

CAPITULO V

RESULTADOS

Obtención de parámetros y datos de entrada

Selección de especies

De acuerdo a la metodología descrita, las especies individuales seleccionadas se muestran en la Tabla 4, ellas representan el 74,46 % del IV relativo del bosque "El Calmital".

Tabla 4 . Índice de Valor para las especies y grupos de especies seleccionadas .

Nombre Científico	Nombre Vulgar	Familia	IV	IV%	IV Acumulado
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	Bombacaceae	11,44	14,62	14,62
<i>Parinari pectyphylla</i>	Merecure	Rosaceae	7,42	9,48	24,11
<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	Drago	Papilionaceae	7,07	9,04	33,15
<i>Luehea cymulosa</i>	Guácimo cim.	Tiliaceae	6,14	7,85	41,00
<i>Bombacopsis quinata</i>	Saqui-saqui	Bombacaceae	4,60	5,88	46,87
<i>Spondias mombin</i>	Jobo	Anacardiaceae	3,61	4,61	51,49
<i>Pithecellobium saman</i>	Samán	Mimosaceae	3,48	4,44	55,93
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	Meliaceae	3,42	4,37	60,30
<i>Chlorophora tinctoria</i>	Mora	Moraceae	2,71	3,46	63,76
<i>Albizia colombiana</i>	Carabali	Mimosaceae	2,28	2,91	66,68
<i>Sloanea ternifolium</i>	Pica pica	Elaeocarpaceae	1,76	2,25	68,93
<i>Cordia collococca</i>	Candilero	Boraginaceae	1,52	1,94	70,87
<i>Chrysophyllum caracasenum</i>	Chupón	Sapotaceae	1,45	1,85	72,72
<i>Tabebuia rosea</i>	Apamate	Bignoniaceae	1,36	1,74	74,46
Pioneras h max < 15m			0,87	1,10	75,56
Pioneras hmax = 15-30m			3,65	4,67	80,23
Nómadas hmax <= 30m			6,06	7,74	87,97
Nómadas hmax > 30m			4,69	6,00	93,97
Tolerantes hmax < 15m			0,62	0,80	94,77
Tolerantes hmax = 15-30m			4,23	5,40	100,00

Fuente: Ramírez (1995)

Las características de distribución, hábitat, altura, diámetro, fenología, tipo de dispersión de las semillas, tipo de fruto, caducifolia de las especies seleccionadas fueron tomadas de Ramírez (1995) (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros básicos de las especies seleccionadas en el Bosque Experimental "El Calmital".

Nombre Científico	N. Vulgar	Familia	Altura (m)	dap (cm)	Fruto	Dispersión	Tipo sombra	Fenología	Grupo
<i>Albizia colombiana</i>	Carabali	Mimosaceae	40	100	legumbre	anemócora	baja	Dec. facult.	nómada
<i>Bombacopsis quinata</i>	Saqui-saqui	Bombacaceae	45	280	cápsula	anemócora	baja	Dec. oblig.	nómada
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	Meliaceae	40	180	cápsula	anemócora	media	Dec. oblig.	nómada
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	Bombacaceae	40	250	cápsula	anemócora	baja	Dec. facult.	nómada
<i>Chlorophora tinctoria</i>	Mora	Moraceae	30	120	aquenio	zoócora	media	Dec. facult.	nómada
<i>Chrysophyllum caracasense</i>	Chupón	Sapotaceae	30	100	baya	zoócora	media	Dec. facult.	nómada
<i>Cordia alliodora</i>	Candilero	Boraginaceae	25	100	drupa	zoócora	baja	Dec. facult.	nómada
<i>Luehea cymulosa</i>	Guácimo cimarrón	Tiliaceae	30	180	cápsula	zoócora	media	Dec. facult.	nómada
<i>Peruvia pachyphylla</i>	Merecure	Rosaceae	40	150	drupa	zoócora	media	?	nómada
<i>Pithecolobium saman</i>	Samán	Mimosaceae	35	240	legumbre	zoócora	baja	Dec. facult.	nómada
<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	Drago	Papilionaceae	30	150	legumbre	anemócora	media	Dec. facult.	nómada
<i>Spondias mombin</i>	Jobo	Anacardiaceae	35	120	drupa	bar-zoóc.	baja	Dec. oblig.	nómada
<i>Sloanea terniflora</i>	Fica pico	Elaeocarpaceae	25	80	cápsula	zoócora	alta	Siempre-verde	tolerante
<i>Tabebuia rosea</i>	Apamate	Bignoniaceae	35	140	cápsula	anemócora	baja	Dec. oblig.	nómada

Fuente: Ramirez (1995).

Agrupamiento de las especies

Las 64 especies encontradas en el Bosque "El Caimital", Ramírez (1995) las agrupó de acuerdo a los criterios indicados en la metodología, generando seis grupos de especies (Tabla 6), de ellos destaca el grupo de las nómadas medianas donde se encuentran 19 especies, principalmente de las familias Mimosaceae y Papilionaceae, con tres especies cada una. El segundo grupo en importancia lo constituye el grupo de las nómadas grandes, con 14 especies, destacando las familias Mimosaceae, Bombacaceae, Anacardiaceae y Moraceae.

De las 14 especies del grupo de la nómadas grandes, 11 son de alto valor comercial y las que se extraen con mayor intensidad, las demás consideradas comerciales están dentro del grupo de las nómadas medianas.

Coefficientes alométricos

Los coeficientes alométricos para las especies individuales y los grupos fueron tomados de Ramírez (1995). Con respecto a los valores para algunas especies como *Albizia colombiana*, *Chlorophora tinctoria*, *Pterocarpus acapulcensis* y *Parinari Pachyphylla*, el autor indica que debido al bajo número de observaciones obtenidas, los valores de los coeficientes resultaron no confiables desde el punto de vista estadístico, por lo que se le asignaron los coeficientes del grupo ecológico respectivo. Los valores se muestran en la Tabla 7.

Tasas de crecimiento (G) para las especies Individuales y los grupos

Los valores de G para las especies individuales y los grupos de especies fueron tomados de Ramírez (1995), ellos fueron hallados de acuerdo a la metodología descrita y los valores resultantes se encuentran indicadas en el archivo de entrada denominada ESPECIES.

Determinación de los límites de tolerancia

Fueron tomadas de Ramírez (1995), quien indica que, debido a la falta de información sobre la tolerancia térmica de las especies, adoptó una sola para todas. Con base en los resultados obtenidos al ajustar el programa WEATHER; el indicador obtenido fue de 7671,4 grados-día de crecimiento con una desviación estándar de 71,8. Con la finalidad de garantizar que las especies no sufran restricciones por excesos de temperatura, adoptó una banda de tolerancia térmica de ± 2500 grados-días considerando como punto medio el valor hallado, consecuentemente la tolerancia mínima fue de 5000 y la máxima 10000 grados-día.

Tabla 6 . Resultado del agrupamiento de las especies del Bosque "El Calmital"

TIPO	hmax<15m	15<hmax<30m	hmax>30m
PIONERAS	<i>Adelia ricinella</i>	<i>Cecropia peltata</i>	
	<i>Banara guianensis</i>	<i>Citharexylum</i> sp.	
	<i>Casearia spinescens</i>	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	
	<i>Chomelia spinosa</i>	<i>Crataeva tapia</i>	
	<i>Myrcia splendens</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	
	<i>Picramnia</i> aff.	<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	<i>macrostachya</i>	<i>Porcelia venezuelensis</i>	
	<i>Stemmadenia grandiflora</i>	<i>Sapium aubletianum</i>	
	<i>Urera</i> sp.	<i>Torrubia pacurero</i>	
		<i>Trophis racemosa</i>	
NOMADAS		<i>Calycophyllum andidissimum</i>	<i>Albizia colombiana</i>
		<i>Chlorophora tinctoria</i>	<i>Astronium graveolens</i>
		<i>Chrysophyllum sericeum</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>
		<i>Crysophyllum caracasenum</i>	<i>Brosimum alicastrum</i>
		<i>Cordia collococca</i>	<i>Cedrela odorata</i>
		<i>Dendropanax arboreum</i>	<i>Ceiba pentandra</i>
		<i>Fissicalyx fendleri</i>	<i>Myrospermum</i>
		<i>Hirtella triandra</i>	<i>frutescens</i>
		<i>Inga</i> cf. <i>edulis</i>	<i>Pithecellobium</i>
		<i>Inga punctata</i>	<i>guachapele</i>
		<i>Inga</i> spp.	<i>Pithecellobium saman</i>
		<i>Luehea cymulosa</i>	<i>Sorocea sprucei</i>
		<i>Lonchocarpus margaritensis</i>	<i>Spondias mombin</i>
		<i>Nectandra rigida</i>	<i>Swietenia</i>
		<i>Parinari pachyphylla</i>	<i>macrophylla</i>
		<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
		<i>Sapindus saponaria</i>	<i>Terminalia guyanensis</i>
		<i>Symmeria paniculata</i>	
	<i>Triplaris caracasana</i>		
TOLERANTES	<i>Annona montana</i>	<i>Couroupita guianensis</i>	
	<i>Allophylus occidentalis</i>	<i>Licania octandra</i>	
	<i>Coccoloba caracasana</i>	<i>Melicoccus bijugatus</i>	
	<i>Faremea occidentalis</i>	<i>Protium heptaphyllum</i>	
	<i>Trichilia triflora</i>	<i>Protium tenuifolium</i>	
		<i>Sloanea terniflora</i>	
	<i>Trichilia hirta</i>		
	<i>Trichilia martiana</i>		

Fuente: Ramirez (1996)

Tabla 7. Coeficientes alométricos para las especies seleccionadas y grupos de especies del Bosque Experimental "El Calimán".

Nombre Científico	N. Vulgar	Coefficiente b_2	Error estándar	Coefficiente b_3	Error estándar	r^2
<i>Albizia colombiana</i>	Caraball	0,0408		1,6624		
<i>Bombacopsis quinata</i>	Saquí-saquí	0,0582	0,0080	2,3030	0,0353	0,7987
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	0,0982	0,0127	4,0448	1,0634	0,8307
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	0,0636	0,0071	2,2248	0,2171	0,9844
<i>Chlorophora tinctoria</i>	Mora	0,0549		1,9744		
<i>Chrysophyllum caracasanaum</i>	Chupón	0,0382	0,0105	1,2523	0,2986	0,7815
<i>Cordia alliodora</i>	Candillero	0,0432		1,2081		
<i>Luehea cymulosa</i>	Guácimo cimarrón	0,0776	0,0159	2,0489	0,3732	0,9435
<i>Parinari pectiphylla</i>	Merecure	0,0689		2,5094		
<i>Pithecellobium saman</i>	Samán	0,0329	0,0019	1,1270	0,0669	0,9967
<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	Drago	0,0689	0,0160	2,5094		
<i>Spondias mombin</i>	Jobo	0,0158	0,0170	0,6601	0,0880	0,5289
<i>Sloanea ferriflora</i>	Pica pica	0,0256		1,2214		
<i>Tabebuia rosea</i>	Apamate	0,0355	0,0087	1,5000	0,3480	0,9104
Pioneras hmax <15 m		0,1570	0,0429	2,6100	0,8056	0,9006
Pioneras hmax 15-30m		0,0881	0,0038	2,5005	0,1290	0,9932
Nórmadas hmax 15-30m		0,0435	0,0058	1,5393	0,1722	0,8721
Nórmadas hmax >30m		0,0689	0,0360	2,5094	0,1671	0,9846
Tolerantes hmax <15m		0,2029	0,0134	3,8658	0,4056	0,9919
Tolerantes hmax 15-30 m		0,0983	0,0064	2,9286	0,2698	0,9811

Resultados de la elaboración de los archivos de entrada

Siguiendo el procedimiento descrito en la metodología, se elaboraron los archivos CONTROL.CAI (Tabla 8), SITIO.CAI (Tabla 9) y ESPECIES.CAI (Tabla 10), los mismos que fueron grabados directamente en el programa ZELIG para facilitar el proceso de simulación.

Archivos de salida

El modelo ZELIG después de cada simulación reporta múltiples archivos de salida, que son especificados en el archivo de entrada CONTROL. Entre éstos se incluyen los resúmenes a nivel de parcela y agregados (archivos Z.PUNCH y Z.PRINT), un perfil del índice del área foliar (Z.PROFILE), un archivo traza escrito para cada año de simulación (Z.TRACER) y un archivo diagnóstico (Z.LOG). Adicionalmente con la opción 2 de INDATA, genera el archivo Z. DUMP que reporta los valores de las especies, desagregadas a nivel de celdas (Apéndice D).

Archivo Z.PRINT

Muestra las condiciones iniciales del sitio, además presenta un resumen de los datos, para cada intervalo de tiempo que fue indicado en el archivo CONTROL, de la estructura del rodal por especies, que contiene los valores de dap y densidad (número de árboles por hectárea en clases diamétricas de 10 cm). Muestra la composición del bosque, indicando el número y nombre de las especies, densidad absoluta y relativa, área basal absoluta y relativa, índice de valor de importancia (IV200) y frecuencia. Adicionalmente, reporta datos referidos al rodal como la densidad total de los árboles por hectárea, el número de árboles que superan los 10 cm de dap, área basal por hectárea, diámetro promedio con sus respectivas desviaciones estándar, la biomasa maderable total, índice del área foliar y altura del dosel promedio (Apéndice D.1).

Archivo Z.LOG

Este archivo también debe ser especificado en el archivo CONTROL, a través de la opción ILOG. Muestra los resultados, para el clima y las condiciones del sitio, producidos por las subrutinas WEATHER y SOLWAT. La subrutina MORTAL genera los valores resumidos de mortalidad de los árboles por clase diamétrica, incluye la mortalidad natural y por estrés. GROW reporta el estado de cada árbol de la parcela, incluye especie, diámetro, altura total, altura comercial, factor de luz disponible, humedad del suelo, fertilidad, factor grados-día, factor de crecimiento, incremento diamétrico, disminución por crecimiento lento (Apéndice D.2).

Tabla 8. Ejemplo de tres tipos de archivos CONTROL usados para las simulaciones.

Modo interactivo a partir de suelo desnudo, con una matriz de 20x20 y un período de simulación de 200 años

```
ZELIG versión 2.3.  
1 *MODE  
0 *INDATA  
20 *NROWS  
20 *NCOLS  
200 *NYRS  
10 *IPRT  
10 *IPCH  
1 *ITRX  
10 *ILAI  
10 *ILOG
```

Modo interactivo, debe generar un archivo de salida, matriz de 20x20 para un período de simulación de 230 años.

```
ZELIG versión 2.3.  
1 *MODE  
2 *INDATA  
20 *NROWS  
20 *NCOLS  
230 *NYRS  
10 *IPRT  
10 *IPCH  
1 *ITRX  
10 *ILAI  
25 *ILOG
```

Modo interactivo, la simulación debe iniciar de acuerdo a las especificaciones del usuario, matriz de 20x20, para un período de simulación de 60 años

```
ZELIG versión 2.3.  
1 *MODE  
1 *INDATA  
20 *NROWS  
20 *NCOLS  
60 *NYRS  
10 *IPRT  
10 *IPCH  
1 *ITRX  
10 *ILAI  
10 *ILOG
```


Tabla 10. Archivo ESPECIES.CAI generado para las especies seleccionadas y los grupos de especies.

20 Parámetros de las especies para El Caimital (bajo prueba)																
ALco	Albizia colombiana	Carabali	600	100	40.000	-0.0408	1.6624	842	9	500010000	2	3	0	4	0	0
Boqu	Bombacopsis quinata	Saqui-saqui	600	280	45.000	-0.0582	2.3030	1458	9	500010000	2	5	2	3	0	0
CEod	Cedrela odorata	Cedro amargo	500	180	40.000	-0.0982	4.0448	1255	9	500010000	2	5	2	5	0	0
Cepe	Ceiba pentandra	Ceiba	600	250	40.000	-0.0636	2.2248	1600	9	500010000	2	3	2	3	0	0
CHti	Chlorophora tinctoria	Mora	600	120	30.000	-0.0549	1.9744	863	9	500010000	4	3	2	4	0	0
CHca	Chrysophyllum caracasenum	Chupon	550	100	30.000	-0.0382	1.2523	805	9	500010000	3	3	2	4	0	0
COco	Cordia collococca	Candilero	400	100	25.000	-0.0430	1.2081	802	9	500010000	2	3	3	5	0	0
LUcy	Luehea cymulosa	Guacimo cimarron	450	180	30.000	-0.0776	2.0489	1642	9	500010000	3	3	3	5	0	0
PApa	Poinaria pachyphylla	Merecure	600	150	40.000	-0.0689	2.5094	1767	9	500010000	3	3	2	5	0	0
PIsa	Pithecellobium saman	Saman	700	240	35.000	-0.0329	1.1270	907	9	500010000	2	3	0	4	0	0
PTac	Pterocarpus acapulcensis	Drago	450	150	30.000	-0.0689	2.5094	1333	9	500010000	3	3	0	3	0	0
SLte	Sloanea terniflora	Pica pico	350	80	25.000	-0.0256	1.2214	408	9	500010000	4	1	3	3	0	0
SPmo	Spondias mombim	Jobo	550	120	35.000	-0.0158	0.6601	823	9	500010000	2	5	3	5	0	0
TAro	Tabebuia rosea	Apamate	450	140	35.000	-0.0355	1.5000	1195	9	500010000	2	5	2	3	0	0
Nome	Nomadas medianas		350	100	30.000	-0.0435	1.5393	645	9	500010000	2	3	2	3	0	0
NOgr	Nomadas grandes		700	280	45.000	-0.0689	2.5094	680	9	500010000	2	3	2	3	0	0
PIpe	Pioneras pequenas		50	40	15.000	-0.1570	2.6100	1783	9	500010000	1	3	2	3	0	0
PIgr	Pioneras medianas		80	80	30.000	-0.0881	2.5005	1726	9	500010000	1	3	2	3	0	0
TOpe	Tolerantes pequenas		250	40	15.000	-0.2029	3.8658	1178	9	500010000	5	3	3	3	0	0
TOgr	Tolerantes grandes		600	100	30.000	-0.0983	2.9286	1176	9	500010000	5	3	3	3	0	0

La subrutina **REGEN** genera un resumen de regeneración que ocurre en la parcela, donde **Nposs** y **Nposs2** son los espacios posibles disponibles antes y después del establecimiento de los brote-rebrotos. **NSStot** y **NSS** son los brotes-rebrotos actuales y potenciales y **Nstot** y **NS** son las plántulas actuales y potenciales para la parcela. La subrutina **GRID** genera el perfil del área foliar y luz para la parcela.

Archivo Z.PUNCH

También es predefinido en el archivo **CONTROL**; se caracteriza por ser un archivo de datos condensados (Apéndice D.3) que puede ser procesado posteriormente para examinar la variabilidad entre parcelas o ilustrar atributos del rodal sobre la base de parcela a parcela (es decir un mapa de celdas). Los valores que contiene son: año de simulación, fila, columna, **Ksol** (tipo de suelo), densidad (número de individuos por ha), biomasa maderable (Mg/ha), área basal total (m²/ha), índice de área foliar acumulativo (m²/m²), altura máxima para la parcela (m), distribución en clases de tamaño (individuos por ha, para 20 clases de 10 cm).

Archivo Z.TRACER

Este archivo también es definido en el archivo **CONTROL**, genera valores condensados a nivel de rodal, puede ser exportado directamente a un paquete gráfico y puede ilustrar la dinámica temporal del rodal. Los valores que contiene este archivo son para cada año de la simulación y referidos a unidad de hectárea como la densidad total de árboles, biomasa, desviación estándar de la biomasa, área basal total de la parcela y para cada una de las especies consideradas en la simulación, índice foliar y altura del dosel promedio (Apéndice D.4).

Archivo Z.PROFILE

En él se reporta el perfil del área foliar (a/a) (**kr**, **kc**, **m**) para cada fila y columna y altura de la celda. El archivo puede ser reprocesado con un paquete estadístico o gráfico (Apéndice D.5).

Archivo Z.DUMP

Este archivo solamente es generado cuando se utiliza la opción 2 de **INDATA** en el archivo **CONTROL**, en él se encuentran los valores referidos para cada celda de la parcela y para el último año de simulación; contiene datos del número de la celda, número de árboles, número de las especies presentes (de acuerdo al orden que se encuentran en el archivo **ESPECIES**) y el diámetro. Este archivo fue utilizado para seleccionar los árboles que superaban los diámetros mínimos de corta, de acuerdo a los escenarios indicados en la metodología (Apéndice D.6).

Resultados de las simulaciones

Simulación del bosque natural con 230 años

Preparados los archivos de entrada del modelo ZELIG, se procedió a simular las condiciones actuales del Bosque "El Caimital", para un período de 230 años.

Composición florística

Las especies más significativas y frecuentes durante toda la simulación son cuatro, *Bombacopsis quinata* (BOqu), *Cedrela odorata* (CEod), *Spondias mombin* (SPmo) y *Tabebuia rosea* (TAro), todas ellas pertenecientes al grupo de las nómadas grandes, que permanecen constantes y tienen los más altos valores de importancia (IV200). La primera en importancia es la CEod que llega a tener 42,56 % de IV al final de la simulación, BOqu (36,70 % de IV), SPmo (con 10,92%) y la TAro con 9,71% del IV; haciendo de estas especies las más influyentes en la composición del bosque.

El comportamiento de la composición florística tiene tres períodos definidos (Figura 7), el primero comprende los primeros 100 años, donde inicialmente se nota un ascenso hasta el año 40, para luego disminuir hasta el año 100. Se caracteriza por la permanente presencia de los grupos de especies pioneras pequeñas y medianas, nómadas medianas y nómadas grandes.

El segundo periodo está comprendido entre los 100 y 200 años de simulación, allí sucede intermitentemente épocas de alta diversidad de especies, llegando a ingresar casi totalmente las especies individuales consideradas (98%), a excepción de la *Skaneateles terniflora* que no aparece en todo el proceso de modelamiento. De los seis grupos de especies, los más frecuentes son los correspondientes a pioneras y nómadas, muy esporádicamente se muestra el grupo de las tolerantes medianas.

A partir del año 210, la composición florística muestra una tendencia descendente, hasta llegar a los 230 años con 21 especies (31%). En este período todavía se mantiene la presencia muy marcada de las especies individuales y muy ligeramente la presencia de los grupos de especies de pioneras pequeñas, pioneras medianas y nómadas grandes.

