

# ASPECTOS ESTRUCTURALES DE UN BOSQUE DE CATIVO EN LA REGION DEL BAJO ATRATO, COLOMBIA.//

HUBERTO GONZALEZ P.<sup>1</sup>  
HERNAN DARIO GOMEZ T.<sup>2</sup>  
FRANCISCO JAVIER ARTEAGA C.<sup>2</sup>

## RESUMEN

*El planteamiento de sistemas de manejo de los bosques tropicales, requiere del conocimiento tanto de la estructura actual, como de la estimación racional de la respuesta probable del sistema a prácticas culturales que la modifiquen. En este trabajo se hace un análisis de algunos de los parámetros estructurales más relevantes de una asociación vegetal conocida en Colombia con el nombre de cativo. Los aspectos que se analizan tienen que ver tanto con características estáticas*

- 
- 1 Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín. Apartado 568.
  - 2 Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín.

*como dinámicas de dos tipos de bosques sujetos a diferentes grados de inundación. Los resultados muestran que las agrupaciones presentan diferencias sustanciales tanto en términos de la estructura de diámetros y de la diversidad florística como en el grado de importancia y en el patrón de distribución espacial de la especie predominante (**Prioria copaifera G.**). Además, las tasas de crecimiento difieren significativamente entre las dos comunidades siendo aproximadamente tres veces superior en el catival  $A_2$ , que en el catival  $A_1$ .*

*El estudio además de proporcionar información que permite alimentar planteamientos para el manejo de los cativales, describe las aplicaciones de metodologías para su evaluación y análisis.*

**Palabras clave:** *catival, Prioria copaifera G., diversidad florística, patrón espacial, estructura diamétrica, crecimiento, ordenación natural.*

#### ABSTRACT

#### STRUCTURAL ASPECTS OF A CATIVO FOREST IN THE REGION OF LOWATRATO, COLOMBIA.

*Dealing with the management of tropical woods requires a knowledge of both their current structure, and the rational figuring of the likely responses of the system to cultural practices modifying it.*

*This work analyzes some of the most relevant parameters of a plant association known in Colombia as "the catival". The aspects under study have to do with the dynamic and static characteristics of two types of woods submitted to different degrees of flooding. The results indicate that the two groups show substantial differences not only in terms of their diameter structure and flower diversity, but in the degree of importance, and in the spatial distribution pattern of the predominant specie (**Prioria copaifera G.**) as well. Besides, their growth rate differ significantly thus being that of the Catival A<sub>2</sub> three times more superior to that of the Catival A<sub>1</sub>.*

*The study, besides providing information leading to feed plantings for handling the cativales, describes the applications of procedures for their evaluation and analysis.*

**Key words: catival forest, *Prioria copaifera G.*, flower diversity, spatial pattern, diameter structure, growth, natural management.**

## INTRODUCCION

En Colombia suele conocerse con el nombre genérico de cativales, a aquellas comunidades vegetales, en las cuales, la especie predominante es el cativo (*Prioria copaifera* Grisebach). Estas comunidades han sido reportadas en varios países latinoamericanos tales como Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia. En Colombia, de acuerdo con Linares (1988), los cativales se presentan al noroeste del país, en las llanuras aluviales de los ríos Atrato, León y sus afluentes y llegaron a ocupar un área de aproximadamente 363.000

hectáreas, distribuidas en varias zonas de vida y paisajes fisiográficos.

Los cativales pertenecen a ecosistemas muy particulares, los cuales han evolucionado bajo la influencia de inundaciones periódicas de agua dulce, de diferente intensidad y duración, dando por resultado una masa relativamente homogénea de especies arbóreas de alta producción maderera.

Los productos madereros contenidos en éstas comunidades forestales vienen siendo objeto de una creciente demanda y por lo tanto los cativales han sido sometidos a una inmensa presión, tanto por empresas madereras como por una muchedumbre de personas desposeídas de toda clase de recursos y que intentan colonizar estas tierras. De esta manera el área cubierta por este tipo de comunidades vegetales, ha sido reducida en forma dramática hasta el punto en el que no solamente el estado colombiano, sino también los particulares empiezan a preocuparse por la repercusión social y económica que puede resultar de la extinción de estos ecosistemas.

Habida cuenta de la pobreza de los países del tercer mundo, los bosques húmedos tropicales sólo podrán sobrevivir, si la propia población ligada directamente a ellos, considera que las tierras son más valiosas cubiertas de bosque que taladas para aprovecharlas en alguna otra forma. De acuerdo con Leslie (1987), la clave para convencer a la población de que merece la pena preservar los bosques tropicales, reside en su explotación industrial mediante una ordenación que permita un rendimiento constante. De acuerdo con el análisis de este autor, la ordenación natural de los bosques tropicales es preferible desde el punto de vista económico si ella es ecológicamente viable.

Con base en estas consideraciones la Universidad Nacional de Colombia inició en 1987 una serie de investigaciones desde el punto de vista técnico, económico y social, tales que permitan sentar las bases, en una primera aproximación, para la estructuración de planes para el manejo de los cativales. En este trabajo se presentan los resultados de algunos de los estudios realizados con el fin de determinar parámetros silvícolas relevantes en la caracterización de la estructura tanto estática como dinámica de estas comunidades forestales. Los principales parámetros estructurales que se estudian son:

1. la estructura diamétrica: la cual hace referencia a la forma como el número de individuos se presenta en cada una de las categorías de diámetros y a la modelación matemática de este fenómeno,
2. la diversidad florística: concepto en el cual es necesario combinar el número de especies presentes y su abundancia relativa,
3. la organización espacial o patrón espacial del cativo: como la caracterización de la forma de distribución de los individuos de la especie en el espacio,
4. el crecimiento, fenómeno natural en todos los organismos vivos y que se manifiesta en variaciones de las características dimensionales de un ser vivo a través de su vida, producto de tasas diferenciales en el anabolismo y catabolismo propios del individuo y, que en este trabajo se intenta cuantificar.

