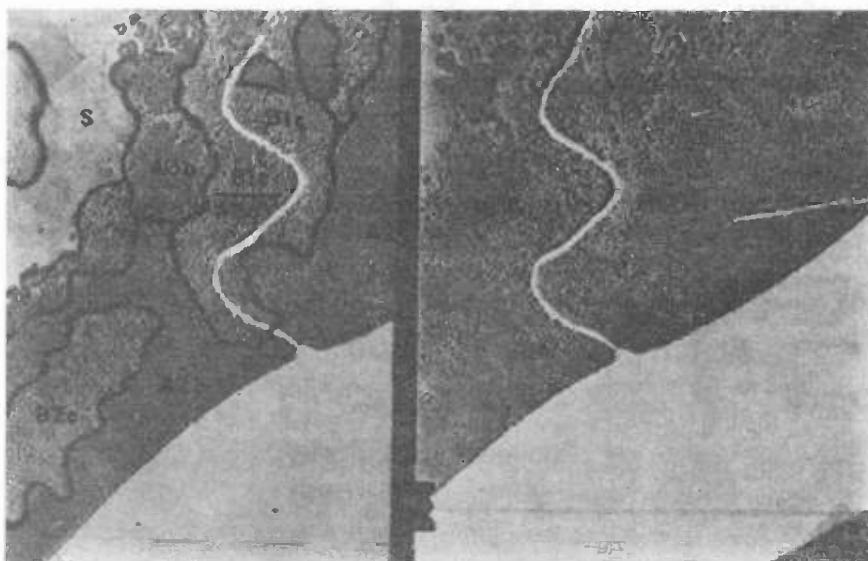
La fotointerpretación a esta escala permitió el establecimiento de la distribución espacial y del grado de mezcla de los tres géneros de mangle, pero no permitió distinguir las tres especies de *Rhizophoras* existentes en el área, o sea *R. mangle*, *R. racemosa* y *R. harrisonii*.

2.2. INVENTARIO FORESTAL

Se realizó un inventario forestal utilizando un diseño de muestreo sistemático con un 1% de intensidad. Se trazaron fajas de 20 m. de anchura y 300 m. de longitud perpendicularmente a los ríos y canales. La distancia entre fajas fue de 2.000 m.

En las fajas, se midieron todos los árboles con dap superior a 8 cm. y se identificó la especie. Para evaluar la regeneración, se contaron también las plántulas en parcelas de 2 m. x 2 m. situadas a lo largo de las fajas.

Con respecto al cálculo del volumen de madera, se construyeron tablas de volumen, corteza y coeficiente mórfico para cada clase diamétrica. Además, a partir de las fotos interpretadas (de las que se presenta un ejemplo en la Figura 2.1.) se elaboró un mapa de tipos forestales. La Figura 2.2. es un ejemplo de este mapa.



Leyenda

A		<i>Rhizophora</i>
B		<i>Avicennia</i>
C		Terreno pantanoso

Figura 2.1.: Elaboración de cartografía de tipos forestales sobre fotografía aérea estereoscópica
Venezuela. (Fuente: Luna Lugo, 1976).



Figura 2.2.: Mapa de tipos de manglar basado en la interpretación de fotos aéreas. Venezuela. (Fuente: Luna Lugo, 1976).

ESTUDIO DEL CASO 3

INVENTARIO FORESTAL EN GRAN ESCALA DE LOS SUNDARBANS DE BANGLADESH

(Fuente: ODA, 1985)

El bosque de Sundarbans es la mayor extensión continua de bosque de manglar del mundo (4.200 Km², sólo en Bangladesh), que está además ordenada hace más de un siglo. En la actualidad, es una fuente importante de madera de construcción, leña, madera para pulpa y otros diversos productos. Los principales objetivos del inventario que se realizó en 1983 y 1984, fueron elaborar los mapas de tipos forestales y calcular las existencias de madera.

3.1. ESTRATIFICACION

Se dividió el área en nueve sectores. La demarcación en sectores tenía como finalidad reflejar las grandes diferencias de tipos forestales. En cada sector, se realizó una fotointerpretación preliminar sobre copias pancromáticas a escala 1:30.000.

3.2. CLASIFICACION DE LOS TIPOS DE BOSQUE

Los tipos de bosque se subdividieron en clases de densidad de cubierta. Además, las especies principales, o sea la *Heritiera fomes* y la *Excoecaria agallocha*, se subdividieron en clases de altura mediante inspección de los datos de alturas recogidos en el trabajo de campo. Las clases de densidad y altura fueron las siguientes:

CÓDIGO	DENSIDAD DE MASA	CÓDIGO	ALTURA (h.)
a	> 70%	1	h > 15 m.
b	30 - 70%	2	15 m. > h > 10 m.
c	10 - 30%	3	10 m. > h > 5 m.
		4	h < 5 m.

3.3. DISEÑO DE MUESTREO Y MEDICIONES DE CAMPO

Cada sector de muestreo se muestreó individualmente. En los sectores que contienen las especies más importantes, el diseño de muestreo se basó en el tipo de bosque y en el tramo. Se situaron al azar aproximadamente tres parcelas de muestreo por tramo en cada tipo, lo que representa el 10% ó más de la superficie del tramo. En el caso de los tipos forestales que no llegan a ocupar el 10% de la superficie de cualquier tramo, pero que ocupan el 5% ó más de la superficie total del sector, se situaron al azar parcelas de muestreo en todo el sector en conjunto. El Cuadro 3.1. da idea de las diversas unidades de muestreo utilizadas en cada sector.

En cada parcela, se midió el dap de todos los árboles con diámetro igual o superior a 5 cm. Se midió también la altura de los árboles más altos de las proximidades.

Se estimó la regeneración contando el número de arbolitos que tienen un dap inferior a 5 cm. y los inferiores a 1,30 m. de altura. En las parcelas de muestreo de campo se tomaron también datos sobre el suelo y sobre la muerte de la copa de la *Heritiera fomes*.

Para la determinación del crecimiento de las especies principales, se hicieron conteos de anillos en discos recogidos de árboles cortados, pero también se utilizó la información obtenida mediante mediciones periódicas de las parcelas permanentes existentes.

3.4. DETERMINACION DE VOLUMENES

Se establecieron ecuaciones de regresión de volúmenes para las especies principales antes mencionadas, basándose en las mediciones realizadas de los árboles cortados utilizados para estudios de crecimientos.

3.5. RESULTADOS

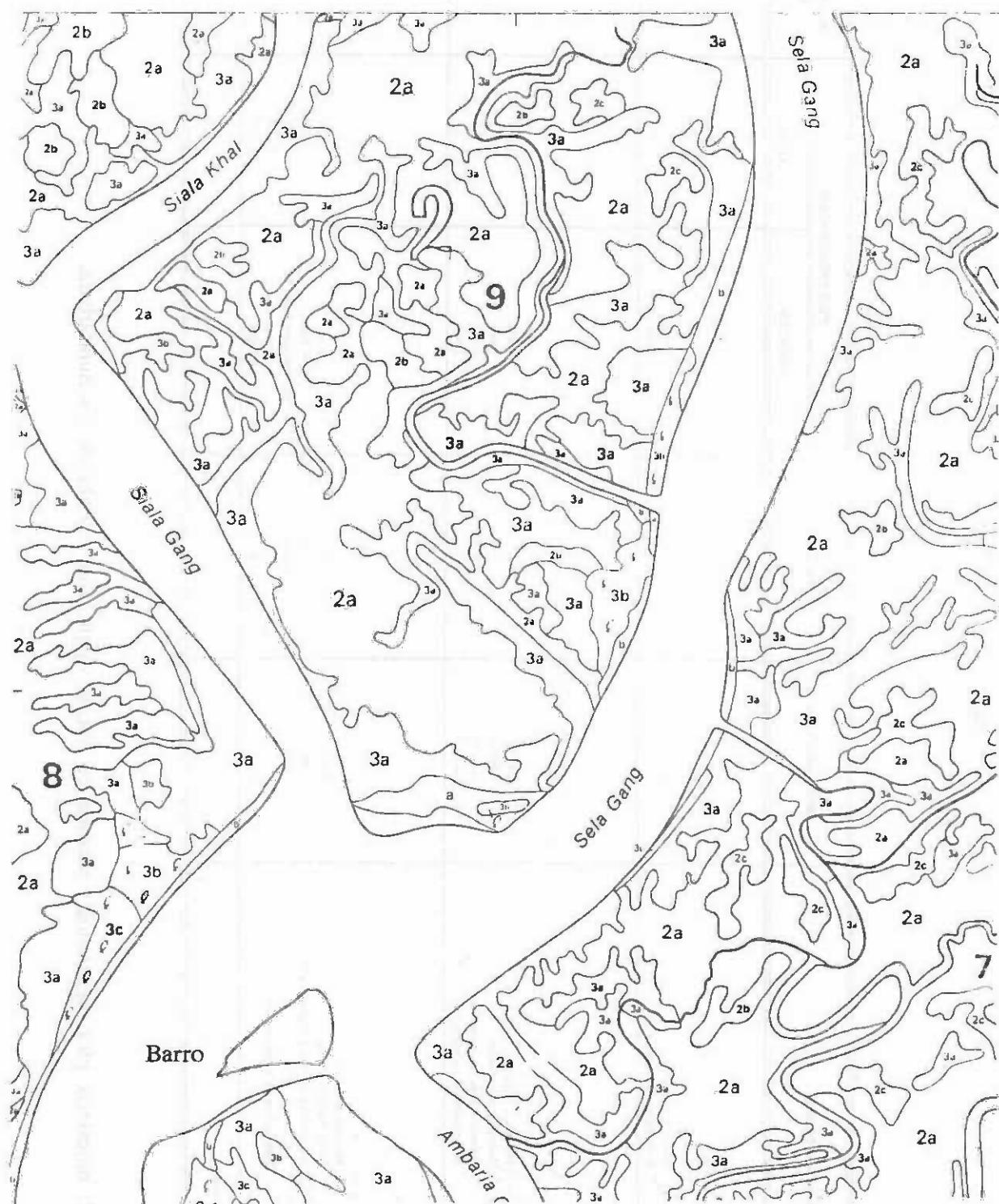
Los resultados del inventario incluyen, entre otras cosas:

- * las superficies de los tipos de bosque, según cubierta de copas y altura;
- * Las superficies por tramos, para todas las categorías forestales y no forestales;
- * Las tablas de volúmenes y regresiones para todas las especies principales de manglar, con volumen de troncos y volumen de copas;
- * El volumen de existencias madereras y de corteza para cada especie maderera comercial por tipos de bosque y sector;
- * El crecimiento diamétrico por clases de altura, para las especies principales.

Algunos de estos resultados se pueden encontrar en el **Estudio del Caso 6**. En el **Apéndice 5** se presentan ejemplos de las regresiones de volúmenes obtenidas.

Se elaboraron también mapas de tipos de bosque, presentándose un ejemplo. En la **Figura 3.1**.

TIPOS DE UNIDADES DE MUESTREO		DIMENSIONES m.	SUPERFICIE, ha.	PIES REGISTRADOS		SECTORES EN QUÉ SE EMPLAZARON
				ESPECIES	esp. cm.	
Type 1	Muestra principal Submuestra de regeneración	Radio 10 Radio 3*	0,031 0,003	Todas Todas	$\geq 5,0$ $\geq 5,0$	1 (parte) 2 4 (parte) 5A, 5B, 7, 8
Type 2a	Muestra principal Submuestra de Géva Submuestra de regeneración Submuestra de regeneración	100x20 50x20 Radio 10. Radio 3	0,200 0,100 0,031 0,003	Todas Géva Todas Todas	$\geq 15,0$ $\geq 10,0$ $\leq 5,0$ $\leq 5,0$	
Type 2b	Muestra principal Submuestra de Géva Submuestra de leña y regeneración Submuestra de regeneración	100x20 50x20 20x20 Radio 3	0,200 0,100 0,040 0,003	Todas Géva Especies para leña ** Todas	$\geq 15,0$ $\geq 10,0$ $\leq 2,5$ $\leq 5,0$ $\leq 5,0$	



ESCALA : 1:50.000

(Los códigos indican los tipos de bosque definidos anteriormente)

Figura 3.1.: Parte del mapa de tipos de bosque de los Sundarbans Bangladesh. (Fuente: ODA, 1985).

ESTUDIO DEL CASO 4

INVENTARIO EN PEQUEÑA ESCALA DEL AREA DE MANGLARES DE MA-SWAR, SIERRA LEONA

(Fuente: B. Birkenhager, 1988)

4.1. INTRODUCCION

Dentro del Proyecto para Leña FAO/PNUD de Sierra Leona (SIL/83/003 y SIL/88/008), se eligió un área piloto de 270 ha. para demostrar las técnicas mejoradas de ordenación de manglares.

El área, constituida por tres partes que quedan incluidas dentro de una curva en U que forma el río Ribi, queda inundada en las pleamaras normales y consiste en un manglar casi intacto. Las principales especies son la *Rhizophora racemosa* que forma las masas de mayor altura, especialmente a lo largo del río; la *Rhizophora harrisonii* y la *Avicennia africana*.

El inventario forestal se realizó en 1987/88.

4.2. METODOS Y MATERIALES

Se utilizó un diseño de muestreo sistemático de parcelas alineadas, con 100 m. entre líneas y 40 m. entre las parcelas circulares situadas a lo largo de la línea. El radio de las parcelas fue de 5 m. lo que da un tamaño de parcela de 79 m² y una intensidad de muestreo del 2%.

El reconocimiento inicial y el estudio de las fotografías aéreas (Falso Color Infrarrojo 1975/76; escala 1:70.000) indicaron ya la existencia de tipos de vegetación fuertemente divergentes dentro del área, registrándose el tipo de vegetación de cada parcela en base a la siguiente estratificación:

- (a) Bosque alto (masa pura de *Rhizophora spp.*)
- (b) Bosque alto (*Rhizophora/Avicennia*)
- (c) Bosque de altura media (*Rhizophora*)
- (d) Monte alto leñoso (masa pura de *Rhizophora spp.*)
- (e) Monte alto leñoso (*Rhizophora/Avicennia*)
- (f) Monte bajo leñoso (masa pura de *Rhizophora spp.*)
- (g) Monte bajo leñoso (*Rhizophora/Avicennia*).

Dentro de cada parcela se registró la especie y el diámetro dap de todos los árboles con un dap ≥ 7 cm. (En el caso de árboles con raíces de sostén que nacen por encima de 1 m. del tronco, se utilizó el diámetro de 30 cm. por encima de la raíz de sostén). Cada cinco parcelas, se midió la altura de todos los árboles.

Se distribuyeron en total 655 parcelas. Teniendo en cuenta que 8 parcelas cayeron en río Ma-Swar, la evaluación se basó en el inventario de 647 parcelas.

4.3. RESULTADOS

Basándose en la clasificación de las parcelas en tipos de vegetación y con la información adicional obtenida a partir de las fotografías aéreas en infrarrojo a escala 1:70.000,

se elaboró un mapa de vegetación. El mapa demuestra claramente que el bosque alto se encuentra a lo largo de las márgenes del río y que hacia el interior de la marisma se produce una disminución de la altura que se refleja en un bosque de altura media y en un monte alto leñoso a monte bajo leñoso.

El acoplamiento de los datos de las parcelas y la estratificación de éstas, dio lugar a las siguientes características de los tipos de vegetación que se distinguen en este estudio:

Cuadro 4.1.: Resultados del inventario de Ma-swar, Sierra Leona

TIPO DE VEGETACION	Nº DE PARCELAS	ALTURA DE LOS ARBOLES	DAP MAXIMO (cm.)	VOLUMEN ESTIMADO ($m^3/ha.$)			
				VOLUMEN MEDIO		LIMITES CONFIANZA 90%	
				Rhizophora	Avicennia	Rhizophora	Avicennia
Bosque alto (Rhizophora)	180	20-30	> 25	231,1	0	209,9-252,3	0
Bosque alto (mezclado)	21	20-30	> 25	156,6	39,6	112,2-200,9	12,6-66,5
Bosque de altura media	104	15-20	15-25	59,9	0	52,1-67,9	0
Monte alto leñoso (Rhizophora)	73	12-15	10-15	17,3	0	14,2-20,3	0
Monte alto leñoso (mezclado)	35	12-15	10-15	22,0	8,0	16,1-28,0	1,7-14,4
Monte bajo leñoso (Rhizophora)	62	< 12	< 10	1,2	0	0,5-1,1	0
Monte bajo leñoso (mezclado)	172	< 12	< 10	0,8	5,9	0,5-1,1	4,3-7,4

El volumen del cuadro anterior corresponde al volumen de tronco superior a 7 cm. y se estima utilizando una tabla de volúmenes procedente de Matang, Malasia, con entrada de dap.

Se estimó que el volumen total en pie del área era de 23.000 m^3 . Con un turno recomendado de 15 años se puede aprovechar por lo tanto, un máximo de 1.500 m^3 anuales durante el primer turno, si se utiliza un sistema de cortas a hecho.

4.4. DISCUSION

El diseño de muestreo sistemático con parcelas alineadas y la intensidad de muestreo utilizada, dieron resultados adecuados. Sin embargo, se juzgó que el tamaño real de la parcela era demasiado pequeño ya que sólo dos parcelas contenían 10 árboles o más. Esto puede deberse a alguna divergencia en los cálculos, especialmente respecto a las parcelas correspondientes a los tipos de vegetación mezclada de *Rhizophora* y *Avicennia*, ya que las parcelas reales con frecuencia contenían árboles de *Rhizophora* o de *Avicennia* y raramente una mezcla de ambos.

Para masas naturales como éstas que comprenden sobre todo *Rhizophora spp.*, y que en muchos casos distan de ser homogéneas, con densidad pequeña de árboles debido a la gran extensión de las raíces de sostén, se recomienda por lo tanto, utilizar un radio de parcela de 8 ó 10 m.

La tabla de volúmenes utilizada fue la única disponible en aquel momento, pero se basa en otras especies (*Rhizophora apiculata* y *Rhizophora mucronata*) que se desarrollan en plantaciones regulares, y no en masas naturales. Se decidió, por lo tanto, que había que construir una tabla local de volúmenes para comprobar la validez de la tabla de Malasia y, si es necesario, ajustar las estimaciones anteriores. Véase el Estudio del Caso 5.

ESTUDIO DEL CASO 5

CONSTRUCCION DE UNA TABLA LOCAL DE VOLUMENES EN SIERRA LEONA

(Fuente: M. Lyche y C.L. Amadou, 1989)

5.1. INTRODUCCION

Como continuación del inventario realizado, tal como se ha descrito en el estudio del caso anterior, se construyó una tabla local de volúmenes debido a las siguientes razones:

- * No se disponía de una tabla de volúmenes para las especies de manglar de África Occidental;
- * La tabla de volúmenes de Matang, Malasia, empleada para la evaluación preliminar del volumen de madera del área de Ma-swar, en Sierra Leona, se basa en *Rhizophora apiculata* y *Rhizophora mucronata* desarrolladas en plantaciones regulares o coetáneas y sólo da el volumen de madera gruesa, es decir el volumen de tronco por encima de 7 cm. de diámetro, con la entrada de dap.;
- * En Sierra Leona, los manglares son sobre todo masas naturales y climáticas maduras, que a lo largo de los principales ríos alcanzan alturas hasta de 40 metros. La especie dominante es la *Rhizophora racemosa* que tiene con frecuencia raíces de sostén que parten a 4 ó 6 m. de altura del tronco y, por lo tanto, el dap no es un parámetro válido;
- * Cerca de los centros urbanos, especialmente de la capital Freetown, la explotación excesiva mediante cortas sin ninguna regulación, para leña y carbón vegetal, ha reducido los antiguos bosques de manglar a un monte bajo que rara vez pasa de 5 a 6 m. de altura y 10 cm. de dap. Las principales especies son aquí *R. racemosa*, *R. harrisonii*, *R. mangle* y *Avicennia africana*. Se sigue extrayendo leña utilizando madera hasta 3 cm. de diámetro aproximadamente.

La tabla de volúmenes debe tener en cuenta, por lo tanto, no sólo el volumen de madera gruesa, sino también indicar la madera disponible de tal monte bajo sobreexplotado.

5.2. METODOS Y MATERIALES

El área elegida para cortar y medir los árboles fue el área de manglares de Ma-swar, donde se había realizado el inventario descrito en el Estudio del Caso 4.

La elaboración de una tabla de volúmenes representa normalmente la corte de un gran número de árboles. Sin embargo, debido a la escasez de mano de obra especializada, equipos y fondos, se decidió medir aproximadamente 100 árboles distribuidos por igual por el área, evitando los efectos de vecindad y a fin de contar con representación de todos los tipos de vegetación. Al mismo tiempo, se decidió obtener un máximo de 20 mediciones de árboles con diámetro dap menor de 10 cm. y 15 árboles de cada una de las siguientes clases diamétricas superiores a 10 cm.

Se siguió el trazado de las parcelas de inventariación (diseño de muestreo de parcelas alineadas) y se decidió cortar un árbol cada 5 parcelas. De este modo, la distancia entre parcelas a lo largo de la línea fue de 200 m. y de 100 m. entre cada dos líneas de parcelas.

Se eligió al azar el árbol a cortar en cada parcela. Se intentó elegir un árbol con un diámetro aproximadamente igual al diámetro medio de la parcela. Se evitaron los árboles anormales con troncos rotos, copas muertas, etc., y también los árboles que bordeaban directamente el río. Se descartaron las parcelas que sólo contenían árboles con diámetros de una sola clase diamétrica, cuando ya se había alcanzado el número máximo de árboles.

Después de elegir el árbol, se medía el diámetro con una cinta diamétrica. Este, en la mayoría de los casos, fue el diámetro por encima de las raíces de sostén (D_{as}), tomado 30 cm. por encima de la raíz de sostén más alta, tal como recomienda la FAO (1980). Sólo se tomaron en cuenta las raíces de sostén que dan como resultado una deformación del tronco.

Se marcaba el tronco, con un lápiz de carpintero, en el punto de medición y se registraba la altura de este punto sobre el nivel del terreno y, a continuación, se cortaba el árbol con una motosierra.

Partiendo del punto del D_{as} , se marcaba a continuación el tronco de metro en metro, siguiendo la forma del árbol y se registraba el diámetro del extremo de cada sección con un decimal, hasta llegar a un diámetro justo por encima de los 7 cm. Se determinaba y marcaba el punto exacto en que el diámetro tenía 7 cm. y se medía la distancia al último diámetro registrado. Análogamente se marcaba el punto en que el diámetro era exactamente de 5 cm. y se registraba la distancia a la marca de los 7 cm.

Se registraba la longitud del árbol desde la marca del D_{as} hasta la yema foliar más alta siguiendo una línea recta y se sumaba a la altura en que se midió el D_{as} , a fin de obtener la altura total del árbol.

Se pesaban todas las ramas y las raíces de sostén hasta 5 cm. de diámetro. Como las ramas eran con frecuencia muy torcidas y las raíces de sostén extrañamente conformadas, se consideró que éste era el mejor procedimiento para obtener una estimación de la cantidad de este tipo de madera, que en muchos casos se utilizaría como leña.

Para los árboles con un dap inferior a 10 cm. se empleó un método algo diferente, ya que estos árboles los cortan con frecuencia para leña los aldeanos locales, utilizando machetes de monte y extrayendo la madera hasta 3 cm. de diámetro.

Se registraba el diámetro y la altura total al igual que en el caso anterior, pero en vez de medir el volumen se pesaba el árbol, con ramas y raíces de sostén, hasta 3 cm. de diámetro.

Se llevó a cabo la determinación del peso en verde y el volumen de las muestras de algunos de estos árboles y de algunas de las ramas y raíces de sostén de los árboles más grandes, a fin de determinar un factor de conversión de peso a volumen. Se determinó el volumen de las muestras de madera sumergiéndolas en agua y midiendo el peso y el volumen del agua desplazada.

Se cortó y midió un total de 85 árboles. Se tomaron tres muestras de cada uno de 10 árboles de diámetro inferior a 10 cm. dap; 30 muestras de madera de ramas y 30 muestras de madera de raíces de sostén, se pesaron y se midió su volumen para obtener la densidad en verde.

Como aclaración del trabajo realizado, véanse las Figuras 5.1.-5.4.



Figura 5.1.: Manglar natural maduro, Ma-swar, Sierra Leona
Foto de M.L. Wilkie



Figura 5.2.: Medición de un árbol cortado, Ma-swar, Sierra Leona
Foto de M.L. Wilkie



Figura 5.3.: Pesando las raíces de sostén de un árbol cortado, Ma-swar, Sierra Leona
Foto de M.L. Wilkie

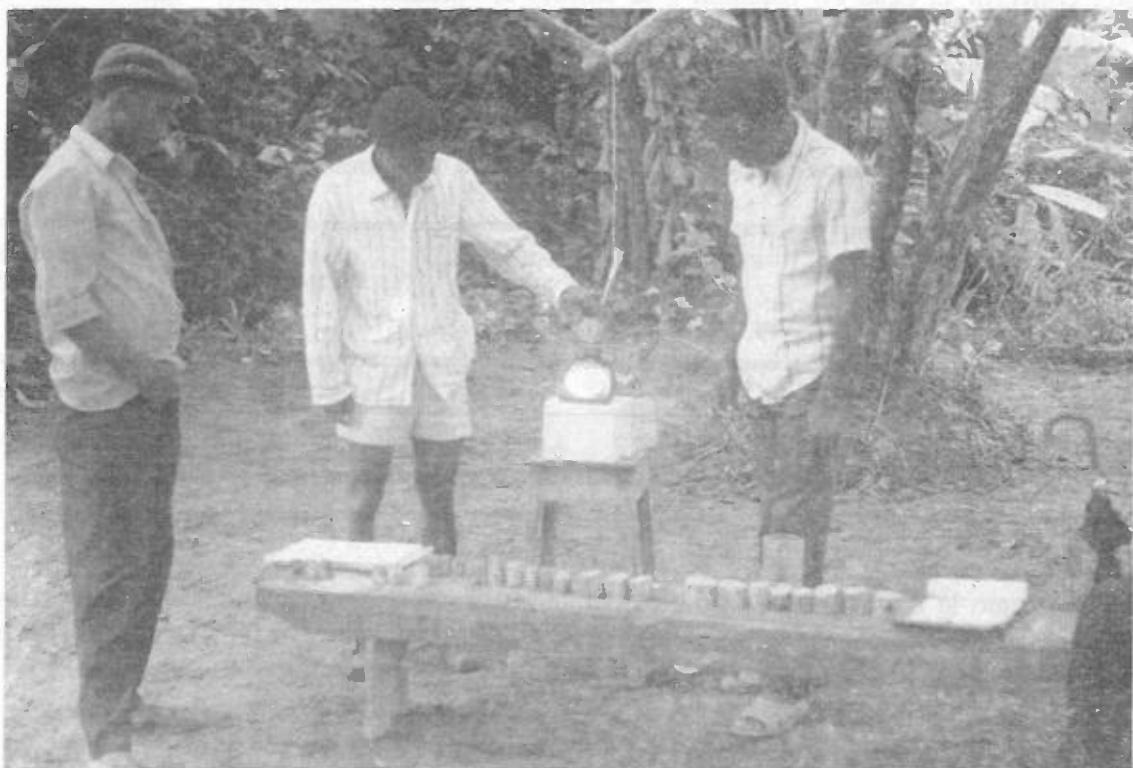


Figura 5.4.: Medición de la densidad en verde de muestras de madera, Ma-swar,
Sierra Leona
Foto de M.L. Wilkie

5.3. RESULTADOS

Para el cálculo de volúmenes, se empleó la fórmula de Smalian:

$$V = \frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \times \frac{\pi}{4} \times L$$

para determinar el volumen de cada sección del tronco por encima de D_{as} :

Debido a la forma del tronco por debajo del dap/ D_{as} , esta parte se consideró como perteneciente al sistema de raíces de sostén.

Para los árboles de diámetro superior a 10 cm., se calculó el volumen del tronco por encima de las raíces de sostén y con más de 7 cm. de diámetro, y asimismo se calculó el volumen del tronco hasta 5 cm. Los resultados de la determinación de la densidad en verde de la madera de ramas y de las raíces de sostén, se utilizaron para convertir las mediciones de peso en volumen y se determinó el volumen total de madera sobre el nivel del suelo hasta 5 cm. de diámetro.

Para los árboles de menos de 10 cm. dap, se empleó la densidad en verde obtenida para convertir el peso en volumen y se calculó el volumen total hasta 3 cm. de diámetro.

A continuación se muestran en el Cuadro 5.1. los resultados de la determinación de la densidad o peso específico en verde:

Cuadro 5.1. Resultados de la determinación de la densidad de la madera en verde

TIPO DE MADERA	Nº DE MUESTRAS	DENSIDAD MEDIA EN VERDE (g/cm ³)	DESVIACION ESTANDAR (dt)	LIMITE DE CONFIANZA 95% (g/cm ³)
Ramas	30	1,1754	0,2118	1,1610-1,1898
Raíces de sostén	30	1,1613	0,0400	1,1586-1,1640
Pequeños árboles	30	1,2022	0,0538	1,1986-1,2059

Como la madera de los árboles pequeños era ligeramente más pesada que la madera de rama y bastante más pesada que la madera de las raíces de sostén, se emplearon medias individuales para la conversión, en lugar de un promedio general.

El dibujo del gráfico diámetros - alturas de los árboles medidos, demostró la existencia de una excelente correlación, a pesar de la variación local de los factores de estación y del uso del D_{as} en la mayoría de los árboles grandes. Se analizó la correlación entre diámetros y alturas y se realizó el ajuste de la curva con cuatro regresiones diferentes (curva logarítmica, línea recta, curva exponencial y curva potencial). El mayor coeficiente de correlación (0,9960) se obtuvo para la curva potencial derivada de la fórmula siguiente:

$$H = 1,123 \times D^{0.8592}$$

donde H es la altura total del árbol en metros y D es el diámetro en cm. medido a la altura del pecho (1,30 m. sobre el nivel del terreno) o -especialmente en los árboles más grandes- a 30 cm. por encima de las raíces de sostén.

Debido a la buena correlación existente entre diámetros y alturas, se decidió que sería suficiente una tarifa de una sola entrada para la tabla de volúmenes. De esta forma, se realizó un análisis de la relación entre diámetros y volúmenes de la misma forma que anteriormente. En cuanto a la relación entre el diámetro y el volumen del tronco por encima de 7 cm., el mejor coeficiente de correlación (0,9986) se obtuvo con la regresión siguiente:

$$V_{tron} = 0,0001 \times D^{2,5478}$$

donde V_{tron} es el volumen del tronco en m^3 por encima del dap/D_{as} y hasta 7 cm. de diámetro, midiéndose D igual que anteriormente. Basándose en la fórmula anterior, se ha construido una tabla de volúmenes para las especies de *Rhizophora* de Sierra Leona. Se encontró que esta tabla difiere considerablemente de la tabla de volúmenes de Malasia previamente utilizada (véase el Apéndice 5).

Se encontró que la correlación entre el diámetro y el volumen total del árbol no era tan buena como cabía esperar. Sin embargo, se halló un coeficiente de correlación 0,9942 para la regresión siguiente:

$$V_{total} = 0,004 \times D^{2,2198}$$

donde V_{total} es el volumen total del árbol en m^3 hasta 5 cm. de diámetro.

Para árboles de menos de 10 cm. de dap, se comprobó que el volumen total del árbol hasta 3 cm. de diámetro, era como promedio 0,0199 m^3 .

A continuación se presenta en el Cuadro 5.2. un resumen de los resultados con respecto a los árboles de más de 10 cm. de dap.

Cuadro 5.2.: Resumen de los resultados según clases diamétricas

CLASE DIAMETRICA (cm.)	Nº DE ARBOLES CORTADOS (cm.)	DIAMETRO MEDIO (cm.)	ALTURA MEDIA (m.)	V_{tron} MEDIO POR ENCIMA DE 7 cm.			V_{total} MEDIO POR ENCIMA DE 5 cm.		
				REAL (m^3)	REGRESION (m^3)	DIF. (%)	REAL (m^3)	REGRESION (m^3)	DIF. (%)
10-20	14	15	11,98	0,0805	0,0749	-7,5	0,1888	0,1682	-12,2
20-30	16	25	18,69	0,2498	0,2753	9,3	0,4632	0,5209	11,1
30-40	13	35	24,74	0,6200	0,6489	4,5	0,9505	1,0968	13,3
40-50	13	45	30,13	1,2561	1,2310	-2,0	1,9843	1,9127	-3,7
≥50	8	55	32,15	2,1597	2,0526	-5,2	3,0150	2,9819	-1,1

5.4. DISCUSION

Como el número de árboles medidos es relativamente pequeño, las regresiones anteriores del volumen son sólo de carácter provisional pero sirven como un buen punto de arranque. Habría que recoger más datos de una variedad de estaciones del país, para afinar más los cuadros anteriores.

ESTUDIO DEL CASO 6

ORDENACION PARA EL USO MULTIPLE DEL BOSQUE DE SUNDARBANS DE BANGLADESH

(Fuente: M.Z. Hussain, 1992)

6.1. INTRODUCCION

La porción correspondiente a Bangladesh de los manglares de Sundarbans está situada en el extremo meridional del delta del Ganges, bordeando el Estado indio de Bengala occidental, en el oeste, y la Bahía de Bengala, en el Sur. El bosque ocupa una marisma cenagosa y llana que se sumerge en las pleamaras vivas durante la mayor parte del año y casi en todas las pleamaras durante la estación de lluvias.

Esta parte de los Sundarbans comprende una superficie de 577.285,6 hectáreas. El bosque se extiende por el Estado de Bengala Occidental donde ocupa una superficie adicional de 416.000 hectáreas. Dentro de Bangladesh, el bosque de Sundarbans se extiende por tres distritos administrativos de la parte suroccidental del país, situándose entre las longitudes 89°E y 90°E y las latitudes 21°ON y 22°31N, penetrando unos 80 kilómetros tierra adentro a partir de la Bahía de Bengala. Véase la Figura 1.