Densidad de árboles, área basal, distribución diamétrica, biomasa y altura

La densidad total de árboles a los 10 años de simulación fue de 569,9 árboles/ha, de los cuales 151,3 tenían menos de 10 cm de dap. A medida que la

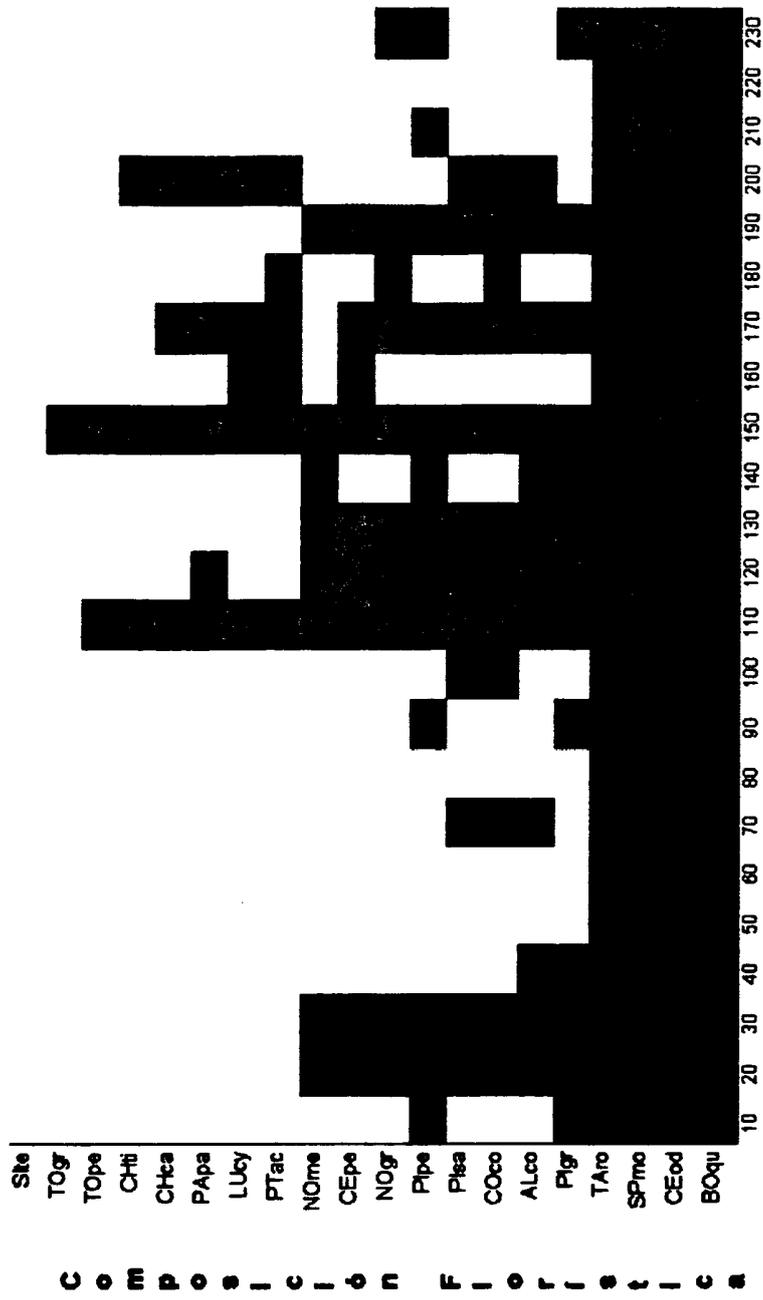


Figura 7. Comportamiento de la composición florística durante los 230 años de simulación.

simulación avanzaba, el número de árboles aumentó paulatinamente hasta llegar en el año 30 con 1546,8 individuos de los cuales 719,8 tenían más de 10 cm de dap. A partir de los 30 años de simulación, la tendencia decreciente se fue acentuando (entre los años 40 y 70), luego tiende a moderada (entre los años 80 y 230). Durante este último período la densidad cae de 448,06 a 245,38 árboles/ha , de igual modo los árboles mayores de 10 cm de dap disminuyen de 441,00 a 106, 56 individuos (Figura 8).

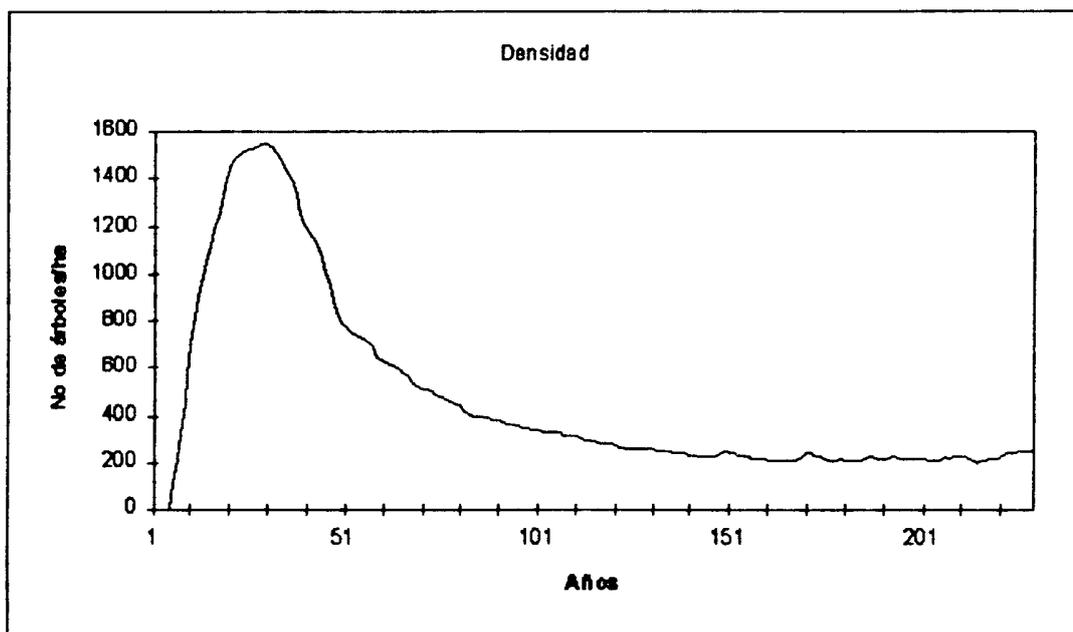


Figura 8. Resultado de la simulación de la densidad total de árboles a partir de un suelo desnudo y para 230 años .

La distribución diamétrica al inicio de la simulación tendió a ser regular (con muchos más árboles en las categorías diamétricas más pequeñas), luego esa tendencia fue revirtiéndose, tornándose muy irregular (entre los 110 y 150 años de simulación); para, finalmente, retomar la tendencia regular, como se puede observar en la Figura 9.

El comportamiento del diámetro promedio general para toda la parcela se inicia con una tendencia ascendente, sube de 7,08 cm a los 10 años de simulación, hasta alcanzar su máximo valor a los 160 años de simulación (34,02 cm de dap), el incremento anual para ese periodo es de 2,12 cm/año. Luego de alcanzar ese promedio la tendencia fue descendente, con ciertos altibajos, variando entre 32 y 24 cm de dap, luego paulatinamente llega con 24,93 cm de dap promedio a los 230 años de simulación. Esta última tendencia es debido al ingreso de nuevos

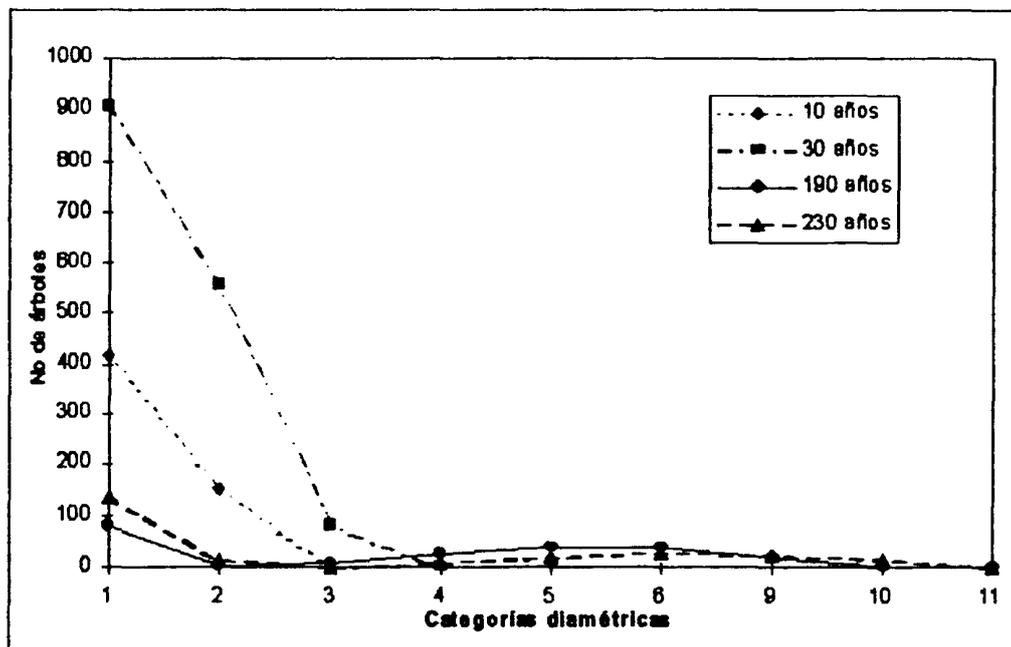


Figura 9. Distribución del número de árboles por categoría diamétrica en cuatro momentos de la simulación de 230 años

individuos en las primeras categorías diamétricas, por esa razón el promedio general cae a pesar de la aparición de algunos árboles en las categorías diamétricas altas (Figura 10).

Durante todo el proceso de simulación, el área basal tiene una tendencia mucho más estable y siempre ascendente (Figura 11); durante los primeros años, sube de $3,08 \text{ m}^2/\text{ha}$ (10 años de simulación) a $21,17 \text{ m}^2/\text{ha}$ (70 años de simulación). En este periodo el incremento promedio anual es de $0,30 \text{ m}^2/\text{ha}$ año, luego la tendencia se estabiliza y el aumento se hace mucho más lento para alcanzar los $24,69 \text{ m}^2/\text{ha}$ a los 230 años de simulación, con un incremento anual del orden de $0,022 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$.

La tendencia del parámetro biomasa maderable total, en el proceso de simulación es ascendente y continuo, llegando a alcanzar $255,294 \text{ Mg}/\text{ha}$ a los 230 años de simulación. El ingreso o salida de árboles en la categorías diamétricas menores no modificó la tendencia (Figura 12).

El crecimiento en altura, durante la simulación, se ha comportado de dos maneras diferentes, por un lado la altura comercial o denominada altura a la copa, no

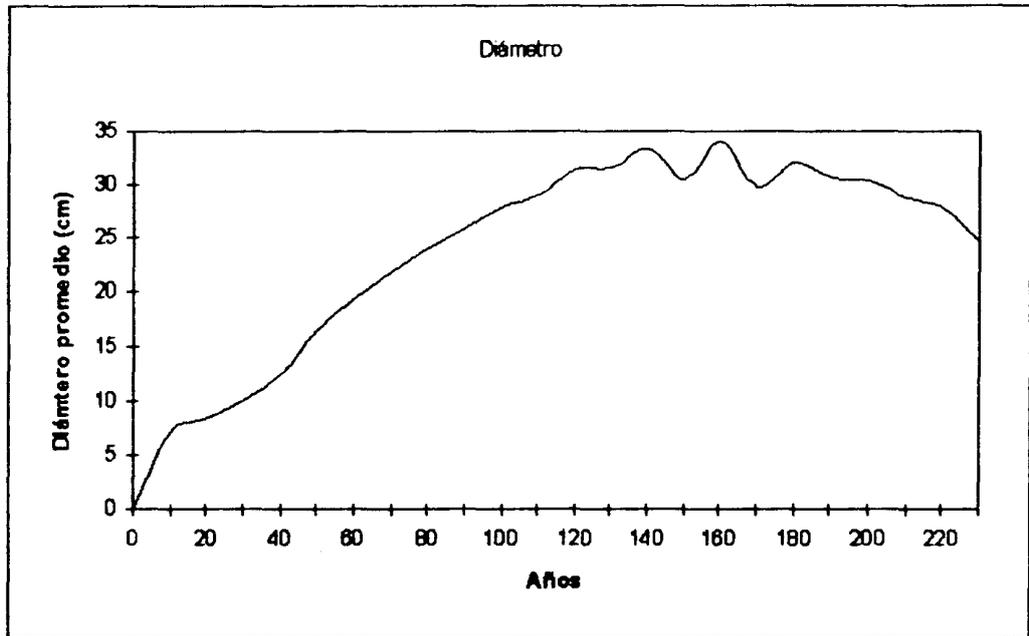


Figura 10. Resultado de la simulación de parámetro diámetro promedio, a partir de un suelo desnudo y para 230 años.

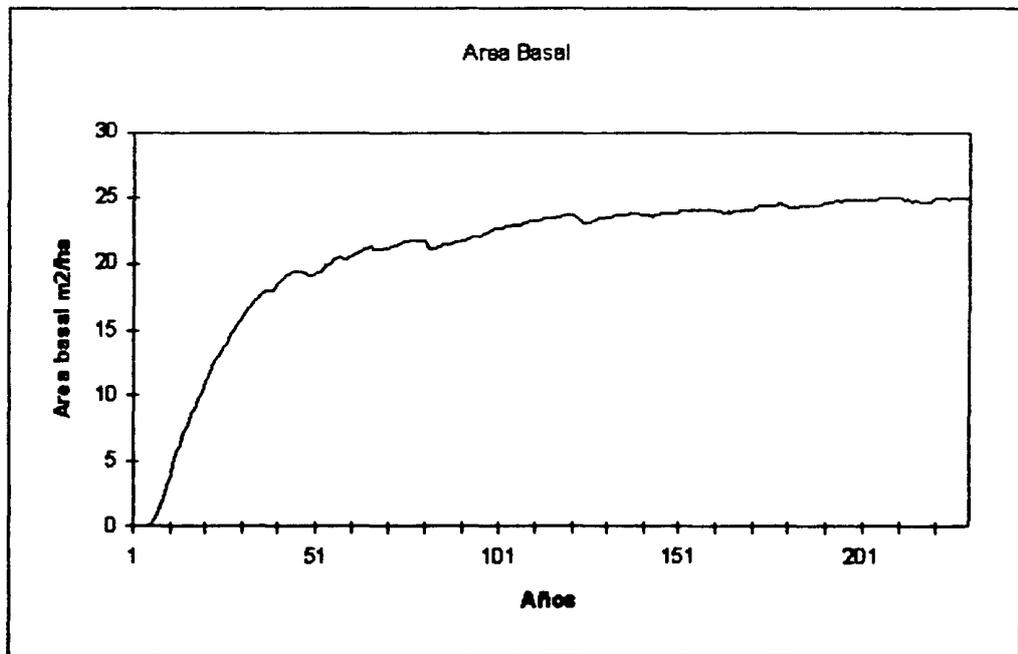


Figura 11. Resultado de la simulación del parámetro área basal, a partir de un suelo desnudo y para 230 años.

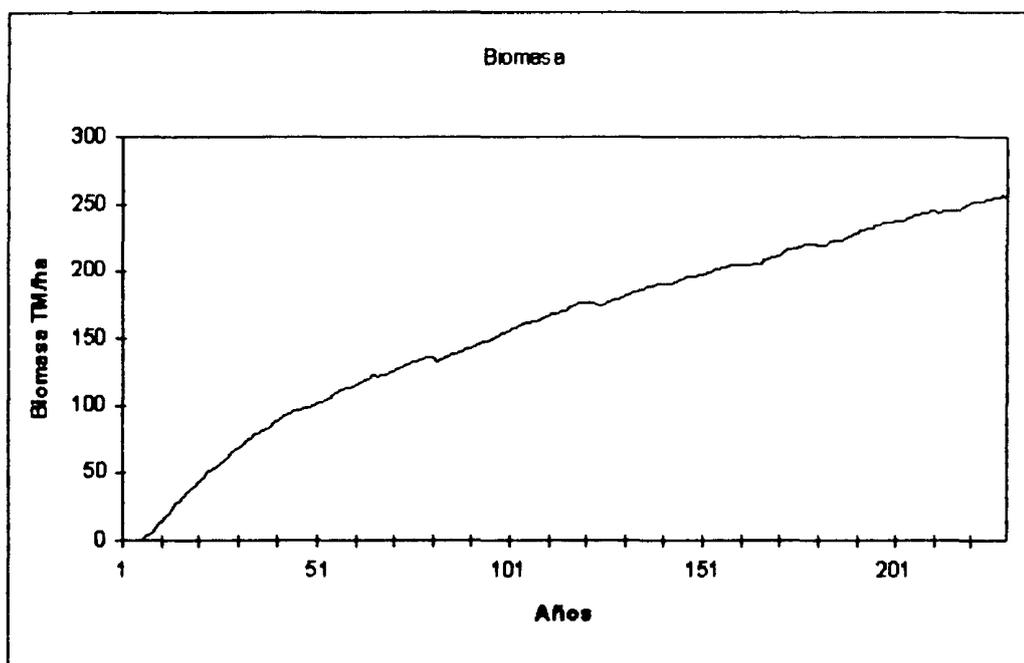


Figura 12. Resultado de la simulación del parámetro biomasa maderable, a partir de un suelo desnudo y para 230 años.

ha mostrado valores muy adecuados a nivel de árboles individual. Esta deficiencia ha limitado los cálculos del volumen de madera aprovechable; y por otro lado los valores de la altura promedio del rodal mostraron estar más ajustados, pero tampoco permitió realizar un análisis del comportamiento de la estructura vertical del rodal.

En adelante, los análisis de las simulaciones se realizará solamente para el parámetro altura promedio del dosel. Este mostró tres periodos muy definidos, el primero que abarca los primeros 30 años de simulación, de crecimiento acelerado y llega a tener hasta 25,4 m de altura promedio, la tasa promedio de incremento fue de 0,84 m/año. En el segundo periodo, comprendido entre los 30 y 160 años, el crecimiento es moderado, alcanzando una altura promedio de 40 m, el incremento anual en este periodo es de 0,11 m. Finalmente, el periodo comprendido entre los 160 y 230 años, el crecimiento de altura es mucho más lento hasta llegar a la altura de 41,7 m en promedio, la tasa de incremento en este último periodo es de 0,024 m/año (Figura 13).

Simulación de los diferentes escenarios de aprovechamiento y sus efectos.

De acuerdo a los escenarios diseñados, uno de los factores considerados fue la intensidad de aprovechamiento en función del diámetro mínimo de corta. Para

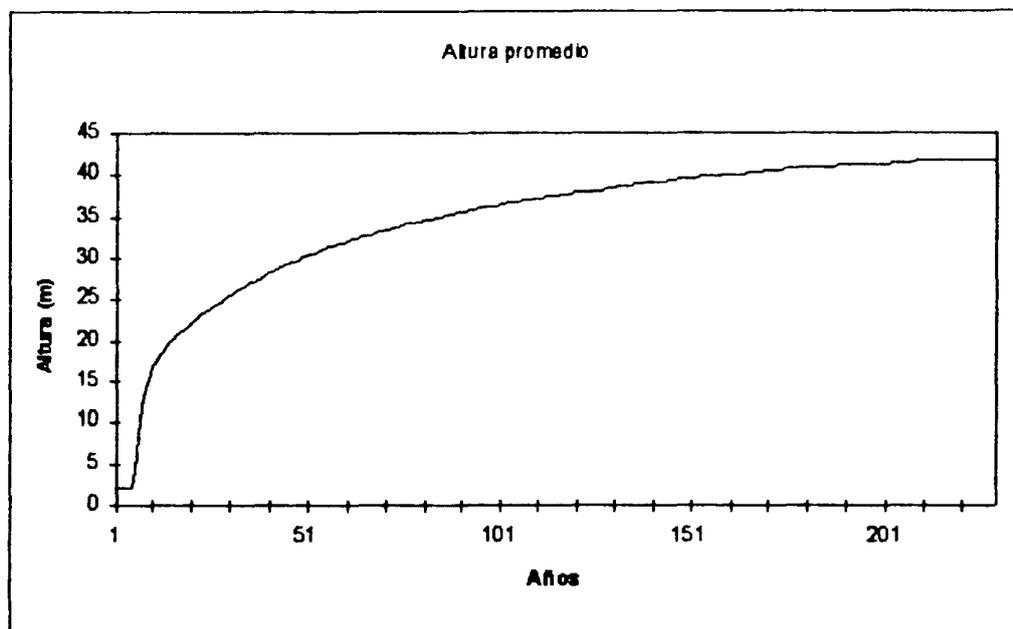


Figura 13. Resultado de la simulación del parámetro altura promedio del dosel, a partir de un suelo desnudo y para 230 años

simular las diferentes intensidades de aprovechamiento, se procesó el archivo Z.DUMP que fue generado después de 230 años de simulación con la opción 2 de INDATA en el archivo CONTROL. En este archivo se seleccionaron todos los árboles con diámetros que sobrepasaban los mínimos indicados, así se generó tres tipos de archivos Z.DUM, donde fueron seleccionados todos los árboles con más de 30, 60 y 80 cm de dap.

Aprovechamiento con 30 cm de diámetro mínimo

Cuando la intensidad de aprovechamiento consideraba 30 cm de diámetro mínimo de corta, se simuló la extracción de 90,8 árboles/ha, lo que representó el 40% del total de árboles existentes por unidad de área. La mayoría de los árboles eran de las especies *Cedrela odorata*, *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea*.

Con respecto al número de árboles aprovechados por categoría diamétrica, 25,3 árboles correspondían a la categoría de tamaño de 50 a 60 cm de dap, 23,9 árboles a la categoría de 60 a 70 cm de dap y solamente 1,9 árboles a la categoría de 80 a 90 cm (Tabla 11).

El bosque remanente contiene 154 árboles/ha, lo que representa el 60% del total de árboles del bosque simulado. De ellos, los más abundantes son de la categoría diamétrica de 0 a 10 cm de dap con 138,8 árboles/ha. Las especies más

abundantes son el *Spondias mombin* y *Cedrela odorata*, las de menor abundancia fueron los grupos de especies de nómadas grandes y pioneras grandes (Tabla 12).