La superficie total de tierras de la porción de los Sundarbans correspondiente a Bangladesh, es alrededor de 401.600 hectáreas. El resto lo ocupa el agua en forma de ríos, canales y riachuelos que varían de anchura desde unos pocos pies hasta varias millas. Los mayores de estos ríos son los restos de antiguos lechos del Ganges, que se han desviado gradualmente hacia el este y no están ya directamente conectados con el río Ganges. El Baleswar, que corre a lo largo del límite oriental del bosque, es el único río que todavía está conectado con el Ganges y recibe un caudal directo de agua dulce de este río. Un gran número de canales y riachuelos desembocan en los ríos mayores de los Sundarbans. Estos, además de inundar el suelo del bosque, hacen accesible la mayor parte de éste con las barcas del país durante las pleamaras y hacen relativamente fáciles las actividades de extracción del bosque. Algunos de estos riachuelos o canales corren entre dos cursos de agua importantes, desempeñando un notable papel para la navegación dentro del bosque.

Las mareas desempeñan también un papel importante en los Sundarbans porque la acción de lavado durante las mareas menguantes remueve el sedimento que se puede haber depositado, manteniéndose abiertos los ríos, canales y riachuelos. Por otra parte, las pleamaras garantizan la inundación del suelo forestal, que es una necesidad para el desarrollo y sostenimiento apropiados de la vegetación.

Los Sundarbans tienen un clima tropical húmedo con unas lluvias medias anuales que varían entre 1.640 y 2.000 mm. La cuantía de las lluvias anuales disminuye de este a oeste. La mayor parte de las precipitaciones tiene lugar entre mayo y setiembre. Hay muy pocas lluvias entre noviembre y abril. La temperatura varía entre 20,4°C y 31,5°C. Las temperaturas máximas se registran durante mayo y junio y las mínimas durante diciembre y enero.

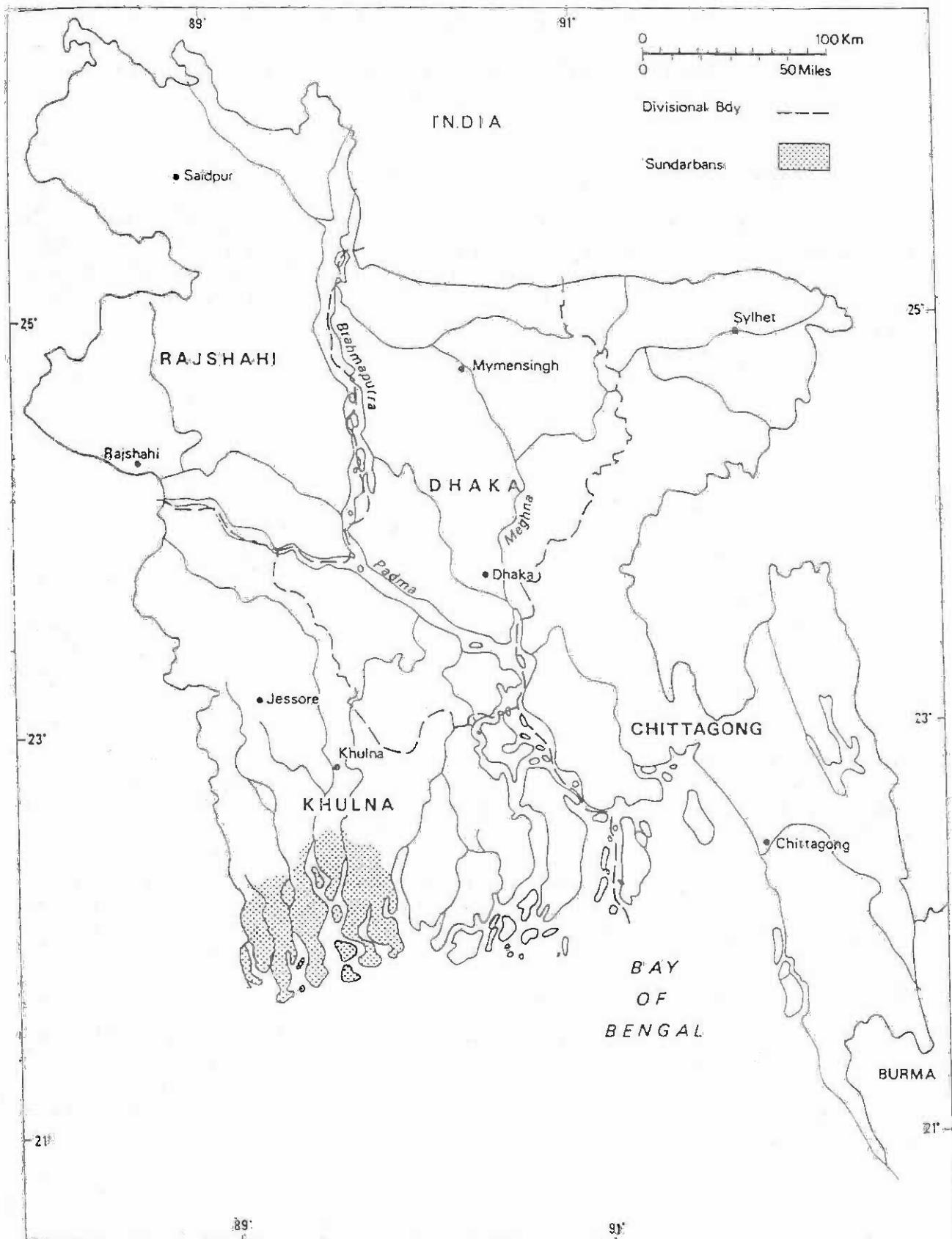


Figura 6.1.: Mapa de situación de los manglares de Sundarbans (Bangladesh)

El bosque se desarrolla sobre suelo de origen geológico reciente que consiste en un depósito aluvial que ha sido arrastrado procedente de los Himalayas. El suelo es una marga arcillosa de aluvión y el subsuelo consiste en capas alternas de arcilla y arena que a mayores profundidades están compactadas con esquisto y arenisca. No hay formaciones rocosas en el área. El suelo superficial del área de bosque consiste sobre todo en arcilla. No hay manchas arenosas, excepto cerca del mar. El suelo de color gris es de reacción neutra a suavemente alcalina. Sin embargo, en algunas áreas el subsuelo seco es de reacción más ácida. El suelo es ligeramente salino en la parte este y nordeste y moderadamente salino en el oeste y suroeste. En los Sundarbans hay un gradiente estacional de fluctuación de la salinidad del suelo y del agua. El gradiente de salinidad alcanza un máximo en abril y mayo, antes de las lluvias, pero desciende bruscamente con las lluvias monzónicas en mayo y junio.

6.2. LA FLORA DE LOS SUNDARBANS

La *Heritiera fomes* (Sundri) y la *Excoecaria agallocha* (Gewa) son las dos especies arbóreas principales del manglar de los Sundarbans. De acuerdo con el informe de un inventario reciente (Chaffey et al., 1985), las especies Sundri y Gewa existen en más del 70% de los Sundarbans, ya sea en manchas puras o en mezclas. Una de las dos especies se da en mezcla con otras especies en otro 25,8% del bosque. La *Ceriops candelleana* (Goran) es la tercera especie que se da con mayor frecuencia en los Sundarbans. Otras importantes especies arbóreas son *Sonneratia apetala* (Keora), *Xylocarpus mekongensis* (Passur), *Bruguiera gymnorhiza* (Kankra), *Avicennia officinalis* (Baen), *Cynometra ramiflora* (Singra), *Amoora cucullata* (Amur), *Hibiscus tiliaceus* (Bhola) y *Nypa fruticans* (Golpata). Una lista completa de la flora de los Sundarbans se puede encontrar en Chaffey et al. (1985) y también está incluida en Das y Siddiqi (1985).

La parte oriental del bosque recibe mucha más agua dulce que la parte occidental y la calidad de la masa es mejor en esta región debido al suministro nuevo de sedimentos cada año, lo que se traduce en una capa superior del suelo blanda y fértil. La calidad de las masas se deteriora gradualmente hacia el oeste, donde a falta de sedimentos, la parte superior del suelo se ha endurecido y es menos apropiada para el desarrollo de los árboles (Das y Siddiqi, 1985).

La *Heritiera fomes* prefiere una zona con agua relativamente dulce por lo que es más abundante en la parte oriental. La *Excoecaria agallocha* existe por todo el bosque pero es relativamente más abundante en áreas que reciben menos agua dulce. La *Ceriops candelleana* se da sobre todo en mezcla con *Heritiera* y *Excoecaria*. Sin embargo, no son infrecuentes las manchas puras de *Ceriops*. La *Sonneratia apetala* se da sobre todo en manchas puras junto a los cursos de agua, siendo una especie arbórea colonizadora que se desarrolla en los terrenos recientemente acrecentados. La *Xylocarpus mekongensis* se da en asociación con la *Bruguiera gymnorhiza* en lugares húmedos, por todo el bosque. Especies corrientes de sotobosque, particularmente en suelos húmedos, son la *Cynometra ramiflora* (Singra) y la *Amoora cucullata* (Amur). Las palmeras *Nypa* se dan al borde de los cursos de agua y son más abundantes a lo largo de los pequeños riachuelos que en los grandes ríos. La porción occidental más salina del bosque, tiene una mayor abundancia de *Ceriops* y de *Phoenix paludosa* junto con alguna *Excoecaria*.

La *Heritiera fomes* es económicamente la especie arbórea más importante de los Sundarbans. La madera se utiliza mucho en construcción, pilotajes y construcción de barcos. Los postes de *Heritiera* se están empleando también como postes de transmisión. La leña de *Heritiera* es de gran calidad y se utiliza para cocinado doméstico, industrias de pequeña

dimensión y fabricación de ladrillos. Una fábrica de tableros duros de Khulna utiliza exclusivamente leña de *Heritiera* como materia prima.

Por otra parte, la *Excoecaria* produce una madera para pulpa de gran calidad y se utiliza exclusivamente como materia prima en la única industria de papel para periódicos del país. Esta especie se utiliza mucho también en la industria de fósforos.

La *Ceriops candelleana* da una leña de gran calidad, utilizándose también para postes de cercas y viviendas. El *Xylocarpus mekongensis* y la *Bruguiera gymnorhiza* se emplean en construcción y en la fabricación de muebles. *Cynometra ramiflora*, *Amoora cucullata* e *Hibiscus tiliaceus*, todas producen leña de buena calidad. Las hojas de la *Nypa* se utilizan para techar en las zonas rurales.

6.3. EVALUACION DE LOS RECURSOS MADEREROS

El primer esfuerzo para obtener información cuantitativa sobre las existencias de madera de los Sundarbans lo hizo Curtis durante la formulación de su plan de trabajos a finales de los años 1920 y principios de los años 1930. Se analizaron los datos recogidos de una serie de parcelas de muestreo de *H. fomes*, que se habían establecido entre 1883 y 1911, y se determinaron los crecimientos en volumen y en diámetro. Durante la elaboración del Plan, se establecieron también parcelas de muestreo para la medición del crecimiento de otras especies. Mediante el conteo de los anillos de crecimiento anual se realizaron estimaciones aproximadas del crecimiento de *Excoecaria agallocha*, *Sonneratia apetala* y *Avicennia officinalis*. Se elaboraron tablas de volúmenes para todas las especies comercialmente importantes. El bosque se dividió en cuatro clases de calidad.

A finales de los años 1950 las empresas Forestal Forestry y Engineering International Ltd. realizaron un inventario detallado de los Sundarbans. Este inventario utilizó fotografías aéreas y aplicó técnicas fotogramétricas combinadas con muestreos de campo controlados estadísticamente. El bosque se dividió en cuatro clases de calidad, con alturas medias de 50 + 35-49, 20-35 y <20 pies. La clase 3, correspondiente a alturas de 20-35 pies, se dividió en dos subclases de 25-35 y de 20-25 pies de altura media. Se creó la subclase de altura media de 20-24 pies porque grandes áreas de la parte occidental y suroccidental del bosque caen dentro de esta categoría de altura media. La densidad del bosque se dividió en las cuatro clases siguientes:

A	90-100%	cubierta de copas
B	75- 90%	" "
C	50- 75%	" "
D	menos de 50%	" "

Se construyeron tablas de volúmenes para las especies comercialmente importantes y se tabuló un resumen del volumen comercial de las diferentes especies, tal como se indica en el Cuadro 1.

ODA llevó a cabo un inventario de los Sundarbans a principios de los años 1980 publicando los resultados en 1985. En los Cuadros 2 y 3 se presenta la importante información producida por el inventario.

Aunque *Ceriops* es la tercera especie más frecuente de los Sundarbans, no se ha calculado el volumen de existencias en pie de esta especie en ninguno de estos inventarios.

De acuerdo con el estudio de ODA, el 65% del bosque tenía una cubierta de copas de más del 70%, mientras que el inventario Forestal (1960) clasificó un 78% del bosque con una cubierta de copas de más del 75%.

Cuadro 6.1.: Resumen de los volúmenes comerciales netos en los años 1950

Norma de utilización: Hasta 4 pulgadas de diámetro en punta (c.c.)

VOLUMEN	VOLUMEN TOTAL (pies ³)			VOLUMEN POR ACRE (pies ³)		
	5" y más	6" y más	9" y más	5" y más	6" y más	9" y más
CLASE DIAMETRICA DAP						
Especies:						
Gewa	111.726.530	67.184.730	9.211.850	119	72	10
Sundri	520.735.640	449.229.180	204.999.970	556	480	219
Passur	28.074.710	25.950.260	14.512.060	30	28	15
Kankra	17.677.170	15.515.960	7.224.940	19	16	8
Baen	15.284.290	15.152.870	14.498.850	16	16	15
Keora	19.471.200	19.389.150	18.764.460	21	21	20
Otras especies	4.246.820	2.827.420	1.479.200	5	3	2
TOTAL	717.216.360	595.249.570	270.691.330	766	636	289
Fuente:	Informe del Inventario Forestal de los Sundarbans					

Cuadro 6.2.: Superficie de los principales tipos de bosque

TIPOS DE BOSQUE	SUPERFICIE	
	Millas ²	Km ²
<i>Heritiera</i>	324,61	831,0
<i>Heritiera-Excoecaria</i>	455,08	1.165,0
<i>Heritiera-Xylocarpus</i>	8,59	22,0
<i>Heritiera-Xylocarpus-Bruguiera</i>	25,39	65,0
<i>Excoecaria</i>	76,56	196,0
<i>Excoecaria-Heritiera</i>	228,52	585,0
<i>Excoecaria-Ceriops</i>	141,41	362,0
<i>Ceriops-Excoecaria</i>	223,40	572,0
<i>Ceriops</i>	36,33	93,0
<i>Sonneratia</i>	12,87	33,0
Otras	12,50	32,0
TOTAL	545,30	3.956,0
Fuente: Informe del Inventario ODA, 1985		

Cuadro 6.3.: Volumen comercial de diferentes especies en los años 1980

ESPECIES	VOLUMEN	
	Pies ³	m ³
<i>H. fomes</i>	240.071.000	6.798.000
<i>E. agallocha</i>	63.320.000	1.793.000
<i>S. apetala</i>	16.810.000	476.000
Otras*	55.763.000	1.579.000
TOTAL	375.964.000	10.646.000

* Otras incluyen *A. officinalis*, *X. mekongensis*, *B. gymnorhiza* y *X. granatum*.

Fuente: Informe del Inventario ODA, 1985

Es difícil comparar correctamente las existencias del bosque de los dos inventarios, porque se consideraron árboles de diferentes dimensiones como árboles comerciales, durante los dos inventarios. Sin embargo, utilizando los datos del inventario ODA, Balmforth (1985) calculó la disminución en volumen de *H. fomes* y *A. agallocha* entre los dos inventarios, que es del orden del 40% para cada especie.

6.4. FAUNA DE LOS SUNDARBANS

Los Sundarbans sostienen una fauna muy rica y diversa que incluyen por lo menos 43 especies de mamíferos, 52 especies de reptiles y anfibios (Hendrichs, 1985; Mukherjee, 1975) y más de 186 especies de aves (Salter, 1984). Los Sundarbans constituyen el último hábitat natural remanente del famoso Tigre Real de Bengala, del que todavía se registra la existencia en la actualidad de 350 a 450 ejemplares en la porción del bosque de Bangladesh.

Los mamíferos de los Sundarbans incluyen el Tigre Real de Bengala (*Panthera tigris*), las civetas (*Paradoxurus hermaphroditus* y *Viverra zibetha*), tres especies de gato silvestre (*Felis spp.*), la mangosta (*Herpestes spp.*), la nutria lisa (*Lutra perspicillata*), el ciervo moteado (*Axis axis*), el ciervo ladrador (*Muntiacus muntjak*), el jabalí (*Sus scrofa*), el mono Rhesus (*Macaca mulatta*), el delfín del Ganges (*Platanista gangetica*), el puerco espín (*Hystrix spp.*), ardillas, ratas y murciélagos.

Los reptiles y anfibios de los Sundarbans incluyen el cocodrilo estuarino (*Crocodylus porosus*), el monitor de Bengala y el monitor amarillo (*Varanus bengalensis* y *V. salvator*), varios lagartos y geos, la pitón de roca (*Python molurus*), la cobra real (*Naja naja*), varias especies de tortugas marinas y de agua dulce, incluidas la tortuga verde y la tortuga de Ridley (*Cheonia mydas* y *Lepidochelys olivacea*), la tortuga de río o estuarina (*Batagur baska*), ranas y sapos.

La población de aves de los Sundarbans incluye por lo menos ocho especies de martín pescador, incluyendo el grande de alas marrones y los martín pescadores de pico de cigüeña (*Pelargopsis amauroptera* y *P. capensis*), la magnífica águila marina de campanilla blanca (*Haliacetus leucogaster*), que es muy corriente, el águila pescadora de cabeza gris, (*Ictyophaga ichyaetus*) muy rara, y el águila pescadora de Pallas (*H. leucoryphus*). Los milanos de Brahma (*Haliastur indus*) se ven también muy corrientemente. Garzas, garcetas, cigüeñas secundarias,

chorlitos, andaríos, y otras zancudas se pueden ver a lo largo de las ciénagas y de los bancos de arena. Palomas, pichones, gaviotas de mar y golondrinas son también numerosos. Otras aves incluyen la gallina roja de selva (*Gallus gallus*), varios pájaros carpinteros, periquitos (*Psittacula krameri*) y el mynas (*Acridotheres spp.*).

En la publicación de DAS y de Siddiqi (1985) pueden encontrarse listas de todos los mamíferos, reptiles, y anfibios y de la mayoría de las aves que existen en los Sundarbans.

Los ríos, canales y riachuelos del interior del bosque son ricos en pesca, crustáceos y moluscos, que se aprovechan regularmente sobre una base comercial, generando empleo para gran número de personas. Según información disponible, los pescadores comerciales capturan corrientemente 120 especies de pesca procedentes de las aguas de los Sundarbans (Seidensticker y Hai, 1985).

6.5. IMPORTANCIA SOCIOECONOMICA DE LOS SUNDARBANS

Los Sundarbans desempeñan un papel muy importante en la economía de la región. Un gran número de personas de los distritos vecinos dependen directa o indirectamente del bosque para su sustento. Además, el bosque hace una contribución sustancial a la economía del país. El bosque comprende actualmente alrededor del 45% del bosque productivo de la nación y constituye naturalmente la mayor fuente de recursos de madera del país. El bosque suministra también materias primas para una serie de industrias, incluyendo una gran fábrica de papel para periódicos y una industria de tableros duros.

El bosque ha estado ordenado hasta ahora principalmente para madera de construcción, leña, postes y madera industrial (materia prima). Sin embargo, el sistema de ordenación actual, que se ha desarrollado a lo largo de mucho tiempo, permite participar a empresarios grandes y pequeños en actividades generadoras de ingresos. Antes de que se impusiera una moratoria temporal de los aprovechamientos forestales de los Sundarbans en 1989, el aprovechamiento medio anual de los diversos productos era el siguiente:

Cuadro 6.4.: Producción anual de los Sundarbans

PARTIDA	CANTIDAD
Madera de construcción (m ³)	68.000
Madera industrial (m ³)	182.900
Postes de transmisión (nº)	15.900
Leña (toneladas)	106.450
Hojas de Nypa (toneladas)	68.400
Hojas de Phoenix (toneladas)	7.350
Hierbas (toneladas)	11.830

Fuente: Departamento de Montes de Bangladés

Cabe mencionar que las hojas y hierbas de la palmera *Nypa* se utilizan para techados; las hojas de *Phoenix*, para hacer tabiques de viviendas con emplasto de barro, muy utilizados por los sectores pobres de la población rural. La leña, las hojas de *Phoenix* y las hierbas se venden en pequeñas barcadas de 2 a 8 toneladas de capacidad, para lo que se emiten permisos individuales para cada barcada. Esto permite que gran número de personas con poco capital

participen en actividades generadoras de ingresos. Las áreas de corta de madera de construcción y de *Nypa* se dividen también en un gran número de pequeños lotes de diferente valor, lo que permite participar directamente a un gran número de empresarios.

Los Sundarbans, no son un simple conglomerado de árboles como otros muchos bosques sino un ecosistema que es muy rico también en otros muchos recursos. Los Sundarbans contienen unos ricos recursos pesqueros y sirven como criaderos y viveros fundamentales para la pesca, los crustáceos y los moluscos, lo que coloca a la pesca a la cabeza en la Bahía de Bengala. Se calcula que alrededor del 35% del total de capturas de pesca marítima corresponde, en la Bahía de Bengala, a especies dependientes de este bosque durante algún período de su vida.

Los ríos, canales y riachuelos de los Sundarbans son también muy ricos en recursos pesqueros. Como ya se ha mencionado, se han registrado por lo menos 120 especies de pesca que capturan regularmente los pescadores comerciales en los Sundarbans. La pesca dentro del bosque tiene lugar durante todo el año mientras que la pesca por el lado exterior de la costa es estacional, teniendo lugar entre octubre y febrero, época en que por lo menos 10.000 pescadores establecen campamentos temporales en el bosque y pescan a lo largo de la costa. La mayor parte de la pesca se seca y se embarca con destino al mercado. Un gran número de pescadores pescan también durante todo el año en los Sundarbans. De acuerdo con un informe reciente de AWB (1991), se capturan cada año alrededor de 150.000 toneladas de pesca de los Sundarbans y aguas adyacentes.

Se recogen también del bosque grandes cantidades de conchas de moluscos que se transforman en cal calentándolas a altas temperaturas. De acuerdo con los registros de la Dirección Forestal, como promedio se recogen anualmente 3.150 toneladas métricas de conchas.

Las flores de los árboles del manglar de los Sundarbans producen una miel de gran calidad; llegando a recoger los recolectores individuales de miel anualmente como promedio alrededor de 200 toneladas métricas de miel y 50 toneladas de cera de abeja.

Es, innegable, por lo tanto, que los Sundarbans desempeñan un papel fundamental en la economía de la región, generando una gran cantidad de actividades económicas diversas y sustentando a un gran número de personas de la región.

No se tiene una estimación del número de personas cuyo sustento depende directamente del bosque. Sin embargo, una estimación realizada a finales de los años 1970 calcula que el número de personas presentes dentro del bosque un día cualquiera, en la estación de máximo trabajo, es de 45.000. Es muy probable que esta cifra se haya incrementado desde entonces. El número total de personas que entran en el bosque es mucho mayor. En realidad, de acuerdo con las estadísticas de la Dirección Forestal, alrededor de 300.000 personas entran en el bosque cada año, pero según estimaciones oficiales la cifra es probablemente muy superior. De acuerdo con un informe de ESCAP (1987), la cifra real de empleo directo proporcionado por los Sundarbans es alrededor de 500.000 a 600.000 puestos de trabajo durante la mitad del año como mínimo.

Estas cifras no dan ninguna indicación del número de personas que participan en actividades externas generadoras de ingresos relacionadas con los productos de los Sundarbans.

Nunca se ha hecho una evaluación del número de personas que participan en actividades tales como la elaboración de la madera en industrias y fábricas, el transporte, el comercio al por menor y al por mayor. Sin embargo, se da por supuesto que el número es elevado. El número total de personas que depende de los Sundarbans es muy elevado. Este hecho, junto con el volumen de actividad económica que genera el bosque, hacen de él un factor muy importante para la economía del país. Los ingresos obtenidos por la Dirección Forestal procedentes del bosque son también muy elevados, en comparación con los gastos. Entre los años fiscales 1984-85 y 1988-89 los ingresos medios anuales procedentes del bosque fueron de 264,38 millones de Taka de Bangladesh (7,0 millones de \$EUA) y los gastos medios anuales fueron de 21,6 millones de Taka de Bangladesh (576.000 \$EUA).

El bosque tiene un enorme potencial para el turismo y brinda excelentes oportunidades para la recreación al aire libre, siendo un paraíso para los amantes de la naturaleza. Su potencial para el turismo, la investigación y la educación sobre naturaleza y conservación, no ha sido explotado. Estas posibilidades tienen un gran potencial para generar nuevas actividades económicas.

Bangladesh se ve azotada con frecuencia por ciclones y tempestades marinas que producen unos daños colosales en vidas humanas y propiedades. Los Sundarbans actúan como amortiguador entre los terrenos agrícolas densamente poblados y el mar y protegen el interior del país contra grandes daños. Los ciclones y las tempestades marinas han ocasionado una y otra vez la destrucción de las regiones costeras, durante los 30 últimos años. Sin embargo, debido a la presencia de los Sundarbans entre el mar y las zonas habitadas, nunca se han producido daños notables en la gran zona situada detrás del bosque.

6.6. PASADO Y PRESENTE DE LA ORDENACION DEL BOSQUE

Los sistemas actuales de ordenación de los Sundarbans han ido evolucionando localmente con el tiempo y no fueron introducidos del exterior. El proceso real de evolución, que comenzó a principios del presente siglo, se desarrolló durante la primera parte y la mitad del siglo y se refleja en los planes y proyectos de ordenación ejecutados durante este período. La evolución del proceso constituye una lección interesante, por lo que se ha incluido en este documento.

La explotación de los recursos arbolados de los Sundarbans sobre una base comercial se remonta a mediados del siglo XVI, cuando un rey local estableció un impuesto sobre la exportación de madera procedente del bosque y la utilizó como una fuente regular de ingresos. Desde entonces, los propietarios de tierras locales establecieron peajes sobre la exportación de madera. En los primeros tiempos del gobierno indobritánico, se otorgaban licencias a nativos y europeos que les permitía desmontar los bosques y transformarlos en terrenos agrícolas o para asentamientos humanos.

El valor de los Sundarbans como recurso forestal fue comprendido en primer lugar en los años 1860, creándose en 1879 una Subdirección Forestal para la ordenación de los Sundarbans. La primera prescripción de ordenación se desarrolló después de dos informes realizados por A.L. Home (1872-73) y el Dr. Schlich y Sir Richard Temple (1873-74), sobre el estado de la *Heritiera*, única especie arbórea que se consideraba de valor comercial y que se explotaba comúnmente en aquella época. En 1874 se estableció una circunferencia mínima de explotación para el Sundri. Se establecieron también Estaciones de Recolección de Peajes, siguiendo la recomendación del Dr. Schlich, en las principales rutas de exportación de la

madera. En los primeros tiempos los ingresos se realizaban sobre la base del peso de la madera exportada.

El primer plan de ordenación de los Sundarbans que se puso en práctica en 1893-94, fue desarrollado por R.L. Heinig quien formuló las prescripciones de ordenación para la explotación de los árboles de *Heritiera* en los bosques de Bagerhut y Khulna, bosques que se dividieron en 10 áreas de corta anuales para fines de ordenación. Se volvió a establecer el diámetro mínimo explotable para la *Heritiera* únicamente, especie considerada como la única de valor comercial. Sin embargo, continuó en el resto del bosque la corta regulada de los árboles. El principal objetivo del plan era aumentar los ingresos, dándose poca atención a las necesidades selvícolas o a la conservación de la *Heritiera*. Esto, como cabía esperar, se tradujo en un agotamiento importante del bosque.

Afortunadamente, el valor de la preservación del bosque tuvo prioridad en esta etapa sobre la generación de ingresos y las acciones subsiguientes que se adoptaron, sirvieron de base para la evolución hacia un régimen de ordenación forestal sostenible, que hoy en día todavía se practica, de una forma modificada. Se reconoció el efecto negativo de la explotación excesiva antes de que se occasionase al bosque un daño irreparable, adoptándose medidas dirigidas a una mejor regulación de la corta de los árboles. En el plan de trabajos redactado por Lloyd para el período 1903-4 a 1908-09, se redujo el tamaño de las áreas de corta anuales a una cuarta parte del tamaño original y el ciclo de cortas se aumentó de 10 a 40 años. Esto se tradujo en la explotación de una superficie anual mucho menor, aumentándose el período entre dos cortas en cualquier área, a 40 años. Se prescribieron también unos tratamientos selvícolas sencillos.

Durante este período del plan todas las operaciones de corta, incluidas las de otras especies distintas de la *Heritiera*, se limitaron a las áreas de corta anuales y se suspendieron las cortas dispersas y sin regulación. Se introdujo una supervisión adecuada de las áreas de corta y se adoptaron las medidas necesarias para detener los robos de madera.

El proyecto de ordenación de Trafford que se redactó para el período 1912-13 a 1931-32, dividió todo el bosque en dos cuarteles administrativos: el de Sundri (*Heritiera*) o cuartel oriental, que comprende áreas relativamente de agua dulce, con masas de buena calidad y el cuartel occidental que comprende un área más salina, con masas más pobres.

Este plan estableció la circunferencia explotable para las otras especies comerciales, e introdujo una corta de tipo intermedio denominada aclareo principal con el fin de aligerar la congestión de las masas de edad media. Esta prescripción estaba destinada a mejorar las cortas y claras a base de un turno de 20 años en los bosques de crecimiento más rápido en el cuartel oriental y un turno de 40 años en las otras áreas. Se adoptaron también medidas sobre aclareos secundarios de brizales demasiado densos.

El proyecto de ordenación redactado por Curtis para el período de 1931 a 1951 fue un documento muy completo que incorporó una serie de conceptos modernos de ordenación, resumió la experiencia de los sistemas de ordenación del pasado y desarrolló un régimen de ordenación para el suministro perpetuo de madera de construcción, leña y material para techar. Las prescripciones formuladas por Curtis todavía están vigentes y casi en la misma forma. Se realizó una enumeración detallada, una cartografía de existencias, una clasificación de estaciones, etc. y se establecieron los diámetros explotables para todas las especies comerciales y para todas las clases de estación.

En el plan se establecieron normas y procedimientos detallados para el cálculo de la posibilidad, el diseño de las cortas, la marcación y corta de los árboles, incluyendo la palmera *Nypa*. Estas prescripciones todavía se siguen en la actualidad. No obstante, se pensó que el plan era demasiado intensivo en aquella época y fue simplificado por S. Choudhury en 1937.

Curtis descentralizó también la ordenación del bosque creando seis demarcaciones o zonas forestales. Se explotó el bosque a base de un turno de 20, 30 y 40 años, para los bosques de calidad buena, regular y mala. Se reguló la posibilidad por cabida, aunque se habían adoptado medidas en el plan para un cálculo detallado de la posibilidad. Se desarrollaron series de normas independientes para la ordenación de productos forestales secundarios, incluyendo las hojas de la palmera *Nypa*, la miel, cera, hierbas y conchas.

A.M. Choudhury revisó el plan, para la parte del bosque que correspondía a Pakistán oriental, a principios de los años 1960 después de realizar un inventario detallado y de obtener mucha información de carácter cuantitativo. Teniendo en cuenta que se estableció entonces en Khulna una fábrica de papel para periódicos diseñada para la utilización de *Excoecaria* (Gewa) como materia prima para la elaboración de pulpa, se hizo hincapié por primera vez en la ordenación de esta especie. Se fijó un turno de corta de 20 años para todo el bosque y se calculó una corta anual admisible utilizando la información generada por el inventario. La posibilidad había sido regulada, sin embargo, por cabida (o superficie) y, aunque se prescribían áreas anuales de corta las superficies se habían fijado de tal modo que se igualara en lo posible la posibilidad en volumen en el caso de los bosques de *Heritiera* (Sundri). Las normas diseñadas por Curtis fueron afinadas por Choudhury.

Al expirar el plan de Choudhury en 1980, se realizó un inventario de los recursos forestales y se publicó un informe en 1985. Según la información disponible, se está elaborando un plan revisado y mientras tanto, el bosque se está manejando según las prescripciones formuladas sobre una base anual.

En los últimos años se ha creado una fuerte conciencia sobre el agotamiento de las existencias de las dos especies principales de los Sundarbans y se están haciendo esfuerzos para reducir el aprovechamiento anual de *Excoecaria* a 3,8 millones de pies³. En 1989 se impuso una prohibición total del aprovechamiento de *Heritiera*. Esta orden ha sido modificada posteriormente y se están aprovechando los árboles de *H. fomes* con la copa seca, a partir de 1990. Este aprovechamiento anual está localizado en una zona del bosque y lo realiza la dirección forestal. Por lo tanto, el proceso de aprovechamiento de madera de construcción y leña de *H. fomes*, tal como se ha descrito en los párrafos precedentes, ha sido suspendido temporalmente. El aprovechamiento de otras leñas, hojas de palmera y otros productos secundarios continúan igual que antes.

6.7. ADMINISTRACION ACTUAL DE LA ORDENACION

Administrativamente, los Sundarbans están bajo el control de un Oficial Forestal de División que tiene su sede en Khulna y está asistido en sus obligaciones por otro Oficial Forestal de División. El bosque está dividido en cuatro demarcaciones: Sarankhola, Chandpai, Khulna y Satkhira. A continuación se indica la superficie y localización de la sede de las demarcaciones.