El área basal, con esta intensidad de aprovechamiento, disminuyó drásticamente de 24,93 a 0,53 m²/ha significando una reducción del 98% del área basal total del bosque. El diámetro promedio general disminuyó de 24,7 cm de dap a 5,6 cm, representando una pérdida del 77% del dap promedio del rodal. Los niveles de biomasa también fueron reducidos drásticamente, bajando de 49,56 hasta 1,94 Mg/ha, lo que representa una reducción del 96 % de la biomasa total. La altura promedio del rodal también disminuyó muy significativamente, de 41,7 a 5,2 m, representando una disminución del 87% de la altura promedio.

Tabla 11. Distribución del número de árboles aprovechados por categoría diamétricas, cuando se aplicó la extracción con 30 cm de diámetro mínimo de corta

Especies	Categorías diamétricas						TOTAL
	30-39,9	40-49,9	50-59,8	60-69,9	70-79,9	80-89,9	
BOqu	1,8	6,1	8,8	9,4	9,8	1,9	37,8
CEod	6,4	10,1	13,6	12,9	3,6	0,0	46,6
SPmo	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
TAro	0,0	1,8	2,9	1,6	0,0	0,0	6,3
NOgr	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Plgr	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
TOTAL	8,3	18,0	25,3	23,9	13,4	1,9	90,8

Tabla 12. Número de árboles por hectárea del bosque remanente cuando se aplicó el aprovechamiento con 30 cm de diámetro mínimo de corta.

Especies	Categorías diamétricas				TOTAL
	0 - 9,9	10 - 19,9	20 - 29,9	≥30	
BOqu	22,7	3,8	0,4	0,0	26,9
CEod	39,6	8,1	1,0	0,0	48,7
SPmo	52,4	0,2	0,0	0,0	52,6
TAro	23,9	2,2	0,1	0,0	26,2
NOgr	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Plgr	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
TOTAL	138,8	14,3	1,5	0,0	154,6

Aprovechamiento con 60 cm de diámetro mínimo

La intensidad de aprovechamiento, en este caso, fue menos drástica que la anterior, en total se aprovecharon 39,2 árboles/ha, representando el 16% de la cantidad del total de árboles del rodal. De esa cantidad, 23,9 árboles correspondían a la categoría diamétrica de 60 a 70 cm de dap (Tabla 13). Las especies más aprovechadas fueron *Bombacopsis quinata* y *Cedrela odorata*.

La vegetación remanente del bosque está compuesta por 206,2 árboles, lo que representa el 84% del total de árboles del rodal, de ellos 138,8 pertenecen a la categoría diamétrica de 0 a 10 cm (Tabla 14). Con respecto a la composición florística del bosque, se acentúa la dominancia de las cuatro especies *Cedrela odorata*, *Spondias mombin*, *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea*.

El área basal disminuyó de 24,93 a 10,34 m²/ha representando una reducción del 58% de área basal total del rodal. El diámetro promedio disminuyó de 24,7 cm de dap a 16,4 cm (34% del diámetro promedio general del rodal).

El parámetro biomasa, disminuyó de 255,29 a 91,74 TM/ha, habiendo descendido hasta el 64% de la biomasa maderable total. La altura promedio del rodal también disminuyó de 41,7 m a 34,6 m de altura del rodal, significando una reducción del 17% en promedio.

Tabla 13. Distribución de los árboles aprovechados por categorías diamétricas, cuando se aplicó 60 cm de diámetro mínimo de corta

Especies	Categorías diamétricas			TOTAL
	60 -69,9	70-79,9	≥80	
BOqu	9,4	9,8	1,9	21,1
CEod	12,9	3,6	0,0	16,5
SPmo	0,0	0,0	0,0	0,0
TAró	1,6	0,0	0,0	1,6
NOgr	0,0	0,0	0,0	0,0
Plgr	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	23,9	13,4	1,9	39,2

Tabla 14. Distribución del número de árboles remanentes, cuando el aprovechamiento se realizó con 60 cm de diámetro mínimo de corta.

Especies	Categorías diamétricas						TOTAL
	0 - 9,9	10 -19,9	20-29,8	30-39,9	40-49,9	50-59,9	
BOqu	22,7	3,8	0,4	1,8	6,1	8,8	43,6
CEod	39,6	8,1	1,0	6,4	10,1	13,6	78,8
SPmo	52,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	52,7
TAró	23,9	2,2	0,1	0,0	1,8	2,9	30,9
NOgr	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Plgr	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
TOTAL	138,8	14,3	1,5	8,3	18,0	25,3	206,2

Aprovechamiento con 80 cm de diámetro mínimo

Los efectos que causó este sistema de aprovechamiento se puede describir como muy leves; la mayoría de los parámetros disminuyeron muy ligeramente, y en muchos casos el proceso de recuperación fue inmediato.

En este caso, solamente se aprovecharon 1,9 árboles/ha, que representó el 0,01% del total de árboles existentes en el rodal, cantidad muy insignificante, que permitía dejar una vegetación remanente casi intacta. Dicha cantidad se debe a los pocos árboles que superaban el diámetro mínimo después de la simulación.

El área basal total disminuyó muy levemente (4%), pasando de 24,93 a 23,95 m²/ha. El diámetro promedio disminuyó solamente en 2%, pasando de 24,69 a 24,26 cm de dap. La biomasa disminuyó en 5%, reduciéndose de 255,294 a 243,04 Mg/ha. Los niveles de altura promedio del rodal disminuyeron de 41,7 a 41,2 m, significando una reducción del 1%.

Simulación del proceso de recuperación del bosque después del aprovechamiento

Realizada la simulación del aprovechamiento, de acuerdo a los diferentes escenarios de intensidad, y en función del diámetro mínimo de corta, se procedió al modelamiento del proceso de respuesta del bosque, aplicando tres niveles de ciclos de corta (años de simulación) y a través de sus diferentes parámetros de salida del

modelo fue posible analizar los diferentes escenarios y definir aquéllos que permitirían procesos de recuperación viables.

Proceso de recuperación del bosque en escenarios con ciclos de corta de 30 años

Comprendió el análisis de los escenarios 1, 4 y 7. En el primero la simulación fue realizada combinando con el aprovechamiento de todos los árboles con más de 30 cm de dap, el escenario 4 simulaba el aprovechamiento de los árboles con más de 60 cm de dap y finalmente en el escenario 7 simulaba el aprovechamiento de todos los árboles con más de 80 cm de dap.

Composición florística

En el escenario 1, la composición florística aumentó paulatinamente después del aprovechamiento. En el momento inicial se componía de 21 especies, de las cuales 4 son especies individuales y las demás están incluidas en dos grupos de especies (nómadas grandes y pioneras grandes), en los 10 primeros años ingresan el grupo de especies pioneras pequeñas, representados con árboles en la primera categoría de tamaño (0-10 cm de dap); a los 20 años se incrementa la composición florística con la inclusión del grupo de especies nómadas pequeñas y de 4 nuevas especies individuales (*Albizia colombiana* (ALco), *Ceiba pentandra* (CEpe), *Cordia colobococca* (COco) y *Pithecellobium saman* (Plsa), tres de ellas tienen características ecológicas del grupo de nómadas grandes y sólo una (COco) pertenece al grupo de la nómadas medianas. Finalmente, a los 30 años de simulación, la composición del bosque consta de 45 especies, de las cuales 7 son especies individuales y 38 corresponden a 4 grupos de especies (pioneras pequeñas, pioneras medianas, nómadas medianas y nómadas grandes).

En el escenario 4, la composición florística fue incrementándose de 21 especies (composición florística inicial) hasta llegar a una composición mucho más amplia a los 20 años de simulación, debido a la inclusión de las especies de los grupos de nómadas medianas y pioneras pequeñas, con árboles representados en la primera categoría de tamaño (0-10 cm de dap). Finalmente, a los 30 años, la cantidad de especies disminuye y la composición florística está conformada por 16 especies, de las cuales 8 son especies individuales y 8 pertenecen al grupo de las nómadas grandes. Esta disminución se debe seguramente a las condiciones de sombra que tiene el bosque, lo que ocasiona que los grupos de pioneras y nómadas medianas no encuentren las condiciones adecuadas para establecerse.

En el escenario 7, la composición florística siguió disminuyendo, a pesar del ingreso momentáneo de especies pioneras pequeñas en los 10 primeros años de simulación, y de las pioneras grandes, nómadas grandes y nómadas medianas a los

20 años. Estos grupos han estado representados con árboles pequeños, todos en la primera categoría diamétrica (0-10 cm de dap). Finalmente, a los 30 años, la composición del bosque está formada solamente por 7 especies individuales. Durante el período de simulación la permanencia de las especies pioneras y nómadas no ha sido muy estable debido, posiblemente, a los requerimientos de luz que ellos tienen y de las condiciones inadecuadas que el bosque les brindó, al no haber sido alterado significativamente por el aprovechamiento.

Número de árboles por hectárea

La recuperación de la densidad de árboles en los tres escenarios ha mostrado marcadas diferencias. En el escenario 1, el aumento de la densidad ha sido muy rápido, pasando de 154,7 a 1403,3 árboles/ha. Los ingresos de los árboles se han distribuido regularmente en todas las categorías diamétricas, como muestra la Figura 14. Luego de los 30 años de simulación solamente 1,5 árboles/ha han llegado a sobrepasar los 30 cm de dap, lo que nos muestra que el período de recuperación del bosque es muy reducido, consiguientemente es un escenario que no garantiza la sustentabilidad de recurso. Esa cantidad de árboles representa el 0,02% de recuperación del total de árboles extraídos (90,8 árboles/ha).

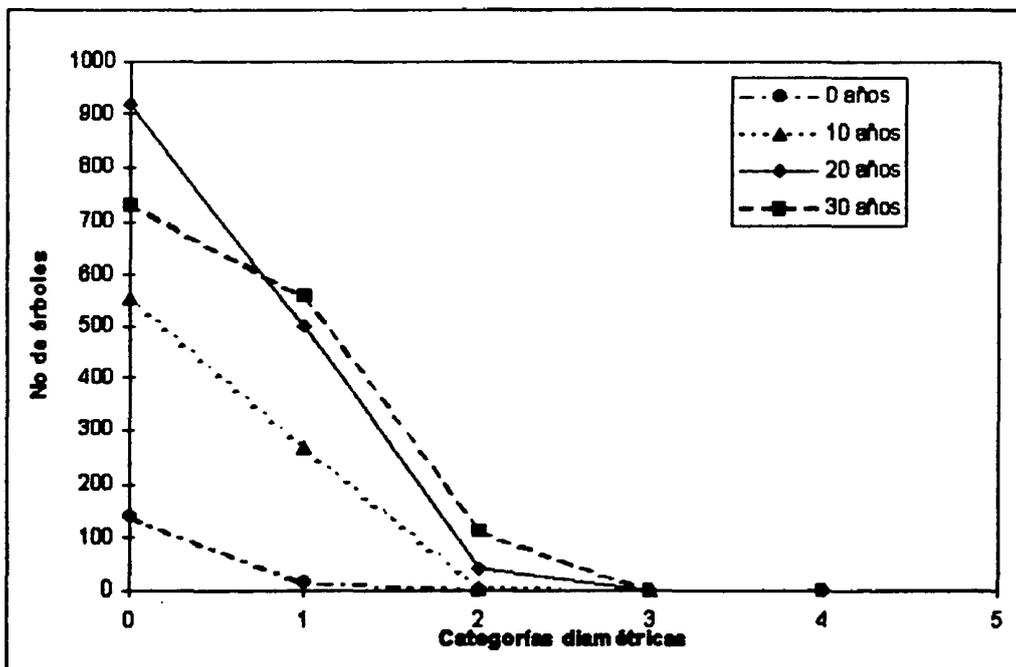


Figura 14. Distribución del número de árboles por categoría diamétrica, en cuatro momentos de la simulación del escenario 1.

En el escenario 4 el número de árboles a 30 años de simulación, subió a 1144,6 árboles/ha, los nuevos individuos se distribuyeron en las dos primeras categorías diamétricas (Figura 15). Al final del periodo el incremento de número de árboles con más de 60 cm de dap, fue de 18,1 árboles/ha lo que representa 46% de recuperación del total de árboles extraídos (39,1 árboles/ha). Este escenario con respecto al número de árboles, no alcanza los niveles de reposición, por lo que tampoco puede ser considerarlo como un escenario que garantiza la recuperación del bosque.

En el escenario 7, el número de árboles aumentó de 243,6 a 324,8 árboles/ha. La distribución de árboles por categoría diamétrica, en cuatro diferentes momentos, se muestra en la Figura 16; en general, guardan una distribución regular. Al final del proceso de simulación 7,7 árboles ha⁻¹ superaron los 80 cm de dap, el cual es muy superior al número de árboles aprovechados (1,9 árboles ha⁻¹), haciendo de este escenario, en consideración al número de árboles recuperados, como una alternativa de manejo. A pesar de que, el número de árboles supera ampliamente lo extraído, comparándolo con el número de árboles que tiene el bosque natural (9,2 árboles/ha), muestra una ligera disminución.

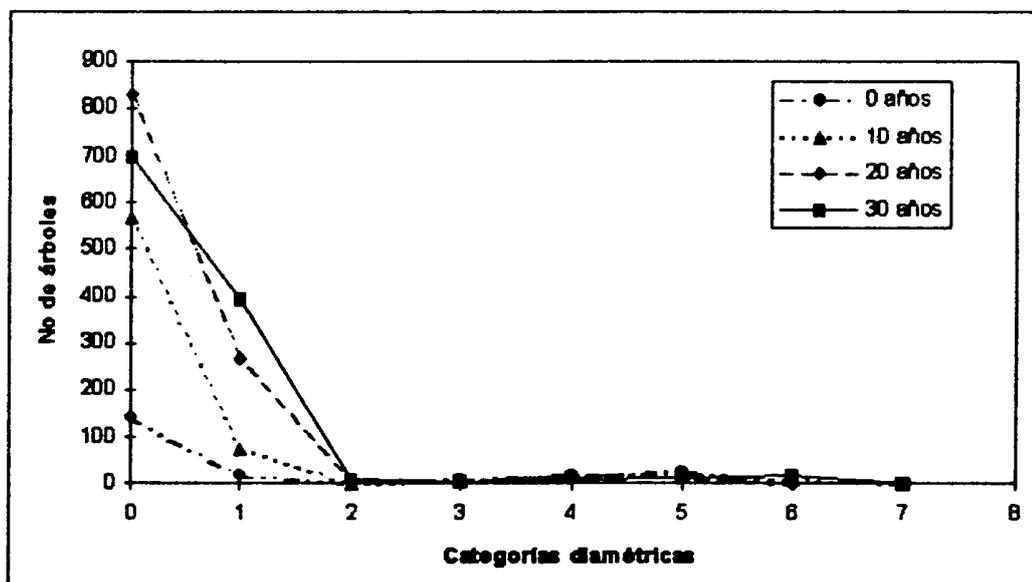


Figura 15. Distribución del número de árboles por categoría diamétrica, en cuatro momentos de la simulación del escenario 4.

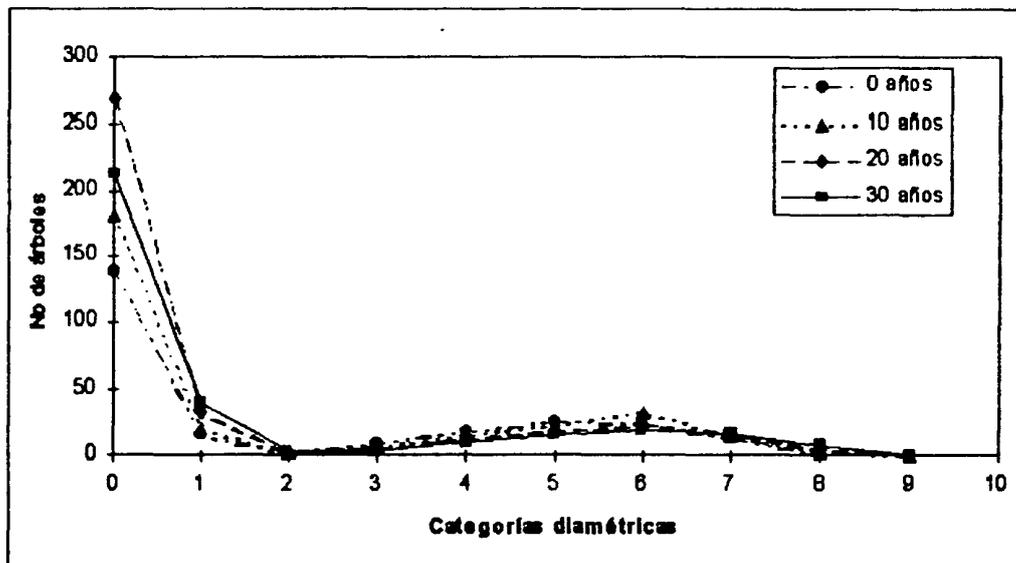


Figura 16. Distribución del número de árboles por categoría diamétrica, en cuatro momentos de la simulación del escenario 7.

Diámetro promedio y área basal

El proceso de recuperación del área basal en estos tres escenarios ha tenido diversos matices. En el escenario 1 la recuperación fue muy rápida, llegando a tener 16,497 m²/ha (Figura 17), el incremento anual fue de 0,53 m²/ha/año. Las especies con más incremento fueron *Cedrela odorata*, *Spondias mombin*, *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea*. El área basal alcanzada representa el 67% con respecto a la del bosque natural (sin intervenir). De igual manera, el diámetro promedio subió de 5,6 a 10,8 cm de dap, debido al aumento considerable de nuevos individuos en las primeras categorías diamétricas, la tasa de incremento anual fue de 0,17 cm. Este nuevo promedio diamétrico representa el 53% del dap promedio en el bosque natural.

En el escenario 4, la tendencia de recuperación del área basal ha sido bastante rápida (Figura 18), subiendo de 10,34 a 18,70 m²/ha, a un ritmo promedio de 0,28 m²/ha/año; a pesar de ello, el área basal obtenida representa el 76 % de la que tiene el bosque natural. La tendencia del diámetro promedio disminuyó de 16,4 a 10,4 cm de dap, debido a la fuerte influencia que marcó el ingreso de nuevos árboles en las categorías de 0-10 y 10-20 cm de dap.

En el escenario 7, el comportamiento del área basal ha sido ascendente, habiendo aumentado de 23,95 a 24,02 m²/ha (Figura 19), la tasa promedio de crecimiento anual fue de 0,004 m²/ha/año. El área basal, al final de la simulación, representa el 98% del área basal del bosque natural, lo que significó que este

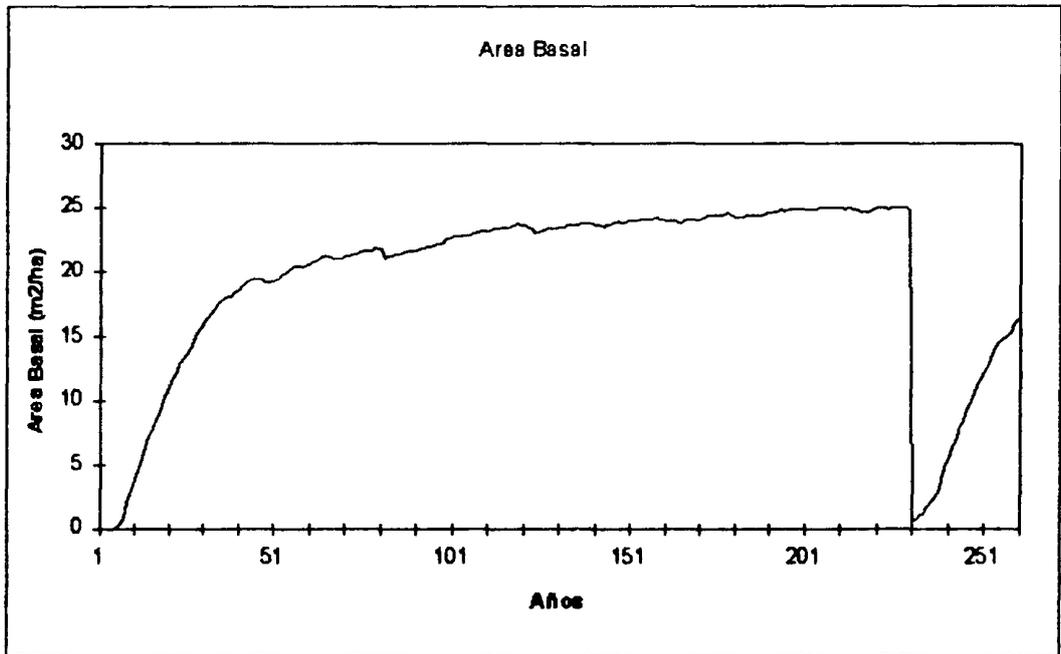


Figura 17. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro área basal en el escenario 1.

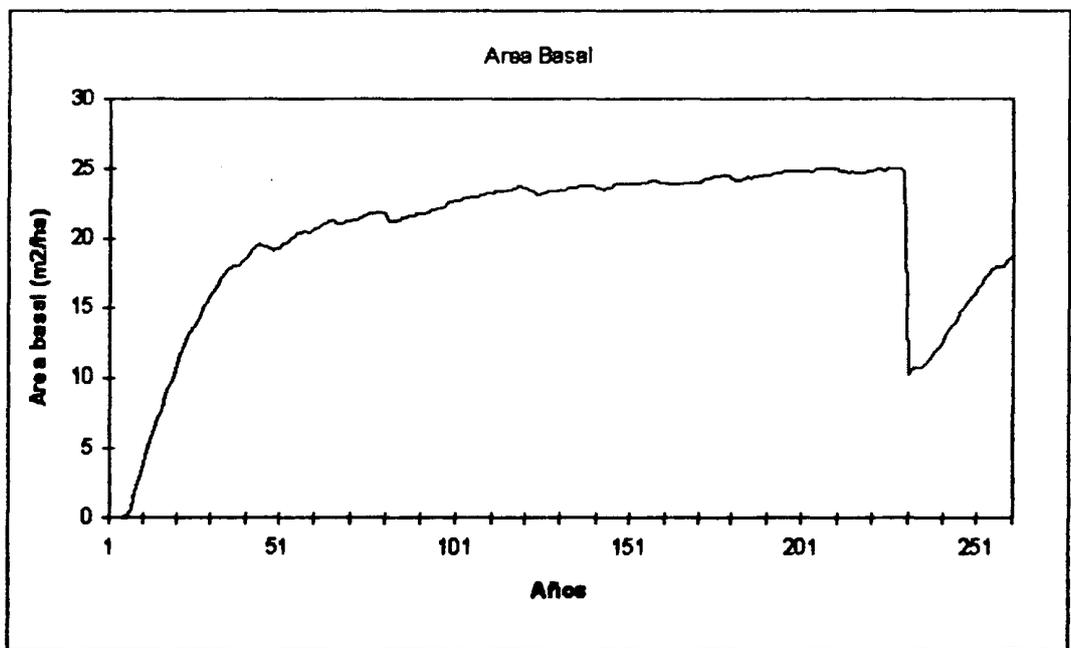


Figura 18. Resultado de la simulación, mostrando la recuperación del parámetro área basal en el escenario 4.