Cuadro 6.5.: Demarcaciones de los Sundarbans

DEMARCACION	SEDE	SUPERFICIE (ha.)
Sarankhola	Sarankhola	130.998,0
Chandpai	Chandpai	100.021,0
Khulna	Nalianala	161.345,0
Satkhira.	Burigoalini	184.992,0

Cada demarcación está bajo la ordenación de un Oficial de Demarcación que es un Oficial Profesional. El Oficial de Demarcación está asistido por un Adjunto Sub-Profesional. Hay un Guarda de Caza que está a cargo de las reservas de caza. Además de las oficinas mencionadas, se ha establecido una Estación de Control Forestal en la margen de cada río y canal, en el punto en que entran en el bosque. Hay 16 estaciones de este tipo en los Sundarbans. Estas estaciones desempeñan fundamentalmente funciones protectoras mediante el control de la producción y consiguiendo que no salga del bosque ningún producto sin autorizar. Estas estaciones regulan también el movimiento de los barcos hacia el interior del bosque para la recolección de leña, tema que se analiza más adelante en este documento. No hay ningún otro establecimiento permanente dentro del bosque. Se construyen oficinas temporales de cortas para la supervisión de actividades cerca de las áreas de corta. Estos se construyen de tal modo que se pueden supervisar desde cada oficina las cortas de 2 a 3 años. Un guarda mayor Forestal Sub-Profesional está normalmente encargado de un área de corta y es responsable de la marcación previa de las superficies de corta y también de toda la operación de aprovechamiento de la madera. Los Oficiales de áreas de corta están asistidos por una serie de miembros del personal que le ayudan en sus obligaciones. Estos miembros incluyen Guardas Mayores adjuntos (o Inspectores adjuntos), Forestales y Guardas Forestales. Hay establecida una oficina en la Isla de Dubla para la recaudación de ingresos y supervisión de las actividades de pesca en las aguas costeras durante los meses de invierno. Esta operación está dirigida por un Guarda Mayor o inspector forestal.

6.8. ORDENACION SOSTENIBLE DE RECURSOS MADEREROS

La puesta a punto de modo gradual de las prescripciones de ordenación iniciadas por Lloyd a principios de este siglo, se ha traducido en el desarrollo de un régimen de ordenación que, si se sigue estrictamente, garantiza la ordenación sostenible de los recursos forestales.

El sistema de ordenación que se sigue actualmente se desarrolló teniendo en cuenta ante todo los requisitos selvícolas de las especies y la necesidad de mantener la masa en una condición estable y sin cambios. La decisión sobre el tamaño del área de cortas o el nivel o intensidad de la corta, se basó en una serie de normas donde la densidad, el tamaño y la situación general de la masa eran los factores decisivos para controlar el nivel de los aprovechamientos. Estas normas, fáciles de seguir, garantizan que el sistema de cortas no ocasiona ninguna disminución del bosque. Aunque se han realizado dos inventarios muy detallados en los Sundarbans, todavía se dispone de muy poca información sobre la tasa de crecimiento y la posibilidad del bosque. Esta información es un requisito previo básico para formular un régimen de ordenación sostenible basado en una información cuantitativa.

Los sistemas de ordenación de los Sundarbans incluyen una corta única de aprovechamiento y mejora de los recursos arbóreos, en cualquier porción del bosque productivo, una vez cada turno de 20 años. Esta operación normalmente dura de un año a un año y medio y después de ella, se deja el área sin perturbar hasta que llega el momento

del nuevo aprovechamiento en el próximo turno. Esto permite que el bosque se desarrolle sin ninguna perturbación, ni interferencias exteriores y ocasiona la mínima alteración posible a la fauna silvestre. Como el área de corta anual está distribuida por todo el bosque, el tamaño de la superficie en explotación en un lugar en un momento dado es también muy pequeña. En el Recuadro 1 se describen las normas que se siguen en la operación de aprovechamiento de madera.

- (1) Extracción de todos los árboles con circunferencia superior al mínimo explotable, siempre que tal extracción no cree un hueco grande en la cubierta de copas, excepto en lugares en que ya está establecida la regeneración.
- (2) Hay que evitar la extracción de un brazo de un árbol ahorquillado, porque el brazo que se deja enferma posteriormente.
- (3) Extracción de los árboles enfermos y de los de copa muy extendida, o mal conformados, aunque se produzcan huecos.
- (4) La corta de mejora consiste en:
 - (i) cortar algunos árboles de la masa más joven para descongestionar la masa y
 - (ii) extraer los árboles enfermos, muertos y moribundos a fin de mejorar el estado sanitario del bosque.

Recuadro 1: Normas generales de aprovechamiento de la madera

Estas normas se aplican tanto a la *Heritiera* como a la *Excoecaria* salvo que en el caso de la *Excoecaria* no se realiza ninguna corta de mejora.

En el caso del *Ceriops*, la corta en un año determinado se limita a un área de corta anual y el proceso de corta incluye tres medidas:

- (i) corta selectiva de postes de *Ceriops*
- (ii) extracción de otros árboles explotables de *Ceriops*
- (iii) aclareo de la masa excesivamente espesa.

Estas normas son sencillas y fáciles de seguir, aunque requieren alguna opinión subjetiva en la selección de los árboles. Este régimen no sigue el principio básico de la ordenación sostenible en el que la extracción es igual al crecimiento del bosque durante el período entre las cortas anteriores y las actuales. No obstante, lo que sí hace es perturbar al mínimo el bosque, permitiendo la extracción únicamente de aquellos árboles que han llegado a la madurez y cuya extracción se traduce en la ocupación del espacio desocupado por nuevos repoblados. Estas cortas, junto con las cortas de mejora, crean unas mejores condiciones que favorecen el crecimiento de los árboles remanentes.

A falta de información detallada sobre crecimiento y posibilidad, el ejercicio de la ordenación es ideal para mantener el bosque en su estado original. También asegura una producción sostenible cuando las áreas de corta se trazan de tal forma que las cortas anuales

dan una producción más o menos igual. Esto es posible gracias a la información detallada actualmente disponible sobre las dimensiones y distribución de los árboles de diferentes especies, en las distintas áreas del bosque.

Se emplean diferentes métodos para la recogida de los distintos productos. Basándose en las prescripciones de la ordenación, se disponen las áreas anuales de corta en las diferentes localizaciones de las distintas demarcaciones del bosque.

Normalmente las áreas de corta se disponen en cada demarcación en uno o dos lugares. El área de cada lugar se divide en pequeños lotes de 10 a 20 acres (4 a 8 ha.) mediante el desmonte de la vegetación en líneas de dirección norte-sur y este-oeste. A continuación se miden los árboles y se marcan siguiendo la prescripción descrita en la Sección 6. Para cada lote se elabora una lista que incluye la especie, el diámetro y la altura. También se mencionan todas las deformaciones de los árboles. Seguidamente se publica una lista completa de todos los lotes y se fija una fecha para la venta de los lotes, anunciándose en periódicos locales y nacionales y también en el diario oficial. Los lotes se venden en subasta pública al mejor postor. A continuación el comprador llega a un acuerdo en el que se detalla el calendario de pagos y otros términos y condiciones. Se autoriza a los compradores a terminar los aprovechamientos en 9 meses.

Después de haberse terminado la extracción de madera, el Oficial de Cortas hace una evaluación de la leña que resultará de las cortas de aclareo de mejora en cada lote e informa al Oficial de Demarcación. Normalmente, el Oficial de Cortas envía cada quincena un informe completo sobre la cantidad de la leña disponible en su jurisdicción.

Las ventas de leña siguen un sistema completamente diferente. La leña de *Heritiera* se vende en pequeños lotes de 1,5 a 6 toneladas métricas, mediante barcadas a recolectores individuales de leña. Los leñadores individuales conocidos comúnmente como "bawalis" registran sus barchas en cualquier estación de control forestal situada en el límite del bosque. El registro es un proceso en dos etapas. La primera etapa incluye el registro de la barca y la obtención de un Certificado de Autorización de Barca (CAB). Este certificado contiene el nombre y dirección del propietario, junto con las dimensiones y la capacidad de carga. La capacidad de carga de la barca se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Capacidad de carga}^* = L \times A \times P \times 0,356$$

donde L = Longitud total de la barca
 A = Anchura en el punto más ancho
 P = Profundidad en el punto más hondo
 0,356 = una constante

* Capacidad de carga en maunds
 (1 maund = 37 Kg.).

Una vez que se ha obtenido el CAB, los leñadores registran sus barchas en la estación de recolección de leña donde se les dan números consecutivos. Esperan entonces el turno de autorización para proceder a un área de corta para la recolección de leña.

Una vez que los Oficiales de Demarcación reciben la relación quincenal de la leña disponible en las áreas de corta, las asignan a las distintas Estaciones Forestales donde el

oficial de estación reparte los permisos a los leñadores en espera, de forma consecutiva según la lista de espera.

Los leñadores siguen entonces a las áreas de corta, pagan los derechos y reciben la asignación de lotes para la recolección de leña. Se dan permisos independientes para ramas y puntas secas, que quedan después de la operación de aprovechamiento de la madera, y para leña verde procedente de aclareos y cortas de mejora.

Se disponen áreas de corta independientes para la extracción de postes y leña de *Ceriops*. Los Oficiales de Corta emiten permisos sobre la base del primero que llega, asignan áreas para los aprovechamientos y supervisan las operaciones.

Al extraer los árboles hay que tener cuidado para conseguir que en cada raíz o mata quede por lo menos un brote de *Ceriops*, preferentemente más. Salvo en el caso de que sea absolutamente inevitable, no se debe permitir a los leñadores cortar plantas jóvenes simplemente para facilitar la corta y no para una utilización real. Deben dejarse pies solitarios de menos de 2 pulgadas de diámetro a 3 pies de altura desde la base, para producir o un poste grande o una raíz mayor con más brotes.

La Industria de Papel para Periódicos lleva a cabo sus propias operaciones de extracción de madera de *Excoecaria* para pulpa. La Dirección Forestal asigna el área y supervisa normalmente la operación. Esta fábrica ha desarrollado un sistema detallado para la operación, tal como se describe en el siguiente Recuadro 2.

- (i) La Sección Forestal de la Industria de Papel para Periódicos Khulna elabora los planes de corta que comprenden la distribución en el espacio y en el tiempo de las operaciones de corta de la Empresa. Estos planes de corta abarcan un período de 5 años.
- (ii) Cuando se considera necesario, a juicio del Oficial Forestal de División, se marcan con pintura para retenerlos como árboles semilleros, suficientes árboles fuertes, sanos y bien conformados de *Excoecaria*, con más de 4,6" dap.
- (iii) Hay que evitar la corta de un grupo de árboles en cualquier lugar, ampliando con ello un hueco existente, a excepción de aquellos casos en que la regeneración esté bien establecida. Esta norma no representa un obstáculo para cortar los árboles individuales grandes y de copa extendida o cualquier árbol enfermo que ocasione eventualmente un vacío al cortarlo.
- (iv) Se cortan todos los árboles de *Excoecaria* de 4,6" dap. y más y no incluidos en las restricciones de las normas (ii) o (iii).

Recuadro 2: Normas de aprovechamiento de madera utilizadas por la Industria de Papel para Periódicos

La *Excoecaria* se utiliza también en la industria de fósforos. En este caso, se aplica una serie independiente de normas de corta y señalamiento que se describen en el Recuadro 3.

A pesar de los sistemas anteriores, se ha producido una importante reducción en las existencias comerciales entre 1960 y 1985, cuando se publicaron los informes de los dos

inventarios. Aunque las causas de tal reducción no están documentadas o identificadas, el sistema de ordenación no puede ser el culpable de esta reducción porque, si se sigue estrictamente, el sistema no lo permite.

La disminución de la *Heritiera* puede haber sido el resultado de una explotación excesiva particularmente en las cortas de mejora que representan hasta el 85% de todas las extracciones (Balmforth, 1985). Esta operación se realiza con muy poca supervisión, si es que hay alguna, y se confía al personal forestal de menor nivel que puede no tener los conocimientos o conceptos sobre cómo debe realizarse esta operación.

- (i) Las cortas anuales prescritas han sido enumeradas en el plan de ordenación. Cada área de corta se divide en secciones de 40 acres cada una aproximadamente haciendo líneas norte-sur y este-oeste con 20 "cadenas" de separación. Con la ayuda de estas líneas, se representa en el mapa el área de corta a escala de 4 pulgadas por milla. En este mapa, aparecerá el curso de los pequeños riachuelos.
- (ii) Se marcan todos los árboles enfermos y mal conformados o defectuosos en general, siempre que su extracción no cree un hueco permanente. Los árboles enfermos se extraen en cualquier circunstancia.
- (iii) Se señalan para la corta todos los árboles de 6" de diámetro en adelante a la altura del pecho.
- (iv) Hay que evitar el señalamiento de árboles en un lugar, ampliando un área rasa ya existente, excepto cuando esté establecida la regeneración.
- (v) Hay que evitar la corta de un brazo de un árbol horquillado, porque el brazo restante generalmente enferma.
- (vi) Todos los árboles deben marcarse con martillo, a una altura de 4" a 6" y en la base. La marca en la base debe estar lo más baja posible, para evitar desperdicios.
- (vii) Debe prepararse una lista de los árboles marcados por clases diamétricas de 1".
- (viii) La utilización será hasta un diámetro en punta de 4"; debiendo hacerse todo lo posible para evitar cualquier desperdicio.

Recuadro 3: Normas de aprovechamiento de la madera utilizada por las Fábricas de Fósforos

Los ciclones frecuentes y la muerte de árboles debida a la enfermedad de la muerte regresiva (cuya causa es todavía desconocida - véase BARC, 1990), son culpables de parte de la disminución de *Heritiera*. El robo de *Heritiera* se está convirtiendo en materia de grave preocupación.

La causa de la reducción de las existencias de *Excoecaria* es, sin embargo, bien clara. La explotación excesiva de las existencias ha proseguido desde el momento del establecimiento de una fábrica de papel para periódicos a finales de los años 1950. Esta empresa del sector público, había venido disfrutando el privilegio de aprovechar del bosque todas sus necesidades

de materia prima para pulpa, sin dar la debida consideración a la sostenibilidad de tales acciones.

La industria realiza sus propias operaciones de aprovechamiento de madera con muy poca supervisión en el terreno, si es que hay alguna, por parte de la Dirección Forestal. Esta Dirección señala el área de corta y establece el cupo anual. El inventario de ODA ha recomendado un aprovechamiento anual de 2,5 millones de pies cúbicos, mientras que los registros demuestran que en 1984-85 se han aprovechado 8,9 millones de pies cúbicos. Aunque el aprovechamiento había descendido a 4,7 millones de pies cúbicos en 1989-90, está todavía muy por encima de la cantidad recomendada por ODA.

La Dirección Forestal ha estado intentado limitar las cortas actuales de *Excoecaria* a 3,8 millones de pies cúbicos, pero esto sobrepasa también en mucho la cantidad recomendada. Sin embargo, a pesar de esta explotación excesiva, la regeneración que se ha producido en estas áreas sigue siendo satisfactoria.



Figura 6.2.: Operación de atado de madera de *Excoecaria*
Foto de M.L. Wilkie



Figura 6.3.: Madera de *Excoecaria* lista para transportar a la industria de papel para periódicos
Foto de M.L. Wilkie

6.9. ORDENACION DE PRODUCTOS SECUNDARIOS MADEREROS Y NO MADEREROS

Se expediten permisos en las estaciones de control, sobre la base del primero que llega, para la extracción de leña de *Amoora*, *Cynometra* e *Hibiscus*.

Las hojas de *Nypa* o Golpatta, como se conoce comúnmente, son muy utilizadas como material para techar en el sudeste de Bangladesh. Los permisos para aprovechar las hojas se venden en subasta pública y los compradores dividen estos permisos y los venden a los recolectores reales en pequeñas bercadas. Para los fines de la ordenación, el área de trabajo de cada año se divide en una serie de áreas de corta (normalmente 7) vendiéndose cada uno separadamente. La extracción de *Nypa* está en la actualidad totalmente regulada por la Dirección Forestal a través de los Oficiales de Corta que expedien permisos para la recolección y supervisan la operación. La extracción se realiza durante los meses de invierno.

Todavía se siguen las normas que fueron formuladas originalmente por Curtis, que se exponen a continuación en el Recuadro 4.

- (i) Ninguna superficie se debe explotar más de una vez al año.
- (ii) Las hojas nuevas, denominadas "hojas centrales", no se deben cortar; tampoco se debe permitir a los compradores que corten las hojas que no pretenden utilizar sino que las dejen en el terreno para que se pudran. No se deben cortar las plantas jóvenes que tienen sólo una hoja utilizable.
- (iii) El principal trabajo de los Oficiales de Corta responsables de las cortas de Golpatta, consistirá en observar que se obedecen las normas (i) y (ii) y que no se deja en el interior de los bosques Golpatta sin trabajar, antes de continuar la corta. A cada comprador se le asigna un pequeño khal, o una parte de un gran khal, para trabajar en él, no debiendo darle una nueva área hasta que haya terminado la ya asignada. Las áreas situadas cerca del mar deben trabajarse en la estación de calma.
- (iv) Al recorrer los bosques, los Oficiales de Corta prepararán mapas de existencias de Golpatta por tramos en el de escala de 4". Una copia la deben enviar a la Oficina Forestal de División para registro y quedarse con una copia en el área de cortas para facilitar el trabajo del próximo año.

Recuadro 4: Normas de aprovechamiento de las hojas de *Nypa* (Golpatta)

Las hierbas y las hojas de Hantal (*Phoenix paludosa*) se venden también mediante permisos a recolectores individuales y se regulan por los Oficiales de Estación a la entrada del bosque.

Algunos de los árboles del manglar producen miel de excelente calidad, otorgándose permisos de carácter individual para la recolección de miel y de cera entre el 1 de abril y el 15 de junio.

Los principales productos no forestales de los Sundarbans son diferentes variedades de pesca, camarón y moluscos. El aprovechamiento de estos productos es controlado por las

Estaciones Forestales. Se otorgan permisos para un período de tiempo especificado y la recolección o aprovechamiento lo realizan los titulares de tales permisos.



Figura 6.4.: Barca cargada con hojas de *Nypa*
Foto de M.L. Wilkie



Figura 6.5.: Barca de pesca y tripulación
Foto de M.L. Wilkie

En la Isla de Dubla funciona de noviembre a febrero de cada año un campamento de pesca, justo en la orilla de la Bahía de Bengala. Los pescadores establecen campamentos temporales en la Isla bajo la supervisión de la Dirección Forestal, capturan la pesca de la Bahía de Bengala y en su mayoría la secan para la exportación. También se vende algo de pescado fresco. La Dirección Forestal recauda las tasas de los pescadores.

Excepto para las hojas de *Nypa*, no se aplica ningún sistema para la ordenación sostenible de otros productos secundarios y no forestales. Tampoco está regulado el número de permisos a otorgar para ninguno de los productos. Pero es interesante señalar que no hay tendencia de disminución en la captura o recolección anual.

6.10. ORDENACION DE LA FAUNA SILVESTRE

La ordenación de la fauna silvestre se limita a su protección contra el furtivismo. La caza está estrictamente prohibida en el bosque, excepto en casos en que se hace necesario matar a algún tigre devorador de hombres.

Se han establecido tres reservas de fauna silvestre en los Sundarbans. En estos bosques se aplica una protección adicional a la fauna silvestre. Nunca se ha realizado un censo de la fauna silvestre en los Sundarbans. Sin embargo, a pesar del nivel muy escaso de ordenación, la fauna de los Sundarbans ha permanecido prácticamente intacta durante el presente siglo.

6.11. CONCLUSION

Los Sundarbans no son un simple conglomerado de árboles que se extienden en una gran superficie. Son un ecosistema único, cuyos componentes son muy diversos. Son el hábitat de la mayor población que aún queda del famoso Tigre Real de Bengala (*Panthera tigris*). Además, son la morada de una fauna diversa que incluye otras especies amenazadas como la cigüeña menor (*Leptoptilus javanicus*), el cocodrilo estuarino (*Crocodylus porosus*), la pitón de roca (*Python molurus*) y la tortuga de agua dulce estuarina (*Batagur baska*).

Los Sundarbans desempeñan un papel muy importante en la economía de la región y, de acuerdo con una estimación de ESCAP (1987), alrededor de medio millón de personas pueden estar entrando cada año en los Sundarbans para realizar actividades que generan ingresos. Hay también un gran número de personas dedicadas a actividades de transformación primaria y secundaria y al comercio al por menor y al por mayor, que dependen de los Sundarbans para su sustento. Es, por lo tanto, muy importante garantizar a toda costa la conservación de este bosque en su estado original.

En la ordenación futura de los Sundarbans, hay que considerar la conservación del bosque como factor principal, en la formulación de los regímenes de ordenación. La producción del bosque debe ser una consideración secundaria y limitarse únicamente a la cuantía que no ocasiona ninguna reducción del recurso. Los Sundarbans son un regalo único de la naturaleza, no sólo para Bangladesh sino para el mundo entero, y es nuestro solemne deber conservarlo y mantenerlo apropiadamente.

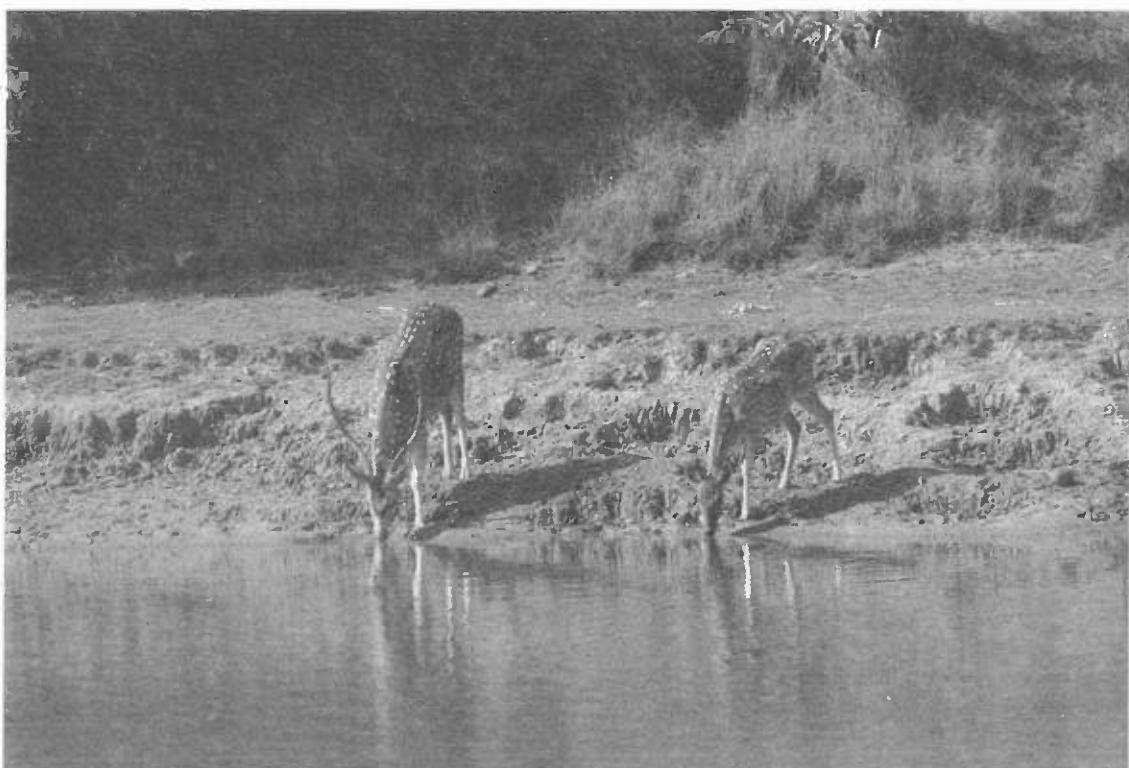


Figura 6.6.: Ciervo moteado bajando a beber a un abrevadero artificial
Foto de M.L. Wilkie



Figura 6.7.: Los Sundarbans: bosque de manglar con gran biodiversidad
Foto de M.L. Wilkie

BIBLIOGRAFIA

- AWB. Management of Sundarbans Reserved Forest in Bangladesh Forestry III Project. Environment Component, Asian Wetlands Bureau.
- Balmforth, E.G. Preparation of Interim Felling Prescriptions for the Sundarbans Forest. FAO, Dhaka.
- Chaffey, D.R., F.R. Miller, J.H. Sandom. A forest Inventory of the Sundarbans, Bangladesh. ODA, Surrey, England.
- Chaudhury, A.M. Working Plan of Sundarban Forest Division for the Period from 1960 - 61 to 1979 - 80. East Pakistan Government Press.
- Chaudhury, R.A. and M.Z. Hussain. Forest Management Practices in Bangladesh - Traditional Practices and Alternative Approaches. In PROC. National Seminar on Forest Resources Management in Bangladesh - Issues Problems and Prospect (S.H. Rahman, M.Z. Hussain, S.I. Ali and S. Hugs Eds).
- Curtis, S.J. Working Plan for the Forests of Sundarbans Division. Bengal Government Press, Calcutta.
- Das, S. and N. A. Siddiqi. The mangroves and mangrove Forest of Bangladesh. Mangrove Silviculture Division Bulletin No.2, FRI Chittagong.
- ESCAP Coastal Environmental Management Plan for Bangladesh. Volume 2 Final Report. ESCAP, Bangkok, Thailand.
- Forestal Forestry and Engineering International Limited. Inventory of the Sundarbans Forests. Vancouver, Canada
- Hendrichs, H. The status of the tiger (*Panthera tigris*) (Linne) in the Sundarbans mangrove forest (Bay of Bengal). *Saugetierkundliche Mitteilungen*. 23: 161-199. (Reported in Das and Siddiqi, 1985)
- Hussain, M.Z. Development of Forest Resources in Bangladesh. Forest Department. Dhaka
- Hussain, M.Z. Sustainable Management of Forest Resources in Bangladesh. MARC, Dhaka.
- Karim, A. Environmental Factors and the Distribution of Mangroves of Sundarbans with Special Reference to *Heritiera fomes*. Doctoral dissertation, University of Calcutta.
- Mukherjee, A.K. The Sundarbans of India and its biota. *J. Bombay Nat. Hist. Soc.* 72 : 1-20. (Reported in Das and Siddiqi, 1985)
- Seidensticker J. and Hai A. The Sundarbans wildlife management plan. IUCN, Gland, Switzerland, 120 pp. (Reported in ESCAP, 1987)
- Zaman, M.N. Sundarbans at a glance (in Bengali). Forest Department. Khulna.

APENDICES

INDICE

A.1. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS SOPORTES DE INFORMACION DE LA TELEDETECCION	283
A.1.1. Fotografía aérea	283
A.1.1.1. Características generales de la fotografía aérea	283
A.1.1.2. Fotografía oblicua y panorámica	284
A.1.1.3. Fotografía de pequeño formato	285
A.1.2. Sistemas de vídeo aerotransportado	285
A.1.3. Imágenes satélite	286
A.1.3.1. Sistema Landsat	286
A.1.3.2. Sistema SPOT	287
A.1.4. Sistema de radar	290
A.2. METODOS DE FOTOINTERPRETACION	291
A.2.1. Fotografías aéreas	291
A.2.1.1. Características de la imagen	291
A.2.1.2. Claves de fotointerpretación	292
A.2.1.3. Ayudas para la fotointerpretación	292
A.2.2. Sistemas de vídeo aerotransportado	292
A.2.3. Imágenes satélite	293
A.2.3.1. Interpretación analógica de imágenes satélite	293
A.2.3.2. Clasificación con ayuda de ordenador	296
A.2.4. Imágenes de radar	299
A.3. RECOPILACION DE MAPAS Y MOSAICOS	300
A.3.1. Sistemas cartográficos	300
A.3.1.1. Mapas procedentes de fotografía aérea	300

A.3.1.2.	Mapas procedentes de imágenes satélite	302
A.3.1.3.	Precisión del mapa	303
A.3.2.	Recopilación de mosaicos	309
A.4.	DISEÑOS DE MUESTREO PARA ESTUDIOS, EVALUACION DE RECURSOS E INVENTARIOS FORESTALES	309
A.4.1.	Muestreo estratificado	310
A.4.2.	Muestreo de fases múltiples	310
A.4.2.1.	Muestreo de dos fases	310
A.4.2.2.	Muestreo de tres fases	313
A.4.3.	Muestreo por conglomerados	316
A.5.	EJEMPLOS DE REGRESIONES DE VOLUMEN PARA ESPECIES SELECCIONADAS DE MANGLAR	317
A.5.1.	América latina	317
A.5.2.	Africa	319
A.5.3.	Asia	320

LISTA DE CUADROS

- A.1.1. Clasificación de las escalas empleadas en el campo forestal
- A.1.2. Ejemplos de recubrimiento con formato lateral y superficial
- A.1.3. Sensibilidad espectral y resolución de los sensores Landsat
- A.1.4. Características de los sensores del SPOT
- A.1.5. Tabla comparativa de los diferentes sensores en cuanto a longitud de onda y resolución

- A.3.1. Ejemplos de instrumentos sencillos de transferencia
- A.3.2. Ejemplo de una matriz de errores
- A.3.3. Ejemplo de una matriz de errores con valores de superficies, en vez de conteos de puntos

LISTA DE FIGURAS

- A.5.1. Regresiones del volumen para la Keora (*Sonneratia apetala*)
- A.5.2. Regresiones del volumen para la Gewa (*Excoecaria agallocha*)
- A.5.3. Regresiones del volumen para el Sundri (*Heritiera fomes*)

LISTA DE RECUADROS

- A.2.1. Técnicas de realce para fotointerpretación analógica
- A.2.2. Técnicas de realce para la interpretación con ayuda de ordenador

A.1. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS SOPORTES DE INFORMACION DE LA TELEDETECCION

A.1.1. FOTOGRAFIA AEREA

La fotografía aérea tiene aplicaciones en muchas actividades relacionadas con la selvicultura, incluyendo la cartografía de tipos de bosque, la identificación de especies arbóreas, la clasificación del drenaje y de la utilización de tierras, la inventariación forestal y los planes de ordenación forestal, localizaciones de emplazamientos de carreteras, evaluación de daños por incendios y enfermedades, estudios de erosión, etc.

Dependiendo de la información necesaria y de la resolución requerida en el terreno - que está directamente relacionada con la precisión de la clasificación- se deben especificar las características de la fotografía aérea. Estas características se refieren al sistema fotográfico, tipo de película, escala y condiciones atmosféricas.

A.1.1.1. Características generales de la fotografía aérea

Escala

La elección de la escala de la foto depende de la superficie a cubrir, de la resolución requerida en el terreno y del coste de recubrimiento. Para las operaciones de inventariación forestal, las diferentes escalas dependen también de la finalidad del estudio. El Cuadro A.1.1. contiene una clasificación simplificada de las escalas empleadas en el campo forestal.

Cuadro A.1.1. Clasificación de las escalas empleadas en el campo forestal

ESCALA		APLICACION
Muy grande	> 1:5.000	Enumeración de árboles-evaluación de daños
Grande	1:5.000 - 1:10.000	Medición de masas para inventarios
Media	1:10.000 - 1:30.000	Cartografía de tipos forestales-planificación de la ordenación
Pequeña	1:30.000 - 1:60.000	Mapas topográficos-estudios de reconocimiento
Muy pequeña	1:60.000 y menor	Inventario forestal nacional

Fuente: Remeijin (1981)

En los extensos bosques tropicales, incluidos los manglares, pueden emplearse escalas pequeñas, hasta 1:60.000 para cartografía de carácter general. Como se dispone generalmente de fotografía aérea de escala aproximada 1:50.000, diseñada para mapas topográficos, se puede emplear también para la definición de tipos generales de bosque y para la planificación de inventarios forestales.

Formato

Junto con la escala de la foto, el formato es un elemento importante a considerar durante un recubrimiento fotográfico. El formato disponible más corriente es 23x23 cm. (9x9 pulgadas) pero también se emplean en ocasiones fotos de 18x18 cm. La fotografía de pequeño formato obtenida mediante cámaras de 70 mm. y 35 mm. (57x57 mm. y 24x36 mm. respectivamente), se están usando también cada vez más en aplicaciones forestales. En una sección posterior se presentan estos sistemas en particular.

En áreas relativamente llanas como los manglares, suelen preferirse los formatos grandes porque no existe una distorsión importante del relieve en la imagen de la foto. En combinación con el formato, se debe considerar también la distancia focal de la cámara a utilizar.

Con un formato de 23 cm., por ejemplo, una cámara con distancia focal de 152 mm. dará una fotografía de gran angular utilizada normalmente para la cartografía de terrenos llanos. Sin embargo, la fotografía de gran angular causa dificultades para la observación de detalles en los márgenes de los positivos. El Cuadro A.1.2. contiene ejemplos de recubrimiento con formato lateral y superficial en varias escalas.

Cuadro A.1.2.: Ejemplo de recubrimiento con formato lateral y superficial

FORMATO	ESCALA	RECUBRIMIENTO LATERAL (m.)	RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL (Ha.)
35 mm. (24x36 mm.)	1: 2.500	86 x 60	0,52
70 mm. (57x57 mm.)	1: 2.500 1: 5.000	143 285	2,04 8,12
9x9 pulgadas (23x23 mm.)	1: 12.000 1: 30.000 1: 60.000 1:120.000	2.743 6.860 13.720 27.439	752 4.706 18.823 75.289
Fuente: Manual Forestal SAF (2 ^a edición)			

Para conseguir un recubrimiento fotográfico completo, necesario para cartografía y para observación estereoscópica, el solape vertical (entre fotos sucesivas dentro de una línea de vuelo) y el solape lateral (entre líneas sucesivas de vuelo) deben ser aproximadamente de $60 \pm 5\%$ y $30 \pm 15\%$ respectivamente. Hay que recordar también que los efectos de la deriva y del balanceo, debidos a una mala navegación, pueden ocasionar un solape lateral insuficiente que se traduce en vacíos entre las líneas de vuelo.