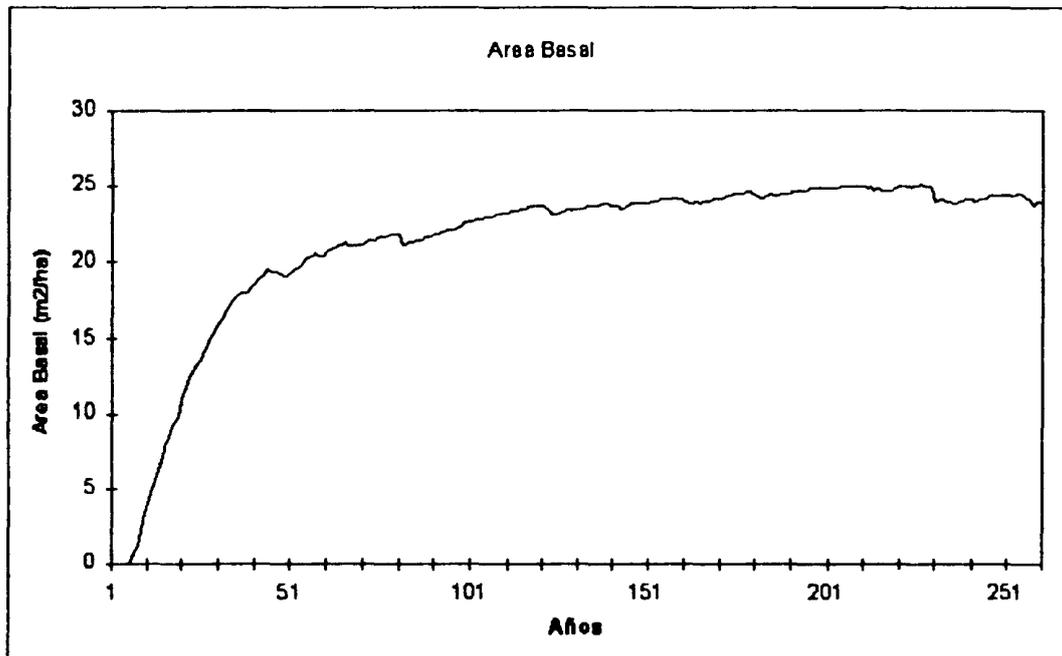


Figura 19. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro área basal en el escenario 7.

escenario, en términos de recuperación del área basal, se puede considerar como sustentable. El diámetro promedio disminuyó de 24,3 a 18,6 cm de dap, debido al considerable aumento de nuevos árboles en las categorías diamétricas menores.

Biomasa maderable

La recuperación de la biomasa total en el escenario 1 también fue violenta (Figura 20), subiendo de 1,94 a 73,64 Mg/ha, la tasa promedio de crecimiento anual fue de 2,29 Mg/ha/año, habiendo alcanzado, a los 30 años de simulación una recuperación de hasta un 28% de la biomasa total con respecto al bosque natural.

En el escenario 4, la biomasa ascendió después de 30 años de simulación, de 91,74 a 138,94 Mg/ha; el ritmo anual de crecimiento fue de 1,573 Mg/ha. Esta cantidad de biomasa final representó el 52% de la biomasa total con respecto al bosque natural (Figura 21).

La tendencia de recuperación en el escenario 7 fue mucho más débil, debido a la poca biomasa a reponer por el aprovechamiento mínimo realizado, pero de todas maneras, se observó un crecimiento de 243,04 a 256,83 Mg/ha (Figura 22), lo que representa un crecimiento anual de 0,46 Mg/ha, el más bajo de los tres escenarios analizados. Comparando esta biomasa total con el bosque natural, éste último solamente lo supera en un 3,5%.

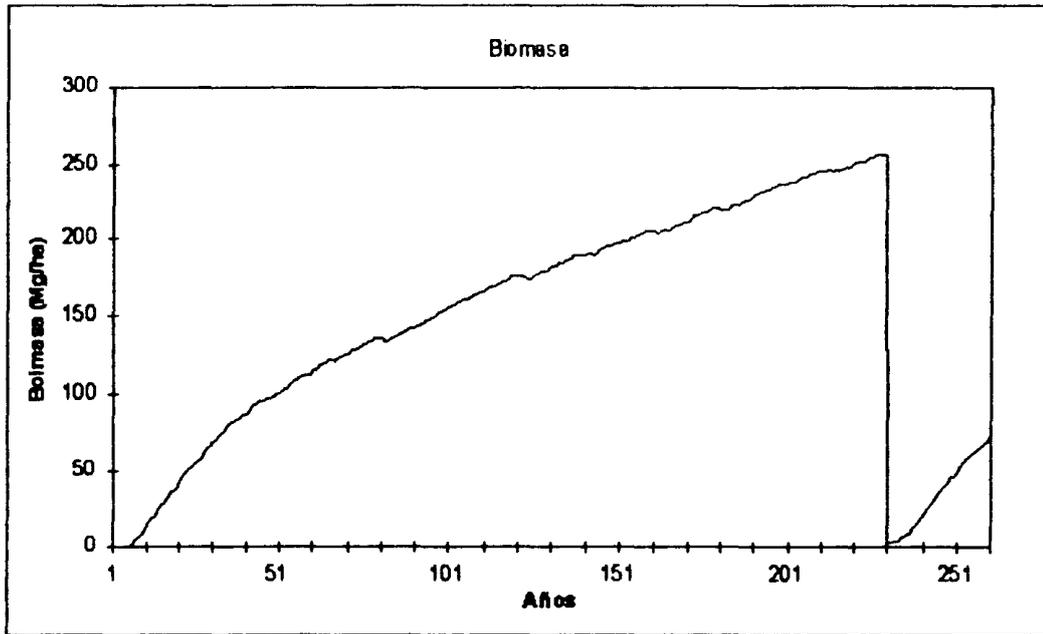


Figura 20. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro biomasa total en el escenario 1.

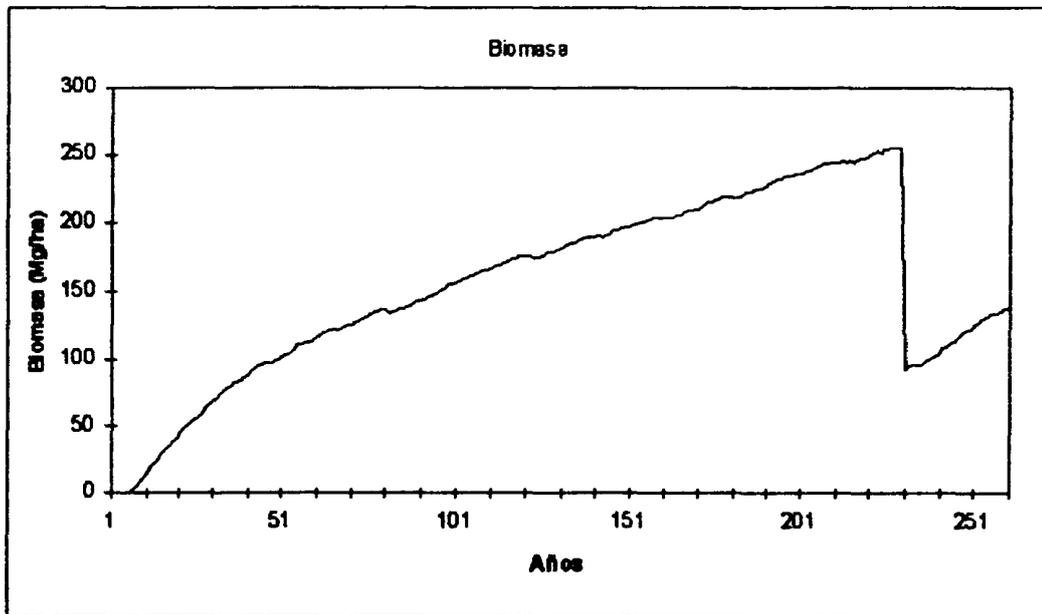


Figura 21 Resultado de la simulación, mostrando la recuperación del parámetro biomasa total en el escenario 4.

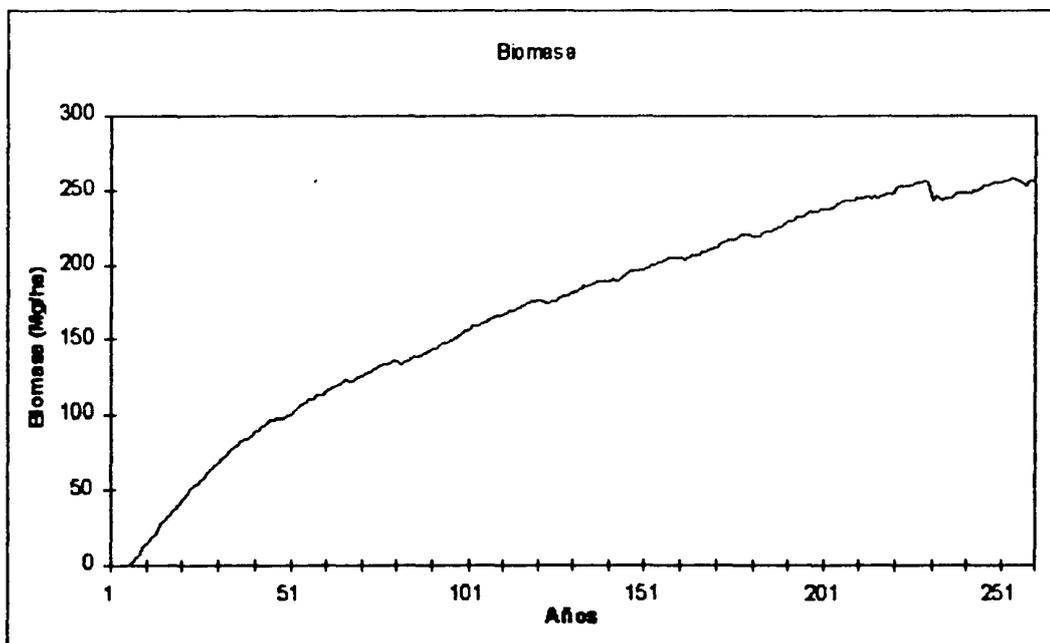


Figura 22. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro biomasa total en el escenario 7.

Altura promedio del rodal

La altura promedio del rodal ha tenido diferente comportamiento en los tres escenarios analizados. En el escenario 1 el aumento fue mucho mas violento, pasando de 5,2 a 25,8 m (Figura 23), en promedio significó un incremento anual de 0,69 m/año. Esta altura alcanzada representa el 62% de la altura en el bosque natural. En el escenario 4 (Figura 24), la altura creció moderadamente pasando de 34,6 a 35,6 m de altura, en este caso la tasa de crecimiento fue de 0,033 m/año. La altura alcanzada en este escenario representa el 86% de la altura del bosque sin aprovechar. Finalmente, en el escenario 7, la tendencia del parámetro altura promedio fue descendente, tal como sucedió en la simulación del bosque natural (Figura 25).

Proceso de recuperación en escenarios de corta de 60 años

Los escenarios 2, 5 y 8, fueron aquellos que consideraban el ciclo de corta de 60 años (período de simulación en el modelo) combinados con el factor de aprovechamiento de los árboles mayores de 30, 60 y 80 cm de diámetro, respectivamente.

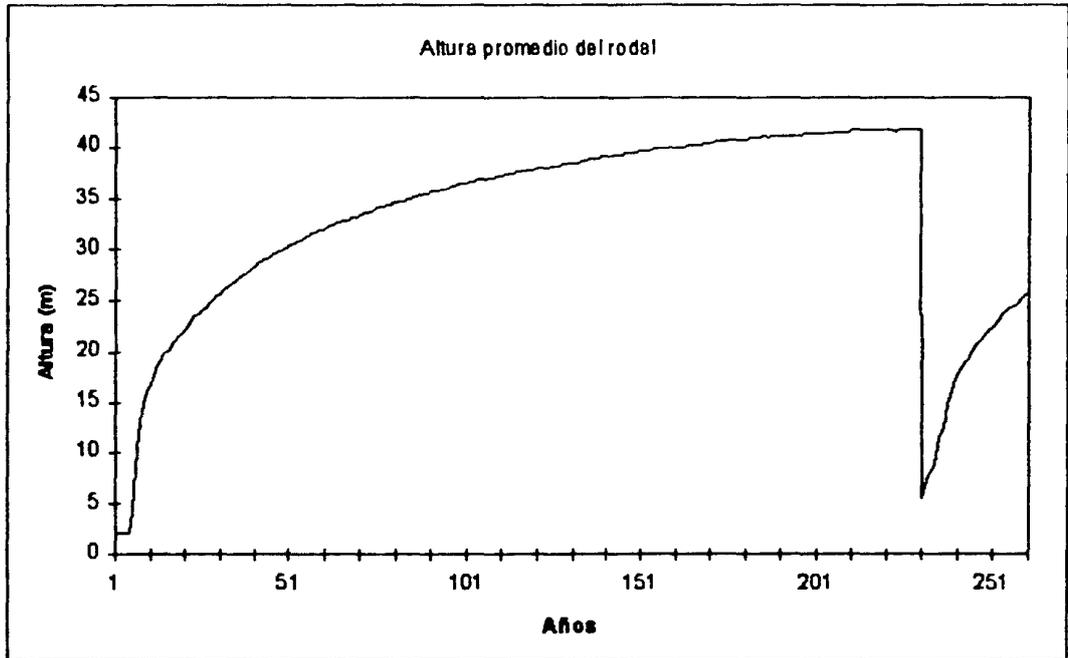


Figura 23. Resultado de la simulación mostrando el proceso de recuperación del parámetro altura promedio del rodal en el escenario 1.

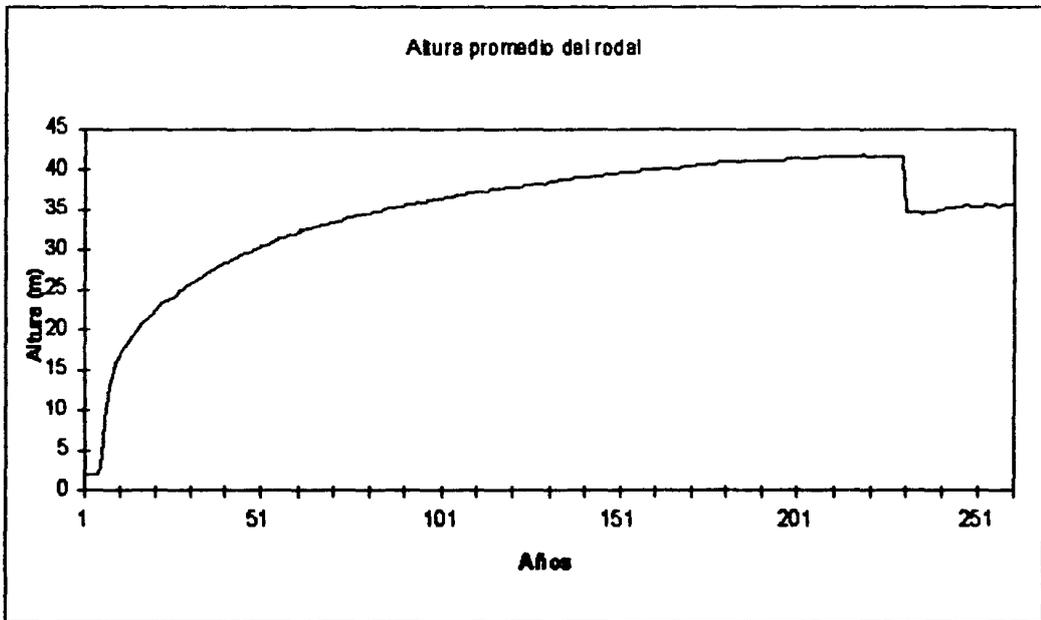


Figura 24. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro altura promedio del rodal en el escenario 4.

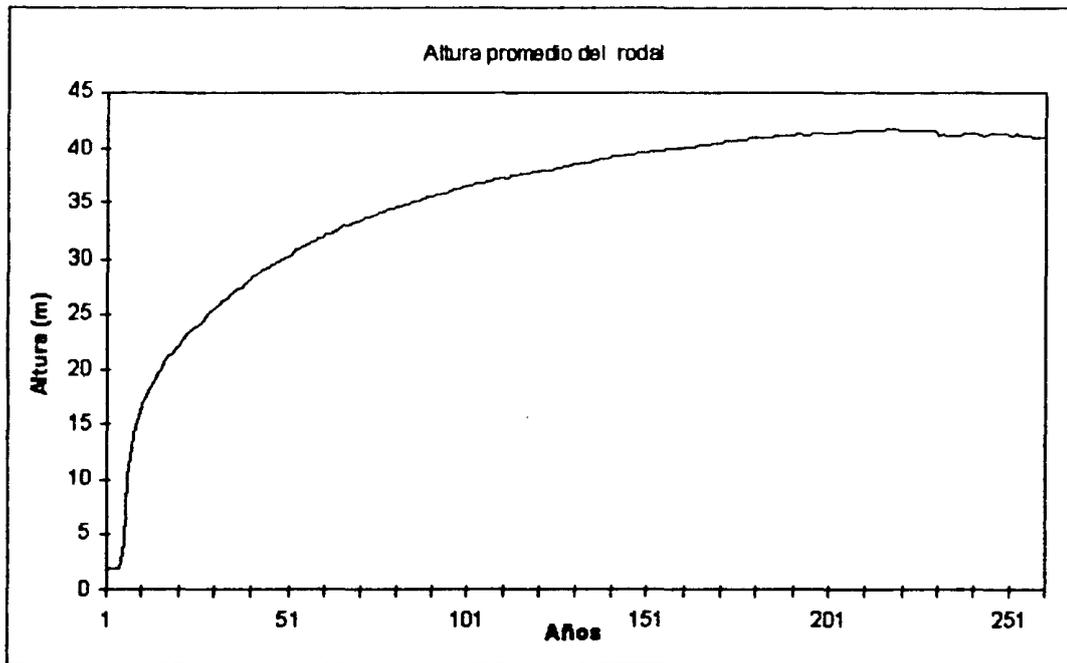


Figura 25. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro altura promedio del rodal en el escenario 7.

Composición florística

En el escenario 2, durante los primeros 30 años la composición florística tiene el mismo comportamiento que se detalló en el escenario 1. Al final de la simulación (60 años), la composición florística comprende tan solo de cuatro especies individuales (*Cedrela odorata*, *Spondias mombin*, *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea*). Comparando con la composición florística del bosque natural, se nota una leve diferencia, debido a la presencia adicional de dos especies individuales (*Albizia colombiana* y *Celba pentandra*) con índices (IV200) muy bajo y con árboles solamente en la categoría diamétrica de 0-10 cm.

En el escenario 5, la composición florística también muestra un proceso decreciente, hasta llegar a los 60 años con una composición florística que incluye 14 especies, siete son individuales y siete del grupo de especies nómadas grandes. Finalmente, el escenario 8, al término de la simulación, muestra una composición con solamente siete especies individuales, dominadas principalmente por las cuatro ya mencionadas en el escenario 2.

Número de árboles por hectárea

En el escenario 2, el número de árboles/ha aumentó de 154,7 a 578,0 la tasa de incremento anual en promedio fue de 7,05 individuos. Similar crecimiento

mostraron los árboles mayores de 10 cm de dap, habiéndose incrementado de 15,88 a 546,4 árboles/ha. La distribución diamétrica al final de la simulación se torna irregular, debido a la dominancia de las categorías de 10-20 y 20-30 cm de dap, como muestra la Figura 26.

Al final de la simulación, solamente 38,8 árboles/ha superaron los 30 cm de dap, lo que representa el 43% del total de individuos aprovechados, haciendo de este escenario, con respecto al número de árboles, un sistema que no garantiza una recuperación adecuada del bosque explotado.

En el escenario 5, el número de árboles/ha ascendió de 206,3 a 591,4 siendo el incremento promedio anual de 6,4 individuos/ha. Del mismo modo, aquellos que tuvieron más de 10 cm de dap se incrementaron de 67,5 a 426,8 árboles/ha. La distribución por categorías diamétricas fue regular a excepción del año 60 (Figura 27).

Con respecto al nivel de recuperación, al final de la simulación, 22,9 árboles/ha superaron los niveles de 60 cm de dap, cantidad que representó el 59% de individuos extraídos (39,1 árboles/ha) haciendo de este escenario, con respecto al número de árboles recuperados, un sistema que no garantiza futuras cosechas.

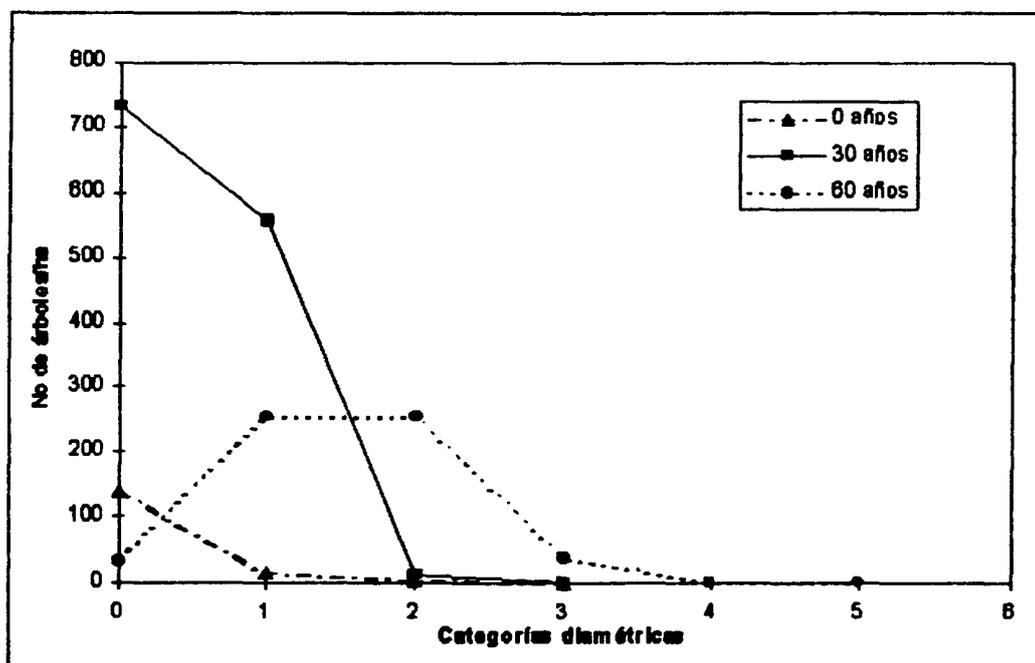


Figura 26. Distribución del número de árboles por categoría diamétrica, en tres momentos de la simulación del escenario 2.