Tipos de película

Los tipos de película más corrientemente utilizados son: pancromática, infrarroja, blanco y negro, color y color infrarrojo. Su constitución y sensibilidad espectral se describen en diversos libros de texto y documentos. Hay que señalar, sin embargo, que la identificación de especies y la detección de árboles enfermos son más fáciles en fotografías con películas de color y color infrarrojo, que con emulsiones pancromáticas, a pesar de su mayor costo.

Cuando se está planeando un estudio fotográfico hay que considerar detenidamente otras características de la fotografía. Estas se refieren al procesado de la película, el tipo de papel, control de tiempos, almacenaje, etc.

A.1.1.2. Fotografía oblicua y panorámica

El interés de las fotografías oblicuas está en su empleo para estudios de reconocimiento y para fines ilustrativos. En comparación con las fotografías verticales, abarcan una superficie mucho mayor. Sin embargo, presentan el inconveniente de no tener la precisión geométrica necesaria para cartografía y mediciones.

Las fotografías panorámicas se emplean también en estudios de reconocimiento. Se caracterizan por un campo visual de gran angular y su alta resolución. Al igual que las fotografías oblicuas, no son adecuadas para cartografía debido a la distorsión geométrica de la imagen.

A.1.1.3. Fotografía de pequeño formato

Los sistemas más corrientemente aplicados utilizan una cámara accionada a motor de 35 mm., o de 70 mm. que puede instalarse en un avión ligero o un helicóptero. El sistema puede funcionar con diferentes combinaciones de película y lentes.

La calidad de las películas y cámaras actuales de 35 ó 70 mm. es tal que las copias positivas ampliadas a partir de los negativos pueden dar un detalle aceptable. El bajo costo de estos sistemas y la sencillez del equipo ha llamado la atención de muchos investigadores y de grupos de inventariación. La fotografía de pequeño formato se ha utilizado en muchas aplicaciones forestales como la detección y evaluación de enfermedades forestales, el seguimiento de actividades de ordenación del territorio y en inventarios de bosques y pastos, sobre todo en zonas de difícil acceso.

De los sistemas de fotografía de pequeño formato pueden obtenerse las siguientes ventajas:

- * La adquisición rápida de datos; ya que se necesita un corto período de tiempo para conseguir un recubrimiento fotográfico actualizado;
- * La oportunidad; porque la sencillez del sistema permite una rápida planificación y ejecución del vuelo y requiere unos dispositivos relativamente sencillos para el procesado de la película;
- * La fotografía de pequeño formato es una herramienta instrumento excelente de muestreo. Requiere equipos relativamente baratos, tanto fotográficos como de fotointerpretación, y da una buena resolución a bajo costo.

Sin embargo, el sistema tiene un inconveniente importante del limitado recubrimiento superficial de cada imagen, por lo que no es adecuado para un recubrimiento completo de grandes superficies, a menos que la escala de la foto sea pequeña. Además, se necesitan dispositivos especiales (altímetro de láser o radar) para la determinación precisa de la altura de vuelo.

A.1.2. SISTEMAS DE VIDEO AEROTRANSPORTADO

Unos ensayos recientes han demostrado las ventajas de los sistemas de vídeo para la evaluación de la vegetación. El sistema se suele instalar en un avión ligero de igual forma que la fotografía de pequeño formato, utilizando el soporte de una cámara. El sistema de visión se compone principalmente de una cámara, un monitor y una grabadora de vídeo, pudiendo funcionar de forma autónoma si se incorpora un conjunto de pilas.

Se pueden producir imágenes en blanco y negro, en color e incluso en color infrarrojo, lo que permite un amplio espectro de aplicaciones. Debido a los rápidos avances en las técnicas de grabación y en la mejora de la resolución, esta técnica relativamente reciente está captando gran interés entre los investigadores dedicados a estudios de vegetación. Cuando se

aplica a la cartografía forestal, se ha encontrado que el sistema facilita la distinción de tipos de bosques, basándose en el color, junto con el contorno y dimensión de las copas (Vlcek, 1983).

Las ventajas del sistema de video son las siguientes:

- * El costo relativamente reducido de las imágenes, en comparación con los sistemas fotográficos, por ejemplo la instalación de una cámara de 35 mm.;
- * El sistema se puede instalar rápidamente, listo para funcionar y para una evaluación rápida después del recubrimiento;
- * Ofrece también la posibilidad de producir una imagen en tiempo real durante el vuelo, lo que permite al operador ajustar interactivamente la instalación de la cámara y de la grabadora;
- * Debido al formato digital de los datos de video, el sistema se puede emplear potencialmente en el procesado de imágenes con ordenador;
- * La incorporación de una cinta de audio permite complementar durante el vuelo con comentarios verbales, la descripción de la vegetación.

Considerando la nitidez y definición de la imagen y la calidad del producto, los principales inconvenientes reales de las imágenes de video son su escasa resolución y las dificultades para determinar la escala de las imágenes. A pesar de estos inconvenientes, este sistema puede ser útil para estudios de reconocimiento y para la clasificación general de tipos forestales.

A.1.3. IMAGENES SATELITE

La aplicación de imágenes satélite a los estudios de vegetación -particularmente en zonas de manglar- ha venido utilizando sobre todo, y todavía utiliza, datos del Landsat y más recientemente imágenes del SPOT. Este último se está introduciendo cada vez más en la realización de estudios. Su principal ventaja está en la resolución en el terreno.

En las secciones que siguen se presentan algunos aspectos técnicos básicos de los principales sensores instalados en los satélites. Las indicaciones anotadas son las que se refieren principalmente a la cartografía de la vegetación. Para más detalles sobre la configuración del sistema, las características orbitales y el proceso de imágenes, pueden consultarse en diversos libros de texto y documentos (ASP, 1983; Baltaxe, 1980 y muchos otros).

A.1.3.1. Sistema Landsat

Las características del sistema del satélite Landsat han sufrido continuos cambios debido a la modificación progresiva de los diferentes elementos del sistema y especialmente de los sensores a bordo desde el lanzamiento del primer satélite de la serie en 1972.

Escáner Multi Espectral (MSS)

El MSS registra la radiación solar reflejada por la superficie de la tierra, en cuatro

bandas espectrales. Estas bandas se denominan: banda 4, verde (0,5-0,6 μm); banda 5, roja (0,6-0,7 μm); banda 6 y banda 7, infrarrojo reflejado (0,7-0,8 μm . y 0,8-1,1 μm .) respectivamente.

En el Landsat 3, puesto en órbita en marzo de 1978, se introdujeron a bordo cambios importantes, como la incorporación de un canal térmico que opera en la banda de 10,4 a 12,6 μm .

Poco después del lanzamiento de este satélite, se desactivó el quinto canal debido a los problemas encontrados sobre la calidad de los datos. Los cuatro canales espectrales restantes siguieron funcionando normalmente hasta la retirada del satélite en 1983. En los Landsat 4 y 5, las longitudes de onda espectrales cubiertas por los datos del MSS son las mismas que las del Landsat 1, 2 y 3, y la resolución en el terreno se ha mantenido también alrededor de los 80 m.

Escáner de tubos Vidicón (Return Beam Vidicom) (RBV)

Las imágenes procedentes del RBV tienen una fidelidad cartográfica intrínseca mayor que las del Landsat MSS, conteniendo una malla reticular que está inscrita en la superficie fotoconductora del tubo RBV. Esta estructura reticular facilita la corrección geométrica de las imágenes durante el proceso de registro de imágenes. Debido a los problemas de la grabadora de los Landsat 1 y 2, se interrumpió el RBV, disponiéndose de pocos datos RBV.

En el Landsat 3 sólo se montaron dos cámaras, en comparación con las tres de los Landsat 1 y 2. El nuevo sistema proporciona imágenes de una extensa banda (0,505-0,750 μm ., desde el verde hasta cerca del IR) con una mejora de resolución en el terreno en comparación con el RBV anterior. Este dispositivo hace que dos pares de escenas sucesivas (4 imágenes) coincidan con una escena MSS. Estas cámaras tienen una resolución espacial de 40 m., o sea alrededor del doble del sistema MSS.

Thematic Mapper (TM)

El Thematic Mapper es un escáner de siete canales que está diseñado para mejorar la capacidad de análisis de la vegetación. Funciona con una resolución espacial de unos 30 m. que corresponde aproximadamente a 2,6 veces la resolución del MSS. Debido al gran número de bandas espectrales, el TM está caracterizado por una mayor sensibilidad radiométrica. El Cuadro A.1.3. contiene un resumen de las características de los sensores de los satélites Landsat lanzados hasta ahora.

A.1.3.2. Sistema SPOT

Este sistema opera en bandas espectrales (la parte visible y la próxima al IR del espectro) con una resolución en el terreno del orden de 20 m. en la modalidad MSS y 10 m. en la pancromática. El Cuadro A.1.4. indica la sensibilidad espectral y la resolución en el terreno del sistema.

Durante el vuelo, un espejo orientable visualiza la superficie de la tierra con una anchura de barrido de 60 a 80 Km. Con tal dispositivo orientable, son posibles dos sistemas de visión diferentes: vertical y lateral. La visión lateral confiere al sistema una ventaja característica al ser capaz de aumentar la frecuencia con que se vuelve a visar una escena

determinada de la superficie terrestre. Esto es importante porque da la posibilidad de una visión estereoscópica de la imagen.

El Cuadro A.1.5. da un resumen de los principales sensores empleados a bordo de los satélites para estudios de vegetación.

Cuadro A.1.3. Sensibilidad espectral y resolución de los sensores Landsat

SISTEMA DE SENSOR	BANDA	SENSIBILIDAD ESPECTRAL μm.	RESOLUCION m.	LANDSAT nº
MSS	4	0,5-0,6 (verde)	80	1,2,3,4,5
	5	0,5-0,7 (rojo)	80	1,2,3,4,5
	6	0,7-0,8 (IR)	80	1,2,3,4,5
	7	0,8-1,1	80	1,2,3,4,5
	8*	10,4-12,6	240	3
RBV	I	0,475-0,575	30	1*,2*,3
	II	0,580-0,680	30	1*,2*,3
	III	0,690-0,830	30	1*,2*,3
TM	1	0,45- 0,52	30	4,5
	2	0,52- 0,60	30	4,5
	3	0,63- 0,69	30	4,5
	4	0,76- 0,90	30	4,5
	5	1,55- 1,75	30	4,5
	6	2,08- 2,35	30	4,5
	7	0,40-12,50	120	4,5

*: no opera

Cuadro A.1.4.: Características de los sensores del SPOT

CARACTERISTICAS	MODO MSS	MODO PANCRAMATICO
Bandas espectrales	0,50 - 0,59 μm. 0,61 - 0,68 μm. 0,79 - 0,89 μm.	0,51 - 0,73 μm.
Intervalo de muestreo del terreno	20 m. x 20 m.	10 m. x 10 m.
Número de pixels por línea	3.000	6.000
Barrido del terreno	60 Km.	60 Km.

Fuente: Borel, 1985

Cuadro A.1.5. Tabla comparativa de los diferentes sensores en cuanto a longitud de onda y resolución

LONGITUD DE ONDA (μm)					
ESCANER DEADALUS	LANDSAT TM	LANDSAT MSS	SPOT HRV		
0,38 - 0,42			MODELO MSS	MODELO PANCROMATICO	
0,42 - 0,45					
0,45 - 0,50	TM1 0,45-0,52				
0,50 - 0,55					
0,55 - 0,60	TM2 0,52-0,60	MSS4 0,5-0,6	S1 0,50-0,59	0,51	
0,60 - 0,65					
0,65 - 0,69	TM3 0,63-0,69	MSS5 0,6-0,7	S2 0,61-0,69	0,73	
0,70 - 0,79		MSS6 0,7-0,8			
0,80 - 0,89	TM4 0,76-0,90	MSS7 0,8-1,1	S3 0,79-0,90		
0,92 - 1,10					
	TM5 1,55-1,75				
	TM6 2,06-2,35				
	TM7 10,4-12,5				
RESOLUCION EN EL TERRENO (m.)					
16x16	30x30	57x79	20x20	10x10	
Fuente: Borel, 1985					

A.1.4. SISTEMA DE RADAR

El Side Looking Airborne Radar (SLAR) (Radar Aerotransportado de Imágenes Oblicuas) es el sensor más corriente, que opera en la porción de microondas del espectro electromagnético, que ha sido utilizado para estudios de vegetación. El SLAR se ha utilizado más ampliamente en los bosques tropicales por su gran capacidad para penetrar por nubes y lluvias. Esta propiedad hace del sistema de radar el mejor sensor disponible independiente del tiempo (Morain, 1976).

Normalmente, la resolución con el radar es peor que con los sensores que funcionan en las regiones ópticas y del IR. Con la inclusión del radar en la carga útil de las plataformas espaciales, este sistema desempeñará un papel cada vez más importante en los estudios de recursos naturales. La resolución en el terreno del SLAR depende del ritmo de las pulsaciones y de la anchura del haz de la antena.

A.2. METODOS DE FOTointerpretación

A.2.1. FOTOGRAFIAS AEREAS

A.2.1.1. Características de la imagen

La posibilidad de identificar objetos terrestres depende de las diversas características de la imagen, y también de los objetos a interpretar. Los criterios de estratificación empleados en los estudios de manglares se suelen basar en la apariencia fisionómica de la vegetación y en las características fisiográficas, como las formas del terreno. Los elementos gráficos, cualitativos y cuantitativos, que se utilizan en el proceso de interpretación se analizan ampliamente en la mayoría de los manuales de fotointerpretación. De forma resumida, incluyen:

Tono y color

La diferencia de tono o color entre un objeto y su ambiente, en una imagen, ayuda a identificar el objeto. El contraste de tonos grises y de colores viene determinado por la intensidad de la radiación reflejada por los objetos, las condiciones atmosféricas y el procesado de la película. Para la clasificación forestal, los tonos pueden depender del ángulo solar en el momento de exposición, la edad de los árboles, las condiciones de humedad y la densidad de la masa. Por ello, la fotointerpretación no debe basarse sólo en este elemento gráfico. Además, hay que interpretar con cuidado las diferencias de matices de color en las imágenes en color porque las diferencias percibidas pueden no corresponder a distintos tipos de vegetación o árboles.

Dimensión y forma

La dimensión de un objeto en una imagen depende de la escala de la foto, de la dimensión del objeto en el terreno y del poder de resolución del sistema de imagen utilizado. Con frecuencia, es la combinación de dimensión y forma la que condiciona el reconocimiento. Para aplicaciones forestales, la dimensión y forma de las copas de los árboles son muy útiles para la identificación de las especies arbóreas.

Textura y configuración

La textura puede ser suave, fina, gruesa o basta, dependiendo mucho de la escala de la imagen. La configuración es la disposición espacial de los objetos y su repetición en la imagen. Puede ser natural o artificial. La configuración natural suele ser el resultado de la topografía, la disposición del drenaje, etc., mientras que la artificial se encuentra en plantaciones, cultivos migratorios, regímenes de corta, etc.

Localización y asociación

La localización y asociación no son características de los objetos, sino que se refieren a las proximidades de los objetos. El conocimiento de las condiciones ecológicas y el ambiente en que está situado un objeto, puede ayudar a identificarlo. También, un objeto dado puede reconocerse simplemente por otro objeto próximo conocido.

La palmera Nipa, por ejemplo, se puede reconocer fácilmente porque está asociada con los bosques de manglar y no se da en sitios secos (Boonchana, 1983).

Elementos cuantitativos

Los criterios de este tipo incluyen todas las mediciones que se pueden obtener de las fotografías aéreas. La información registrada se expresa cuantitativamente y se utiliza para acentuar la información fotográfica cualitativa y mejorar la exactitud de la clasificación. Tales mediciones suelen ser la densidad de copas, el diámetro de la copa y la altura de los árboles. La precisión de las mediciones de las fotos depende de la escala, del tamaño del objeto y de los instrumentos empleados.

A.2.1.2. Claves de fotointerpretación

La fotointerpretación aérea se realiza mejor si se dispone de claves de interpretación. Estas son "material de referencia destinado a facilitar una identificación rápida y exacta y la determinación de la importancia de los objetos, por parte del fotointérprete" (ASP, 1960). La finalidad de las claves de interpretación es proporcionar al analista fuentes de referencia que le den una información de fondo. Estas fuentes pueden consistir en fotografía aérea vertical y oblicua, o fotografías terrestres, que pueden ser simples o montadas en forma de estereogramas.

Las claves de fotointerpretación pueden ser selectivas o dicotómicas. Las claves selectivas se disponen de tal modo que el intérprete elige de una serie de ejemplos el que corresponde a la imagen que está tratando de identificar. Este tipo de clave es fácil de construir y de utilizar. En las claves dicotómicas (denominadas también claves de eliminación) el intérprete sigue un proceso paso a paso previamente descrito que lleva a la eliminación de todos los elementos salvo el que se va a identificar. La construcción de claves dicotómicas es bastante difícil, especialmente cuando se tienen que distinguir muchas clases. Además, este tipo de clave requiere una descripción estándar y precisa de la forma de los árboles sobre la fotografía aérea que, en el caso de los manglares, no está disponible actualmente. Sin embargo, si se estableciesen, las claves dicotómicas podrían ser un valioso instrumento a utilizar para lograr una mayor precisión en la clasificación.

A.2.1.3. Ayudas para la fotointerpretación

Existen diversas técnicas de realce que pueden ayudar en la interpretación analógica (visual) de fotografías aéreas, como la separación de densidades y el visor con combinación de colores. Para más detalles sobre estas técnicas, se recomienda acudir al **Recuadro A.2.1**.

También se puede realizar la generación de datos digitales a partir de una diapositiva de película utilizando un densímetro o un digitalizador de imágenes. Sin embargo, este tipo de datos digitales de imágenes se considera generalmente de inferior calidad. Los análisis de datos digitales pueden hacerse mejor sobre imágenes multiespectrales que están diseñadas para tales aplicaciones.

A.2.2. SISTEMAS DE VIDEO AEROTRANSPORTADO

A partir de imágenes de vídeo de color infrarrojo se pueden generar composiciones en falso color similares a las producidas a partir de imágenes satélite MSS (Meisner y Lindstrom, 1985). El análisis de imágenes de vídeo se basa actualmente en la visión de la cinta en una pantalla de monitor, utilizando la capacidad del sistema para detener las imágenes, o simplemente en una copia en papel fotografiada desde el CRT. La imagen del CRT se puede trasladar también a un mapa mediante instrumentos sencillos como el ZOOM Transfer Scope.

También es posible, por medio de un analizador de imágenes, la solución de digitalizar manualmente e interpretar la imagen. El autor no conoce ninguna aplicación de este sistema a las zonas de manglar.

A.2.3. IMAGENES SATELITE

Los datos de satélite se presentan o en forma de imágenes o en formato de cinta compatible con el ordenador. La información se obtiene de las imágenes mediante interpretación analógica (visual) mientras que el análisis de datos digitales denominado interpretación numérica- requiere la utilización de un dispositivo apropiado denominado sistema de análisis de imágenes.

Las imágenes satélite ofrecen la posibilidad de conseguir un recubrimiento rápido y relativamente barato de grandes extensiones. Debido a la urgencia de las necesidades de información, este tipo de teledetección está despertando un gran interés en aplicaciones de estudios de vegetación. En la realización de estudios de vegetación de manglares, se ha demostrado que las técnicas de teledetección por satélite (sobre todo el Landsat) son muy eficaces. Para fines cartográficos las imágenes satélite pueden dar información suficiente para una planificación general a nivel nacional y regional.

A.2.3.1. Interpretación analógica de imágenes satélite

La interpretación analógica se refiere al análisis visual directo de imágenes satélite presentadas en copias en papel o en diapositivas. El análisis analógico tiene la gran ventaja de producir resultados (mapas) que pueden utilizarse fácilmente en el campo. Además, se puede lograr una interpretación visual de las imágenes satélite con un modesto aporte de personal y materiales. Para lograr resultados seguros, la interpretación visual requiere:

- * Intérpretes con experiencia:

La calidad de la interpretación depende de que el intérprete sea capaz de diferenciar entre colores y tonos. Es necesario también que tenga una gran experiencia de campo para una interpretación rápida y eficiente.

- * Imágenes de buena calidad:

La interpretación visual se suele hacer sobre copias en papel o diapositivas. El detalle y precisión con que se puede identificar la cubierta vegetal depende en gran medida de la calidad de la imagen, caracterizada por el nivel de contraste y la nitidez y variedad de niveles de gris o de colores. Si la interpretación incluye varias escenas, las características tonales y espectrales deben ser uniformes.

Técnicas empleadas con fotografías aéreas e imágenes satélite

Separación de densidades

En este proceso, que se utiliza para realzar el contraste entre los tonos de la imagen, se asignan diferentes colores a los diversos niveles de densidad, lo que permite que las diferencias tonales sean más evidentes. Una separación clásica de densidades incluye una mesa de luz, una cámara de video y un monitor en color.

Visión con combinación de colores

La reproducción de imágenes sobre diapositivas suele dar imágenes más nítidas y con mejor definición que las copias en papel. Se pueden distinguir más detalles cuando las diapositivas se ven sobre una mesa de luz. De esta forma, las diapositivas de imágenes en blanco y negro se pueden observar con más detalle mediante dispositivos como el visor con combinación de colores. El manejo de diversas combinaciones de filtros incorporados en el dispositivo, permite al analista determinar mediante un sistema de tanteos la salida más adecuada para poder separar las características deseadas.

Técnicas empleadas únicamente con imágenes satélite

Elaboración de composiciones en falso color

Para obtener composiciones en falso color se superponen las bandas MSS, asignando un matiz de color a cada banda. La composición en falso color se puede obtener también directamente a partir de cintas compatibles con un ordenador estándar, utilizando un filmador del tipo VIZIR en color. La interpretación de esta composición en color es similar a la de imágenes en infrarrojo (Bore, 1983). El autor señala también que las composiciones en color dan mejores resultados cuando se evita la correlación de las dos primeras bandas espectrales.

Película en Diazo color

Otra alternativa que se puede utilizar para producir realces de imágenes es la película en diazo color. Varios autores (Moore, 1979; Skaley et al., 1977) han discutido el proceso de obtención de las películas en diazo color. Con este procedimiento se puede obtener una mayor variedad de colores, con un costo relativamente bajo, mediante diversas combinaciones de positivos y negativos de bandas simples.

Realce del contraste fotográfico

Esta técnica se aplica para aumentar la posibilidad de interpretar las imágenes mediante el incremento de las diferencias de densidad entre los rasgos de la imagen. Consiste principalmente en ampliar la gama de densidades de la imagen para la gama total de densidades de la película. Se pueden obtener también composiciones en color realizadas, si se realza el contraste de las diapositivas en blanco y negro de una sola banda antes de hacer la composición.

Recuadro A.2.1.: Técnicas de realce para fotointerpretación analógica

En las zonas tropicales, las nubes pueden plantear un problema importante porque puede ser imposible obtener al mismo tiempo un recubrimiento libre de nubes de grandes áreas. Se pueden obtener imágenes procedentes de diferentes pasadas del satélite pero hay que ser conscientes de la variación de las características espectrales, que pueden traducirse en diferencias de valores tonales y de matices de color.

Para lograr una interpretación eficiente de las imágenes, es necesario prestar mucha atención a las características de las diferentes imágenes. Algunos de los puntos a considerar son: la cubierta de nubes, la bandas espectrales, la estación del año y la escala de la imagen.

Técnicas de interpretación

Las imágenes satélite pueden verse en forma de bandas espectrales simples, pero las combinaciones de éstas se pueden analizar también favorablemente mediante un estereoscopio de espejos para lograr una distinción más detallada (Baltaxe, 1980). También se pueden lograr mejoras adicionales en la interpretación de imágenes empleando diversos procedimientos, que incluyen la separación de densidades, la visión con combinación de colores, la preparación de composiciones en falso color, la película en diazo color, y el realce del contraste fotográfico. Para mayor información de estas técnicas véase el **Recuadro A.2.1**.

Datos auxiliares

Durante el proceso de análisis de imágenes, tienen una gran importancia los mapas básicos -si se cuenta con ellos- porque pueden proporcionar información precisa sobre la localización e identificación de las características del terreno. Su incorporación se facilita cuando su escala es similar a la de las imágenes empleadas en la interpretación.

En estudios de vegetación, se ha demostrado que la introducción de los datos auxiliares contenidos en los mapas topográficos o temáticos, es muy valiosa para el reconocimiento y definición de detalles. El procedimiento consiste en superponer los mapas y diapositivas transparentes sobre imágenes satélite de la misma escala. Por ejemplo, los detalles planimétricos de un mapa topográfico se pueden transferir a una hoja transparente superpuesta de plástico. Esta hoja se superpone después a la imagen y se delinean las formas de uso del suelo y los límites de cada tipo de vegetación dibujándolo simplemente sobre el transparente. La inclusión de información auxiliar puede conseguir una disminución de los costos producidos en estudios de campo (comprobación de la clasificación) y puede traducirse en una reducción general del tiempo de interpretación.

En el proceso de análisis de imágenes, la incorporación de datos secundarios procedentes de mapas no se limita a la interpretación visual. Puede utilizarse igualmente en estudios en que se aplica la fotografía de pequeño formato o el análisis de datos digitales.

Equipo necesario

La interpretación visual de imágenes satélite no requiere más que lo que se necesita para la interpretación convencional de fotografías aéreas.

El equipo básico incluye:

- * Mesa de luz (con iluminación uniforme para disminuir el esfuerzo de los ojos);

- * Papel transparente. Para no dañar la imagen la delineación se realiza mejor sobre papel superpuesto;
- * Lentes de aumento; lentes grandes de pocos aumentos;
- * Malla de puntos para la determinación de superficies;
- * Lapiceros y plumas de dibujo;
- * Cinta métrica;
- * Un visor con combinación de colores y un estereoscopio de espejos, son también instrumentos esenciales que pueden ser de gran valor para el intérprete.

A.2.3.2. Clasificación con ayuda de ordenador

Los datos digitales, que se registran en cintas compatibles con ordenador (CCT), deben procesarse en un sistema de análisis de imágenes. Los aspectos físicos de estos sistemas quedan fuera del alcance de este documento pero puede indicarse que un sistema normal se compone de un ordenador, un terminal, un monitor con pantalla en color y otros periféricos, como una impresora, un plotter y una mesa de digitalización. Para el conveniente funcionamiento de un sistema de análisis de imágenes, se requiere cierta experiencia en la utilización de ordenadores y conocimiento de la clasificación digital.

El proceso de análisis de datos digitales se compone de tres fases: proceso previo, realce y clasificación. El proceso previo de los datos digitales y el realce se llevan a cabo generalmente para facilitar y mejorar la interpretación de las imágenes. Se pueden aplicar prácticamente a todo tipo de datos MSS. La interpretación que sigue al proceso previo y realce, puede ser entonces automática (clasificación con ordenador) o visual, a partir de una pantalla o una imagen fotográfica.

Proceso previo

Antes de comenzar cualquier clasificación, hay que realizar correcciones radiométricas y geométricas de los datos MSS, a fin de eliminar las diversas anomalías y defectos que se pueden haber producido durante el proceso de registro de datos. Las anomalías son ocasionadas por pérdidas de transmisión o por saturación del sensor, y pueden traducirse en la falta de líneas de recepción o de contraste de brillo en la escena correspondiente. Tales defectos se pueden eliminar mediante corrección radiométrica. En el caso de faltar una línea, se suelen sustituir los valores de los pixels por el promedio de los pixels inmediatos, superiores e inferiores a aquéllos. Esta corrección sólo se debe aplicar en los casos en que sólo faltan algunas líneas.

La difusión atmosférica de ondas de corta longitud puede ocasionar también una reducción del contraste. En este caso, se recomienda reducir en un valor constante todas las cantidades de radiación espectral.

Otro problema es la distorsión de la imagen. Esta se debe a la rotación de la tierra, a retrasos del sensor y a variaciones de altitud de la órbita. Por ello, es necesario aplicar una corrección geométrica para ajustar la posición espacial de cada pixel en la escena.

Técnicas de realce

Al igual que en el realce de imágenes analógicas, hay también técnicas de realce digital que se pueden emplear para facilitar la interpretación de las imágenes. Los principales procedimientos incluyen el realce del contraste y las transformaciones de los datos. Para más detalles, véase el **Recuadro A.2.2**.

Clasificación de imágenes

El primer objetivo del proceso de datos digitales es extraer información útil a partir de la imagen. Teniendo esto presente, el analista debe elegir los procedimientos o técnicas que le permiten extraer de la imagen las características que considere más importantes.

Mediante una de las técnicas de realce antes descritas, o con todas ellas, se emplea el ordenador para facilitar la interpretación de ciertas características de interés, de forma más detallada y precisa, pero la interpretación se puede hacer también por medios visuales.

Antes de la clasificación misma, siempre es útil realizar algunos análisis de muestreo a fin de obtener una opinión sobre la posibilidad de interpretar los datos de interés para las categorías a diferenciar. Se puede examinar la distribución de frecuencia de los valores espectrales de cada banda o analizar parcelas características del espacio que pueden generarse ploteando valores de radiación de una bandapectral determinada, frente a los de otras bandas.

Los dos métodos básicos que se emplean en la clasificación digital son las clasificaciones supervisadas y sin supervisar. La **clasificación supervisada** utiliza información "de entrenamiento" obtenida a partir de series de muestras de agrupaciones espectrales que corresponden a las clases de uso del suelo o de cubierta del suelo que desea distinguir el intérprete. Las series de muestras deben abarcar la diversidad espectral de la clase. Deben extenderse, por lo tanto, por toda la imagen. La elección de las clases espectrales y de su número son elementos fundamentales para el éxito de la clasificación. Además, tienen que ser suficientemente distintas para conseguir una precisión razonable. Una vez que se han definido las clases espectrales, el segundo paso de la clasificación supervisada es clasificar todos los pixels de la imagen de acuerdo con las características espectrales obtenidas en las áreas de entrenamiento. Basándose en esta información, el clasificador sitúa las características desconocidas en el grupo más apropiado. Entre todos los clasificadores utilizados, numerosos estudios han demostrado que el análisis del discriminante de máxima probabilidad es el que proporciona la clasificación más precisa.

Realce del contraste

El objetivo del realce del contraste es poder separar las características de interés, utilizando valores tonales. Para este fin, se modifica el histograma de distribución de frecuencias de los valores de radiaciónpectral (expansión del histograma), ampliando la serie de valores de los pixels de una superficie de interés determinada, para la variación total del sistema de presentación. También se puede realizar la ecualización del histograma a fin de conseguir que los niveles de la imagen se ajusten a la distribución de los valores digitales. Consiste en asignar números iguales a los pixels de cada nivel tonal.

El realce de bordes es otra técnica que se aplica para incrementar la separación tonal entre características que presentan pequeñas variaciones en los valores tonales a lo largo de sus bordes. Con respecto a los manglares, esta técnica puede ser útil para la definición de la red de drenaje.

Transformaciones de datos

Con frecuencia se hacen modificaciones de los datos digitales mediante diversas transformaciones de los valores espectrales. Estas transformaciones incluyen la relación entre bandas, los componentes canónicos y principales, la descorrelación de bandas y la suavización de imágenes.

Relación entre bandas

Esta técnica se aplica corrientemente a los datos de MSS. Consiste en dividir, pixel por pixel, los valores espectrales de una banda por los valores de otra banda para todos los pixels de la escena. Las relaciones entre la diferencia y la suma de las bandas y las relaciones entre cada banda y la suma de todas las bandas, se aplican comúnmente para producir series de datos derivados. Para estudios de vegetación, la relación entre la banda 7 y la banda 5 del Landsat, denominada índice de vegetación (porque se correlaciona con la vegetación verde) se ha utilizado frecuentemente como índice de la biomasa verde. Mulder y Hempenius (1974) indican que la aplicación de las técnicas de relación de bandas reduce la variación de brillo de las escenas multitemporales.

Componentes principales

Con las técnicas de componentes principales, los valores espectrales de todas las bandas se comprimen en forma de una serie de ejes no correlacionados, a fin de conseguir la máxima varianza entre clases (categorías a identificar) y reducirla al mínimo dentro de cada clase. Este procedimiento es conveniente para el análisis de datos digitales cuando el intérprete está tratando de un gran número de bandas espectrales, y su aplicación es eficaz sin una pérdida importante de información (Baltaxe, 1980).

Suavización de imágenes (filtrado espacial):

La suavización de imágenes es una transformación de datos mediante la cual se pasan bloques de 3x3 ó 5x5 pixels a través de un filtro espacial con el fin de eliminar algunas de las fuertes variaciones espectrales de los datos. En el proceso se sustituye el valor digital del pixel central de cada bloque (ventana) de la escena, por el promedio de los valores de los pixels (9 ó 25) que constituyen el bloque. A veces se utiliza la mediana en vez de la media. La aplicación de esta técnica a los datos del Landsat ha demostrado ser eficaz para realizar los límites de los tipos de bosque (Fox, 1983).

Descorrelación:

Las bandas azul y verde del MSS, tanto del Landsat como del SPOT, están fuertemente correlacionadas. Esta correlación tiene un efecto de reducción del contraste cuando se hacen composiciones en color. Prácticamente se obtienen dos imágenes en color con predominancia del azul y el azul de cianina. Para resolver este problema puede aplicarse un procedimiento de des-correlación a fin de mejorar la posibilidad de interpretación de la imagen produciendo más matices de color en los espectros azul y verde. A fin de lograr una des-correlación de bandas sin ocasionar mucha pérdida de valores espectrales, se pueden generar nuevas bandas espectrales encontrando una combinación lineal de las originales.