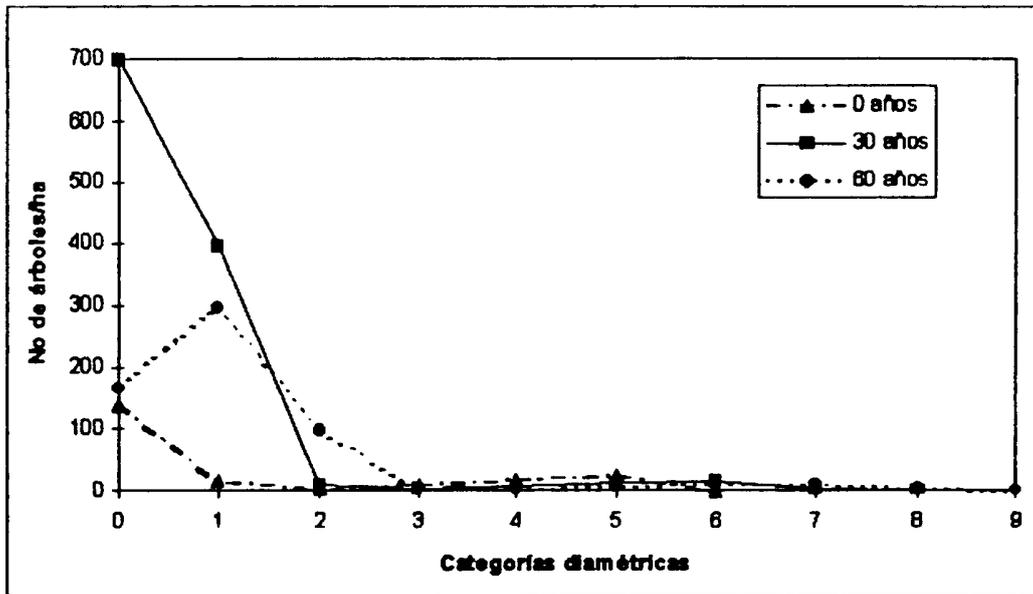


Figura 27. Distribución de los árboles por categorías diamétricas, en tres momentos de la simulación del escenario 5.

El comportamiento del crecimiento del número de árboles en el escenario 8, fue ligeramente menor que en los escenarios anteriores. El aumento fue de 188 árboles/ha, lo que significa un incremento anual de 3,1 individuos/ha. Aquellos que tuvieron más de 10 cm de dap subieron de 104,8 a 144,9 árboles/ha. La distribución diamétrica al final de la simulación es mucho más regular que los escenarios anteriores (Figura 28).

En este tratamiento 14,5 árboles/ha superaron el nivel de los 80 cm de dap, cantidad mucho mayor que los 1,9 individuos extraídos, haciendo de éste un sistema que puede garantizar la recuperación del bosque. Comparando con los valores obtenidos en el bosque natural (15,9 árboles/ha), fueron muy similares.

Diámetro promedio y área basal

En el escenario 2, el área basal aumentó de 0,55 a 20,64 m²/ha (Figura 29), habiéndose incrementado a un ritmo anual de 0,33 m²/ha. La recuperación del área basal con respecto al bosque natural fue del 83,6%. El diámetro promedio aumentó de 5,6 a 20,3 cm de dap; el ritmo de incremento fue de 0,24 cm/año. El diámetro final de este escenario es superior al que se obtuvo en el bosque natural.

El área basal en el escenario 5, creció de 10,34 a 21,56 m²/ha, el ritmo anual de incremento fue de 0,19 m²/ha (Figura 30). Al final de la simulación alcanzó recuperar el 87 % del área basal existente en el bosque natural, lo que nos permite

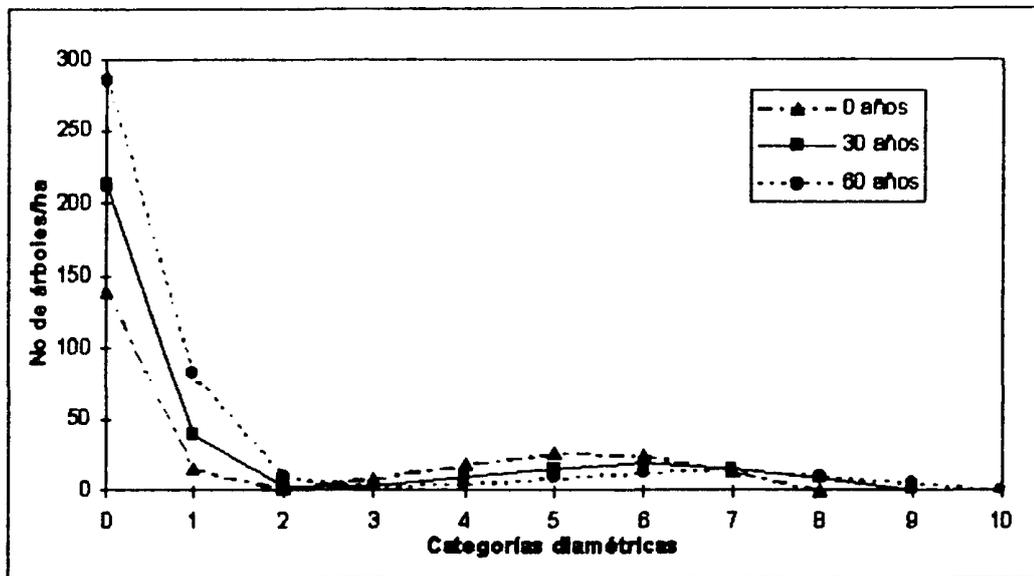


Figura 28. Distribución de los árboles por categorías diamétricas, en tres momentos de la simulación del escenario 8.

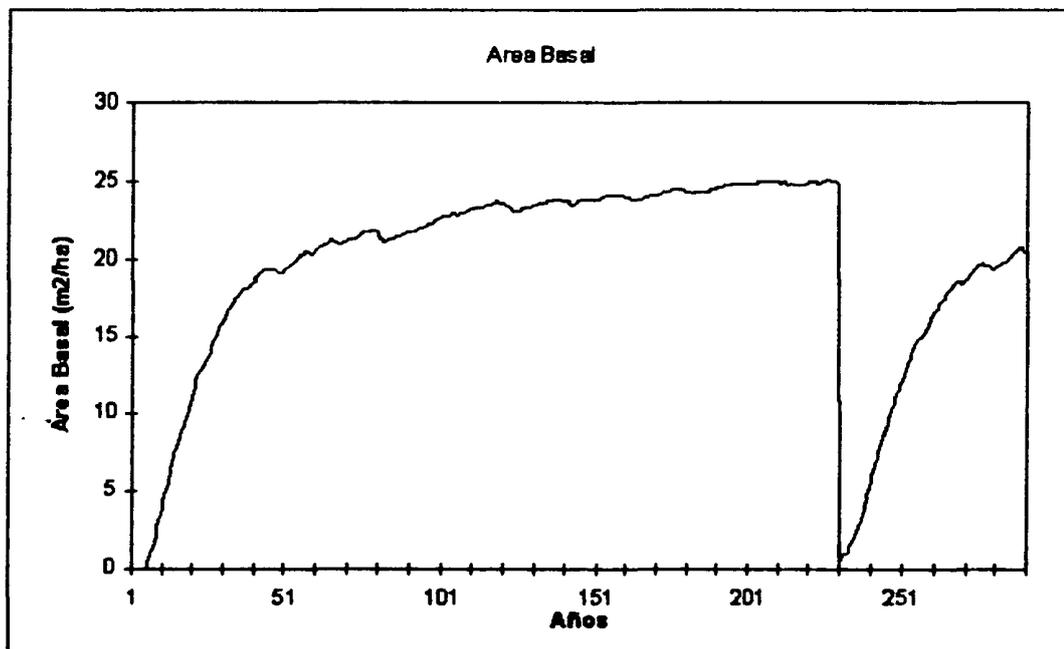


Figura 29. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de área basal en el escenario 2.

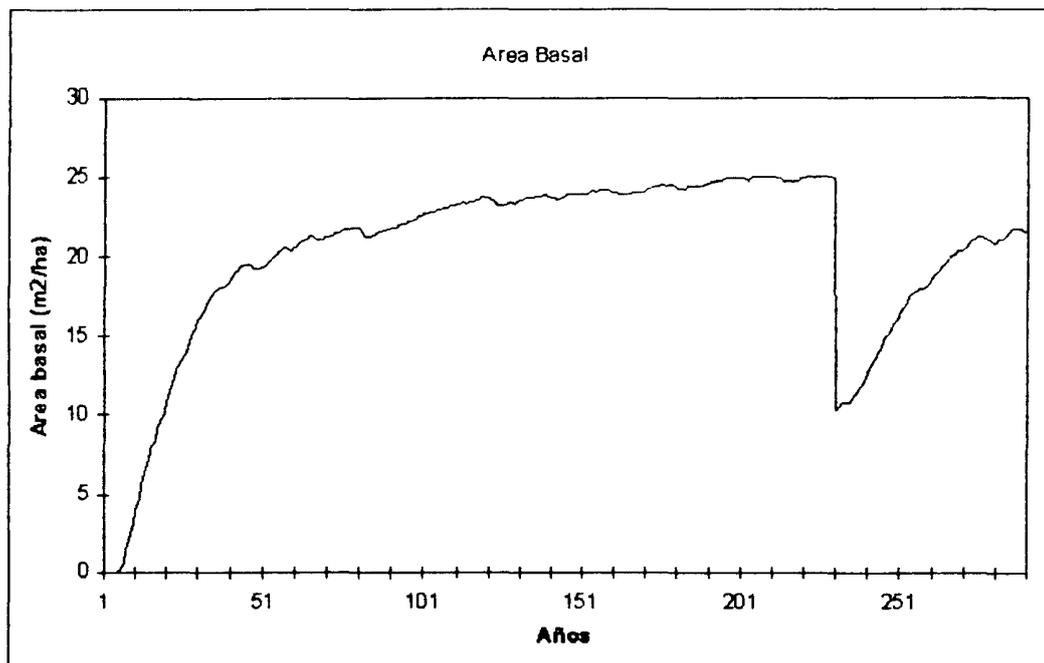


Figura 30. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro área basal en el escenario 5.

definir a este sistema de aprovechamiento, como un escenario muy cercano a garantizar una reposición de la masa extraída. En cuanto al comportamiento del diámetro promedio, éste se incrementó ligeramente pasando de 16,4 a 16,9 cm de dap promedio. La tasa de crecimiento anual fue de 0,01 cm.

El comportamiento del área basal en el escenario 8, fue también ascendente (Figura 31), subió ligeramente de 23,95 a 24,20 m²/ha; la tasa de crecimiento en este caso fue de 0,004 m²/ha. Esta tasa resulta todavía superior a la observada en el bosque natural. El diámetro promedio para el rodal disminuyó de 24,3 a 15,3 cm de dap.

Biomasa maderable

El parámetro biomasa ha tenido distintos comportamientos. En el escenario 2 se incrementó de 1,94 a 118,09 Mg/ha (Figura 32); la tasa de crecimiento fue de 1,9 Mg/ha. Al final de los 60 años de simulación la cantidad acumulada de biomasa representó el 42,5% del bosque natural. En el escenario 5 aumentó de 91,74 a 173,92 Mg/ha (Figura 33); el ritmo de crecimiento fue 1,37 Mg/ha. Este valor representa el 63% de la biomasa del bosque natural. Finalmente, el comportamiento de la misma en el escenario 8, también fue ascendente, pero a un ritmo mucho menor; la tasa de crecimiento anual en este caso fue de 0,08 Mg/ha, y la biomasa maderable total subió de 243,04 a 267,84 Mg/ha (Figura 34).

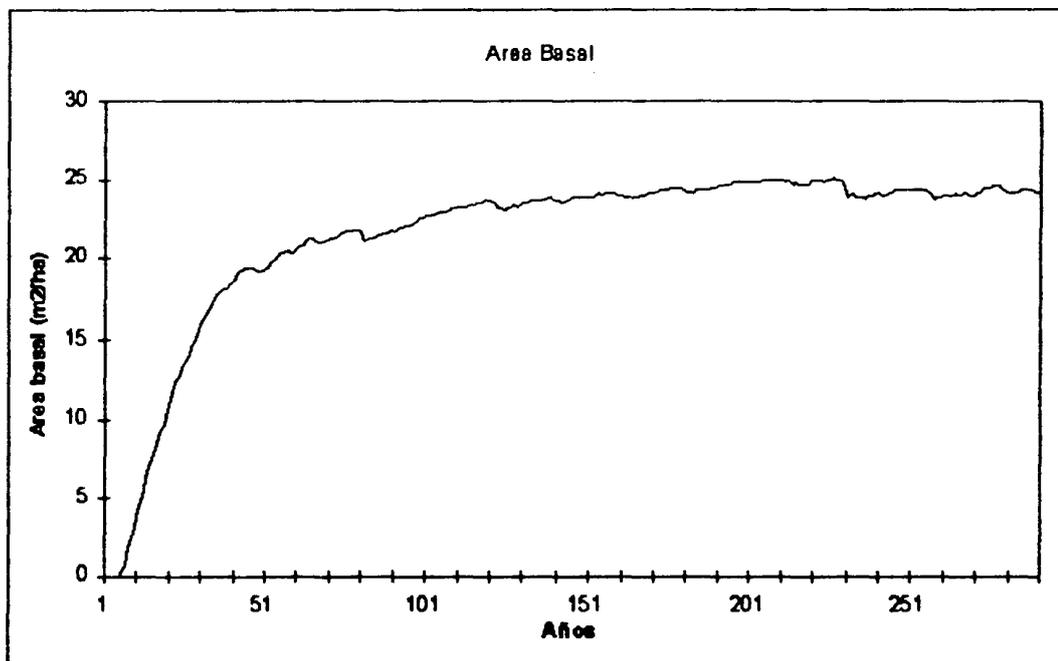


Figura 31. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro área basal en el escenario 8.

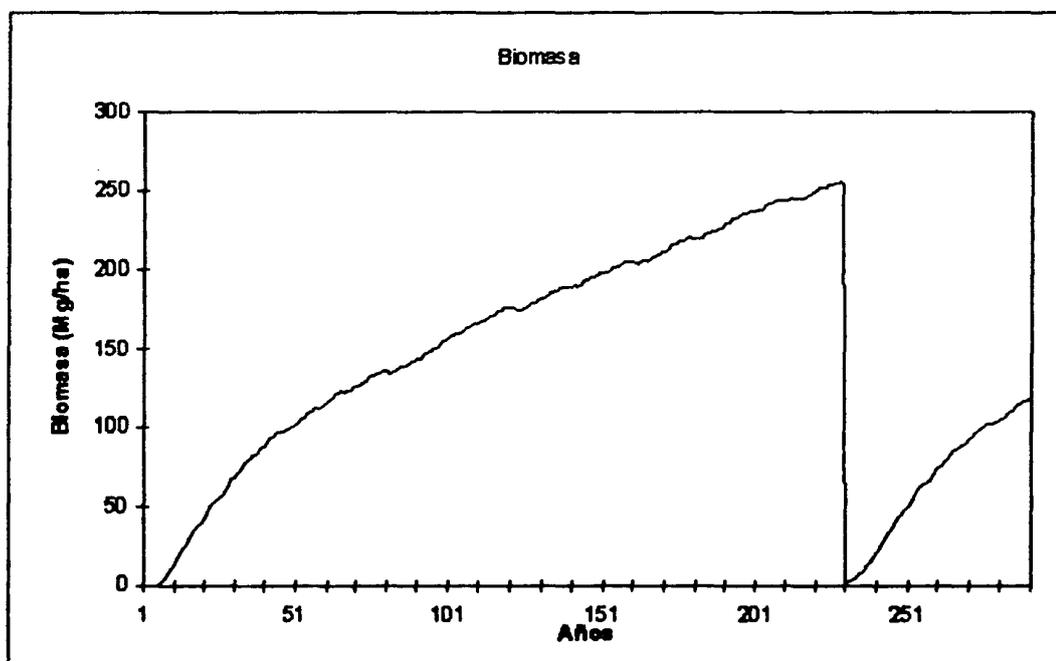


Figura 32. Resultado de la simulación, mostrando la recuperación de la biomasa en el escenario 2.

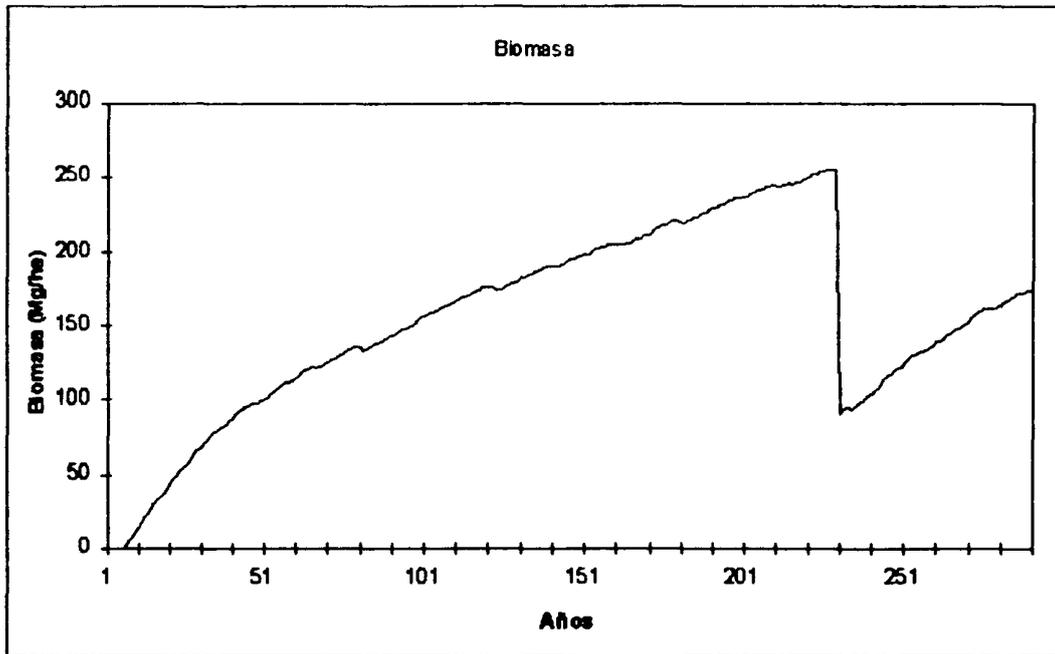


Figura 33. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro biomasa total en el escenario 5.

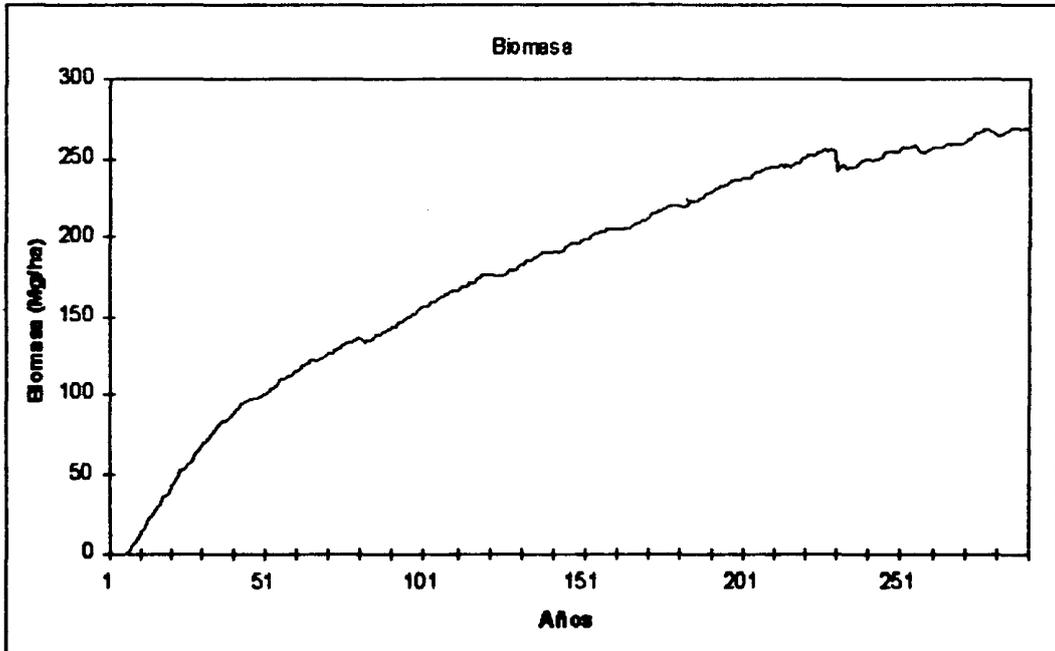


Figura 34. Resultado de la simulación mostrando la recuperación de la biomasa en el escenario 8.

Altura promedio del rodal

El comportamiento de la altura promedio fue muy distinto en los tres escenarios analizados, mientras que en los dos primeros la tendencia fue ascendente, en el tercero fue decreciente. En el escenario 2 la altura promedio del rodal creció de 5,2 a 32,8 m, el ritmo anual de crecimiento fue de 0,46 m/año. Al final de la simulación la altura alcanzada en este escenario representó un 81% con respecto al bosque natural. El proceso de recuperación fue considerable, pero a pesar del prolongado período, éste no llegó a alcanzar los niveles iniciales de altura del rodal (Figura 35).

En el escenario 5, la altura promedio creció muy ligeramente pasando de 34,6 a 36,6 m (Figura 36); el ritmo de crecimiento fue muy reducida alcanzando solamente 0,03 m/año, el cual es mucho menor en comparación al escenario anterior. La altura alcanzada representó el 90% de lo encontrado en el bosque natural. Finalmente, el escenario 8 muestra la misma tendencia decreciente que se presenta en el proceso de simulación del bosque natural (Figura 37).

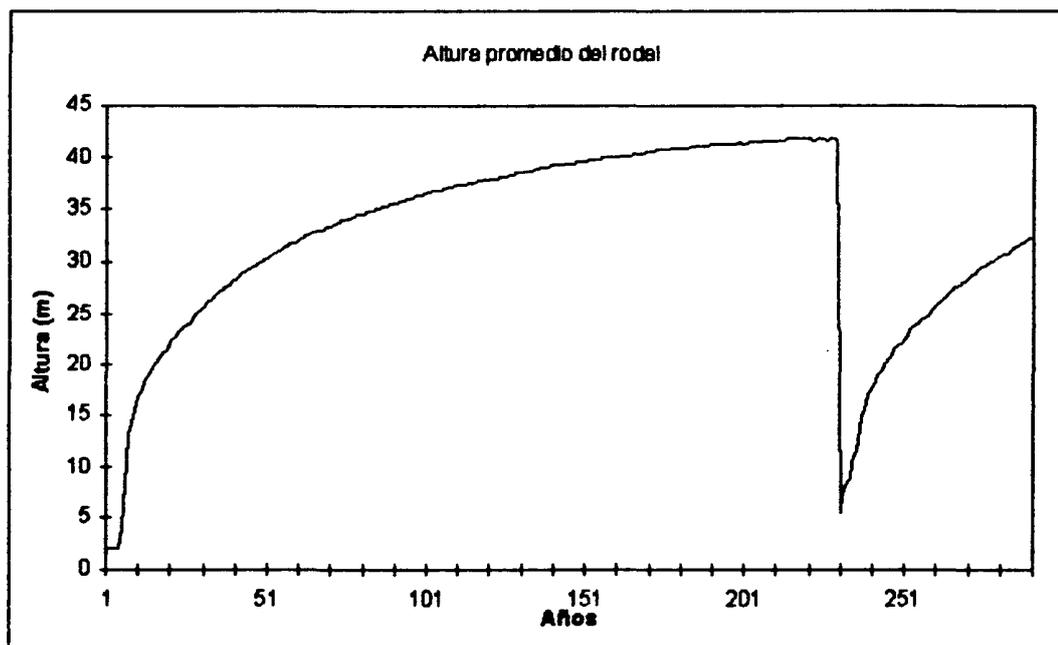


Figura 35. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro altura promedio del rodal en el escenario 2.

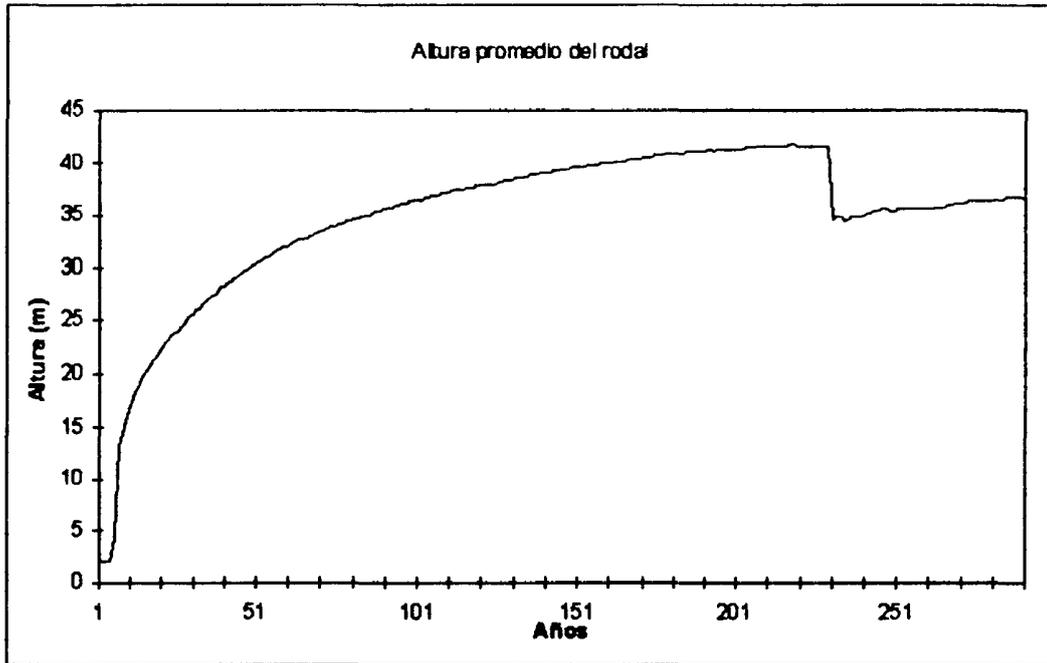


Figura 36. Resultado de la simulación, mostrando la recuperación del parámetro altura promedio del rodal en el escenario 5.

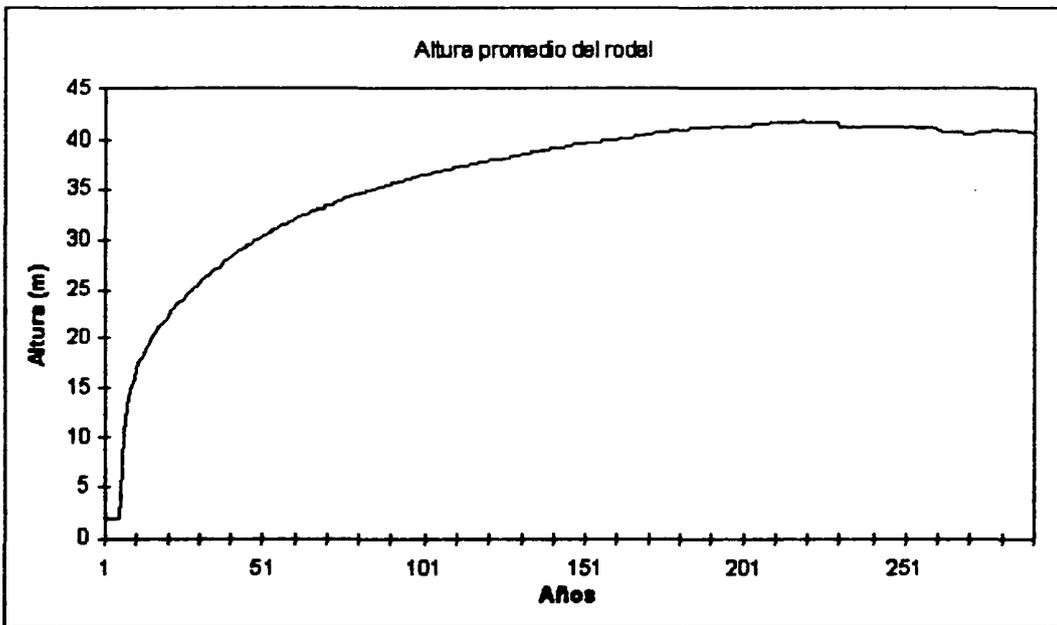


Figura 37. Resultado de la simulación, mostrando el comportamiento de la recuperación de la altura promedio del rodal en el escenario 8.

Proceso de recuperación del bosque en los escenarios con ciclo de corta de 100 años

Los escenarios 3, 6 y 9 fueron los que consideraban el ciclo de corta de 100 años, combinados con el aprovechamiento de los árboles con más de 30, 60, y 80 cm de diámetro mínimo de corta.

Composición florística

En el escenario 3, el comportamiento de la composición florística en el proceso de simulación ha mostrado mucha variación; de 21 especies en el momento inicial fue aumentando hasta llegar a 45 (30 años), luego disminuyó a 4 especies (a los 80 años) y finalmente llegó con siete especies. Durante este proceso de la dinámica florística, se observó intermitentemente ingresos de especies de los grupos de pioneras pequeñas y grandes, nómadas medianas y grandes.

El escenario 6, el número de especies siguió una tendencia diferente; empezó con 21, luego a los 30 años de simulación el número descendió a 16, posteriormente a los 60 años pasaron a ser solamente 14 las especies que conformaban la composición del bosque, para luego finalizar en el año 100 con 25 especies, con fuerte predominio de 4 especies (*Cedrela odorata*, *Bombacopsis quinata*, *Tabebuia rosea* y *Spondias mombin*).

La composición florística del escenario 9, empezó con 21 especies, disminuyendo a siete a los 30 años; manteniéndose con esa misma cantidad hasta los 60 años de simulación, y finalmente a los 100 años subió a 17 especies, de las cuales siete correspondían a las especies individuales y las diez restantes correspondían al grupo de pioneras grandes.

Número de árboles por hectárea

El número de árboles/ha en el escenario 3, subió de 154,7 a 326,3, el número de individuos mayores de 10 cm de dap, también aumentó de 15,9 a 311,6. El incremento promedio fue de 1,7 árboles/ha. La distribución por categorías diamétricas, no ha seguido un patrón regular durante los últimos años de la simulación, como se observa en la Figura 38.

El proceso de recuperación del bosque con respecto al número de árboles, fue muy positivo, porque 147,2 superaron los 30 cm de dap, cantidad muy superior al número de individuos extraídos (90,6 árboles). Este escenario, tomando en cuenta el proceso de recuperación, se puede considerar como una alternativa de manejo, que puede garantizar una cosecha futura.

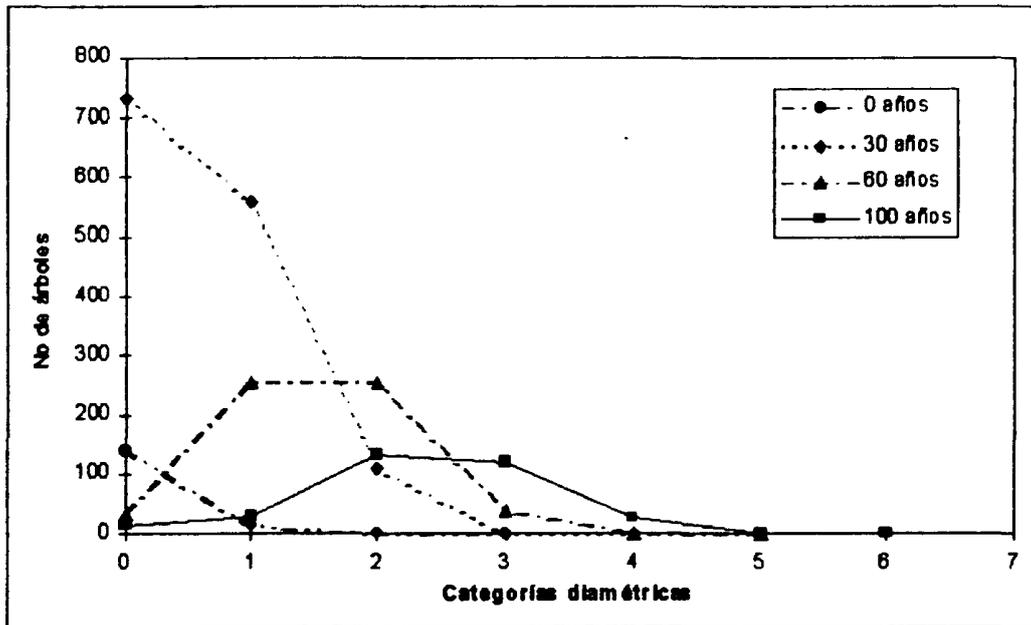


Figura 38. Distribución de los árboles por categoría diamétrica, en cuatro momentos de la simulación del escenario 3.

En el escenario 6, el número de árboles/ha subió de 206,3 a 371,1 lo que significa en promedio un incremento anual de 1,65 individuos/ha. Aquéllos mayores de 10 cm de dap, subieron de 67,5 a 268,5. La distribución diamétrica durante casi todo el periodo de simulación mantuvo su tendencia regular, como se puede observar en la Figura 39. El proceso de recuperación, no fue muy satisfactorio; solamente 22,2 superaron los 60 cm de dap, lo que representó el 57% de la cantidad extraída (39,1 árboles).

En el escenario 9, el número de árboles/ha subió de 243,6 a 584,6; la tasa de incremento fue de 3,41. Con respecto al número de individuos mayores de 10 cm de dap, el aumento no fue muy considerable, pasó de 104,8 a 200,4. La distribución diamétrica durante todo el periodo de simulación ha mantenido su tendencia regular, como se puede observar en la Figura 40. El proceso de recuperación de este parámetro fue satisfactorio, porque 20,2 superaron los 80 cm de dap, cantidad muy superior al extraído (1,9 árboles). Indudablemente que este escenario constituye otra alternativa de manejo.

Diámetro promedio y área basal

En el escenario 3, el área basal creció de 5,62 a 28,46 m²/ha (Figura 41); el ritmo de crecimiento anual alcanzado fue de 0,23 m²/ha. La cantidad alcanzada es superior al bosque natural (25,91 m²/ha). Con respecto al diámetro promedio, éste ascendió de 5,62 a 28,46 cm de dap, éste último valor es superior al alcanzado en el

bosque natural (13,8 cm). La tasa de incremento de este parámetro fue de 0,23 cm/año.

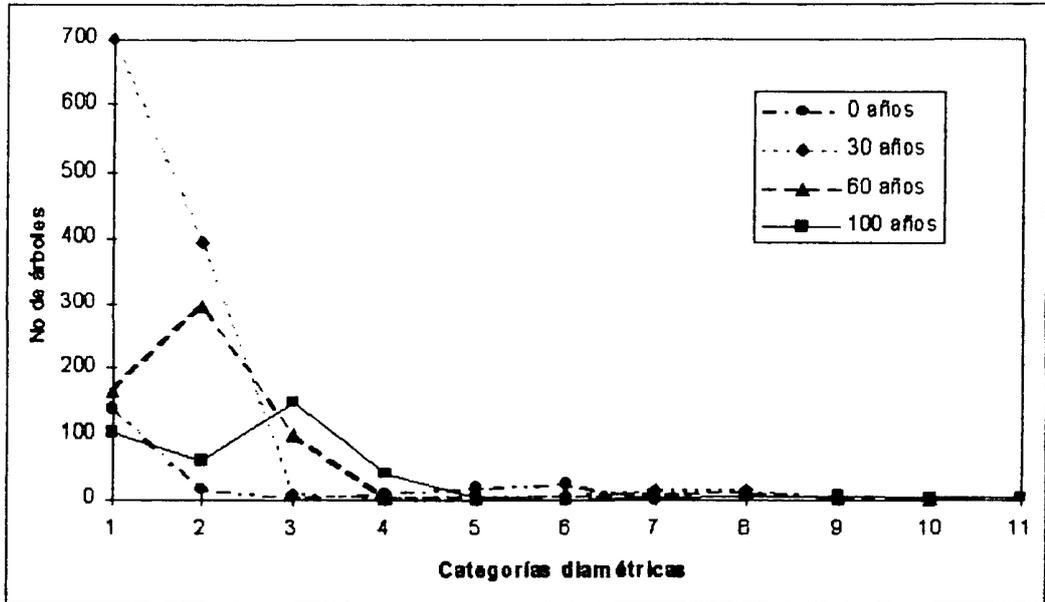


Figura 39. Distribución de los árboles por categoría diamétrica en cuatro momentos diferentes de la simulación del escenario 6.

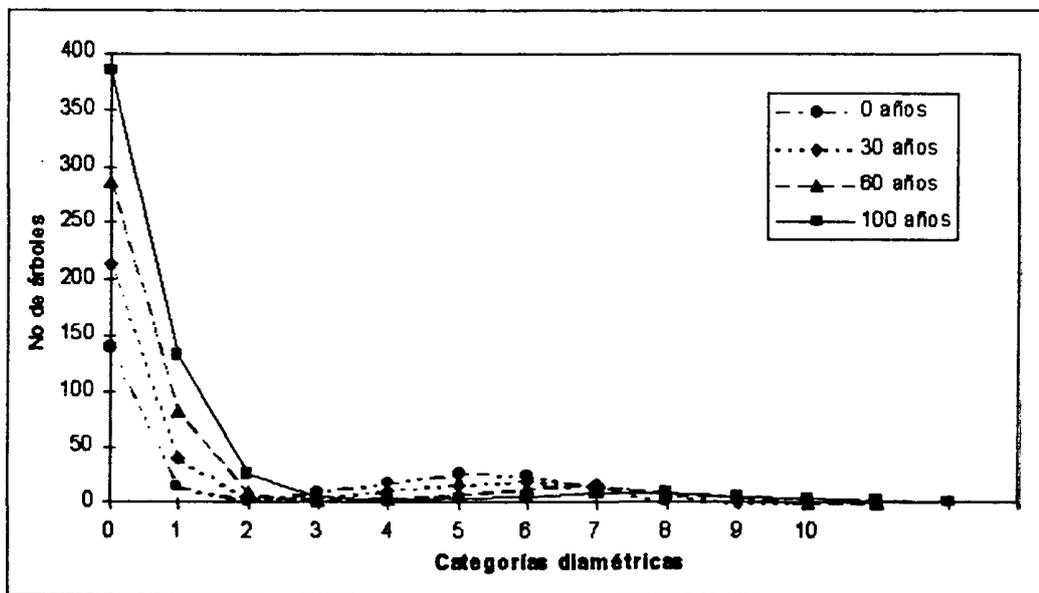


Figura 40. Distribución de los árboles por categorías diamétricas, en cuatro momentos de la simulación del escenario 9.

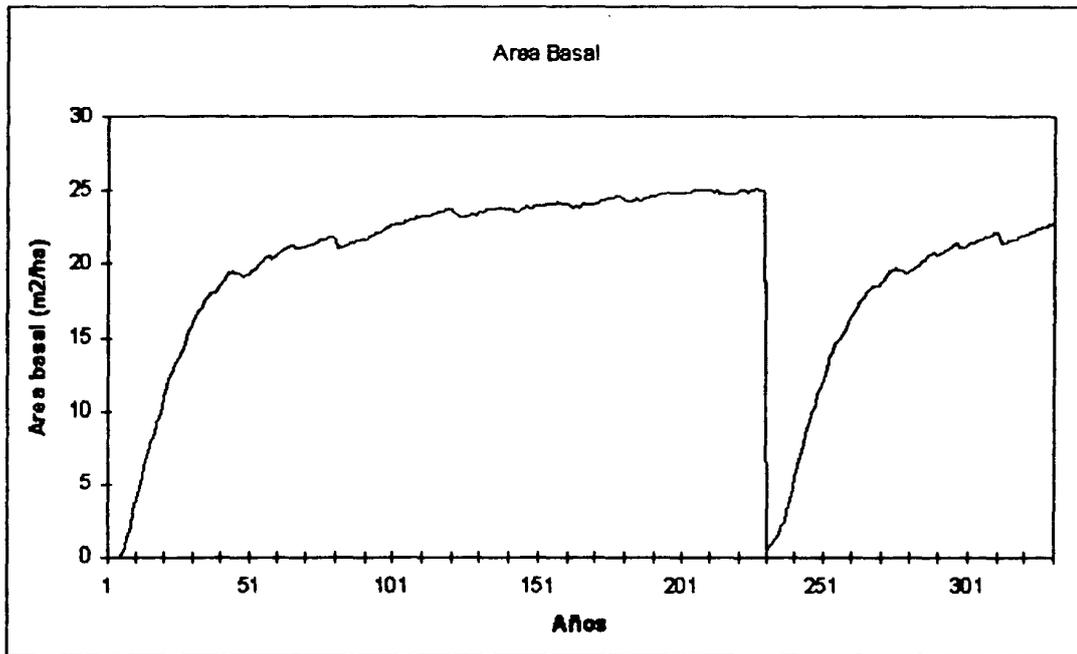


Figura 41. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del parámetro área basal en el escenario 3.

El incremento anual del área basal en el escenario 6 fue ligeramente menor que en el escenario anterior (Figura 42), la tasa alcanzada fue de $0,13 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$, lo que permitió subir el área basal de $10,34$ a $22,88 \text{ m}^2/\text{ha}$. De igual manera, el diámetro promedio subió de $16,4$ a $21,9 \text{ cm}$ de dap, lo que significa un incremento anual de $0,06 \text{ cm}/\text{año}$.

El comportamiento del área basal en el escenario 9, ha sido muy modesto (Figura 43), pasó de $23,95$ a $24,87 \text{ m}^2/\text{ha}$, lo que significa un incremento anual ínfimo. La tendencia mostrada del diámetro promedio fue decreciente, pasando de $24,3$ a $13,3 \text{ cm}$ de dap, debido seguramente a la influencia del ingreso de árboles pequeños en las categorías diamétricas de $0-10$ y $10-20 \text{ cm}$ de dap.

Biomasa maderable

Este parámetro ha tenido comportamiento muy similar en los tres escenarios analizados. En el primero (escenario 3), la biomasa creció de $1,939$ a $159,34 \text{ Mg}/\text{ha}$, haciéndolo a una tasa anual de $1,57 \text{ Mg}/\text{ha}$. El valor obtenido en este escenario representa el 54% de la biomasa total del bosque natural, lo que permite deducir que este sistema de aprovechamiento no garantiza la recuperación del bosque (Figura 44).

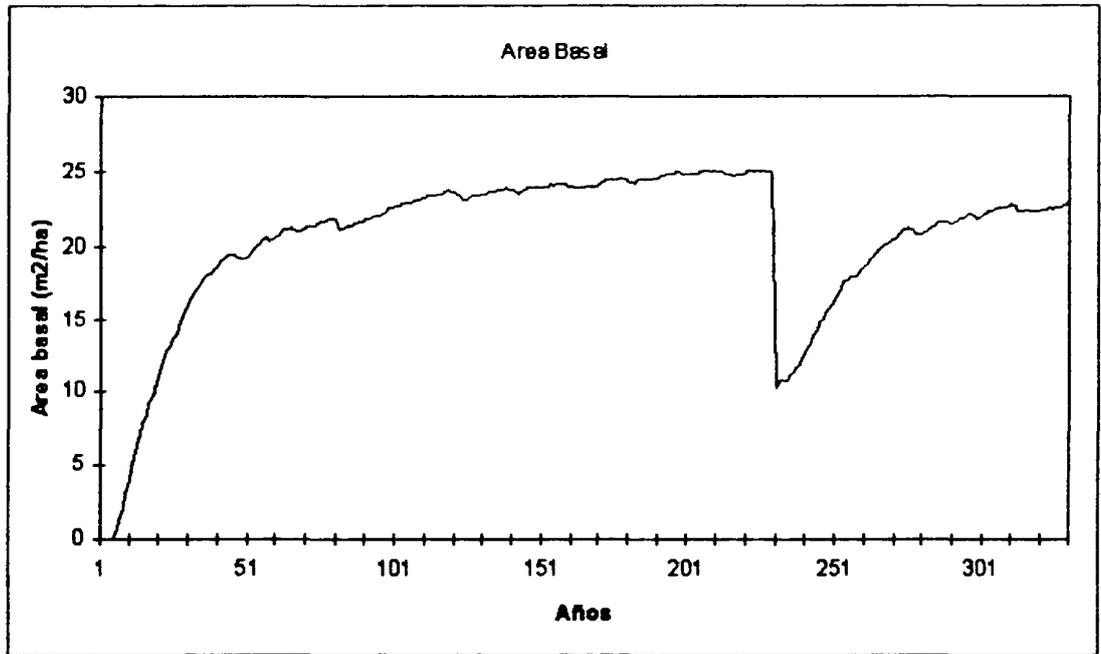


Figura 42. Resultado de la simulación, mostrando la recuperación del parámetro área basal en el escenario 6.