Recuadro A.2.2.: Técnicas de realce para la interpretación con ayuda de ordenador

Por el contrario, la **clasificación no supervisada** utiliza sólo la estadística de los datos en que se basa la clasificación. De esta forma, se examinan los pixels de las áreas de las muestras, a fin de determinar grupos naturales de datos únicamente en sus propiedades espetrales. Corresponde entonces al analista el asignar a las agrupaciones clases con significado. El método no supervisado es práctico cuando el número de clases es elevado, lo que haría muy engorroso el proceso de utilización de áreas de entrenamiento.

Sin embargo, se ha comprobado que la combinación de ambas estrategias, la supervisada y la no supervisada, produce los mejores resultados.

A.2.4. IMAGENES DE RADAR

El sensor del Radar de Apertura Sintética (SAR) sigue los mismos principios básicos, igual si va instalado a bordo de un avión o de un satélite. Este sensor, que opera en el sector de las microondas del espectro electromagnético, se ha empleado para estudios de vegetación en muchas zonas forestales tropicales. La mayoría de ellos se han basado en un SAR instalado en avión.

Los sensores de radar no generan imágenes acordes con el ojo humano. Hay que saber que algunos tipos de bosque son diferentes de tono en las imágenes SAR, en comparación con las fotografías aéreas. Además, las diferencias de tono en el SAR no corresponden siempre a diferencias de vegetación, existiendo importantes diferencias en los tipos de bosque que no siempre se reflejan en diferencias de tonos en el SAR. Debido a ello, una leyenda establecida previamente no tiene un valor importante en la interpretación de imágenes radar. Se sugiere por lo tanto:

- * Hacer una separación aproximada entre las áreas de bosque y las demás;
- * Utilizar características fisiográficas para delimitar tipos generales de bosque;
- * Utilizar datos adicionales de los estudios de reconocimiento para terminar la clasificación de la vegetación.

Las imágenes SAR no son tan bien conocidas como las imágenes fotográficas MSS, debido sobre todo a que sólo recientemente han estado disponibles para uso civil. En realidad, con pocas excepciones sus aplicaciones a los recursos terrestres están todavía en una fase de investigación. Pero los planes futuros de incluir el SAR en la carga útil de los satélites en órbita como el ERS-1 (satélite europeo), JERS-1 (satélite japonés) y otros, abrirán nuevas perspectivas de aplicaciones más frecuentes de este sistema. Al igual que los datos MSS, los nuevos avances en el proceso de datos de imágenes pueden aplicarse también a las imágenes SAR que pueden producirse ópticamente o digitalmente,

Además, como el SAR percibe el microrrelieve por la configuración del terreno y las propiedades dieléctricas de la vegetación, su combinación con las imágenes satélite MSS puede aumentar la distinción e identificación de los límites de la vegetación (Gelnet et al, 1978).

Los resultados obtenidos de diversos estudios de vegetación en los que se han empleado datos SAR, indican que sólo ha comenzado la investigación para explorar las técnicas de interpretación de imágenes Radar. No obstante, debido a su complejidad, la interpretación y el análisis de las imágenes SAR necesitan analistas de imágenes bien

experimentados que estén habituados al proceso previo, proceso posterior y procedimientos de realce, específicos del sistema.

A.3. RECOPILACION DE MAPAS Y MOSAICOS

Los mapas juegan un papel importante en las actividades forestales. La información que debe contener un mapa depende de los objetivos para los que se va a utilizar y de su escala, lo que viene determinado por el nivel de aplicación. Esta aplicación puede ser nacional, regional, provincial o incluso de una comarca o de una unidad de menor nivel.

A.3.1. SISTEMAS CARTOGRAFICOS

A.3.1.1. Mapas procedentes de fotografía aérea

La recopilación de mapas consiste en producir un documento -basado en fotointerpretación- a partir del cual se pueda elaborar el mapa final para su impresión. Antes de comenzar hay que tener cuidado de no dibujar líneas dudosas y de que las fotografías estén libres de información superflua. Además, es importante comprobar que la delineación de las clases de una foto concuerden con las de la siguiente. Esta medida facilita la transferencia de las clases de cubierta vegetal al mapa básico y evita los errores de edición.

Si la delineación se realiza sobre hojas transparentes, éstas deben llevar marcas fiduciales y puntos de paso para facilitar su orientación. Puede ser conveniente también casar las photocopies de las hojas transparentes delineadas para obtener un mapa aproximado que puede emplearse para comprobar la fotointerpretación (Remeijin, 1985).

Mapa básico

Los detalles de cada clase de uso del suelo, tipo de bosque y otros estratos que se hayan identificado e interpretado sobre la fotografía aérea, deben transferirse al mapa básico. La función de este mapa es indicar la situación geográfica y la distribución de las características terrestres dibujadas en él, por lo que debe contener cierta información topográfica.

Como mapa básico se suele adoptar un mapa topográfico. Sin embargo, si se utiliza como está, la incorporación de más información puede dar lugar a un mapa con demasiados detalles superfluos que pueden dificultar su legibilidad. Se sugiere, por lo tanto, simplificarlo hasta un punto en que todavía contenga información suficiente que permita al usuario localizar en el terreno las características dibujadas en el mapa. Los temas que pueden incluirse por su utilidad son las carreteras, ríos, áreas urbanas, etc. Las curvas de nivel no son generalmente necesarias. En áreas relativamente llanas, como los manglares, su densidad en cualquier caso no es muy alta.

La fotografías aéreas se pueden emplear para disponer de información topográfica para el mapa básico, si no se dispone de mapas topográficos o si los mapas existentes son de escala demasiado pequeña para conseguir la localización segura de las características. También pueden emplearse fotos aéreas si faltan características del terreno identificables, tanto en el mapa como en el terreno, o si los mapas existentes están anticuados. Las fotos deben incluir en este caso una serie de puntos de control para conseguir la precisión cartográfica. Para este fin, se realiza una triangulación radial.

Esto permite contar con las coordenadas (x,y) de los puntos de control que han sido identificados en el terreno mediante fuentes geodésicas. La plantilla ranurada y los métodos gráficos son fáciles de utilizar, pudiendo proporcionar una red suficiente, o suplementar una red existente, de puntos de control.

Para los terrenos casi llanos puede ser factible, y también económico, utilizar una fotografía de cada dos, para interpretación y determinación de puntos de control.

Instrumentos de transferencia

La transferencia de la delineación en la foto a los mapas básicos puede realizarse mediante diversos aparatos. Se puede lograr mediante instrumentos estereométricos o monométricos, con diversas capacidades de ajuste de la distorsión de la imagen y de las diferencias de escala entre las fotografías y el mapa.

Los instrumentos que se emplean generalmente para transferir a un mapa los detalles de las fotografías aéreas interpretadas, varían en rendimiento, precisión, comodidad y costo. Para algunas tareas cartográficas, incluida la elaboración de mapas para estudios forestales, los requisitos de precisión no justifican el uso de dispositivos complicados y por ello costosos. En las áreas de manglar, caracterizadas por terrenos relativamente llanos, pueden adoptarse métodos y equipos sencillos para obtener resultados satisfactorios. Las muchas ventajas de los instrumentos sencillos obedecen a su bajo costo, facilidad de transporte, construcción y funcionamiento sencillos y, lo que es más importante, su fácil mantenimiento. En el Cuadro A.3.1. se incluyen algunas instrumentos sencillos.

Cuadro A.3.1.: Ejemplos de instrumentos sencillos de transferencia

INSTRUMENTO	MODALIDAD
Sketchmaster (Cámara clara)	mono
Stereosketch	estéreo
OMI Stereo facet plotter	estéreo
Reflecting projector (Pantógrafo óptico)	mono
Rectificador ZTS de Bausch y Lomb	mono-estéreo
Stereopret	estéreo

Las características técnicas, los principios de fabricación y el rendimiento de estos instrumentos pueden encontrarse en diversos documentos y libros de texto (Weir, 1981, 1983). Los instrumentos incluidos en el Cuadro anterior son adecuados para la transferencia de detalles de fotografías de terrenos llanos, en que no se producen errores de desplazamiento o éstos son despreciables, y cuya principal causa de error es la inclinación de la cámara en el momento de la exposición.

A pesar de sus ventajas en cuanto a costo y manejo es importante señalar que los instrumentos sencillos sólo permiten una eliminación parcial de los errores geométricos intrínsecos de la fotografía aérea.

Si se requiere una gran precisión planimétrica, hay que acudir a instrumentos de dibujo estereoscópico. Estos son también capaces de producir directamente detalles planimétricos y curvas de nivel, a partir de modelos estereoscópicos. Además, los plotters estereoscópicos

modernos están equipados con lecturas de salida coordinadas que son más convenientes para utilizar con datos de forma digital.

A.3.1.2. Mapas procedentes de imágenes satélite

En la pequeña escala que caracteriza a las imágenes satélite, el objetivo de la interpretación de imágenes es principalmente elaborar mapas que contengan los manglares a lo largo de la costa y de los ríos. La información que se puede obtener de las imágenes (aunque sólo es a nivel de reconocimiento) es muy útil para un forestal o un gestor del territorio en áreas donde se carece de información básica. El mapa y los otros datos obtenidos de la imagen darán una indicación general del modelo actual de uso del suelo que es suficiente para la planificación a nivel nacional o regional.

Los mapas se pueden dibujar directamente a partir de copias fotográficas o de los resultados de la interpretación con ayuda de ordenador.

Cartografía basada en imágenes fotográficas

La elaboración de cartografía a partir de imágenes Landsat, ha sido aplicada corrientemente, se suele realizar con copias en blanco y negro de las bandas espectrales simples 5 y 7 y de escala 1:1.000.000. Para una interpretación más detallada, también se utilizan con frecuencia fotos en color y copias en color o diapositivas y ampliaciones a escala 1:500.000 y 1:250.000. Con estas escalas mayores, es más fácil la observación de detalles y su delineación, aunque no se obtiene ningún aumento de resolución. A partir de las imágenes producidas por otros satélites lanzados más recientemente, como el Landsat 5 y el SPOT, equipados con sensores de alta resolución, pueden obtenerse ampliaciones a 1:100.000 y 1:50.000 sin perder mucha definición.

Sobre las imágenes satélite, la posición de los puntos del terreno está sujeta a errores geométricos debidos a diversos factores como la altitud del satélite, la variación de la órbita y la rotación de la tierra. Se puede lograr una corrección de estos errores geométricos utilizando una serie de puntos de control en el terreno. Pero, al contrario que las fotografías aéreas, que contienen distorsiones geométricas que exigen aparatos adecuados de transferencia, las imágenes satélite presentan sólo pequeñas discrepancias geométricas si se comparan con los mapas topográficos de la misma escala (Wong, 1975). Por esta razón, las imágenes satélite estándar se considera generalmente que tienen la suficiente precisión exigida para aplicaciones de estudios forestales (Baltaxe, 1980).

El procedimiento más sencillo de elaboración de cartografía a partir de imágenes satélite consiste en la delineación de los límites de la cubierta vegetal y de otros usos de la tierra directamente sobre la imagen. La interpretación de la imagen se puede transferir simplemente dibujando en el mapa los detalles de la foto, preparándose aquél sobre material transparente. La interpretación se puede realizar también en la imagen, bajo un estereoscopio y la delineación de las características se puede dibujar simultáneamente sobre una hoja transparente colocada sobre una de las escenas. Posteriormente, se puede ajustar cada hoja transparente, asociada con cada escena, de acuerdo con el mapa básico, en el que se habrán dibujado los puntos de control del terreno y otras características topográficas.

Cartografía basada en interpretación automática

Cuando se dispone de medios informáticos y se utilizan los datos de las imágenes en forma digital, los resultados de la clasificación se suelen producir mediante una impresora de líneas. El resultado es, por lo tanto, un mapa digital en que cada pixel se representa mediante un símbolo, una letra o un dígito, elegidos por el analista de imágenes. También se pueden obtener en la impresión diversos niveles de gris con el fin de facilitar la legibilidad del mapa. Esto es en realidad sólo materia de software.

Este tipo de resultados se puede obtener también en colores, siempre que se disponga de impresoras, en colores múltiples. Debido al tamaño de las impresoras y, como cada pixel de la imagen está representado por un carácter de la impresora, suele ser necesario reunir muchas salidas de ordenador para cubrir una escena completa. Se pueden producir resultados compactados para dar cabida a la cobertura de una gran superficie y reducir el número de hojas que en la práctica plantean dificultades de manipulación. No obstante, para un análisis provisional, puede ser útil este tipo de mapas. También se pueden producir versiones más condensadas de los mapas de ordenador en impresoras de matrices de puntos y de chorro de tinta, que pueden generar una amplia variedad de niveles de gris y colores.

Las fotografías, tomadas directamente de la pantalla del monitor, en las que se presentan la clasificación, también se han utilizado como productos cartográficos. Indudablemente, las distorsiones de la imagen ocasionadas por la curvatura de la pantalla, no permiten realizar mediciones correctas sobre las fotos, pero se pueden determinar las superficies, basándose en el conteo de pixels.

Se obtienen productos de gran calidad por medio de aparatos adecuados que transforman la clasificación procesada en ordenador, en una imagen en papel, generalmente de material fotográfico. Debido al elevado costo de los equipos, los datos procesados con ordenador, se pueden registrar en cintas que se envían a centros especializados para su transformación en películas fotográficas en blanco y negro o en color.

A.3.1.3. Precisión del mapa

Cuando se hace un mapa, hay que evaluar su precisión. Se pueden distinguir dos tipos de precisión: geométrica y temática.

Precisión geométrica

La precisión geométrica se refiere a la planimetría y a la altimetría. Generalmente se expresa mediante la precisión en la posición geográfica de las características del mapa, con un cierto margen de tolerancia. La precisión geométrica es función de la construcción del mapa básico, del procedimiento empleado para determinar las coordenadas de los puntos de control del terreno y del método e instrumentos empleados en las transferencias de los detalles fotográficos al mapa básico.

Para los estudios forestales, las fotografías y mapas obtenidos a partir de ellos constituyen la base para las mediciones y la planificación de las operaciones. A fin de lograr unos resultados seguros de los inventarios, los mapas forestales deben contener una precisión planimétrica razonable, especialmente los empleados para la ordenación forestal y para el nivel operativo.

Hay que definir convenientemente los límites e indicar correctamente los tipos de vegetación. Esto es de la máxima importancia cuando se consideran los límites de propiedad y de las concesiones. La precisión planimétrica afecta en gran proporción a la medición de superficies que, junto con el volumen por unidad de superficie, determina el volumen total de madera de una zona, una concesión, un rodal o una unidad mayor.

La **precisión planimétrica** puede determinarse mediante mediciones de una serie de distancias en el mapa y en el terreno u otro soporte de datos seguro (por ejemplo, un mapa topográfico). Puede señalarse a este respecto que la precisión planimétrica de un mapa depende también de la estabilidad del material en que está elaborado el mapa. En las condiciones tropicales, caracterizadas por la elevada temperatura y humedad, éste es un criterio importante a tener en cuenta en la elección del material de soporte del mapa.

La **precisión altimétrica** tiene poca importancia en las zonas de manglar debido al carácter llano del terreno.

Precisión temática

En los últimos años, el desarrollo de nuevas técnicas para la recolección y procesado de datos de sensores remotos, ha progresado con rapidez, permitiendo la elaboración de cartografía a bajo costo y con diferentes formatos de salida. Dadas las ventajas en cuanto a costos, la cuestión que se plantea consiste en si la precisión es suficiente cuando la principal fuente de datos son las imágenes de sensores remotos.

La precisión temática, que es la precisión de interpretación, depende de la capacidad del intérprete para identificar correctamente las características terrestres a partir de las imágenes. Por ello, la precisión temática es función de las características de la imagen, como la calidad de la copia y la escala, pero depende también de la habilidad y experiencia del intérprete.

Cuando se elaboran mapas que se van a utilizar para ordenación forestal y para un nivel operativo, la precisión de la delineación de la foto depende de la capacidad del intérprete para distinguir entre diferentes tipos de vegetación, diferentes especies, diferente edad de los rodales y calidad de estación del rodal. En muchos estudios se ha tratado de la exactitud de la clasificación basada en la fotografía. La verificación en el terreno parece ser una respuesta lógica, pero debido a las limitaciones de tiempo y al costo, se necesita un sistema válido de muestreo. Se han utilizado varias técnicas, con sistemas cualitativos y cuantitativos.

La precisión de la interpretación de imágenes puede evaluarse a partir de una muestra de puntos en los que se compara la clasificación de la cubierta vegetal con la verdad-terreno. Una mala clasificación afecta a la determinación de superficies, que deben ajustarse después de tales comprobaciones de campo.

Hay que señalar, sin embargo, que los errores de interpretación se pueden reducir en muchos casos mediante una cuidadosa selección y una buena formación de los intérpretes y la comprobación permanente de los resultados, junto con una limitación de la estratificación a un número razonable de estratos, fáciles de determinar.

Para áreas extensas, cuya interpretación incluye datos de satélite de pequeña escala, puede emplearse fotografía aérea de escala media y grande, para complementar las

comprobaciones de campo. Los sistemas de cámara de pequeño formato, instaladas en un avión ligero pueden constituir a este respecto una solución adecuada porque puede suceder que las fotografías aéreas convencionales estén anticuadas o no existan. A baja altitud, pueden tomarse fajas de muestreo para complementar las costosas comprobaciones en el terreno, especialmente en áreas remotas de difícil acceso.

El problema del muestreo consiste en determinar el número óptimo de puntos de muestreo en el mapa a comparar con puntos del terreno y en el diseño del muestreo a utilizar. Hord y Bruner recomiendan (1976) una selección de puntos al azar basada en una distribución binomial. Con el fin de representar satisfactoriamente las menores superficies de la muestra, se recomienda un muestreo al azar estratificado. Rosenfield et al. (1982) y Hay (1979) indicaron también que el muestreo estratificado se debe aplicar con 50 observaciones como mínimo, para cada categoría de mapa. El procedimiento consiste en muestrear cada categoría, ya sea independientemente o en combinación con las otras. En este último caso, se diseña una muestra distribuida al azar por toda la superficie de interés y el número de puntos que cae en cada estrato se va acumulando hasta que cada uno de los estratos tiene un tamaño de muestra suficiente. Durante el proceso de muestreo, se descartan las muestras que caen en una categoría que ya está completa, mientras que los que caen en otras categorías, se mantienen, hasta que se han muestreado completamente todos los estratos.

Las muestras se pueden distribuir también sistemáticamente por toda la superficie utilizando una malla o retícula regular. Con una distribución regular los puntos de muestreo, el número de muestras en cada categoría será proporcional al tamaño del estrato. Sin embargo, hay que tener cuidado de que los estratos pequeños estén suficientemente representados en la muestra. Esto puede ocasionar algunos problemas si la malla tiene escasa densidad o si las categorías del mapa están distribuidas en pequeñas manchas.

Cualquiera que sea el diseño de muestreo utilizado, la clasificación real se compara con la clasificación "correcta" y se expresa la precisión mediante el porcentaje de puntos de muestreo correctamente clasificados.

Se ha investigado también la precisión de la clasificación digital de las imágenes obtenidas mediante fotografía aérea y mediante satélite. Si se compara con la selección manual en el mapa de los puntos de muestreo, un sistema de muestreo basado en ordenador proporciona unas muestras más adecuadas de todas las categorías y se traduce en un análisis más fácil (Fitzpatrick-Lins, 1981). Para la clasificación digital, para evaluar la precisión se suele aplicar la técnica del análisis discreto multivariante. El método consiste en construir una matriz de errores, denominada matriz de confusión, cuyos elementos de filas y columnas se corresponden con el número de células o pixels clasificados en la imagen y en el terreno respectivamente (o en otra fuente de verdad-terreno).

El Cuadro A.3.2. es un ejemplo de tal matriz de confusión.

Cuadro A.3.2.: Ejemplo de una matriz de errores

		DATOS DE REFERENCIA			
		CLASES		TOTALES	
D A T O S L A I M A G E N	1	x_{11}	x_{12}	x_{1r}	x_{1+}
	2				x_{2+}
	3				
	.				
	.				
	r	x_{r1}		x_{rr}	x_{r+}
	TOTALES	x_{+1}	x_{+2}	x_{+r}	N

En esta matriz, los elementos de la diagonal representan el número de unidades correctamente clasificadas. El método, que se ha aplicado corrientemente para la evaluación de precisión de la clasificación de datos de satélite, se basa en una medición de la concordancia de las matrices de cuadrados presentadas por Bishop et al. (1975), y que fue discutida extensamente por Cohen (1960, 1968) y Fleiss et al. (1969).

Para un modelo de muestreo multi-nomial, en el que se fija el número total de elementos, una estimación del coeficiente de concordancia se obtiene mediante la fórmula:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{ii} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{ii} x_{+i}}$$

donde:

- k = coeficiente de concordancia
- $\sum x_{ii}$ = suma de todos los elementos de la diagonal
- x_{i+} = total marginal de la fila i
- x_{+i} = total marginal de la columna i
- N = número total de unidades de la muestra
- r = número de categorías (estratos)

La precisión de la clasificación de una clase dada i se obtiene dividiendo el total marginal de la hilera i por el total marginal de la columna i (x_{i+}/x_{+i}), y la precisión total se

calcula simplemente dividiendo la suma de los elementos de la diagonal por el número total de puntos clasificados.

El coeficiente de concordancia se puede emplear también para evaluar la precisión de la clasificación de la fotografía para cada tipo de cubierta o para todos los tipos de cubierta simultáneamente.

Congalton et al. (1982) comprobaron que este procedimiento es útil para evaluar la precisión de la fotointerpretación y para comparar el desempeño de los fotointérpretes. La comparación se basa en una prueba estadística que puede desarrollarse para determinar si existe una diferencia importante entre dos K independientes. Esta prueba se consigue evaluando la desviación de la curva normal porque K es asintóticamente normal (Bishop et al., 1975).

En vez del conteo de puntos, la matriz de errores se puede llenar con las superficies determinadas a partir de la clasificación de la imagen y a partir de una fuente de datos de referencia. Seguidamente, se pueden calcular las superficies correctamente clasificadas, la omisión y comisión de errores y la precisión total (véase el Cuadro A.3.3.). Lantieri (1986) recomendó que el cálculo de la precisión de la clasificación debe tener en cuenta la comisión y la omisión de errores en cada clase, tal como se define a continuación.

Cuadro A.3.3.: Ejemplo de una matriz de errores con valores de superficies, en vez de conteo de puntos

		CLASES DE LOS DATOS DE REFERENCIA					
		1	2	3	N	COMISIÓNES	
CLASES EN LA IMAGEN	1	S(i)				C(i)	
	2						
	3						
	.						
	.						
	.						
	.						
	.						
	N						
OMISIONES		O(i)					

- S(i):** Superficie correctamente clasificada
C(i): Comisión de error en la clase *i*: Superficie clasificada como *i* en la imagen pero que no es clase *i* en el terreno
O(i): Omisión de error en la clase *i*: Superficie de la clase *i* en el terreno pero no clasificada como *i* en la imagen
S(i)+O(i) Superficie total de la clase *i* en el terreno
PC(i) Precisión cartográfica de la clase *i* (en %): $[S(i)/S(i)+O(i)+C(i)] \times 100$
PS(i) Evaluación estadística de la clase *i* (en %): $[S(i)+C(i)]/[S(i)+O(i)] \times 100$
Pd(i) Peso de la clase *i* entre las *n* clases: $[S(i)+O(i)]/[d[S(i)+O(i)]]$
PCT Precisión cartográfica total (*n* clases): $d Pd(i) PC(i)$

(Fuente: Lantieri, 1986)

A.3.2. RECOPILACION DE MOSAICOS

En algunos casos, cuando no se dispone de mapas apropiados o es lenta su recopilación, pueden emplearse fotomosaicos como sustitutivos. En un fotomosaico las imágenes se organizan y encajan para formar un documento que da una visión general del área cubierta por la fotografía aérea o por las imágenes satélite.

La forma más sencilla de mosaico es una composición fotográfica, en la que se monta el conjunto de copias positivas para obtener el mejor ajuste de los detalles de la imagen. De esta forma, el mosaico -denominado **mosaico no controlado**- tendrá errores planimétricos apreciables, ocasionados por la inclinación de la cámara, la variación de la escala y las distorsiones de desplazamiento del relieve, contenidos en las fotos originales. Sin embargo, para operaciones de estudios de campo y navegación, los mosaicos no controlados son una buena ayuda. Los errores se pueden reducir utilizando la parte central (área efectiva de cada fotografía).

Si se van a hacer las mediciones sobre el fotomosaico, éste debe tener una precisión planimétrica razonable. Se debe acudir, por tanto, a un **mosaico controlado**. Para su construcción, hay que llevar las fotografías a una escala común y eliminar el efecto de inclinación de la cámara. En las áreas de manglar, donde el desplazamiento del relieve es despreciable, la distorsión de la fotografía debida a la inclinación de la cámara, se puede eliminar mediante rectificación óptica. La construcción de un mosaico controlado requiere la determinación de una serie de puntos de control en el terreno, que pueden obtenerse a partir de una triangulación aérea. El resultado es un fotomapa en el que están representadas las características del terreno por su imagen fotográfica en su verdadera localización planimétrica. Vale la pena señalar que el costo de la recopilación del mosaico puede reducirse si se utilizan fotografías aéreas de escala pequeña, tanto para la triangulación como para la rectificación antes de su montaje.

Para hacer un uso más eficaz de los datos, se puede transferir al fotomapa la delineación de los estratos de la fotografía aérea, por medio de instrumentos adecuados (generalmente, un estereoscopio de bolsillo es suficiente cuando la escala es homogénea). En el fotomapa se pueden realizar directamente mediciones lineales y superficiales para planificar las operaciones de ordenación, ventas de madera, etc.

Las imágenes satélite se pueden emplear también para la construcción de mosaicos, y si no se dispone de fotografía aérea, estos mosaicos son muy útiles. Hay que elegir, sin embargo, imágenes de buena calidad para conseguir una presentación uniforme en cuanto a brillo y valores tonales. Pueden necesitarse tratamientos fotográficos complementarios para obtener tonos más homogéneos en las imágenes de las diferentes pasadas. Además, conviene utilizar información adicional para conseguir un buen ajuste de los detalles y una posición correcta entre unas otras escenas.

A.4. DISEÑOS DE MUESTREO PARA ESTUDIOS, EVALUACION DE RECURSOS E INVENTARIOS FORESTALES

El objetivo del muestreo es recoger información fidedigna a bajo costo. Teniendo en cuenta los problemas planteados por la accesibilidad y condiciones de trabajo de los manglares, se recomienda firmemente, al diseñar un estudio, incorporar cualquier elemento que pueda contribuir a aumentar la precisión de la clasificación forestal, y que permita al mismo tiempo, reducir la duración de la enumeración de campo. El reconocimiento aéreo a poca altura, la

estratificación y otros procedimientos de muestreo, como el muestreo de fases múltiples y el muestreo por conglomerados, son algunos sistemas que merecen tenerse en cuenta. La descripción de estos diseños y las fórmulas estadísticas correspondientes, se analizan extensamente en otros trabajos (Lanly, 1973 y otros), por lo que sólo se resumen brevemente a continuación.

A.4.1. MUESTREO ESTRATIFICADO

Los diseños de muestreo estratificado se aplican frecuentemente en estudios e inventarios forestales. El objeto de la estratificación es subdividir el bosque en partes más homogéneas, a fin de reducir la variabilidad del parámetro a estimar.

La asignación de unidades de muestreo a los estratos puede ser proporcional a la superficie de los estratos o a su varianza. Estos sistemas se analizan en diversos documentos sobre inventarios forestales. El sistema de asignación óptima requiere estimaciones previas sobre la variación en cada estrato, lo que puede obtenerse mediante estudios piloto o, si existen, a partir de estudios e inventarios anteriores en áreas similares.

A.4.2. MUESTREO DE FASES MULTIPLES

El procedimiento incluye básicamente en la primera fase la selección de grandes unidades denominadas unidades de muestreo primarias. Dentro de cada unidad primaria se establece una serie de unidades menores o unidades secundarias. El procedimiento puede tener más de dos fases y puede utilizar diversos métodos de selección en cada fase.

Sin embargo, su inconveniente consiste en que la concentración de las últimas unidades de muestreo se traduce en una mayor varianza de la estimación, en comparación con el diseño de una fase con la misma intensidad de muestreo.

A.4.2.1. Muestreo de dos fases

La aplicación en estudio forestal de un **muestreo de dos fases por estratificación**, se traduce en una mejora de la estimación de las características de la masa, gracias a la mejor estimación de la superficie de los estratos.

En este método, se dibuja en la primera fase un gran número (n) de parcelas fotográficas y en la segunda fase se selecciona una submuestra n' de la primera muestra para ser utilizada en el campo. El principal objetivo del estudio es obtener una estimación de las proporciones de los estratos de la primera fase, basada en una cierta regla de estratificación que permite clasificar las unidades de muestreo de la primera fase en clases de uso del suelo, clases de cubierta de vegetación u otros criterios de clasificación. Las parcelas de la segunda fase se utilizan para comprobar la clasificación de las fotos y recoger datos sobre las características de los bosques y de los árboles.

Se ha comprobado, que son importantes las ventajas de esta técnica en estudios de grandes áreas. El diseño es más complicado que el de un muestreo al azar en una sola etapa, pero es más eficaz.

La aplicación de este diseño suele incluir fotografía aérea en la primera fase. Pueden emplearse también imágenes satélite pero, debido a su escasa resolución, puede ser muy engorroso o incluso imposible localizar correctamente en el terreno las unidades de la submuestra.

En las clases no forestales y en áreas donde el bosque ha sido perturbado tan gravemente que no hay árboles comercialmente valiosos o el bosque tiene escasas existencias, la recolección de datos puede limitarse a observaciones sencillas sobre el estado de la vegetación.

Las superficies se estiman a partir de la primera muestra grande de parcelas de foto. La proporción de cada estrato se estima mediante la fórmula:

$$P_h = \frac{n_h}{n}$$

Donde:

- n_h es el número de parcelas de las fotos que caen en el estrato h , y
- n es el número total de parcelas de las fotos, en la primera muestra grande.

La superficie A_h del sustrato h se estima mediante:

$$A_h = P_h * A$$

Donde A es la superficie total que abarca el estudio, suponiendo que se conoce.

La información recogida de las parcelas de campo se emplea para corregir los sesgos en las estimaciones de superficies, ocasionados por diversas fuentes de interpretación errónea. El ajuste se aplica a la proporción de los estratos de la siguiente manera:

La proporción ajustada del estrato P_h se obtiene mediante:

$$P_h \text{ ajustada} = \sum_{j=1}^M P_h * p_{hj}$$

Donde

M es el número de estratos y

$$\bar{p}_{hj} = \frac{n_{hj}}{n_h}$$

siendo n_{hj} el número de parcelas de campo que caen realmente en el estrato j pero clasificada como h en las fotos, y

n_h el número de parcelas de las fotos clasificadas en h

La varianza de la proporción ajustada de la superficie del estrato, se calcula mediante la expresión:

$$V(Adj.P_h) = \sum_{h=1}^M \frac{P_h^2 P_{hj} (1 - P_{hj})}{n_h} + \frac{1}{n} [\sum_{h=1}^M P_h P_{hj}^2 - (\sum_{h=1}^M P_h P_{hj})^2]$$

que es una fórmula simplificada para el muestreo doble por estratificación con una variable discreta al azar que tiene un atributo de 1 ó 0, y cuyo término p_b/n se ha suprimido al considerarlo despreciable.

Los datos obtenidos de las unidades de muestreo en el campo se pueden emplear también para estimar los valores medios de las características de la masa, como el volumen de madera, las existencias, etc. La estimación del valor medio por unidad para la superficie total abarcada por el estudio, se obtiene mediante la expresión (Lanly, 1973):

$$\bar{y}_{st} = \sum_{h=1}^M \sum_{j=1}^{M_h} P_{hp_j} \bar{y}_{hj}$$

donde y_{hj} es el valor medio por unidad de muestreo de la característica y en la parte de las parcelas situadas realmente en el estrato j, clasificadas en el estrato h por fotointerpretación.

El valor medio por unidad del estrato j se calcula mediante:

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{h=1}^M P_{hp_j} y_{hj}}{\sum_{h=1}^M P_{hp_j}}$$

La estimación del y total para toda la superficie inventariada, se obtiene multiplicando la estimación de la media general \bar{y}_s por la superficie total A, y el total del estrato j se calcula multiplicando la media del estrato j por el término $A(\sum P_{hp_j})$ que es la superficie corregida del estrato j.

El muestreo de dos fases por regresión es otra técnica que incluye dos variables: la principal (y) y la auxiliar (x). Es un procedimiento eficaz que se utiliza frecuentemente en muestreos de inventarios forestales. Es especialmente útil cuando el costo de enumeración del carácter principal es mucho mayor que el costo de la variable auxiliar, estando esta última correlacionada con la primera. Se recomienda este sistema cuando el inventario puede hacer uso de fotografías aéreas y enumeración de campo.

En la primera fase, se diseña una gran muestra n de parcelas de las fotos, a partir de la población N . La característica de interés de la masa (representada por la variable auxiliar x) se mide primero en las parcelas de las fotos. Tal característica puede ser por ejemplo una estimación aproximada del volumen, basada en mediciones sobre las fotos de la altura de la masa o de la densidad de copas. En la segunda fase, se toma una submuestra n' de la muestra grande de la primera fase y se realizan mediciones de x y de y . La y puede ser en este caso el volumen por parcela, que se determina en el campo mediante técnicas convencionales, mientras que la x corresponde a mediciones en el terreno ya sea de la altura de la masa o de la densidad de copas.

También se emplea el doble muestreo por regresión, en inventarios en ocasiones sucesivas. Puede incluir muestras totalmente independientes o, en el caso de parcelas permanentes (CFI), utilizar submuestras de la muestra original o muestras en parte independientes y en parte submuestras. Este último caso se denomina muestreo con sustitución parcial. En cualquier caso, la evaluación del cambio se determina mediante un análisis de regresión entre las mediciones realizadas en ocasiones sucesivas. La técnica incluye cálculos bastante complicados. En diversos libros sobre inventarios forestales y de carácter estadístico, se presentan estimadores apropiados.