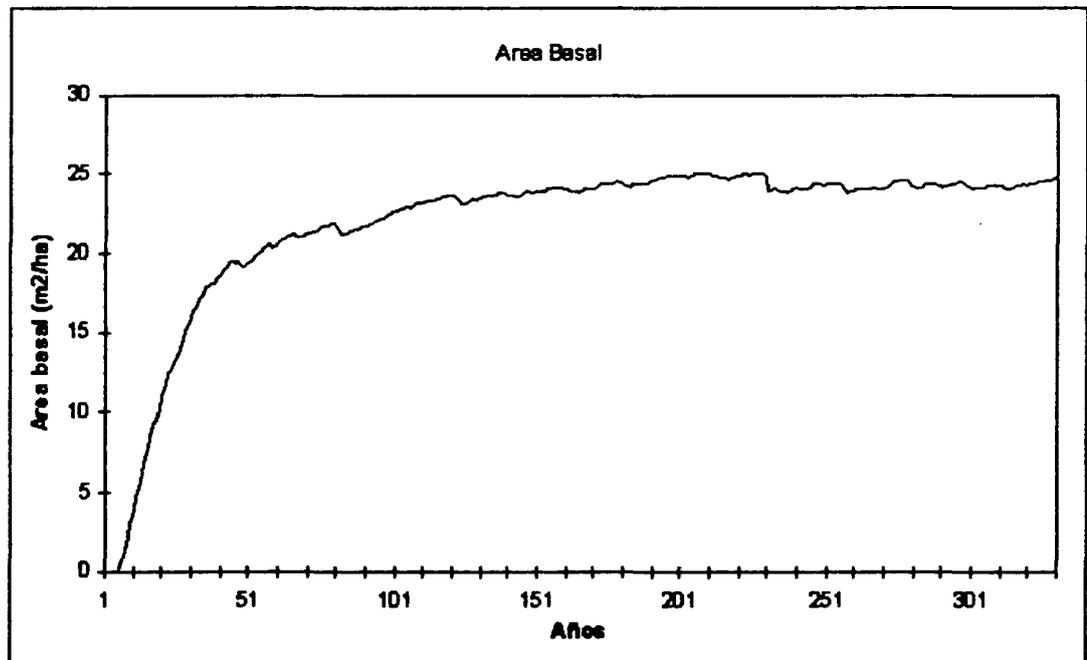


Figura 43. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del área basal en el escenario 9.

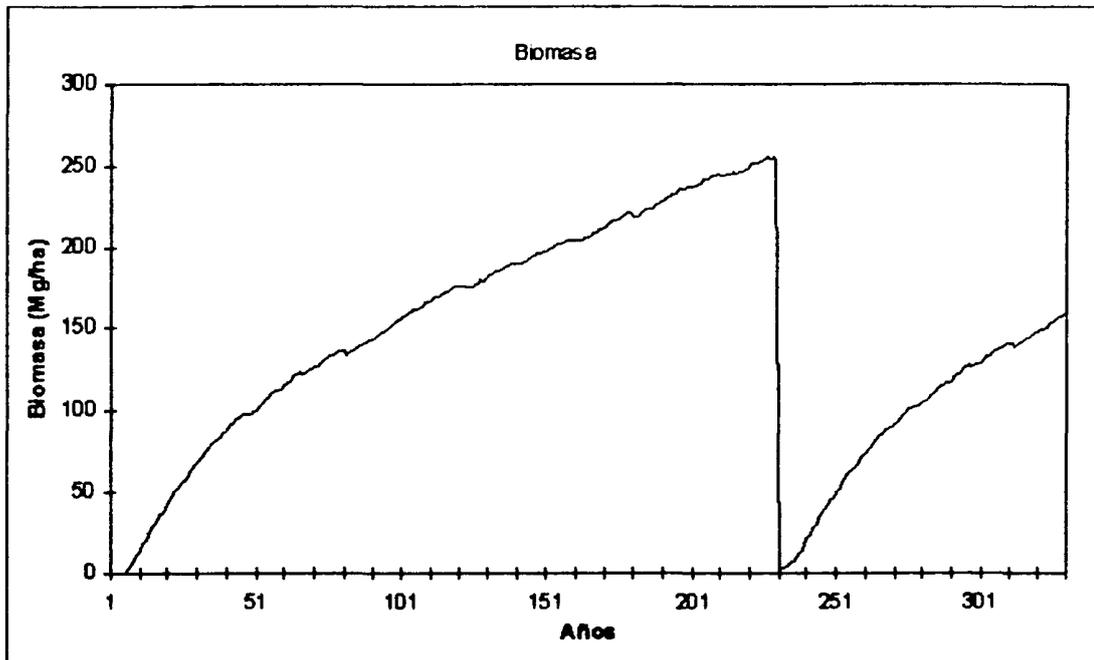


Figura 44. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la biomasa maderable total en el escenario 3.

En el escenario 6, el crecimiento de la biomasa ha sido más moderado, pasando de 91,74 a 206,08 Mg/ha. En este caso el incremento anual fue de 1,14 Mg/ha. El nivel de recuperación de la biomasa fue de 70% con respecto al bosque natural (Figura 45).

La biomasa, en el escenario 9, subió de 243,04 a 280,15 Mg/ha. Este valor se acerca bastante al encontrado en el bosque natural (295,59 Mg/ha), por lo que puede ser considerado como satisfactorio del proceso de recuperación (Figura 46).

Altura promedio del rodal

El comportamiento de la altura promedio del rodal ha mostrado marcadas diferencias entre los tres tratamientos, mientras que en los dos primeros la tendencia fue ascendente, en el último se manifestó un ritmo decreciente. En el escenario 3, creció de 5,2 a 36,9 m (Figura 47), el incremento anual fue de 0,3 m/año, alcanzando al final una altura muy próxima a la que muestra el bosque natural (39,2 m). En el escenario 6, el mismo parámetro creció de 34,6 a 37,7 m, la tasa de crecimiento anual fue de 0,03 m (Figura 48). Finalmente, en el escenario 9, descendió de 41,2 a 39,1 m, tal como se observó en el bosque natural (Figura 49).

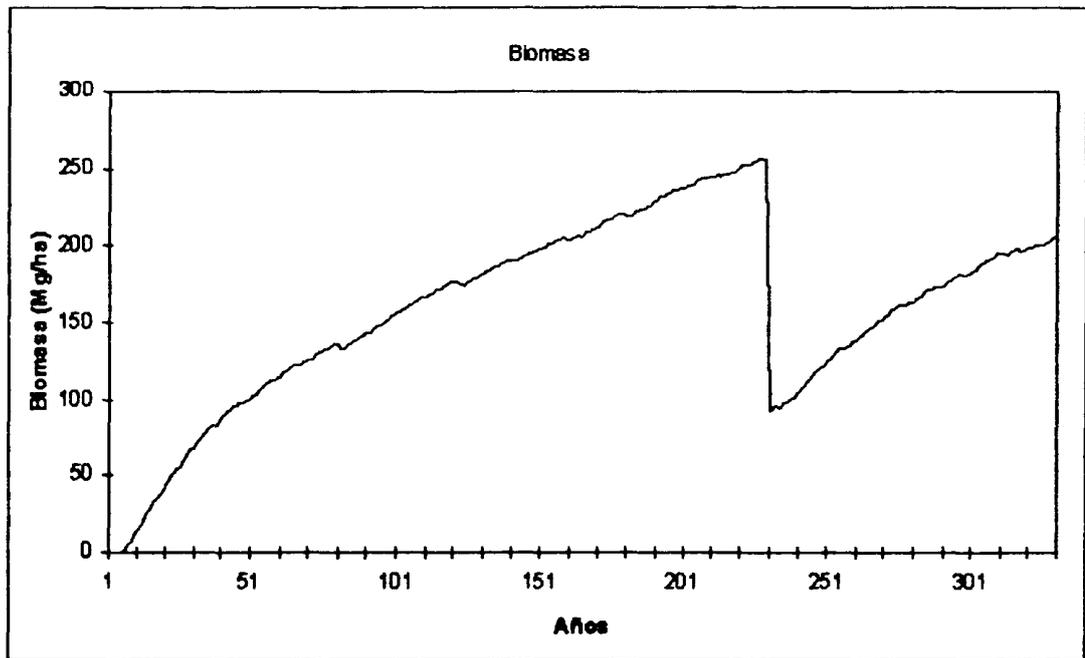


Figura 45. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la biomasa maderable total en el escenario 6.

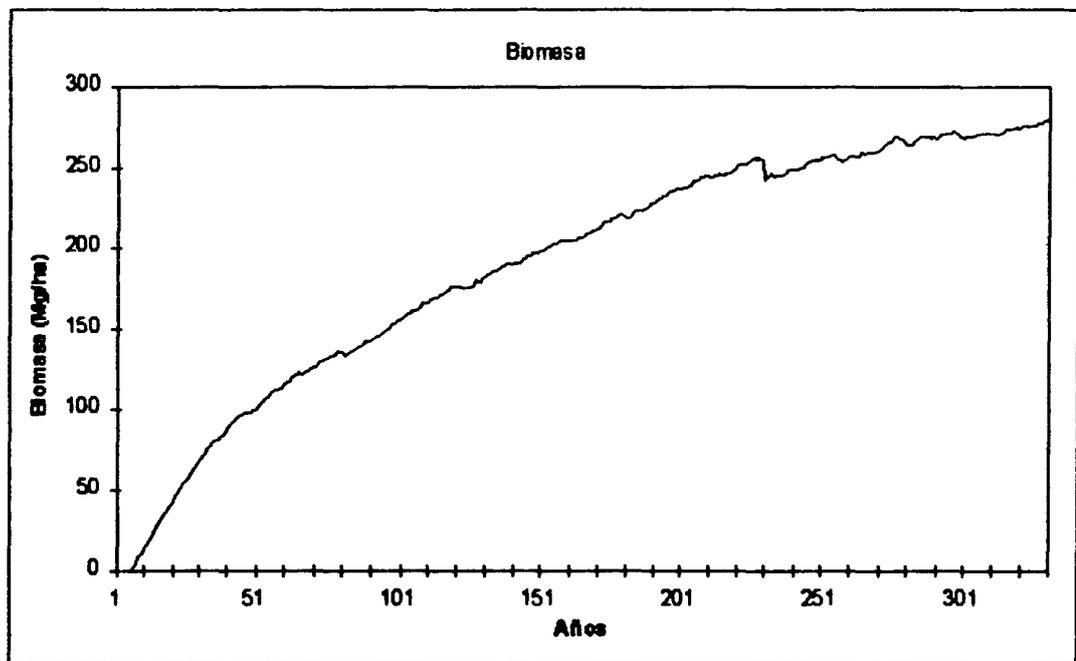


Figura 46. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la biomasa maderable total en el escenario 9.

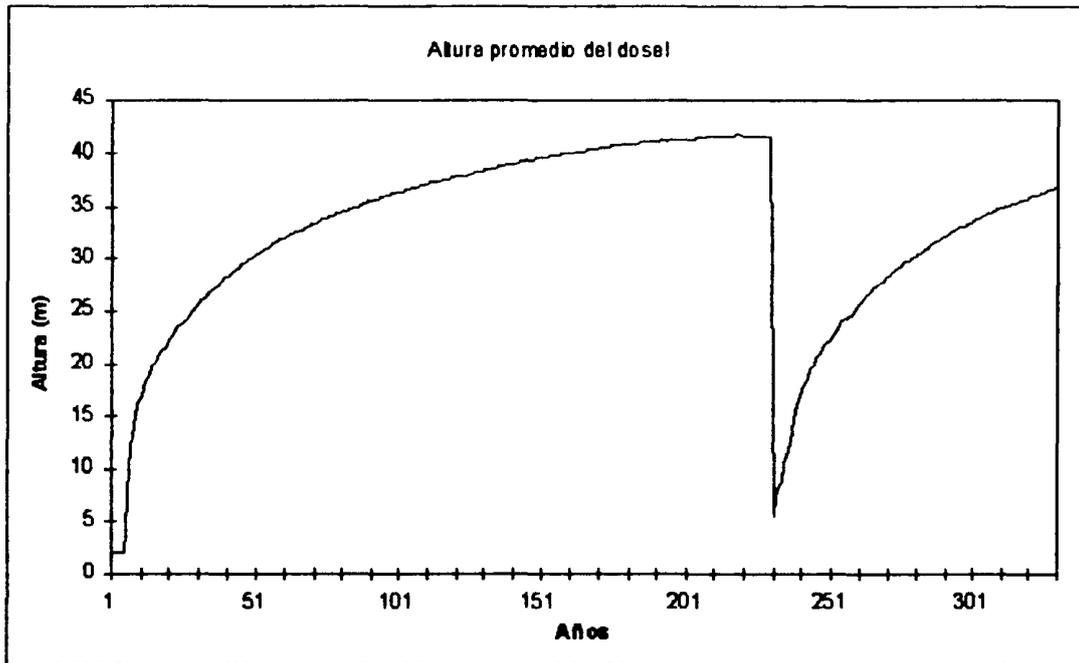


Figura 47. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la altura promedio del rodal en el escenario 3.

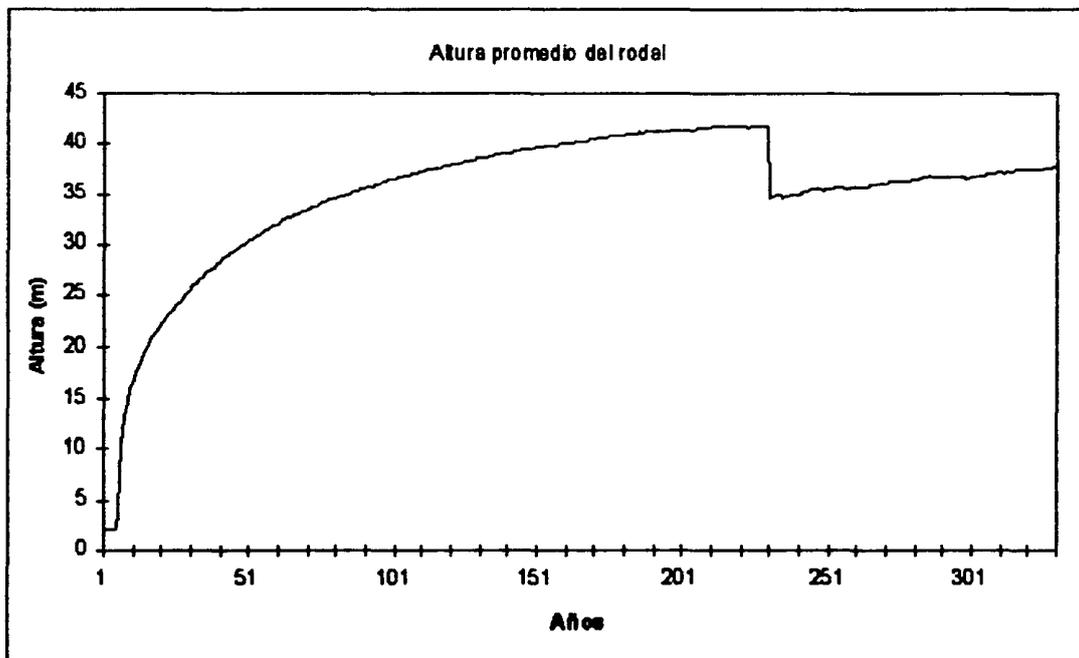


Figura 48. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la altura promedio del rodal en el escenario 6.

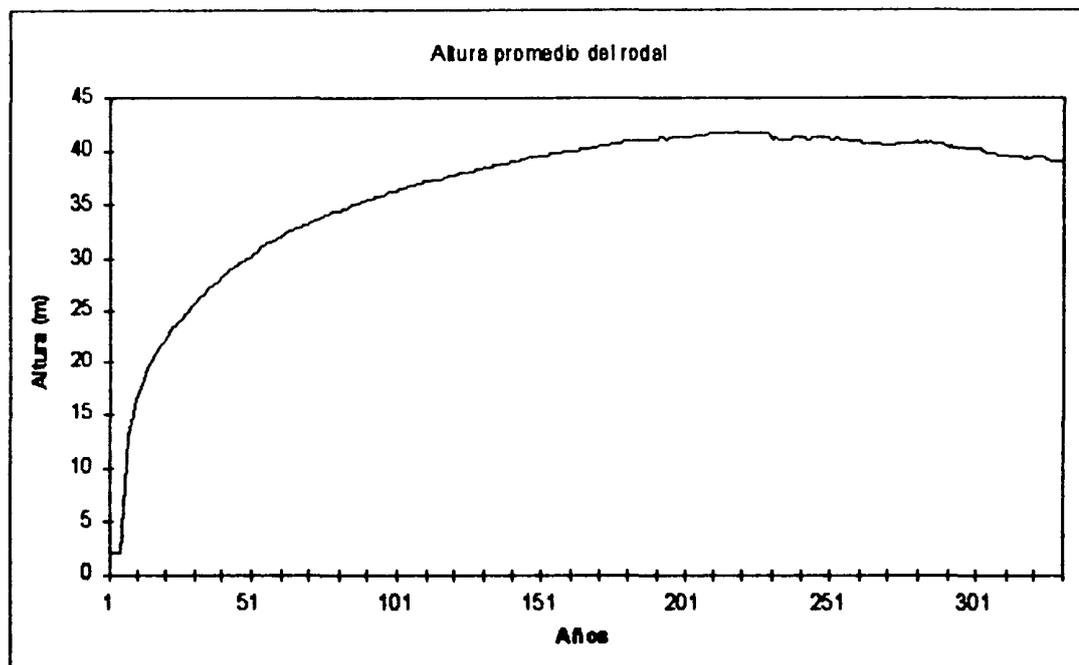


Figura 49. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la altura promedio del rodal en el escenario 9.

Simulación de la respuesta del bosque a tres escenarios de extracción de especies comerciales, considerando el daño que ocasiona a la vegetación remanente.

Como una aplicación práctica del modelo se simuló para un periodo de 60 años, tres escenarios adicionales de aprovechamiento de especies comerciales incluyendo el daño que ocasiona la extracción. Dichos escenarios fueron los siguientes:

ESCENARIO 10 : Aprovechamiento del 50% de los árboles a partir de los 40 cm de diámetro mínimo de corta.

ESCENARIO 11 : Aprovechamiento de las especies de alto valor comercial considerando los diámetros mínimos de corta de acuerdo a ley.

ESCENARIO 12 : Aprovechamiento de las especies de alto valor comercial considerando los diámetros mínimos de corta de acuerdo a ley, incluyendo el daño que ocasiona la extracción a la vegetación remanente.

Para el escenario 11, el aprovechamiento se realizó considerando los diámetros mínimos de corta establecidos por ley. Para las especies *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea* fue de 60 cm y para la especie *Cedrela odorata* de 70 cm de dap. En el escenario 12, el daño ocasionado por la extracción, se determinó en función al número de árboles talados, tomando como referencia las evaluaciones de Uhl y Guimaraes (1989) y Plonczak (1993). Calculándose aproximadamente 68% de daño a la vegetación remanente, cuando se extrae 39,2 árboles/ha.

Los parámetros analizados fueron la composición florística, densidad de árboles, área basal, biomasa y altura promedio del rodal.

Composición florística

El comportamiento del incremento del número de especies en los tres escenarios fue muy similar. En los dos primeros la composición aumenta hasta los 20 años de simulación y luego disminuye a los 60 años, reduciéndose a seis especies con fuerte dominancia de las cuatro ya mencionadas. En el escenario 12, la fuerte perturbación del bosque favoreció la inclusión de otras especies individuales y de los grupos nómadas medianas y grandes.

Número de árboles por hectárea

La densidad total de árboles en los tres escenarios mostró una tendencia creciente. En el primero subió de 204,3 a 582,9 árboles/ha, en el segundo ascendió de 219,1 a 620,2 y en el tercer escenario se incrementó de 78,4 a 599,3. Con respecto al número de árboles mayores de 10 cm de dap, siguió la misma tendencia, aumentando de 65,4 a 369,4 en el primero; de 80,3 a 346,3 en el segundo y de 34,4 a 481,1 árboles /ha en el tercer escenario.

A los 60 años de simulación, el nivel de recuperación de la cantidad de árboles fueron similares; en el primero caso se obtuvieron 30,5 árboles/ha, que representó el 73% de la cantidad total de árboles extraídos (41,5). En el segundo caso se recuperó 23,1 de 26,3 árboles extraídos, haciendo una tasa de reposición del 88%. Finalmente, en el escenario 12 el mayor aumento del número de árboles fueron de los tres primeros grupos de categorías diamétricas, mientras que en las categorías donde se realizó la extracción ingresaron 16,0 de 26,3 árboles/ha, representando un 61% del total de individuos talados (Tabla 15).

Area basal

En los tres escenarios el grado de recuperación de éste parámetro fue muy similar. En el escenario 10 el área basal pasó de 13,18 a 22,20 m²/ha, lo que representó el 90% del valor del área basal del bosque natural (Figura 50); en el escenario 11 (Figura 51) creció de 14,54 a 21,95 (89% con respecto al bosque

natural) y finalmente en el escenario 12 se incrementó de 7,50 a 21,53, llegando a recuperar el 87% del área basal con respecto al bosque sin intervención (Figura 52).

Tabla 15. Distribución de las especies y del número de árboles/ha aprovechados y recuperados en los escenarios 10, 11 y 12.