A.4.2.2. Muestreo de tres fases

El diseño es similar al muestreo de dos fases en cuanto a la estratificación, excepto que se considera una fase más. En la primera fase se diseña una muestra simple al azar o sistemática, n , de gran dimensión a partir de la población concerniente al estudio o inventario forestal y las unidades de muestreo se clasifican en estratos predefinidos. A partir de esta estratificación de la primera fase, se obtienen las unidades de muestreo n_1, n_2, \dots, n_h , donde n_h es el número de unidades del estrato h . ($h = 1, \dots, L$).

La segunda fase consiste en elegir una submuestra m_h a partir de la n_h . Las unidades m_h elegidas de la primera fase se estratifican de nuevo en los mismos o en diferentes estratos que en la primera fase, y las unidades de muestreo m_{hj} de la segunda fase se obtienen para cada estrato j de la segunda fase en cada estrato h de la primera fase.

En la tercera fase se diseña una submuestra en cada estrato de la segunda fase. Las unidades elegidas en la tercera fase denominadas b_{hjk} se utilizan a continuación para la medición de las características de interés. Las observaciones se denominan y_{hjk} , donde $k = 1, \dots, b_{hj}$.

Un diseño normal de muestreo de tres fases incorpora imágenes satélite (fase uno), fotografía aérea (fase dos) y muestreo de campo (fase tres). También puede emplearse un diseño de cuatro fases si se utilizan fotografías aéreas de pequeña y de gran escala en la segunda y tercera fases, respectivamente.

Una cuestión que puede plantearse se refiere al tamaño de las muestras de cada fase. Teóricamente, el tamaño de la muestra en cada nivel debe determinarse de tal forma que el costo total del estudio se reduzca al mínimo. El problema es de optimización, lo que queda fuera del alcance de este análisis. Para más detalles sobre esta cuestión y sobre el cálculo de la varianza de las estimaciones, se recomiendan los documentos de Frayer (1979) y Jeyaratnam et al. (1984). De modo más sencillo, los tamaños de las muestras relativas a cada fase, pueden definirse arbitrariamente antes de la selección de la primera fase. Sin embargo, no se recomienda utilizar menos de dos unidades de muestreo por estrato.

En el caso del muestreo de tres fases, la estimación del valor total del parámetro de población se obtiene mediante la fórmula:

$$Y = \frac{N}{n} \sum_{h=1}^L \frac{n_h}{m_h} \sum_{j=1}^{J_h} \frac{m_{hj}}{b_{hj}} \sum_{k=1}^{b_{hj}} y_{hjk}$$

La aplicación de un muestreo de tres fases y de la fórmula anterior a los manglares puede aclararse mediante el ejemplo siguiente: sea N el número total de unidades de muestreo contenidas en un área determinada a inventariar. Asociemos cada unidad de muestreo con un pixel de la imagen Landsat (p. ej. de escala 1:250.000), empleada en el inventario como primer nivel de muestreo. Consideramos además que se dispone de fotografía aérea de escala media (1:30.000) de la misma área y que podría utilizarse en la segunda fase. La tercera fase es el muestreo en el campo, donde se toman las mediciones de las características de la masa. A continuación se describe la secuencia del método:

* 1º paso.

A partir del número total N de unidades de muestreo, digamos 262.144, se diseña una muestra n al azar o sistemáticamente sobre las imágenes satélite. Del total de N unidades, se clasifican a continuación n = 13.107 (intensidad de muestreo 5%) de acuerdo con las clases definidas de uso del suelo, sobre las imágenes satélite. El número de clases diferentes (L) será función del sensor y del procedimiento de clasificación utilizado. Este último se puede realizar con ayuda de ordenador o de forma visual. Para mayor sencillez, supongamos que se definen en esta primera fase tres clases (estratos): bosques, terrenos no forestales y agua.

Los resultados de esta primera fase pueden ser:

NUMERO DE ESTRATO	CUBIERTA DEL TERRENO	TAMAÑO DE LA MUESTRA
h = 1	bosque	n ₁ = 9.830
h = 2	no forestal	n ₂ = 1.966
h = L = 3	agua	n ₃ = 1.311
		Σn = 13.107

* 2º Paso

En la segunda fase, se diseñan las muestras a partir de las de la primera fase. Utilizando alguna fracción de muestreo predefinida (1% por ejemplo), las muestras de esta segunda fase, m₁=983, m₂=197 y m₃=131, se localizan sobre las fotografías aéreas y se estratifican de acuerdo con una interpretación más detallada, utilizando variables de la fotografía, como densidad de copas, altura de los árboles, etc., y otros criterios para las áreas no forestales, como terrenos agrícolas, estanques de sal, estanques de pesca y criaderos de camarón. Suponemos en el ejemplo que el estrato "bosque" de la primera fase se afina más en la segunda fase, distinguiendo tres estratos, denominados "denso", "claro" y "degradado". El

segundo estrato de la 1^a fase se divide también en tres estratos: "agricultura", "acuicultura" y "otros".

Finalmente, consideramos que el tercer estrato de la primera fase que es "agua" permanece sin cambios en la segunda fase. De acuerdo con este esquema los resultados de la clasificación son:

NUMERO DE ESTRATO		CUBIERTA DEL TERRENO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	
Bosque	j = 1	densa	$m_{11} = 464$	$m_1 = 983$
	j = 2	clara	$m_{12} = 197$	
	j = 3	degradada	$m_{13} = 322$	
Sin bosque	j = 1	agricultura	$m_{21} = 100$	$m_2 = 197$
	j = 2	acuicultura	$m_{22} = 59$	
	j = 3	otros	$m_{23} = 38$	
Aqua	j = 1	agua	$m_{31} = 131$	$m_3 = 131$
				$\Sigma m = 1.311$

* 3^{er} Paso

En la tercera fase, se eligen muestras a partir de las muestras de la segunda fase, para situarlas en el campo. Suponiendo de nuevo una fracción de muestreo del 1%, el número final de unidades de muestreo a medir en el campo será:

NUMERO DE ESTRATO	CUBIERTA DEL TERRENO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	b_{hj} $\sum_{k=1} b_{hjk} y_{hjk}$
j = 1	densa	$b_{11} = 46$	2.760
	clara	$b_{12} = 20$	1.930
	degradada	$b_{13} = 32$	530
j = 2	agricultura	$b_{21} = 10$	0
	acuicultura	$b_{22} = 6$	0
	otros	$b_{23} = 4$	0
j = 1	agua	$b_{31} = 13$	0

- b_{hj} es el número de muestras de la tercera fase, extraídas de las muestras de la segunda fase m_{hj} .
- y_{hjk} es el volumen medido en las parcelas de campo.

Los valores de la última columna se supone que son los valores totales del volumen de madera de cada estrato de la tercera fase, expresados en m^3 . En las clases no forestales y en las áreas en que el bosque ha sido perturbado tan gravemente que no existen árboles de valor comercial, o que el bosque tiene escasas existencias, la recogida de datos en el terreno puede limitarse a observaciones sencillas sobre el estado de la vegetación.

La estimación del total de madera en toda la superficie a que corresponde el estudio, se obtiene mediante la fórmula antes indicada, obteniéndose los siguientes resultados:

$$Y = \frac{262.144}{13.107} \left(\frac{9.830}{983} \left[\frac{464}{46} (2.760) + \frac{197}{20} (1.930) + \frac{322}{32} (530) \right] + \frac{1.966}{197} \left[\frac{100}{10} (0) + \frac{59}{6} (0) \right] + \frac{1.311}{131} \left[\frac{131}{13} (0) \right] \right) = 10.436.884,25$$

Otros parámetros, como la superficie total de bosque se pueden estimar también utilizando técnicas de muestreo de fases múltiples. En tal caso, la variable y_{bjk} toma el valor 1 cuando la unidad de muestreo cae en el estrato de bosque y 0 en los demás casos.

En un diseño de muestreo de dos fases, siguiendo la misma pauta que anteriormente, la estimación de la población total se obtiene mediante la fórmula:

$$Y = \frac{N}{n} \sum_{h=1}^L \frac{n_h}{m_h} \sum_{j=1}^{m_h} y_{hj}$$

A.4.3. MUESTREO POR CONGLOMERADOS

El muestreo por conglomerados es también una técnica aplicada corrientemente, que se ha usado con frecuencia en estudios forestales, evaluaciones de recursos e inventarios de gran extensión, particularmente en las zonas tropicales. Con el muestreo por conglomerados, las unidades elementales, en las que se van a hacer las observaciones, se agrupan en conglomerados de tamaño prefijado. Cuando se incluyen en la muestra todas las unidades elementales del conglomerado, tenemos un diseño de muestreo de una sola fase. Los conglomerados pueden ser también de tamaños desiguales. El tamaño se refiere al número de unidades elementales que componen el conglomerado.

Como en el muestreo de dos fases, las parcelas que se agrupan en conglomerados, reducen la distancia total de recorrido. Sin embargo, un diseño de muestreo por conglomerados -si se compara con un muestreo simple al azar- sólo es eficaz si la varianza dentro de los conglomerados es grande en relación con la variable observada. Con el muestreo por conglomerados la varianza de la estimación es generalmente mayor que la obtenida por el muestreo simple al azar de la misma intensidad. Este aumento de la varianza se debe a la correlación entre las unidades dentro de los conglomerados.

A.5. EJEMPLOS DE REGRESIONES DE VOLUMEN PARA ESPECIES SELECCIONADAS DE MANGLAR

Los ejemplos que siguen de regresiones de volumen para especies seleccionadas de manglar, se exponen en orden geográfico, comenzando con América Latina y terminando con Asia y El Pacífico. La lista no es completa en absoluto y algunas de las regresiones se basan en un número limitado de mediciones, por lo que deben ser tratadas con precaución. No obstante, se espera que puedan tener utilidad para evaluaciones preliminares en áreas donde no se dispone de tablas de volúmenes.

A.5.1. AMERICA LATINA

Cuba

Avicennia germinans: Ecuación: $\text{Log}(V) = -9,06038 + 2,39559 \times \text{Log}(D)$

Coeficiente de correlación	=	0,995
Error estándar de la estimación	=	0,49
Razón F	=	4.473,063
Grado de libertad	=	49

Laguncularia racemosa: Ecuación: $\text{Log}(V) = -8,72393 + 2,36491 \times \text{Log}(D)$

Coeficiente de correlación	=	0,989
Error estándar de la estimación	=	0,197
Razón F	=	1.545,063
Grado de libertad	=	28

Rhizophora mangle: Ecuación: $\text{Log}(V) = -8,92114 + 2,38992 \times \text{Log}(D)$

Coeficiente de correlación	=	0,986
Error estándar de la estimación	=	0,193
Razón F	=	962,163
Grado de libertad	=	28

Costa Rica:

Pelliciera rhizophorae: Ecuación: $V = -0,37714 + 0,03200 \times D$

Coeficiente de correlación	=	0,994
Error estándar de la estimación	=	0,038
Razón F	=	316,146
Grado de libertad	=	21

Rhizophora harrisonii: Ecuación: $V = -0,50857 + 0,04116 \times D$

Coeficiente de correlación	=	0,993
Error estándar de la estimación	=	0,058
Razón F	=	294,946
Grado de libertad	=	25

Nota: El volumen calculado en Costa Rica corresponde a volumen sin corteza.

Fuente: Chong (1988b y 1989b).

A.5.2. AFRICA

Sierra Leona

Rhizophora racemosa/harrisonii: $V = 0,0001 \times D^{2,5478}$, o en forma tabular:

DIAMETRO (dap/das) (cm)	VOLUMEN DEL TRONCO > 7 cm. (m ³)	DIAMETRO (dap/das) (cm)	VOLUMEN DEL TRONCO > 7 cm. (m ³)
7	0,01	37	0,75
8	0,02	38	0,80
9	0,02	39	0,85
10	0,03	40	0,91
11	0,03	41	0,97
12	0,04	42	1,03
13	0,05	43	1,10
14	0,06	44	1,16
15	0,07	45	1,23
16	0,09	46	1,30
17	0,10	47	1,38
18	0,12	48	1,45
19	0,14	49	1,53
20	0,16	50	1,61
21	0,18	51	1,69
22	0,20	52	1,78
23	0,22	53	1,87
24	0,25	54	1,96
25	0,28	55	2,05
26	0,30	56	2,15
27	0,34	57	2,25
28	0,37	58	2,35
29	0,40	59	2,45
30	0,44	60	2,56
31	0,48	61	2,67
32	0,52	62	2,79
33	0,56	63	2,90
34	0,60	64	3,02
35	0,65	65	3,14
36	0,70		

A.5.3. ASIA**Bangladesh**

Las tres siguientes regresiones del volumen, presentadas gráficamente, se basan en el inventario de los Sundarbans realizado por ODA en 1984 y descrito en el **Estudio del Caso 3**. También se presentan las regresiones equivalentes utilizadas en un inventario anterior por Forestal en 1960. Las ecuaciones de volúmenes y las tablas que dan el volumen para cada clase diamétrica de 5 cm. se pueden encontrar en el informe de Chaffey et al. (1985).

Para cada una de las especies, las clases de altura son las siguientes:

- | | |
|---|---|
| 1 | $H \geq 15,2 \text{ m.}$ |
| 2 | $10,7 \text{ m} \leq H < 15,2 \text{ m.}$ |
| 3 | $6,1 \text{ m} \leq H < 10,7 \text{ m.}$ |

El diámetro es dap (en cm.) y el volumen es sin corteza (en m^3) hasta un diámetro en punta de 10 cm.

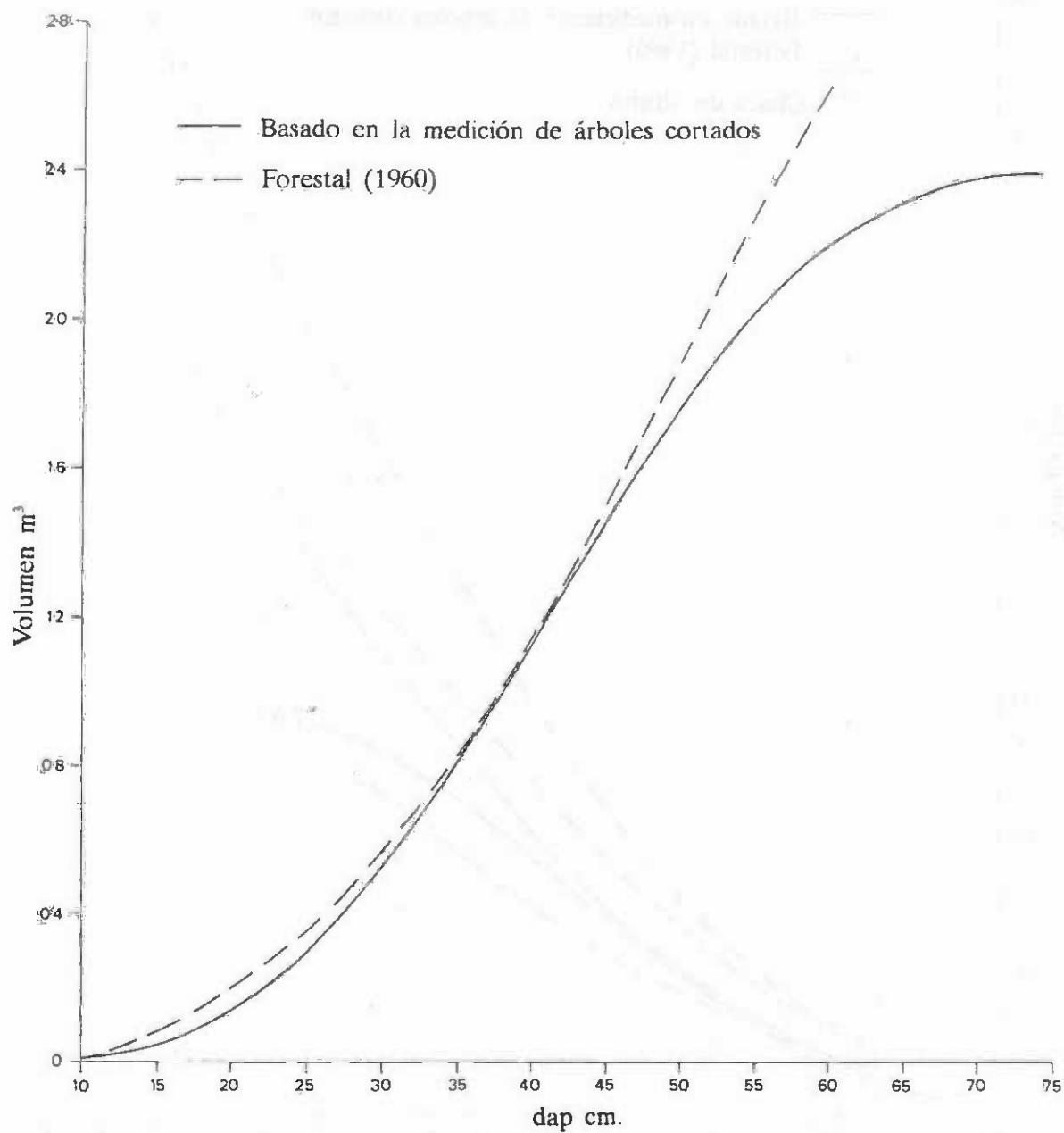


Figura A.5.1.: Regresiones del volumen para la Keora (*Sonneratia apetala*)

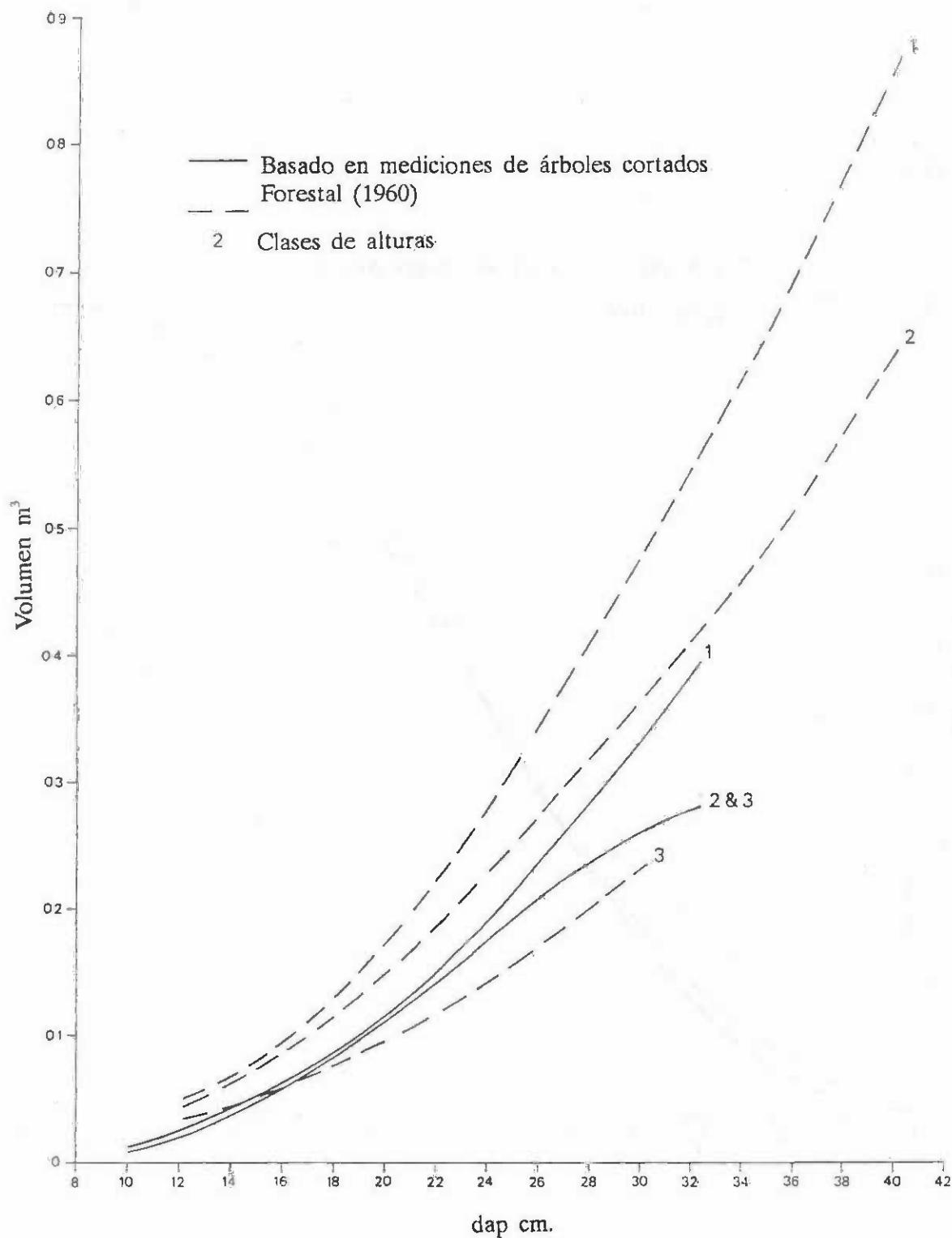


Figura A.5.2.: Regresiones del volumen para la Gewa (*Excoecaria agallocha*)

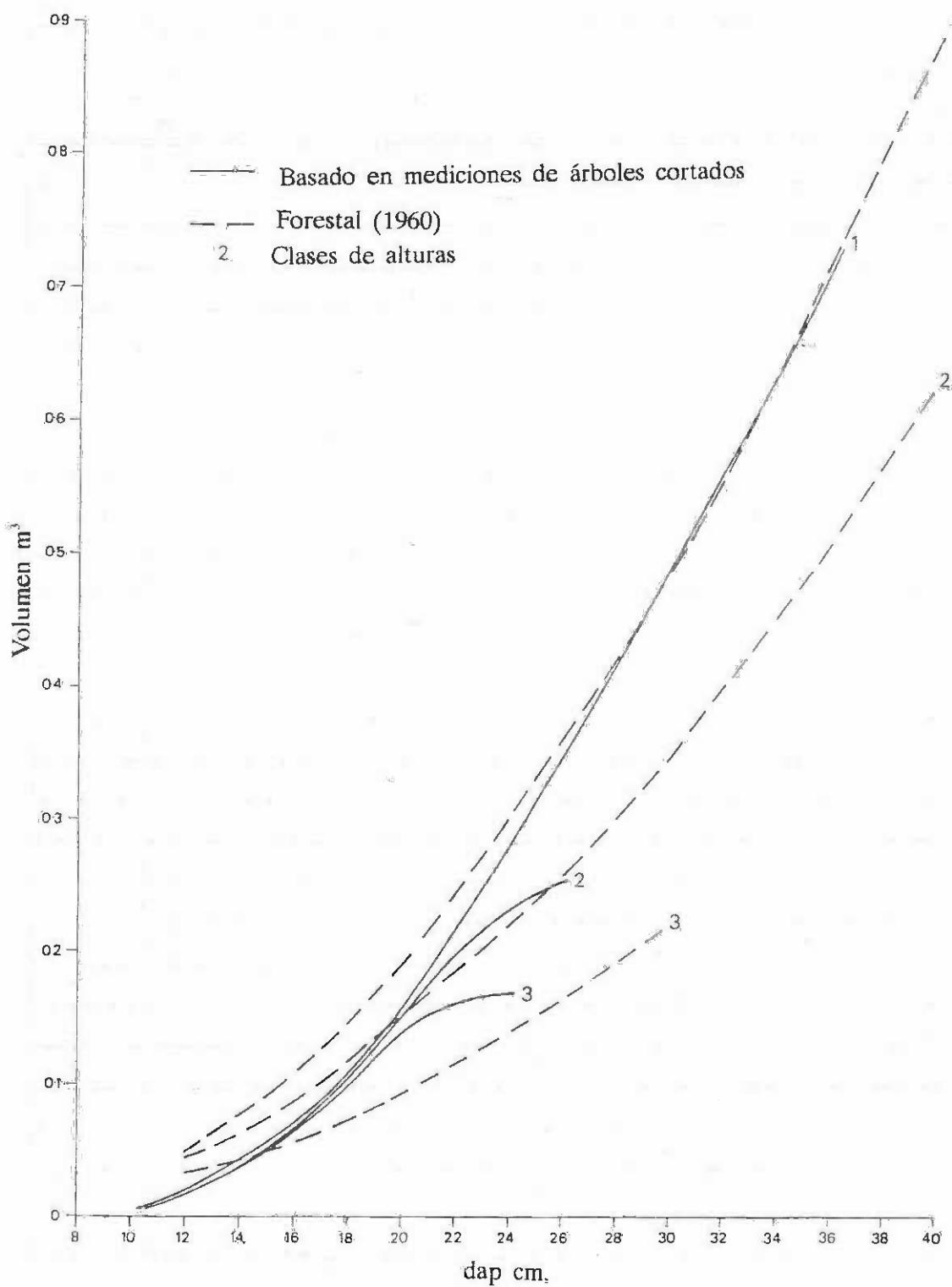


Figura A.5.3.: Regresiones del volumen para el Sundri (*Heritiera fomes*)

Malasia*Rhizophora apiculata/mucronata:*

DIAMETRO (dap/das) (cm)	VOLUMEN DEL TRONCO > 7 cm. (m ³)	DIAMETRO (dap/das) (cm)	VOLUMEN DEL TRONCO > 7 cm. (m ³)
7	0,01	34	1,19
8	0,02	35	1,26
9	0,03	36	1,35
10	0,04	37	1,41
11	0,06	38	1,50
12	0,08	39	1,59
13	0,10	40	1,68
14	0,13	41	1,77
15	0,16	42	1,86
16	0,19	43	1,95
17	0,22	44	2,03
18	0,26	45	2,10
19	0,29	46	2,16
20	0,34	47	2,21
21	0,38	48	2,27
22	0,43	49	2,32
23	0,48	50	2,38
24	0,52	51	2,44
25	0,57	52	2,49
26	0,62	53	2,55
27	0,70	54	2,60
28	0,76	55	2,66
29	0,83	56	2,72
30	0,90	57	2,77
31	0,97	58	2,83
32	1,04	59	2,88
33	1,11	60	2,94

Nota: Clase diamétrica 8 cm. = 7,5-8,4 cm.
 Clase diamétrica 9 cm. = 8,5-9,4 cm.

Filipinas

Las tablas de volumen para la *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *Bruguiera cylindrica*, *B. gymnorhiza*, *Xylocarpus granatum*, *Lumnitzera littorea* y *Scyphiphora hydrophyllacea* se pueden encontrar en PCARRD (1991).

BIBLIOGRAFIA

- Abdushahid, M.D. Remote Sensing data fisheries resources and mangrove forest of the Bangladesh coastal region. Summary of report. ICITP. Université Paul Sabatier, CNRS, Toulouse France. 56p
1985
- Adams, M.E. Participatory management of Tanzania's mangroves. Rural Development Forestry Network Paper 13e, p. 1-7. ODI, London
1992
- ADB Non Wood Forest Products. Forestry Master Plan for Bangladesh. UNDP/FAO BGD 88/025. Asian Development Bank (TA NO. 1355-BAN) Dhaka
1992
- Adegbehin, J.O. and Nwaigbo, L.C. Mangrove resources in Nigeria: Use and management perspectives. Nature & Resources, Vol. 26, No. 2, pp. 13-21.
1990
- Aksornkoae, S. Structure, regeneration and productivity of mangroves in Thailand. Ph.D. Thesis, Michigan State Univ. 109 p.
1975
- Aksornkoae, S.; Khemnark, C. and Mellink, W.H.H. Mangrove for charcoal. Regional Wood Energy Development Programme in Asia, GCP/RAS/-131/NET, Field Document No. 30. Bangkok, 41 pp.
1992a
- Aksornkoae S., Maxwell, G.S., Havanond, S., Panichsuko, S. Plants in mangroves. IUCN Regional Office, Bangkok
1992b
- Amadou, C.L. Schoolchildren plant mangroves in Sierra Leone. IDAF Newsletter No. 9, pp. 43-45. FAO/DANIDA/NORAD Integrated Development of Artisanal Fisheries in West Africa. IDAF, Cotonou, Benin.
1989
- Angel G. Priego S, Roberto Vandama C, Leda Menendez C. Evaluacion preliminar del impacto ecologico-paisajistico en el area de estudio, zona del Guanal, Prov. P. del Rio, Proyecto TCP/CUB/8851, "Manejo integrado del ecosistema de manglar", La Habana, 21 pp.
1989
- Angell, C.L. The Biology and Culture of Tropical Oysters. ICLARM Studies and Reviews 13, 42 p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
1986
- Anon. British Commonwealth forest terminology, Part 1: Empire Forestry Assoc., London.
1953
- Anon. Fishery Division. Review of the status of coastal aquaculture in Malaysia. In Pillay, T.V.R., Ed: Coastal aquaculture in the Indo-Pacific Region. London. Fishing News (Books), pp. 48-51.
1972
- Anon. Situacion actual del ecosistema de manglar en Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, La Havana. 77 pp.
1986
- Anon. Environmental Guidelines for Coastal Protection Measures, UNEP/UNDP, Nairobi, 18 pp.
1988
- Arroyo, P.J. Propriedades y usos posibles de las mangles de la region del Rio San Juan en la Reserva Forestal de Guarapiche (Estado Monagas). Bol. Inst. Lat-Amer. Invest. Capacit, 33-34: 53-76.
1971
- ASEAN/US CRMP,DGF The Integrated Management Plan for Segara Anakan-Cilacap, Central Java, Indonesia. ASEAN/US Coastal Resources Management Project Technical Publication Series no. 12. ICLARM, Manila.
1992
- A.S.P. Manual of remote sensing. 2nd edition. Colwell et al. Eds.
1983

- Baonguis, S.R. and Mauricio, R.A. Forage and livestock production in the
1990 mangrove forest. CANOPY International 9, pp.9-11.
- Bagnouls, F. and Guassen, H. Saison seche et indice xéothermique.
1953 Documents pour les cartes de productions végétales (Toulouse),
Vol. p.1-47.
- Baker, I. and Kaeoniam, P. (Eds.) Manual of coastal development planning
1986 and management for Thailand. Thailand Institute of Scientific
and Technological Research, Bangkok.
- Baltaxe, R. The application of Landsat data to tropical forest surveys.
1980 FAO, Rome.
- BARC Proceedings of the seminar on Top Dying of Sundri (*Heritiera*
1990 *fomes*) trees. Bangladesh Agricultural Research Council, Dhaka.
- Barua, D.K. and Koch, F.G. Field Measurements and Remote Sensing in the
1986 Estuaries for Engineering Development 10 p. Paper presented at
the Regional Seminar on the Application of Remote Sensing
Techniques to Coastal Zone Management and Environmental
Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986.
- Benessalah, D. Manual on Mapping and Inventory of Mangroves.
1988 Document prepared for FAO Forestry Department, Rome.
- Berenger, A.C. Reconnaissance des terrains salés par télédétection. ICITV,
1985 CNRS. Université Paul Sabatier. Résumé d'un mémoire de fin
d'études. 41p.
- Betancourt, A. Los manglares en Cuba. Revista Forestal Baracoa V.2(2):
1950 31-54.
- Birkeland, C. Caribbean and Pacific coastal marine systems: similarities
1990 and differences. Nature & Resources, Vol 26, no.2, pp. 3-12.
- Birkenhäger, B. Assessment of Ma-Swar/Ribi River Mangrove Area Wood
1988 Resource. FAO/FO:DP/SIL/84/003, Field Document No. 16, FAO,
Freetown, Sierra Leone.
- Bishop, Y.M.M., Fienberg, S.E. and Holland, P.V. Discrete multivariate
1975 analysis. Theory and Practice. Cambridge, Mass. MIT press.
557p.
- Blasco, F. Climatic factors and the biology of mangrove plants. In:
1984a The mangrove ecosystem: research methods. Snedaker and
Snedaker, Eds. UNESCO. pp 18-35.
- Blasco, F. Taxonomic consideration of the mangrove species. In: Snedaker,
1984b S.C., and Snedaker, J.G., Eds. The mangrove ecosystem: research
methods. Paris, UNESCO, pp. 81-90.
- Blasco, F., Lavenu, F., Chaudhury, M.U. and Kerr, Y. Ressources des Forêts
1986 de mangrove et d'activités humaines dans le Delta du Gange
(Bangladesh). SPOT image/GDTA Fiche OC 3.
- Blasco, F. Aménagement D'Ecosystèmes Forestiers Fragiles.
1991 Paper presented at the 10th World Forestry Congress, 17-26
September 1991, Paris, France
- Boonyobhas, C. Mangrove Forest Management in Thailand. No. R.161. pp.
1975 1-42. Forest Management Division, Royal Forest Dept., Bangkok.
- Borel, D. Digital analysis of high resolution satellite simulation data
1983 on mangrove. in: ESCAP/UNESCO/NRCT Regional Remote Sensing
Training Course on Mangrove Ecosystem. Bangkok, Nov. 28 -
Dec.16, 1983. pp.97-105.