ESPECIES	ESCENARIO 10		ESCENARIO 11		ESCENARIO 12	
	Aprovechados	Recuperados	Aprovechados	Recuperados	Aprovechados	Recuperados
BOqu	19,8	12,0	21,1	8,1	21,1	3,3
CEod	19,9	16,0	3,6	12,7	3,6	10,5
CEpe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plsa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SPmo	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
TAr	1,8	2,4	2,3	2,3	1,6	1,1
NOme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NOgr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plgr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	41,5	30,5	26,3	23,1	26,3	14,9

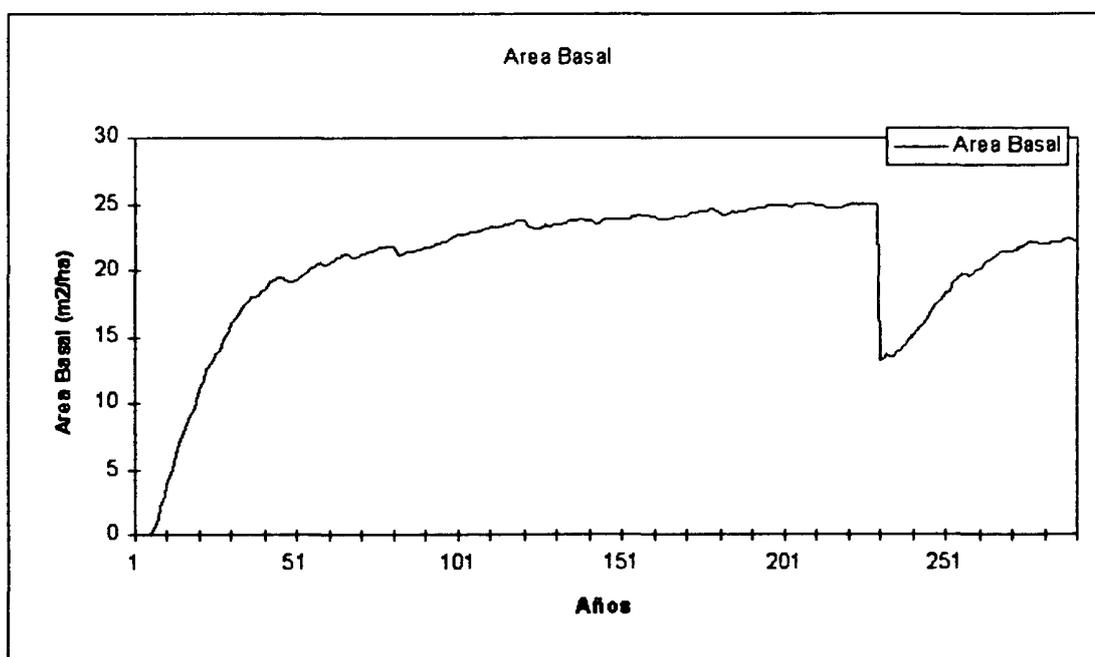


Figura 50. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del área basal en el escenario 10.

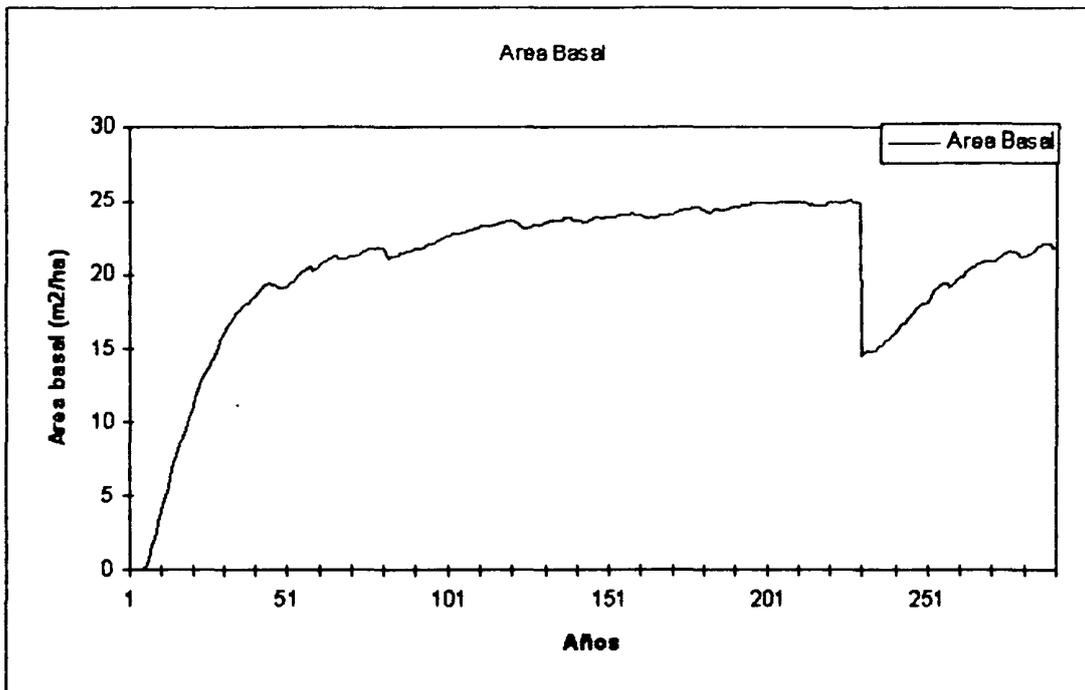


Figura 51. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del área basal en el escenario 11.

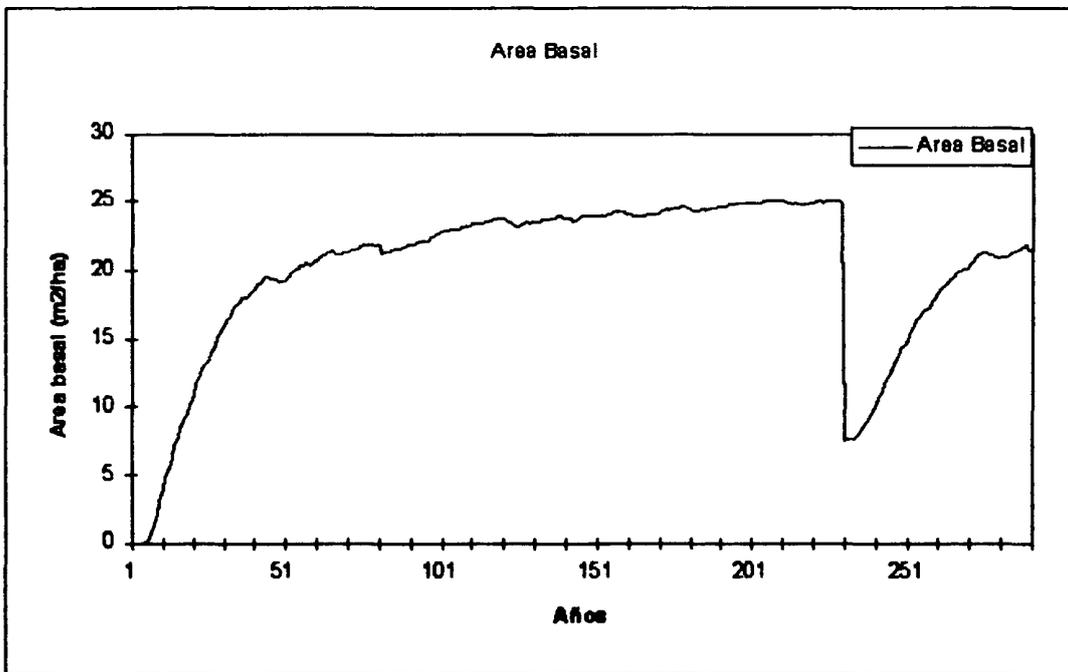


Figura 52. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación del área basal en el escenario 12.

Biomasa maderable

Este parámetro mostró tendencias similares en los escenarios 10 y 11, con una ligera variación en el escenario 12. En el primero de ellos la biomasa maderable subió de 132,00 a 205,40 Mg/ha (Figura 53), en el segundo creció de 136,83 a 197,20 (Figura 54) y en el tercer escenario ascendió de 74,12 a 165,16 (Figura 55). Dichos valores finales representaron 74, 71 y 59% de la biomasa del bosque natural.

Altura promedio del rodal

En los tres escenarios mostró incrementos similares; en el escenario 10, la altura promedio del rodal creció de 36,6 a 37,3 m (Figura 56); en el escenario 11 subió de 37,0 a 37,3 (Figura 57) y en el escenario 12 ascendió de 27,6 a 34 m (Figura 58). Con respecto a la altura del bosque natural dichos crecimientos representan el 90, 92 y 83%.

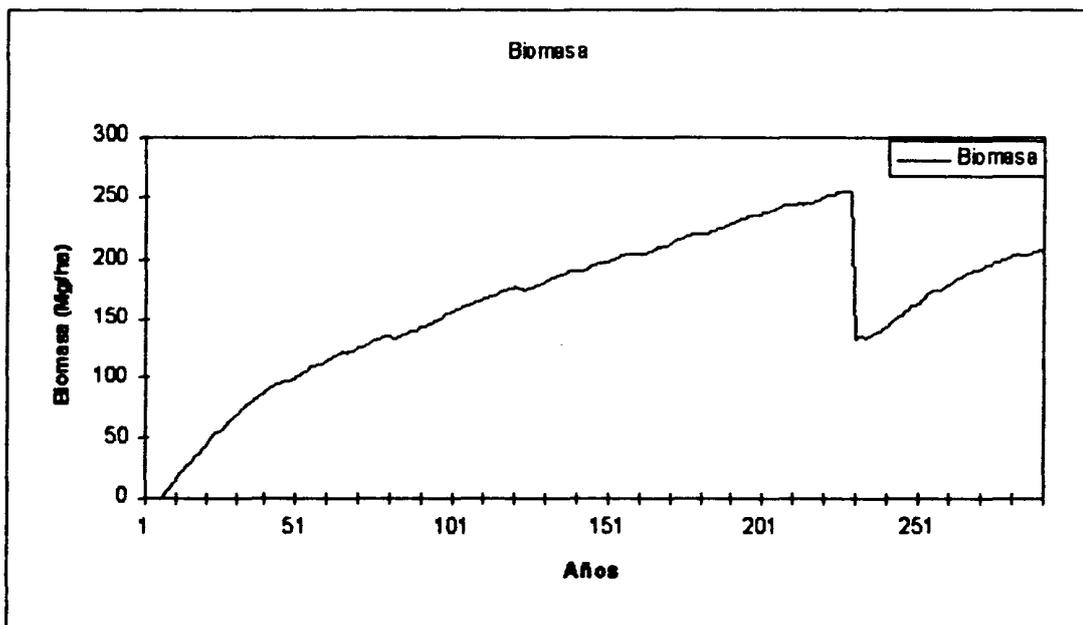


Figura 53. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la biomasa maderable en el escenario 10.

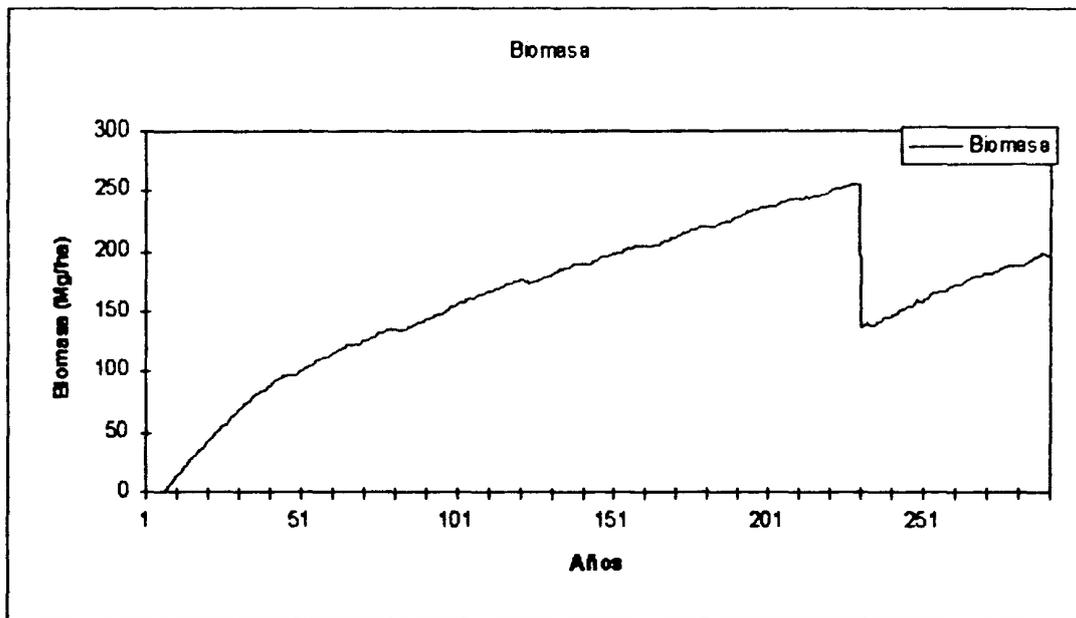


Figura 54. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la biomasa maderable en el escenario 11.

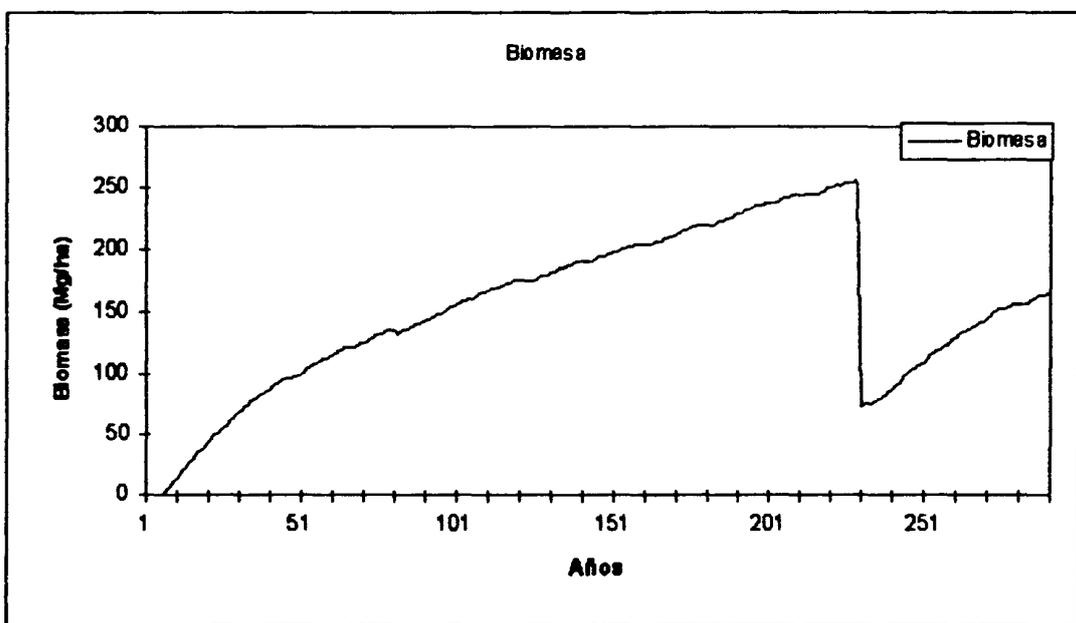


Figura 55. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la biomasa maderable en el escenario 12.

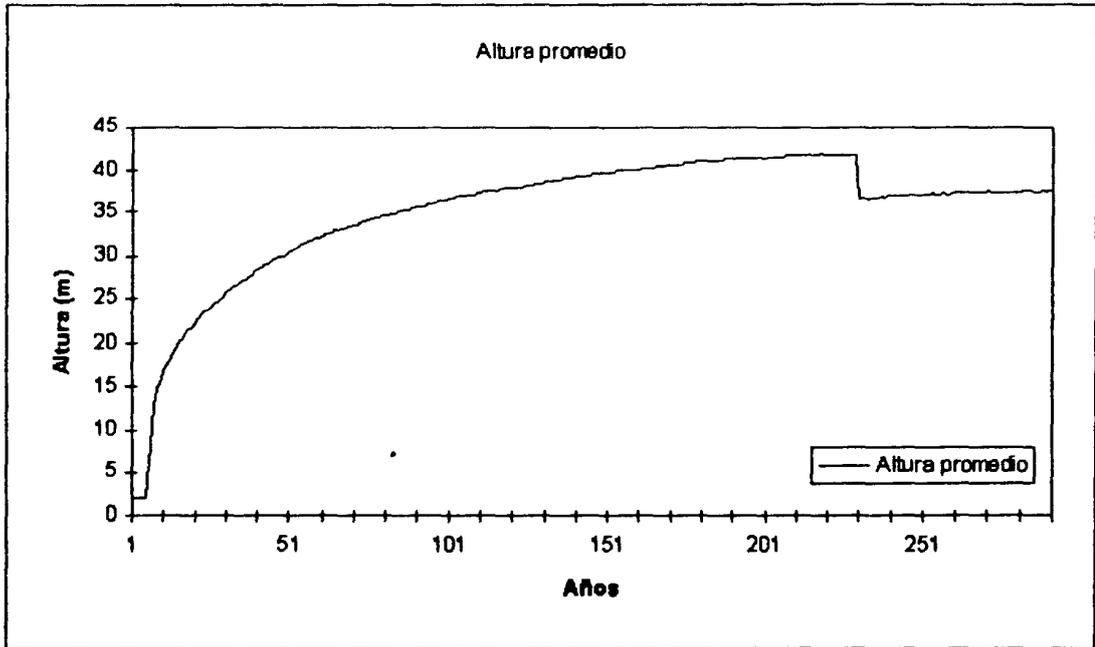


Figura 56. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la altura promedio del rodal en el escenario 10.

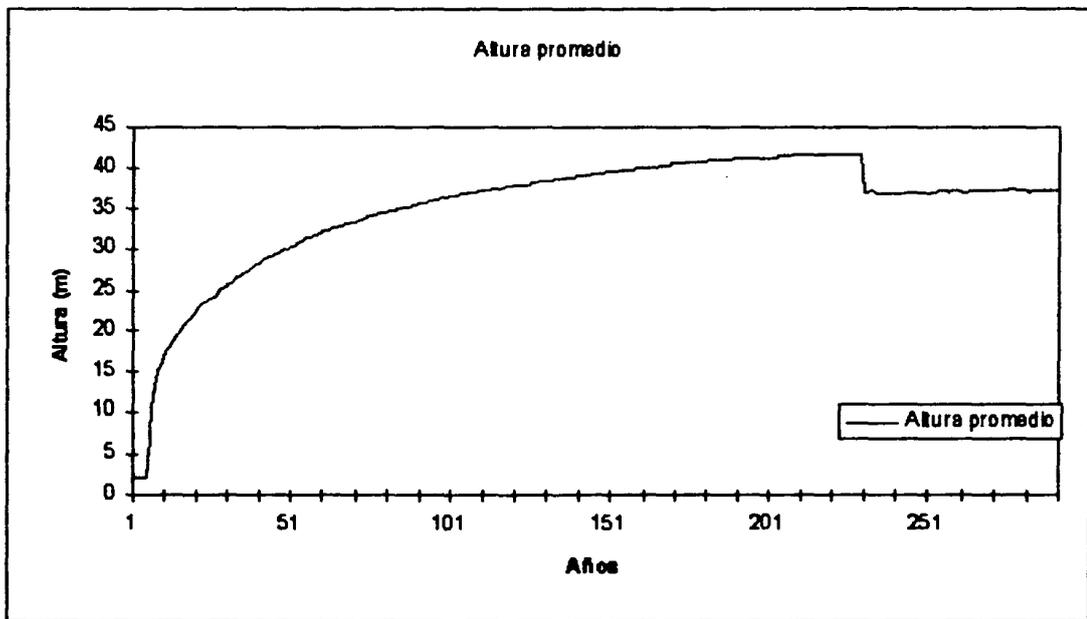


Figura 57. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la altura promedio del rodal en el escenario 11.

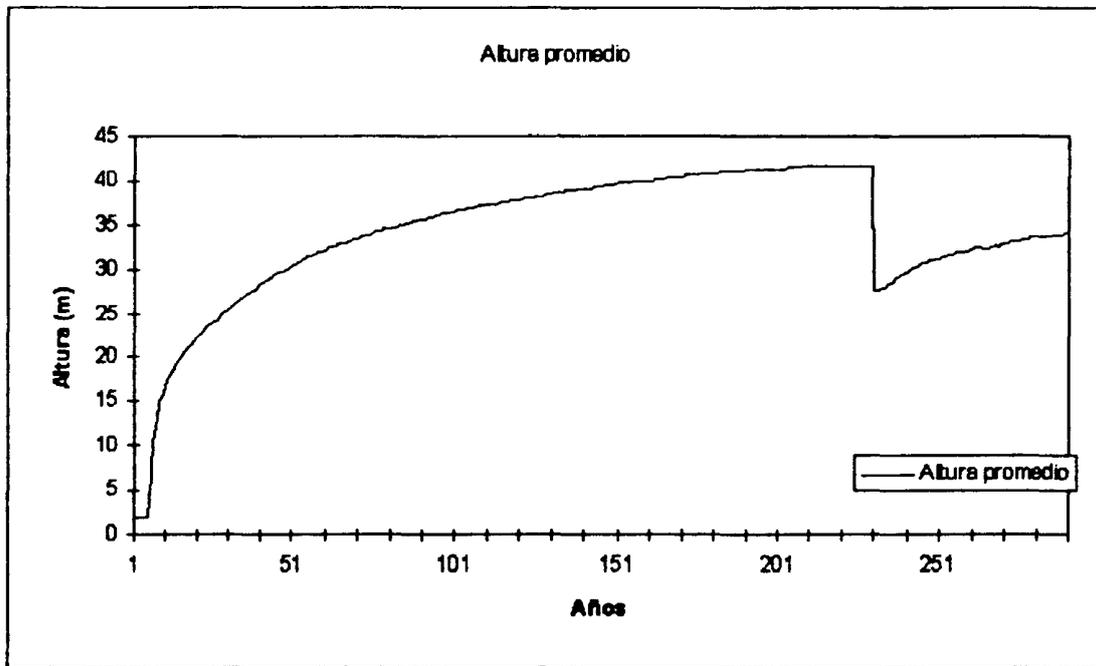


Figura 58. Resultado de la simulación, mostrando el proceso de recuperación de la altura promedio del rodal en el escenario 12.