- Borel, D. The Design of Geo-Referenced Data Processing Systems in Multi-level Remote Sensing for Forestry Applications pp. 233-245. ESCAP/NRMC Proceedings of Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- Borel, D. Satellite based remote sensing systems : The on going programs, Landsat-4/5 and SPOT. In: Remote sensing in vegetation studies: Report of the training course on remote sensing techniques applied to vegetation studies. Biotrop, Bogor, Indonesia. pp: 77-87.
- Borel, D., and Chaudhury, M.U Monitoring of Mangrove Areas through High Resolution Remote Sensing Techniques; The Spot Simulation Campaign over Bangladesh. pp. 106-116.
- Bradbear, N. Beekeeping in rural development, International Bee Research Association, Cardiff, U.K. 1990
- Brasnett, N.V. Planned management of forest, Allen & Unwin, London. 1953 238 pp.
- Broom, M.J. The Biology and Culture of Marine Bivalve Molluscs of the Genus *Anadara*. ICLARM Studies and Reviews 12. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. 1985
- Bunt, J.S., Boto, K.G. and Boto, G. A survey method for estimating potential levels of mangrove forest primary production. *Marine Biology*. 52: 123-128. 1979
- Burchett, M.D. Mangrove management policies, In: *Mangrove Ecosystems of Asia and the Pacific - status, exploitation and management*. Eds: Field, C.D. and Dartnall, A.J., Proc. of the Research for Development Seminar, Aust.Inst.Marine Science, Townsville, Australia, pp.305-320. 1984a
- Burchett, M.D., Field, C.D. and Pulkownik, A. Salinity, growth and root respiration in the grey mangrove, *Avicennia marina*. *Physiol. Plant.* 60: 113-118. 1984b
- Caioli, A.B. Philippine Mangrove Conservation. The Application of Multi-level remote sensing for natural resources decision making. Seminar Proceedings Beijing 14-24 April 1985. pp. 175-183. 1985
- Carlos P. Informe sobre los aspectos pesqueros, Proyecto TCP/CUB/8851, "Manejo integrado del ecosistema de manglar", La Habana, 17 pp. 1989
- Carson, G.L. The "Spot" Method of Enumeration Survey in Matang Mangroves, The Malayan Forester. Vol. 16, no. 4. pp. 206-212. 1953
- Carter, M.R., Burns, L.A., Cavinder, T.R., Dugger, K.R., Fore, P.L., Hicks, D.B., Revells, H.L. and Schmidt, T.W. Ecosystem analysis of the Big Cypress Swamp and estuaries. U.S.E.P.A. Region IV, South Florida Ecology Study. 1973
- Castellu, J.P. Microwave and vegetation. In: *Remote Sensing in vegetation studies. Report of training course on Remote Sensing techniques applied to vegetation studies*. Biotrop, Bogor, Indonesia. Nov.4 - Dec.13, 1985. pp.65-76. 1985
- Chacko, V.J. A manual on sampling techniques for forest surveys. Survey of India Off. (P.Z.O.), Dehra Dun. 172p. 1965
- Chaffey, D. R., Miller, F. R. and Sandom, J. H. A forest inventory of the Sundarbans, Bangladesh, Main Report, ODA. Project Report 140. 1985

- Chan, H.T. The Growth of Mangrove Species (unpublished).
- Chan, H.T., Nasir Husin and Chong, P. Is there a need to eradicate 1987 *Acrostichum speciosum* prior to planting of *Rhizophora mucronata* in logged-over mangrove forest area?, FRIM Occasional Paper, Forest Research Institute, Kepong, Malaysia, No. 1/87, 7 pp.
- Chan, H.T.; Razani U. and Putz, F.E. Growth and natural regeneration of a 1982 stand of *Rhizophora apiculata* trees at the Matang mangroves following thinning. In: Symposium on Mangrove Forest Ecosystem Productivity. Bogor, Indonesia, 10 pp.
- Chan, H.T. and Salleh, M.N. Traditional uses of the mangrove ecosystem in 1987 Malaysia. UNDP/UNESCO Regional Mangroves Project RAS/86/120. Mangroves Occasional Papers no.1
- Chapman, V.J. Mangrove phytosociology. *Trop. Ecol.* 11(1): 1-19. 1970
- Chapman, V.J. Mangrove biography. In: Walsh, G.E., Snedaker, S.C. and Teas, 1974 H.J., Eds. Proceed. of the int'l. symp. on biol. and mgmt. of mangroves. Florida. Univ. of Florida. 6 pp. lv.
- Chapman, V.J. Mangrove vegetation. Vaduz., J. Cramer, 197 pp. 1976
- Chapman, V.J. Botanical surveys in mangrove communities. In : The mangrove 1984 ecosystem: research methods pp.53-80. Snedaker and Snedaker, Eds. UNESCO.
- Chaudhury, M.U. Remote Sensing Application to the Study of Mangrove 1983 Ecosystem pp. 56-66. ESCAP/UNESCO/NRCT Regional Remote Sensing Training Course of Mangrove Ecosystem Bangkok, Nov.28-Dec.16 1983.
- Chaudhury, M.U. Multi-level Remote Sensing for Forest Vegetation Mapping. 1984 pp. 247-252. ESCAP/NRMC Proceedings of Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- Chaudhury, M.U. Landsat series: Technical properties and application to 1985 vegetation studies. In : Remote Sensing in Vegetation Studies. Report of training course on Remote Sensing techniques applied to vegetation studies. Biotrop, Bogor, Indonesia. Nov.4-Dec.13, 1985. pp.65-76.
- Chaudhury, M.U. Application of Satellite Remote Sensing Technology to 1986 Mangrove Vegetation Analysis in Bangladesh. Paper presented at the Regional Seminar on the Application of Remote Sensing Techniques to Coastal Zone Management and Environmental Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986. 15p.
- Chaves, E.S. and Fonseca, W.G. Plan de manejo para mangle en Coronado de 1986 Osa, Puntarenas. Heredia. 50 pp.
- Chevrou, R.B. Précision des mesures de superficie estimée par grille de 1976 points ou intersections de parallèles. *Ann. Sci. For.* 33(4):257-269.
- Chevrou, R.B. The precision of dot grid estimates: A theoretical approach. 1979 Resources Inventory notes, BLM 20:3-6.
- Chong, P.W. Proposed management and integrated utilization of mangrove 1987 resource in Sierra Leone, Freetown, Project UNDP/FAO: SIL/84/003. Field Document No. 6, 123 pp.

- Chong, P.W. Forest management plan for Playa Garza pilot area: Terraba-Sierpe Mangrove Reserve, San Jose, Project FAO/TCP/COS/6652. Field Document No. 3. 76 p. [also in Spanish]
- Chong, P.W. Proposed Integrated Forest Management Planning and Utilization of mangrove resources in the Terraba-Sierpe Reserve, Costa Rica. Proj. FAO/TCP/COS/6652 Technical Report 2. 150 pp. [also in Spanish]
- Chong, P.W. A forest management plan for Dat Mui Forest Enterprise, Hanoi, Project UNDP/FAO: VIE/82/002, Field Document No. 9., 44 pp.
- Chong, P.W. Manejo integrado de ecosistemas de manglares en la reserva forestal de Guanal - Cuba. Programa de Cooperacion Tecnica; Documento de Campo 1. (FO:TCP/CUB/8851), 138 p. Roma, (also in English).
- Chong, P.W. Mangrove Forest Management Guidelines. Paper prepared for the FAO Forestry Department, FAO, Rome.
- Chong, V.C., and Sasekumar, A. Food and feeding habits of the white prawn *Penaeus merguiensis*. Marine Ecol. Progress Series, 5: 185-191.
- Christensen, B. Biomass and primary productivity of *Rhizophora apiculata* Bl. mangrove in Southern Thailand. Aquatic Botany, 4: 43-52.
- Christensen, B. Management and utilization of mangroves in Asia and the Pacific, Rome, FAO Environment Paper No. 3. 160 pp.
- Christensen, B. Mangroves, what are they worth? Unasylva vol. 35 no. 139. 1983 pp. 2-15.
- Christensen, B. and Snedaker, S.C. Integrated Development of the Sundarbans: Ecological aspects of the sundarbans. FAO: Field Document No.3, FO:TCP/BGD/2309(Mf), Rome.
- Christensen, B. and Wium-Andersen, S. Seasonal growth of the mangrove trees in Southern Thailand. I. The phenology of *Rhizophora apiculata* Bl. Aquatic Botany, 3: 281-286.
- Chou, L.M., Chua, T.E., Khoo, H.W., Lim, P.E., Paw, J.N., Silvestre, G.T., Valencia, M.J., White, A.T. and Wong, P.K (Eds.) Towards an Integrated Management of Tropical Coastal Resources. Proceedings of the ASEAN/US technical Workshop on Integrated Coastal Zone Management, 28-31 Oct. 1988, Singapore. ASEAN/US CRMP Conference Proceedings no. 4. ICLARM, Manila.
- Chukhamdee, J. Application of Aerial Photograph for Estimating Mangrove Forest Production in Ranong Province. MSc. Thesis.
- Cintron, G. Mangrove Area Management in Panama - Final Report. Puerto Rico, P.O. 40-319R-5-00194, USDA. OICD. 44 pp.
- Cintron, G., Lugo, A.E., Pool, D.J. and Morris, D. Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. Biotropica 10: 110-121.
- Cintrón, G. and Novelli, Y.S Methods for studying mangrove structure, In: The mangrove ecosystem: research methods. pp. 91-112. Snedaker and Snedaker, Eds. UNESCO
- Cintron, G.Y., and Schaeffer-Novelli, Y. Introducción a la ecología del manglar. Montevideo, UNESCO, 99 pp.

- Cintron, G.Y. and Schaeffer-Novelli, Y. Mangrove forests: ecology and
1983b response to natural and induced stressors. In: Ogden, J.C. and
Gladfelter, E.H., Eds. Coral reefs, seagrass beds and mangrove:
their interaction in the coastal zones of the Caribbean. UNESCO
Reports in Marine Science No. 23. UNESCO, pp. 87-104.
- Clarke, L.D., and Hannon, N.J. The mangrove swamp and salt marsh
1970 communities of the Sydney District: III. plant growth in
relation to salinity and waterlogging. Jour. of Ecol. 58:
351-369.
- Clifford, H.C., Semi-intensive shrimp farming. In: Chamberlain, G.W.,
1985 Haby, M.G., and Miget, R.J. Eds. Shrimp farming manual. Corpus
Christi, Texas Agric. Exten. Services, IV: 15-42.
- Clough, B.F. Growth and salt balance of the mangroves *Avicennia marina*
1984 *Forsk.*) Vierh. and *Rhizophora stylosa* Griff. in relation to
salinity. Aust. Jour. Plant. Physiol. 11: 419-430.
- Clude, J.B. The potential for mollusc farming in Costa Rica. A report to
1981 the aquaculture development and coordination programme of FAO.
Seattle, Glude Aquaculture Consultants Inc. 29 pp.
- Cochrane, W.G. Sampling techniques. 3rd edition. John Wiley and Sons,
1977 New York. 428p.
- Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales. Educational
1960 and Psychological Measurement. 20(1):37-46.
- Cohen, J. Weighted Kappa: Nominal scale agreement with provision for
1968 scale disagreement or partial credit. Psy. Bul. 70(4): 213-220.
- Congalton, R.G., Oderwald, R.G and Mead, R.A Accuracy of remotely sensed
1982 data: Sampling analysis procedures. Remote sensing research
report. 82-1. Agristars Rep. RR-U2-04257. Coop. Agreement
13-1134. VPI and State Univ. 83p.
- Connor, D.J. Growth of the grey mangrove *Avicennia marina* in nutrient
1969 culture. Biotropica 1: 36-40.
- Cook, H.L. and Rabanal, H.R. (eds.) Manual on pond culture of penaeid
1978 shrimp. ASEAN National Coordinating Agency of the Philippines,
Min. of Foreign Affairs, Manila. 132 pp.
- Cundell, A.M., Brown, M.S., Stanford, R., and Mitchell, R. Microbial
1979 degradation of *Rhizophora mangle* leaves immersed in the sea.
Estuarine and Coastal Marine Science, 9, 281-286.
- Dadant and Sons (eds), The Hive and the Honey Bee, Hamilton, Illinois:
1982 Dadant and Sons Inc.
- Das, S. and Siddiqi, N.A. The Mangroves and Mangrove Forests of
1985 Bangladesh. Mangrove Silviculture Division Bulletin No. 2.
Bangladesh Forest Research Institute and UNDP/FAO Project
BGD/79/017. Chittagong, Bangladesh.
- Davis, J.H.Jr. The ecology and geological role of mangroves in Florida.
1940 Pap. Tortugas Lab., 32: 303-412.
- Dawkins, H.C. The management of natural tropical high-forest, with special
1958 reference to Uganda. Imperial For. Inst. Paper No. 34, 155 pp.
- De Haan, J.D. Het een en ander over de Tijlatjapsche vloedbosschen.
1931 Tectona, Vol. 24, pp. 39-76.

- Dinh-Hiep, Application of Multi-Level Remote Sensing to Forest Inventory
1984 and Planning in Viet-Nam. ESCAP/NRMC Proceedings of Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- Doat, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. Revue B.F.T. No.172, 1977
- Downton, W.J.S. Growth and osmotic relations of the mangrove *Avicennia marina* as influenced by salinity. Aust. Jour. Plant Physiol. 9:519-528.
- Dunn, I.G. Notes on mass fish death following drought in Malaya. Malay. Agric. Jour. 45: 204-211.
- Durant, C.C.L. The growth of mangrove species in Malaya. The Malayan Forester. Vol. 10. pp. 3-15.
- Dwivedi, S.N., Parulekar, A.H., Goswami, S.C. and Untawale, A.G., Ecology of mangrove swamp on the Mandovi Estuary, Goa, India. In: Walsh, G.E., Snedaker, S.C. and Teas, H.J., Eds. Proceed. of the intl. symp. on biol. and mgmt. of mangroves. Florida, Univ. of Florida, pp. 115-125.
- Edwards, R.R.C. Field experiments on growth and mortality of *Penaeus vannamei* in a Mexican coastal lagoon complex. Estuar. Coast. Mar. Sci., 5: 107-121.
- Edwards, R.R.C. The fishery and fisheries biology of penaeid shrimp on Pacific coast of Mexico. Oceanogr. Mar. Biol. 16: 145-180.
- Ellis, E.M. Moluscos de Nicaragua y Costa Rica. Programa regular de Desarrollo Pesquero de Centroamerica, Informes. 8 pp.
- Erftemeijer, P., van Balen, B., Djuharsa, E. The importance of Segara Anakan for nature conservation, with special reference to its avifauna. Asian Wetland Bureau/INTERWADER - PHPA. Bogor
- Ero, I.I and J.E. Abu, Consideration of Mangrove Forest management in 1991 Nigeria. Voluntary paper for the Senior Foresters Conference, ITTO, Yokohama, Japan, 23-26 July, 1991.
- ESCAP Coastal Environmental Plan for Bangladesh. Volume two: Final Report. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Bangkok
- Esteban C. Menendez P. inventario Forestal: Resumen de methodos y tecnicas apropiadas para el ecosistema manglar. Experiencias practicas en el area el Guanal, EFI C. Sur, Prov. P. del Rio. Proyecto TCP/CUB/8851 "Manejo integrado del ecosistema de manglar", La Habana, 38 p.
- Estribik C., Palacios, T. and Gonzalez, J. Informe de la situacion actual de la produccion de casacara de mangle en la provincia de Chiriqui. RENARE/MIDA. Panama. 14 p.
- Eugenio Poussin Molinet. Explotacion forestal del manglar: Introduccion de tecnologia mechanizada. Proyecto TCP/CUB/8851."Manejo integrado del ecosistema de manglar", La Habana, 28 p.
- Evink, G.L. Macrofauna comparisons in mangrove estuaries. In: Walsh, G.E., Snedaker, S.C., and Teas, H.J., Eds. Proceed. of the intl. symp. on biol. and mgmt. of mangroves. Florida. Univ. of Florida, 257 pp. iv.

- FAO. Tropical silviculture. Vol. 1.
1952
- FAO A framework for land evaluation, FAO Soils Bull. 32, Rome, 72 pp.
1976
- FAO Management and utilization of mangroves in Asia and the
1982 Pacific; based on the work of Christensen, B. Environ. Paper 3.
160 pp.
- FAO Land evaluation for forestry, FAO Forestry Paper 48, Rome,
1984a 123 pp.
- FAO Mangrove Forests in Asia-Pacific Region. Special Study on
1984b Forest Management, Afforestation and Utilization of forest
resources in the developing regions. GCP/RAS/106/JPN. 38p.
- FAO Apoyo a la ejecucion de los programas forestales prioritarios:
1985a Administracion y organizacion forestal. based on the work of
Reyes Cerrato, R. FO.DP/COS/79/001. Technical Report No. 7,
Rome, 35 p.
- FAO Mangrove Management in Thailand, Malaysia and Indonesia.
1985 FAO Environment Paper 4. FAO, Rome.
- FAO Manejo integral de un area de manglar: Costa Rica, Reserva
1988 Forestal Terraba-Sierpe. Informacion basica. based on the work
of Martin, I.N. TCP/COS/6652:FAO/DGF. Technical Report, 123 p.
- FAO The management of crocodiles in captivity. FAO Conservation
1990 Guide 22. FAO, Rome
- FAO Manejo Integrado de Ecosistema de Manglares. Cuba.
1991 Final Report, FAO/FO:TCP/CUB/8851, Rome.
- FAO Integrated management of coastal zones. FAO Fisheries
1992a Technical Paper no. 327. FAO, Rome
- FAO Mangrove for Charcoal. A Vanishing Woodfuel Resource System.
1992b (The Case of Yeesarn, Upper Gulf of Thailand)
FAO/GCP/RAS/131NET Field Document No. 30, Bangkok.
- FAO/MINAGRI, Informe de CUBA: Seminario sobre "Manejo integral de
1984 ecosistemas de manglares", Manzanillo, 32 p.
- FAO/UNDP Mise en valeur de la basse et moyenne Casamance. Reublique du
1975 Senegal, Inventaire Forestier, Fascicule 1: Description de la
region inventoilee, Methode et realisation de l'inventaire,
Resultats d'ensemble et commentaires. DP/SEN/71/522-1/FO.
FAO, Rome.
- FAO/UNEP Tropical Forest Resources Assessment Project: Forest Resources
1981a of Tropical America. UN 32/6.1301-78-04. Technical Report 1.
FAO, Rome
- FAO/UNEP Tropical Forest Resources Assessment Project: Forest Resources
1981b of Africa. UN 32/6.1301-78-04. Technical Report 2. FAO,
Rome.
- FAO/UNEP Tropical Forest Resources Assessment Project: Forest Resources
1981c of Tropical Asia. UN 32/6.1301-78-04. Technical Report 3.
FAO, Rome.

- Fell, J.W., Cefalu, R.C., Master, I.M. and Tallman, A.S. Microbial activities in the mangrove (*Rhizophora mangle*) leaf detrital system. 'Proceed. of the int'l. symp. on biol. and mgmt. of mangroves', In: G. Walsh, Snedaker, S.C., and Walsh, G.E., Eds., Florida, Gainesville, Univ. of Florida, pp.661-679.
- Fitzpatrick-Lins, K. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land use and land cover map. Photo. Eng. Rem. Sen. 47(3):343-351.
- Fleiss, J.L., Cohen, J. and Everett, B.S. Large sample standard errors of Kappa and Weighted Kappa. Psy. Bul. 72(5):323-327.
- Fox III, L. "Image Smoothing" An Aid to Resource Mapping in the Tropics. 1983 pp. 87-92. In: ESCAP/UNESCO/NRCT Regional Remote Sensing Training Course on mangrove ecosystem. Bangkok, Nov. 28-Dec.16, 1983. pp.97-105.
- Frayer, W.E. Multi-Level Sampling Designs for Resource Inventories. Rocky 1979 Mountain Forest and Range Experiment Station . USDA For. Ser. pp. 111.
- Freese, F. Elementary forest sampling. Agr. handbook, U.S. Dept. Agri. 1962 For. Ser. 91 p.
- Frisk, T. Some observations on harvesting mangrove forests in Peninsular 1984 Malaysia. FO:MISC/84/18. FAO, Rome
- Frodin, D. The mangrove ecosystem in Papua New Guinea, In: Field, C.D., 1985 Dartnell, A.J., eds. Mangrove ecosystems of Asia and the Pacific, Townsville, Australia. 53-63.
- Gelnet, R.H., Dellwig, L.F and Bare, J.E Increased visibility from the 1978 invisible. A comparison of Radar and Landsat in tropical environment. In: Proceedings of the 12th International Symposium on Remote Sensing of Environment. pp.2205-2216.
- Gill, L.S. Report on Mangrove Management of the Ayeyarwady Forest. 1992 Feasibility Study on Mangrove Reforestation, FAO/FO:MYA/90/003 Field Document No. 3, Yangon.
- Gocke, K., Vitola, M. and Rojas, G. Oxygen consumption in a mangrove swamp 1981 on the Pacific coast of Costa Rica. Revista de Biología Tropical 29(1): 143-155.
- Groulez, J. L'utilisation de l'avion dans les reconnaissances et 1954 prospections forestières au Gabon. Revue Bois et Forêts des Tropiques no. 35, pp. 25-32.
- Grubb, P.J. The maintenance of species richness in plant communities, the 1977 importance of the regeneration niche. Biological Reviews, 52:
- Haan, J.H. de. Het een en ander over de Tjilatjapische vloedbosschen, 1931 Tectona 24: 39-75.
- Hagberg, A., and Kalb, C. Marine shelled mollusks of commercial 1968 importance in Central America. Boletin tecnico. FAO. El Salvador. 32p.
- Hamilton, L.S. and Snedaker, S.C. Eds. Handbook for Mangrove Area 1984 Management. IUCN/Unesco/UNEP. East-West Center, Honolulu, Hawaii. 123 pp.
- Hansen, M.H., Hurwitz, W.N. and Madow, W.G. Sample survey methods and 1953 Methods. Vol. I. J. Wiley and Sons, New York. 638 p.

- Haron, H.A.H. A working plan for the second 30-year rotation of the
1981 Matang Mangrove Forest Reserve, Perak. The first 10-year
period 1980-1989. Perak State Forestry Dept., Perak, Malaysia.
109 p.
- Hay, A.M. Sampling designs to test land use map accuracy. Photo. Eng.
1979 Rem. Sen. 45(4):529-533.
- Hesse, P.R. Some differences between the soils of *Rhizophora* and *Avicennia*
1961 mangrove swamps in Sierra Leone. Plant and Soil, 14, 249.
- Heald, E.J. The production of organic detritus in a south Florida estuary.
1971 Sea Grant Techn. Bull. No.6., Univ.of Miami, Sea Grant Program
(Living Resources), Miami, Florida 110p
- Heald, E.J. and Odum, W.E. The contribution of mangrove swamps to Florida
1970 fisheries. Proceed. of the Gulf and Caribbean Fisheries Inst.,
22, 130-135.
- HKUST Programme and Abstracts, Asia-Pacific Symposium on Mangrove
1993 Ecosystems, Hong Kong 1-3 Sept. 1993. Hong Kong University of
Science and Technology, Hong Kong.
- Hoang, V.G. A study on the use of computer processing of Landsat MSS Data
1986 for Coastal Zone Mapping. 11p. Paper presented at the
Regional Seminar on the Application of Remote Sensing
Techniques to Coastal Zone Management and Environmental
Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986.
- Hoffman, W.E. and Dawes, C.J. Photosynthetic rates and primary production
1980 by two Florida benthic red algal species from a salt marsh and
a mangrove community. Bull. of Mar. Science 30: 358-364.
- Holdridge, L.R., Grenke, W.C., Hatheway, W.H., Liang, T. and Tosi, J.A. Jr.
1971 Forest Environments in Tropical Life Zones: A pilot study.
Pergamon Press.
- Hord, R.M. and Brooner, W. Land use map accuracy criteria. Photo. Eng.
1976 Rem. Sen. 42 (5):671-677.
- Hossain, D. Remote Sensing Technology applied to Ecological Studies of
1985 Mangrove Ecosystems in coastal regions of Bangladesh. ICITV.
CNRS. Université Paul Sabatier. Summary report 37p.
- Hughes, D.G. Aquaculture: Central America. In: Proceed. Shrimp world
1985 market conference. Acapulco, Mexico, Nov. 30 - Dec. 2 1984. New
Orleans, Louisiana, Shrimp World Incorporated. pp. 162-166.
- Hush, B., Miller, C.I and Beers, T.W. Forest Mensuration, 2nd edition,
1972 Ronald Press Company, New-York. 410 p.
- Hussain, M.Z. Restoration and Expansion of the mangrove belt in Guyana.
1990 TCP/GUY/8953. Technical Report No.1. FAO, Rome.
- Hussain, M.Z. Multiple-use management of the Sundarbans Forest in
1992 Bangladesh. Case Study prepared for the FAO Forestry
Department, FAO, Rome.
- Imhoff, M.L. and Vermillion, C.H. The Role of Space Borne Imaging
1986 Radars in Environmental Monitoring: Some Shuttle Imaging Radar
Results in Asia. NASA/Goddart Space Flight Center Greenbelt,
MD. 19 p.

- Insull, A.D.; Barg, U.C and Martosubroto Coastal fisheries and coastal aquaculture within integrated coastal area management in East Africa. Paper presented at the Workshop/Conference on integrated coastal zone management in East Africa, Arusha, Tanzania 21-23 April, 1993. Fao, Rome.
- Ishaq-Mirza, M., Hasan, M.Z., Akhtar, S., Ali, J. and Sanjrani, M.A. Remote Sensing Survey of Mangrove Forest Along the Coast of Baluchistan. 12p. Paper presented at the Regional Seminar on the Application of Remote Sensing Techniques to Coastal Zone Management and Environmental Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986.
- ISME/ITTO 1993a Proceedings of a workshop on Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. ITTO/ISME Project PD114/90(F) Niteroi, Brazil 28-30 May, 1993. Mangrove Ecosystems Proceedings no. 1. ITTO SRS No.12. ISME, Japan
- ISME/ITTO 1993b Proceedings of a workshop on Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. ITTO/ISME Project PD114/90(F) Dakar, Senegal 20-22 January, 1993. Mangrove Ecosystems Proceedings no. 2. ITTO SRS No.13. ISME, Japan
- Jano, A. 1979 Large scale photography for forest inventory problems and limitations. Paper presented in Workshop on practical applications of remote sensing to timber inventory. Edmonton, Alberta. Sept. 26-28, 1979.
- Jimenez, J.A. 1984 A hypothesis to explain the reduced distribution of the mangrove *Pelliciera rhizophorae* Tr. & Pl., *Biotropica* 16(4): 304-308.
- Jimenez, J.A. and Soto, R. 1985 Patrones regionales en la estructura y composicion floristic de los manglares de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 33(1).
- Johnstone, I.M. and Frodin, D.G. 1982 Mangroves of the Papuan subregion. In: Biogeography and ecology of New Guinea. Monographiae biologicae 42. Gressit, J.L. Ed. The Hague, pp. 513-528.
- Jothy, A.A., Capture fishery and the mangrove ecosystem: In: Ong. J.E., and Gong W.K. Eds., Productivity of the mangrove ecosystem: Management implications. UNESCO/UNDP (RAS/79/002/G/01/13), Penang, pp. 129-141
- Kanapathy, K. 1975 The reclamation and improvements of acid sulphate soils for agriculture. *Malay. Agric. Jour.* 50: 264-290.
- Keen, A. 1971 Sea shells of Tropical West America, Stanford Univ. Press. 1064 pp.
- Khan, F.A., Choudhury, A.M and Islam, J. 1986 A comprehensive report on the training exercise on forest survey system and field work procedure. Bangladesh Space Research and Remote Sensing Organization. (SPARRSO) pp. 1-25.
- Khan, F.A., Choudhury, A.M. and Islam, M.J. 1990 Timber Volume Inventory in the Sundarbans Using Aerial Photography and other Remote Sensing Techniques. UNDP/UNESCO Regional mangroves project RAS/86/120. Mangrove Ecosystems Occasional Papers No. 9.
- Kjerfve, B. 1984 Hydrographic considerations in estuarine outwelling studies: An example and definitions. In: Ong. J.E., and Gong W.K. Eds., Productivity of the mangrove ecosystem: Mgmt. implications. UNESCO/UNDP (RAS/79/002/G/01/13), Penang, pp. 37-47.

- Kjerfve, B. Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems. UNDP/UNESCO Regional mangroves project. RAS/86/120 1990
- Klankamsorn, B. and Thongchai, C. Principles of Photointerpretation. pp. 34-40. ESCAP/UNESCO/NRCT Regional Remote Sensing Training Course on Mangrove Ecosystem. Bangkok, Nov.28-Dec.16 1983.
- Kunstadter, P., Bird, E.C.F. and Sabhasri, S. (Eds.) Man in the Mangroves The Socio-economic Situation of Human Settlements in Mangrove Forests. NRTS-29/UNUP-607 1987
- Lahiri, A.K. Aerial seeding in mangrove swamps. The Indian Forester Vol. 117, no.3 pp.159-161. 1991
- Lal, P.N. Ecological Economic Analysis of Mangrove Conservation. A Case Study from Fiji. UNDP/UNESCO Regional Mangroves Project RAS/86/120. Mangrove Occasional Papers NO. 6. 1990
- Landon, F.H. Mangrove Volume Tables. The Malayan Forester. Vol. 11, no.3. pp. 117-120. 1948
- Landon, F.H. Malayan tropical rain forest. Malay Forester, 18, 30-38. 1955
- Lanly, J.P. Manual of Forest Inventory with special references to tropical forests. FAO, Rome. 200 p. 1973
- Lantieri, D. Evaluation de données SPOT simulées pour l'Etude de différents thèmes liés aux ressources renouvelables. FAO, RSC Series 37. 85 p. 1986
- Lebigre, J.M. Les mangroves des rias du littoral Gabonais: Essai de cartographie typologique. Revue Bois et Forêts des Tropiques. No. 100, 1er trimestre, pp. 3-28. 1982
- Leda Menendez C, Roberto Vandama C., Ecología de los manglares, Proyecto TCP/CUB/8851."Manejo integrado del ecosistema de manglar", La Habana, 34 p 1989
- Leh, C.N.U. and Sasekumar, A. Feeding ecology of prawns in shallow waters adjoining mangrove shores. In: Soepadmo, E., Rao, A.N. and Macintosh, D.J., Eds. Proceed. of the UNESCO/Asian symp. on mangrove environment: Research and management. Univ. Malaya. pp. 331-353. 1984
- Letourneau, L.R. and Dixon, R.G. Panama mangrove management and harvesting, FAO, RLA/77/019, Working document No. 82/44, 22 pp. 1982
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. Remote sensing and image interpretation. J.Wiley & Sons. 612p. 1979
- Little, E.L. Common Fuelwood Crops. A Handbook for Their Identification. Communi-Tech Associates, Morgantown, West Virginia. 1978
- Loubersac, L. Remote Sensing of temperate and tropical intertidal zones using SPOT simulated data. In: The proceedings of the Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, May 9-13, 1983. pp.1363-1371. 1983
- Loetsch, F. and Haller, E. Forest Inventory Vol. 1, BLV Verlagsgesellschaft, München. 436 p. 1973
- Løyche, M. Mangrove Management and Utilization. Report on a Study Tour to Malaysia and Indonesia. Field Document 3, FAO/UNDP Project SIL/88/008. Freetown, Sierra Leone. 1989

- Løyche, M. and Amadou, C.L. A Tentative Volume Table for the Mangroves of 1989 Sierra Leone. Field Document 7, FAO/UNDP Project SIL/88/008. Freetown, Sierra Leone.
- Løyche, M. Protection of sea dykes through planting of trees. Appraisal 1991 of the forestry component of WFP project Vietnam 4617 Rehabilitation and Upgrading of Sea Dykes. WFP/FAO, Rome.
- Lugo, A.E. Mangrove ecosystems: Successional or steady state?. Biotropica 1980 12: 65-72.
- Lugo, A.E. and Cintron, G. The mangrove forests of Puerto Rico and their 1975 management. In: G. Walsh, Snedaker, S., and Teas, H. Eds. Proceed. intl. symp. on biol. and mgmt. of mangroves. IFAS, Florida. Gainesville. Univ. of Florida, pp. 825-846.
- Lugo, A.E., Evink, G., Brinson, M.M., Broce, A. and Snedaker, S.C. Diurnal 1975 rates of photosynthesis, respiration and transpiration in mangrove forests in south Florida. In: Tropical ecological systems. Golley, F. and Medina, G. Eds. Springer-Verlag, N.Y., pp. 335-350.
- Lugo, A.E., Sell, M and Snedaker, S.C. Mangrove ecosystem analysis. In: 1973 U.S.A. University of Florida. The role of mangrove ecosystems in the maintenance of environmental quality and high productivity of desirable fisheries. Gainesville, Florida. E1-E59.
- Lugo, A.E. and Snedaker, S.C. The ecology of mangroves. Ann. Rev. of 1974 Ecol. and System. 1974, 5: 39-64.
- Lugo, A.E. and Snedaker, S.C. Properties of a mangrove forest in southern 1975 Florida. In: G. Walsh, Snedaker, S., and Teas, H. Eds. Proceed. intl. symp. on biol. and mgmt. of mangroves. IFAS, Florida. Gainesville. Univ. of Florida, pp. 170-212.
- Luna Lugo, A. Manejo de manglares en Venezuela. Instituto Forestal 1976 Latino-Americano. De investigacion y capacitacion. Merida-Venezuela. Boletin NO. 50. p.41.
- Macnae, W. Mangroves in Eastern and Southern Australia. Aust. Jour. Bot. 1966 15: 67-104.
- Macnae, W. A general account of the fauna and flora of swamps and forests 1968 in the Indo-West-Pacific Region. Adv. Mar. Biol. 6: 73-270.
- Macnae, W. Mangrove forests and fisheries. FAO/UNDP Indian Ocean 1974 Programme, Indian Ocean Fishery Commission IOFC/DEV/74/34, Rome, 35 pp. p.
- Marius, C. Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie-Pédologie 1986 Géochimie. Mise en valeur et aménagement. pp 231-247.
- Martosubroto, P. and Naamin, N. Relationship between tidal forests 1977 (mangroves) and commercial shrimp production in Indonesia. Mar. Res. in Indonesia 18: 81-86.
- Mattes, H. and Kapetsky, J.M. World wide compendium of mangrove-associated 1988 aquatic species of economic importance. FAO Fish. Circ. No 814 FAO, Rome
- Meisner, D.E. and Lindstrom, O.M. Design and operation of a Color 1985 Infrared Aerial Video System. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 51. pp. 555-560.

- Menzel, R. Possibilities of molluscan cultivation in the Caribbean
1971 symposium on investigations and resources of the Caribbean sea
and adjacent regions. FAO. Rome, pp. 183-200.
- Mercer, D.E. and Hamilton, L.S. Algunas ventajas economicas y naturales
1984 de los ecosistemas de manglares. La Naturaleza y sus Recursos
20(2):14-19.
- Midget, R.J. Coastal aquaculture site selection. In: Shrimp farming
1985 manual. Ed. Chamberlain, G.W., Haby, M.G. and Miget, R.J.
Corpus Christi, Texas Agri. Exten. Ser. II-1 - II-10.
- MINAGRI/FAO Informe de Cuba: Seminario sobre "manejo integral de
1984 ecosistemas manglares". Manzanillo, Cuba. 32 p.
- Moore, G.K. Enhancement of Landsat images with diazo color film. Water
1979 resources development bull. pp. 3-10.
- Morain, S.A. Use of Radar for vegetation analysis. Remote sensing of the
1976 electromagnetic spectrum. Vol. 3. no.3.
- M.S.Swaminathan Research Foundation, First Annual Report 1990-1991.
1992 Centre for Research on Sustainable Agricultural and Rural
Development. Madras, India.
- Mukherjee, B.B. and Mukherjee, J. Mangroves of Sundarbans, India.
1978 Phytomorphology, 28(2): 177-191.
- Mulder, N.J. and Hempenius, S.A. Data compression and data reduction
1974 techniques for the visual interpretation of multispectral
images. ITC Journal. pp.414-423.
- Murphy, D.H., Meepol, W., and Rau, M.T. Four Papers on Insects and Ground
1990 Mesofauna at Ranong. UNDP/UNESCO Regional Mangroves Project
RAS/86/120 Mangrove Occasional Papers no. 7
- Naijung, D. and Mouyun, C. Monitoring Forest Coverage Using Multi-temporal
1984 Remote Sensing Images pp. 207-211. ESCAP/NRMC Proceedings of
Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry
Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila,
Philippines.
- Nayak, S.R., Gupta, M.C. and Chauhan, H.B. Monitoring of Wetland and
1985 Shoreline on the part of Gujarat Coast Using Landsat pp.
348-353. Proceedings of the 6th. Asian Conference of Rem.Sens.
(ACRS), Asian Association of Remote Sensing, Hyderabad, 1985.
- Nayak, S., Gupta, M.C., Chauhan, H.B., Shaikh, M.G. Pandeya, A. & Rao, R.S.
1986 Application of Landsat Data for Coastal Zone Monitoring a Case
Study on the port of West Coast of India. 16p. Paper
presented at the Regional Seminar on the Application of Remote
Sensing Techniques to Coastal Zone Management and Environmental
Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986.
- Noakes, D.S.P. Notes on the silviculture of the mangrove forests of
1951 Matang, Perak. Malay Forester. 14: 183-196.
- Noakes, D.S.P. A working plan for the Matang mangrove forest reserve,
1952 Perak. Kuala Lumpur, Forest Dept. 173 pp.
- O.D.A. A Forest inventory of the Sundarbans, Bangladesh. Project
1985 report 140. Land Resources Development Centre, Surrey,
England.
- Odum, W.E. Pathways of energy flow in a south Florida estuary. Sea Grant
1971 Tech. Bull. No.7. Univ. of Miami Sea Grant Program (Living
Resources) Miami, Florida. 162 pp.

- Odum, W.E. and Heald, E.J. Trophic analyses of an estuarine mangrove community. Bull. of Marine Science, 22. pp. 671-737. 1972
- Odum, W.E. and Heald, E.J. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. In: 'Estuarine research', Cronin, L.E., Ed. Academic Press, Inc. New York. pp. 265-286. 1975
- Odum, W.E., McIvor, C.C., and Smith, T.J. III. The ecology of the mangroves of south Florida: a community profile, U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington, D.C. FWS/OBS-81/24. 144 pp. 1982
- Ohn, U. Report on Mangrove Forest Products and Utilization of the Ayeyarwady Delta. Feasibility Study on Mangrove Reforestation. FAO/FO:MYA/90/003, Field Document No. 4, Yangon. 1992
- Ong, J.E. Coastal zone productivity. In: Kato Kumamoto, I., Mathews, W.H. and Ariffin Suhaimi, (eds). Environl. protection and coastal zone mgmt. in Asia Pacific, Univ. of Tokyo Press. 244 pp. 1985
- Ong, J.E., Gong, W.K. and Wong, C.H. Productivity and nutrient status of litter in a managed mangrove forest. In: Kostermans, A.Y and Sastrotomo, Eds. Proceed. of the symp. on mangrove forest ecosystem productivity in Southeast Asia. Biotrop Special Pub. No. 17. 33-41. 1982
- Ong, J.E., Gong, W.K., Wong, C.H. and Dhanarajan, G. Productivity of a managed mangrove forest in West Malaysia. In: Proceed. of the intl. conf. on trends in applied biology in South East Asia. Univ. Sains Malay. pp. 274-284. 1979
- Ong, T.L. Some aspects of trophic relationships of shallow water fishes (Selangor Coast). B.Sc. Hons thesis. Univ. Malaya. 55 pp. 1977
- OPSA Manual descriptivo del mapa de asociaciones de sub-grupos de suelos de Costa Rica. 236 p. 1979
- Pannier, F. and Pannier, R.F. Interpretation fisioecologica de la distribucion de manglares en las costas del continente Suramericano. Intercencia. Vol. 2. No. 3. pp. 153-162. 1977
- Pannier, P.F. El efecto de distintas concentraciones sostenas sobre el Rhizophora mangle. Acta Cient. Venz. 10: 68-76. 1959
- PCARRD State of the Art Mangrove Research. Forestry Research Series No. 4. PCARRD, Los Banos, Laguna, Philippines. 1987
- PCARRD Philippines Recommends for Mangrove Production and Harvesting. PCARRD Philippines Recommends Series No. 74, Los Banos, Laguna. 1992
- Pérez, E.C.M. Inventario forestal en un ecosistema de manglar de la Republica de Cuba. Voluntary paper presentaed at the 10th World Forestry Congress, 17-26 September, Paris, France. 1991
- Perez P.A. La Apicultura en las zonas de manglar y en el area del Proyecto TCP/CUB/8851. Informe de Campo. "Manejo integrado del ecosistema de manglar", FAO, La Habana, 6 p. 1988
- Pervical, M. and Womersley, J.S. Floristics and ecology of the mangrove vegetation of Papua New Guinea. Botany Bull. No 8., Papua New Guinea, Dept. of Forestry. 1975
- Pool, D.J., Lugo, A.E.,and Snedaker, S.C. Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico. In: Walsh, G.S., Snedaker, S. C., and Teas, H., Eds., Proceed of the intl. symp. on biol. and mgmt. of mangroves. IFAS, Gainesville, Florida, Univ. of Florida. pp. 213-237. 1975

- Pool, D.J., Snedaker, S.C. and Lugo, A.E. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, Mexico and Central America. *Biotropica* 9: 195-212.
- Potter, T. The problem of fish culture associated with acid sulphate soils and methods for their improvement. Contribution to the Joint FAO/UNDP/SCPC and SEAFDEC Regional workshop on aquaculture engineering. Tigbauan, Iloilo, Philippines, SCSP/SFDC/77/4En/BP22. 13 pp.
- Pushparajah, M. Application of Remote Sensing to Forestry in Sri-Lanka pp. 177-179. ESCAP/NRMC Proceedings of Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- Putz, F.E. and Chan, H.T. Tree growth, dynamics, and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia. *FOR. Ecol. Manage.*, 17:211-230.
- Primack, R.B. and Thomlison, P.B. Sugar secretions from the buds of Rhizophora. *Biotropica* 10: 74-75. 2
- Qureshi, M.T. Experimental Plantation for Rehabilitation of Mangrove Forests in Pakistan. UNDP/UNESCO Regional mangroves project RAS/86/120. *Mangrove Occasional Papers* no. 4.
- Rabinowitz, D. Early growth of mangrove seedlings in Panama and an hypotheses concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography*, 5: 113-133.
- Rahman, A., Rahman, N., Hossain, D. and Tugril Hossain, T.I.M. Application of Remote Sensing Data in the Studies and Mapping of Coastal Land Accretion and Mangrove Plantations in the Coastal Belt of Bangladesh. 14p. Paper presented at the Regional Seminar on the Application of Remote Sensing Techniques to Coastal Zone Management and Environmental Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986.
- Ramdial, B.S. Mangrove forests desirable or dispensable. Forestry Division Ministry of Agriculture. 24 p.
- Ratanasermpong, S. A study of the Mangrove forest ecosystem and its environment by remote sensing. in Proceedings of the Regional Seminar on the Application of Remote Sensing techniques to coastal zones management and environment monitoring. UNDP/ESCAP and SPARRSO. Dhaka, Bangladesh. 18-26 Nov. 1986.
- Reichert, P. Recent Developments and Trends of Relevance to Multi-Level Remote Sensing pp. 219-231. ESCAP/NRMC Proceedings of Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- Reichle, D.E. Oak Ridge National Laboratory site proposal for analysis of the structure and functions of ecosystems in the Deciduous Forest Biome. Oak Ridge National Laboratory. Research proposal. FY 1972, Oak Ridge, Tenn. 162 pp.
- Remeijnd, J.M. Photointerpretation in Forestry. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences. ITC, Enschede, the Netherlands.
- Riggs, S.R. Beach geology, In: J. Clark, The Sanibel report, formulation of a comprehensive plan based on natural systems. The Conservation Foundation, Washington, D.C. pp. 229-255

- Roberts, E.H. The application of multispectral scanning systems to agriculture and forestry. In : Multispectral scanning systems and their potential application to earth resources surveys. Vol. 4: Earth Science Applications ISRD-CIRS Report. Ed. RAG Savigean et Al. pp. 51-83.
- Rollet, B. Introduction l'Etude des Mangroves du Mexique. Photo-interprétation. Types de Forêt. Bibliographie. Revue Bois et Forêts des Tropiques, no. 156. pp. 3-74.
- Rollet, B. Ordenacion integrada de los manglares. Sintesis de siete seminarios nacionales en America Latina. F.A.O., Rome.
- Rombe, Y.L. Multistage Remote Sensing for Forest Inventory. Application with reference to Indonesia. pp. 161-165. ESCAP/NRMC Proceedings of Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- Rosenfield, G.H., Fitzpatrick, K. and Ling, H.S. Sampling for thematic map accuracy. Photo. Eng. Rem. Sen. 48(1):131-137.
- Saenger, P., Hegerl, E.J., and Davie, J.D.S. Global Status of mangrove ecosystems, Commission on ecology papers No.3, IUCN, Gland, Switzerland, 88 pp.
- SAF Forestry Handbook, 2nd ed.
- Samek, V. Elementos de Silvicultura de los bosques latifolios. Ciencia y Tecnica, Instituto Cubano del Libro, La Habana.
- San, H.T. and Hong, P.H. The results of investigation of mangrove flora in Vietnam. In: The first Vietnam national symposium on mangrove ecosystems. Hanoi, pp. 77-86.
- Sandrasegaran, K. Height-Diameter-Age Multiple Regression Models for Rhizophora Apiculata Bl. (Syn. Rhizophora Conjugata Linn.) In Matang Mangroves, Taiping, West Malaysia. The Malayan Forester. Vol. 34 no. 4 pp. 260-275.
- Sasekumar, A. Secondary productivity in mangrove forests. In: Productivity of the mangrove ecosystem: Management implications. Eds. Ong, J.E. and Gong, W.K. UNESCO/UNDP (RAS/79/002/G/01/13). Penang, pp. 20-28.
- Sasekumar, A. and Lai, J.J. Litter production in three mangrove forest zones in the Malay Peninsula. Aquatic Botany, 17: 283-290.
- Schmid-Haas, P. Monitoring change with combined sampling on aerial photographs and on the ground. Swiss Federal Institute of Forestry Research. pp. 383-388.
- Schumacher, F.X. and Chapman, R.A. Sampling methods in Forestry and Range Management. Duke Univ. School of Forestry. Bul. 7, Rev. Durham, NC. 221 p.
- SECA/CML Mangroves of Africa and Madagascar. Conservation and Reclamation. SECA/CML/CEC.
- Seidensticker, J. and Md. Abdul Hai. The Sundarbans Wildlife Management Plan: Conservation in the Bangladesh coastal zone. WWF/IUCN, Gland, Switzerland, 120 pp.
- SEPSA Manual descriptivo del mapa geomorfologico de Costa Rica, Secretaria Ejecutiva de Planification Sectorial Agropecuaria Y de Recursos Naturales Renovables, Imprenta Nacional, San Jose, Costa Rica.

- Setten, G.G.K. A note on the growth and yield of Berus. The Malayan Forester. Vol. 16 no. 2. pp. 74-87.
- Shahid, M.A. and Pramanik, M.A.H. Application of Remote Sensing Techniques to study the relation between the shrimp/fish Farms and Mangrove Ecosystem of Bangladesh Coastal Region. 16p. Paper presented at the Regional Seminar on the Application of Remote Sensing Techniques to Coastal Zone Management and Environmental Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986.
- Sicco-Smit, G.S. Sistema de Fotointerpretacion recomendado para los bosques humedos tropicales de Colombia. Publicacion del Centro Interamericano de Fotointerpretacion, Serie B no. 1. pp. 3-27.
- Sicco-Smit, G.S. Will the road to the green hell be paved with SLAR? ITC Journal, 1975-2:245-266.
- Siddiqi, N.A. and Khan, M.A.S. Two Papers on Mangrove Plantations in Bangladesh. UNDP/UNESCO Regional mangroves projects RAS/86/120. Mangrove Occasional Papers No. 8.
- Siddiqi, N.A., Islam, M.R., Khan, M.A.S. and Shaidullah, M. Mangrove Nurseries in Bangladesh. ISME Mangrove Occasional Papers no.1. ISME, Japan.
- Silapathong, C. Remote Sensing application to the study of mangrove ecosystem of Thailand. In: ESCAP/UNESCO/NRCT Report on the Regional Remote Sensing Training Course of Mangrove Ecosystem Bangkok, Nov.28-Dec.16 1983. p.68-71.
- Silvius, M.J., Chan, H.T. and Shamsudin, I. Evaluation of wetlands of the West coast of peninsular Malaysia and their importance for natural resource conservation. WWF/FRI/University of Malaya/INTERWADER Joint project. WWF Malaysia, Kuala Lumpur.
- Skaley, J.E., Fisher J.R. and Hardy, E.E. A color prediction model for imagery analysis. Photo. Eng. Rem. Sen. 43:45-52.
- Snedaker, S.C. and Snedaker, J.G. The mangrove ecosystem: Research methods. UNESCO, Paris.
- Soto, R. and Jimenez, J.A. Analisa fisionomico estructural del manglar de Puerto Soley, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Revista de Biología Tropical. 30(2) 151-158.
- Spurr, S.H. Forest Inventory. Ronald Press Company, New York. 476 p.
- Spurr, H.S.; Barnes, B.V. Forest Ecology, John Wiley & Sons, New York, 1980 687 pp.
- Sribhibadh, A. Status and problems of coastal aquaculture in Thailand. In: Pillay, T.V.R. Ed. Coastal aquaculture in the Indo-Pacific Region, Fishing News (Books), London, pp. 74-83.
- Srivastava, P.B.L., Ahmad, A.M., Dhanarajan, G. and Hamzah, I. Proceedings Symposium on Mangrove & Estuarine Vegetation in Southeast Asia, April 25-28, 1978, Selangor, Malaysia. Biotrop Special Publication No. 10. Biotrop, Bogor, Indonesia.
- Stern, W.I. and Voight, G.K. Effects of salt concentration on growth of red mangrove in culture. Bot. Gaz. 121: 36-39.
- Sugden, E.A.N. and von Cube, H.G. Industrial uses of mangrove (*Rhizophora racemosa*). In: Proceed. of eighth world forestry congress, Jakarta. FID/0-9, 9 pp.

- Sukardjo, S. Some Aspects of Mangrove Ecology. Training Materials for 1992 Forestry Officers. Integrated Resource Development of the Sundarbans Reserved Forest, FAO/UNDP/BGD/84/056, FAO, Rome.
- Sukhatme, P.V. and Sukhatme, B.V. Sampling theory of surveys with 1970 applications. Iowa State Univ. Press. 2nd edition. 491 p.
- Tan, K.F. Some aspects of the biology of the *Acetes erythraceus* in Sungai 1977 Besar, Malaysia. B.Sc. Hons. thesis. Univ. Malaya. 37 pp.
- Tang, H.T. Regeneration stocking adequacy standards. Malay. Forester. Vol. 1978 41 No. 2. pp. 176-182.
- Taninos Y Maderas Venezolanas C.A. Plan de manejo forestal de la Unidad 1974 Norte de los manglares de la Rerserva Forestal de Guarapiche. 187 pp.
- Thollot, P. and Kulbicki, M. Overlap between the fish fauna inventories of 1988 coral reefs, soft bottoms and mangroves in Saint-Vincent Bay (New Caledonia) In: Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia, 1988, Vol. 2, pp. 613-616.
- Thom, B.G. Mangrove ecology and deltaic geomorphology: Tabasco, Mexico. 1967 Jour. of Ecol. 55: 301-343.
- Thom, B.G. Coastal landforms and geomorphic process. In: The mangrove 1984 ecosystem: research methods. Snedaker, S.C. and Snedaker, J.G. Eds. UNESCO.
- Thong, K.L. and A. Sasekumar. The trophic relationship of the fish 1984 community of the Angsa Bank, Selangor, Malaysia. In: Soepadmo, E., Rao, A.N., and Macintosh, D.J. Eds. Proceed. of the UNESCO/Asian symp. on mangrove environ: Research and management. Univ. Malaya. 385-399.
- Thongchai, C. Study on changes of Mangrove Forest Areas in Thailand by 1983 using Landsat Imagery. pp. 117-122.
- Tikumponvarkas, S., Fox III, L. and Chaudhury, M.U. Automated mapping of 1985 forest land use in Tropics. Prepilot study in Southern Thailand. In Final Report of UNDP/ESCAP Remote Sensing Program Pilot Projects on Forestry in Thailand, The Philippines and Indonesia. pp.137-142.
- Tomlinson, P.B. The botany of mangroves. Cambridge Tropical Biology Series 1986 Cambridge. Univ. Press. 413 pp.
- Tomlinson, P.B., Primark, R.B. and Bunt, J.S. Preliminary observations on 1979 floral biology in mangrove *Rhizophoraceae*. Biotropica 11 (4): 256-277.
- Turner, R.E. The Segara Anakan Reclamation Project. The Impact on 1975 Commercial Fisheries. A report to Engineering Consultant Inc., Colorado. 71pp.
- Umali, R.M. and Argete, E.C. A pilot study on the application of multi-level Remote Sensing to forest Resources Mapping in the 1984 Philippines pp. 111-155. ESCAP/NRMC Proceedings of Regional Conference on multi-level Remote Sensing for Forestry Application. 8-12 October 1984. Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- UNESCO 1984 The mangrove ecosystem: Research methods. Monographs on Oceanographic Methodology. Snedaker and Snedaker, Eds.

- Vantomme, P. Forestry within integrated coastal area management (ICAM) in 1993 East Africa. Paper presented at the Workshop/Conference on Integrated Coastal Zone Management in East Africa, Arusha, 21-23 April, 1993. FAO, Rome.
- Versoza Jr., C.G. A review of the applications of Remote Sensing to the 1986 Coastal Zone Resources of the Philippines. 9p. Paper presented at the Regional Seminar on the Application of Remote Sensing Techniques to Coastal Zone Management and Environmental Monitoring. Dhaka-Bangladesh 18-26 November 1986.
- Villalobos, C.S. Animales y plantas comunes de las costas de Costa Rica. 1982 EUED, Serie Educ. Ambient. No. 6, San Jose. 147 pp.
- Vlcek, J. Videography: Some Remote Sensing Application. Proc. American 1983 Society of Photogrammetry. pp 63-69.
- Wacharakitti, S. Mangrove Ecosystem in General pp. 22-33. ESCAP/UNESCO/NRCT 1983 Regional Remote Sensing Training Course of Mangrove Ecosystem Bangkok, Nov.28-Dec.16 1983.
- Walsh, G.E. Mangroves: a review. In: Peinold, R.J. and Queen, W.H., eds. 1974 Ecology of halophytes. London, Academic Press, Inc.,pp. 51-174.
- Walsh, G.E. Exploitation of Mangal. I. Wet coastal ecosystems. Ed. V.J. 1977 Chapman. pp. 347-362.
- Walter, H. and Leith, H., Klimadiagramm Weltatlas. Jena. Veb. Gustav 1960 Fisher Verlag.
- Walter, H and Steiner, M. Die Okologie der ostaafricanischen Mangroven. 1936 Z. Bot. 30: 65-193.
- Watson, J.D. Mangrove forests of the Malay Peninsula. Fraser & Neave, 1928 Malayan Forest Records, Vol. 6. Singapore, 275 pp.
- Watts, J.C.D. Phosphate retention in acid-sulphate pond muds from Malacca 1969 area. Malay. Agric. Jour. 47: 187-202.
- Weechakit, D. Growth and survival of private mangrove plantations 1987 (*Rhizophora apiculata*) at Amphoe Amphawa, Samut Province. M.Sc. Thesis. Kasetsart University Graduate School, Thailand.
- Weir, M.J.C. An assessment of simple plotting instruments for resource 1981 mapping. Paper presented at a Conference on Matching Remote Sensing technologies and their application convened in London by the Remote Sensing Society. 16-18 Dec. 1981. pp. 223-249.
- Weir, M.J.C. Mapping for resources surveys. ITC. Enschede, The 1983 Netherlands. 63p.
- White, K.J. (ed.) Research Considerations in Coastal Afforestation. Field 1979 Document No. 16. UNDP/FAO Project BGD/72/005 and the Forest Research Institute, Chittagong, Bangladesh. 120pp.
- Woodcock, W.E. Aerial Reconnaissance and Photogrammetry with small 1976 cameras. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 42, no. 4. pp. 503-511.
- Wong, K.W. Geometric and cartographic accuracy of ERTS-1 imagery. 1975 Photo. Eng. Rem. Sen. 41:621-635.
- Wyrtki, K. Physical oceanography of the Southeast Asian waters. Naga 1961 Report, Vol. 2. Scientific Results of Marine Investigations in the South China Sea and the Gulf of Thailand, 1959-1961. Univ. of California, La Jolla, Cal., 195 pp.

Yeo, A.R. and Flower, T.J. Salt tolerance in the halophyte *Suaeda maritima* L. Dum: Evaluation of the effect of salinity upon growth. Jour. Exp. Bot. 31: 117-1183.

Young, T.R. Legal and institutional issues in the creation and implementation of integrated coastal zone management programs in East Africa. Paper presented at the Workshop/Conference on Integrated Coastal Zone Management in East Africa, Arusha, Tanzania 21-23 April, 1993. FAO, Rome.

CUADERNOS TECNICOS DE LA FAO

ESTUDIOS FAO: MONTES

- 1 Manual sobre contratos de aprovechamiento de bosques en tierras públicas, 1977 (E/F/I)
- 2 Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento, 1978 (E/F/I)
- 3 Lista mundial de escuelas forestales, 1977 (E/F/I)
 1. Lista mundial de escuelas forestales, 1981 (E/F/I)
 2. Lista mundial de escuelas forestales, 1986 (E/F/I)
- 3 Rev.
- 3 Rev.
- 4/1 La demanda, la oferta y el comercio de pasta y papel en el mundo - Vol. 1, 1977 (E/F/I)
- 4/2 La demanda, la oferta y el comercio de pasta y papel en el mundo - Vol. 2, 1978 (E/F/I)
- 5 La comercialización de las maderas tropicales, 1977 (E/I)
- 6 National parks planning, 1976 (E** F/I)
- 7 Actividades forestales en el desarrollo de comunidades locales, 1984 (Ar E/F/I)
- 8 Técnica de establecimiento de plantaciones forestales, 1978 (Ar C E F/I*)
- 9 Las astillas de madera: su producción y transporte, 1978 (C E/I)
- 10/1 Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos - 1. Principios y metodología, 1978 (E/F/I)
- 10/2 Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos - 2. Recolección de datos y cálculos, 1978 (E/F/I)
- 11 Savanna afforestation in Africa, 1977 (F/I)
- 12 China: forestry support for agriculture, 1978 (I)
- 13 Precios de productos forestales 1960-1977, 1979 (E/F/I)
- 14 Mountain forest roads and harvesting, 1979 (I)
- 14 Rev. 1. Logging and transport in steep terrain, 1985 (I)
- 15 AGRIS forestal: catálogo mundial de los servicios de información y documentación, 1979 (E/F/I)
- 16 China: industrias integradas de elaboración de la madera, 1979 (E/F/I)
- 17 Análisis económico de proyectos forestales, 1980 (E/F/I)
- 17 Sup. 1. Análisis económico de proyectos forestales: estudios monográficos, 1982 (E/I)
- 17 Sup. 2. Economic analysis of forestry projects: readings, 1980 (C/I)
- 18 Precios de productos forestales 1960-1978, 1980 (E/F/I)
- 19/1 Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species - Vol. 1, 1980 (I)
- 19/2 Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species - Vol. 2, 1980 (I)
- 20 Mejora genética de árboles forestales, 1980 (C E F/I)
- 20/2 Guía para la manipulación de semillas forestales, 1991 (E/I)
- 21 Suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas - efectos causados por las especies de crecimiento rápido, 1984 (E/F/I)
- 22/1 Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento - Vol. 1. Estimación del volumen, 1980 (C E F/I)
- 22/2 Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento - Vol. 2. Predicción del rendimiento, 1980 (C E F/I)
- 23 Precios de productos forestales 1961-1980, 1981 (E/F/I)
- 24 Cable logging systems, 1981 (C/I)
- 25 Public forestry administrations in Latin America, 1981 (I)
- 26 La silvicultura y el desarrollo rural, 1981 (E/F/I)
- 27 Manual of forest inventory, 1981 (F/I)
- 28 Aserraderos pequeños y medianos en los países en desarrollo, 1982 (E/I)
- 29 Productos forestales: oferta y demanda mundial 1990 y 2000, 1982 (E/F/I)
- 30 Los recursos forestales tropicales, 1982 (E/F/I)
- 31 Appropriate technology in forestry, 1982 (I)
- 32 Clasificación y definiciones de los productos forestales, 1982 (Ar/E/F/I)
- 33 La explotación maderera de bosques de montaña, 1984 (E/F/I)
- 34 Especies frutales forestales, 1982 (E/F/I)

- 35 Forestry in China, 1982 (C I)
 36 Tecnología básica en operaciones forestales, 1983 (E F I)
 37 Conservación y desarrollo de los recursos forestales tropicales, 1983 (E F I)
 38 Precios de productos forestales 1962-1981, 1982 (E/F/I)
 39 Frame saw manual, 1982 (I)
 40 Circular saw manual, 1983 (I)
 41 Métodos simples para fabricar carbón vegetal, 1983 (E F I)
 42 Disponibilidades de leña en los países en desarrollo, 1983 (Ar E F I)
 43 Ingresos fiscales procedentes de los montes en los países en desarrollo, 1987 (E F I)
 44/1 Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos - 1. Ejemplos de África oriental, 1984 (E F I)
 44/2 Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos - 2. Ejemplos del Asia sudoriental, 1985 (E F I)
 44/3 Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos - 3. Ejemplos de América Latina, 1987 (E I)
 45 Establishing pulp and paper mills, 1983 (I)
 46 Precios de productos forestales 1963-1982, 1983 (E/F/I)
 47 La enseñanza técnica forestal, 1991 (E F I)
 48 Evaluación de tierras con fines forestales, 1985 (C E F I)
 49 Extracción de trozas mediante bueyes y tractores agrícolas, 1984 (E F I)
 50 Changes in shifting cultivation in Africa, 1984 (F I)
 50/1 Changes in shifting cultivation in Africa - seven case-studies, 1985 (I)
 51/1 Studies on the volume and yield of tropical forest stands - 1. Dry forest formations, 1989 (F I)
 52/1 Cost estimating in sawmilling industries: guidelines, 1984 (I)
 52/2 Field manual on cost estimation in sawmilling industries, 1985 (I)
 53 Ordenación intensiva de montes para uso múltiple en Kerala, 1985 (E F I)
 54 Planificación del desarrollo forestal, 1984 (E)
 55 Ordenación forestal de los trópicos para uso múltiple e intensivo, 1985 (E F I)
 56 Breeding poplars for disease resistance, 1985 (I)
 57 La madera de coco - Elaboración y aprovechamiento, 1986 (E I)
 58 Cuidado y mantenimiento de sierras, 1989 (E I)
 59 Efectos ecológicos de los eucaliptos, 1987 (C E F I)
 60 Seguimiento y evaluación de proyectos forestales de participación, 1991 (E F I)
 61 Precios de productos forestales 1965-1984, 1985 (E/F/I)
 62 Lista mundial de instituciones que realizan investigaciones sobre bosques y productos forestales, 1985 (E/F/I)
 63 Industrial charcoal making, 1985 (I)
 64 Cultivo de árboles por la población rural, 1988 (Ar E F I)
 65 Forest legislation in selected African countries, 1986 (F I)
 66 Organización de la extensión forestal, 1988 (C E I)
 67 Some medicinal forest plants of Africa and Latin America, 1986. (I)
 68 Appropriate forest industries, 1986 (I)
 69 Management of forest industries, 1986 (I)
 70 Terminología del control de incendios en tierras incultas, 1986 (E/F/I)
 71 Repertorio mundial de instituciones de investigación sobre bosques y productos forestales, 1986 (E/F/I)
 72 El gas de madera como combustible para motores, 1993 (E I)
 73 Productos forestales: proyecciones de las perspectivas mundiales 1985-2000, 1986 (E/F/I)
 74 Guidelines for forestry information processing, 1986 (I)
 75 An operational guide to the monitoring and evaluation of social forestry in India, 1986 (I)
 76 Wood preservation manual, 1986 (I)
 77 Databook on endangered tree and shrub species and provenances, 1986 (I)
 78 Appropriate wood harvesting in plantation forests, 1987 (I)
 79 Pequeñas empresas de elaboración de productos del bosque, 1990 (E F I)
 80 Forestry extension methods, 1987 (I)
 81 Guidelines for forest policy formulation, 1987 (C I)
 82 Precios de productos forestales 1967-1986, 1988 (E/F/I)

- 83 Trade in forest products: a study of the barriers faced by the developing countries, 1988 (I)
 84 Productos forestales: proyecciones de las perspectivas mundiales 1987-2000, 1988 (E/F/I)
 85 Programas de estudios para cursos de extensión forestal, 1988 (E/F/I)
 86 Forestry policies in Europe, 1988 (I)
 87 Explotación en pequeña escala de productos forestales madereros y no madereros con participación de la población rural, 1990 (E/F/I)
 88 Management of tropical moist forests in Africa, 1989 (F/P)
 89 Review of forest management systems of tropical Asia, 1989 (I)
 90 Silvicultura y seguridad alimentaria, 1991 (Ar/E/I)
 91 Manual de tecnología básica para el aprovechamiento de la madera, 1990 (E/F/I) (Publicado solamente en la Colección FAO: Capacitación, N° 18)
 92 Forestry policies in Europe - An analysis, 1989 (I)
 93 Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales, 1991 (E/I)
 94 Manual on sawmill operational maintenance, 1990 (I)
 95 Precios de productos forestales 1969-1988, 1990 (E/F/I)
 96 Planning and managing forestry research: guidelines for managers, 1990 (I)
 97 Productos forestales no madereros: posibilidades futuras, 1992 (E/I)
 98 Timber plantations in the humid tropics of Africa, 1993 (F/I)

 99 Cost control in forest harvesting and road construction, 1992 (I)
 100 Introducción a la ergonomía forestal para países en desarrollo, 1993 (E/I)
 101 Ordenación y conservación de los bosques densos de América tropical, 1993 (E/F/P)
 102 El manejo de la investigación forestal, 1994 (E/F/I)
 103 Mixed and pure forest plantations in the tropics and subtropics, 1992 (E)
 104 Precios de productos forestales 1971-1990, 1992 (E/F/I)
 105 Compendium of pulp and paper training and research institutions, 1992 (I)
 106 Economic assessment of forestry project impacts, 1992 (F/I)
 107 Conservation of genetic resources in tropical forest management: Principles and concepts, 1993 (I)
 108 A decade of wood energy activities within the Nairobi Programme of Action, 1993 (I)
 109 Directory of forestry research organizations, 1993 (I)
 110 Deliberaciones de la reunión de expertos sobre investigación forestal, 1993 (E/F/I)
 111 Forestry policies in the Near East region: analysis and synthesis, 1993 (I)
 112 Evaluación de los recursos forestales de los países tropicales 1990, 1994 (E/F/I)
 113 Ex situ storage of seeds, pollen and in vitro cultures of perennial woody plant species, 1993 (I)
 114 Assessing forestry project impacts: issues and strategies, 1993 (I)
 115 Forestry policies of selected countries in Asia and the Pacific, 1993 (I)
 116 Les panneaux à base de bois, 1993 (F)
 117 Mangrove forest management guidelines, 1993 (I)
 118 Biotechnology in forest tree improvement, 1994 (I)
 119 Les produits bois reconstitués, liants et environnement, 1994 (F)
 120 Decline and dieback of trees and forests - A global overview, 1994 (I)

Disponibilidad: febrero de 1994

Ar	-	Arabe	F	-	Francés	Mult	-	Multilingüe
C	-	Chino	I	-	Inglés	"	-	Agotado
E	-	Español	P	-	Portugués	**	-	En preparación

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente en la Sección de Distribución y Ventas, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.