#### GENERALIDADES DE LA ASOCIACION CATIVAL

Los cativales como ecosistema pueden describirse, de acuerdo con los planteamientos de Holdridge (1979), como: "Asociación de suelo fértil, sobre llanuras aluviales periódicamente

inundadas por agua dulce, en el piso basal tropical húmedo, cuya vegetación primaria es un bosque donde domina el cativo (*Prioria copaiifera* Grisebach)".

Según Tosi, citado por Escobar y Vásquez (1987), los cativales se encuentran en el Darién colombiano, de acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge, en las zonas de vida: bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo premontano transición a bosque muy húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical. En éstas unidades la precipitación oscila entre los 2.000 y 8.000 mm/año y la biotemperatura media anual entre 24 y 28°C.

La circulación general atmosférica en la región tropical se caracteriza por núcleos de alta presión situados en ambos trópicos y por una zona de depresión denominada zona de Convergencia Intertropical que está situada entre los dos núcleos de alta presión y que sigue el movimiento aparente del sol. El gradiente de presión entre los núcleos de alta presión y la zona de Convergencia origina un flujo superficial de aire desde los trópicos al ecuador. Este flujo se desvía hacia la izquierda por el movimiento rotacional de la tierra y da origen a los vientos alisios que soplan del sector NE del hemisferio norte y del sector SE del hemisferio sur. El encuentro de estas dos masas de aire caliente origina la Línea de Convergencia Intertropical; de baja presión y con características de tiempo lluvioso, conformando en la cuenca baja del río Atrato un régimen de precipitación con dos temporadas: una lluviosa (abril a diciembre) y otra seca (enero a marzo). La humedad relativa oscila entre 65 y 90% y en la época seca los vientos son fuertes hasta huracanados.

Las planicies y abanicos aluviales de los ríos Atrato y León corresponden a unidades geológicas de la era cuaternaria, períodos Pleistoceno y Holoceno; constituidas por una mezcla

compleja de sedimentos marinos, aluviales, deltáicos y lacustres, relativamente recientes y generalmente inconsolidados, donde se alternan gravas, arenas, calizas y areniscas. Los suelos, debido a su escaso grado de evolución genética y a sus características pertenecen a los ordenes Inceptisoles y Entisoles y varían entre niveles de fertilidad muy bajo a medio (Linares 1988). De acuerdo con Marín, citado por Gómez (1990), las principales características edáficas de la asociación son: pH fluctuante entre 4,5 y 6,0; saturación de bases cercana al 50%; bases intercambiables mayores de 10 meq/100 g de suelo; el fósforo actúa como factor limitante con 4,8 ppm entre 0 y 5 cm, 1,55 ppm entre 5 y 25 cm y 16,6 ppm a más de 25 cm de profundidad. En cuanto a las propiedades físicas, la textura oscila entre liviana y moderadamente fina y el drenaje natural es pobre, manifestándose en una intensa gleyzación a través del perfil.

La mayor parte de la asociación catival, está en una depresión plano-cóncava ocupada por tierras bajas periódicamente inundables, tanto al oriente, como al occidente de la zona central de la planicie aluvial del río Atrato. Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), citado por Gómez (1990), en la llanura aluvial aparecen cuatro posiciones fisiográficas bien definidas que caracterizan varios tipos de cativales de acuerdo con la duración de la inundación, así: tipo de catival  $A_0$ , si la duración es permanente; tipo de catival  $A_1$ , si la duración oscila entre 6 y 8 meses al año; tipo de catival  $A_2$ , si la duración de la inundación oscila entre 3 y 6 meses al año y tipo de catival  $A_3$ , si la duración de la inundación es menor de tres meses al año.

Los bosques de cativo están formados por aproximadamente 60 especies arbóreas, 15 de las cuales representan el 95% del total de individuos y las cuales pertenecen a las familias Fabaceae, Caesalpinaceae, Bombacaceae y Sterculia-

ceae. El cativo sobresale sobre todas las demás especies tanto en abundancia como en dominancia relativa, especialmente en el tipo de catival  $A_1$  en donde estos parámetros alcanzan valores promedios hasta del 88% y 92% respectivamente, Escobar y Vásquez (1987). Otras especies arbóreas asociadas con el cativo y de gran importancia económica son: güino (*Carapa guianensis*), nuánamo (*Virola sp.*) y olleto (*Lecythis sp.*). La biomasa viva total del catival alcanza 1.189 ton/ha, cifra que lo coloca entre los ecosistemas boscosos de más alta productividad biológica en el mundo tropical y el volumen maderable en pie es de aproximadamente 547 m<sup>3</sup>/ha (Golley 1969). El área basal para individuos mayores de 10 cm de diámetro normal llega a alcanzar cifras superiores a los 60 m<sup>2</sup>/ha (Linares 1988).

Existe en el ecosistema una gran variedad de fauna asociada, con algunas especies en vía de extinción como: la danta (*Tapirus bairdii*), el jaguar (*Pantera onca*), el manatí (*Trinichechus manatus*), el ocelote (*Felis pardalis*) y el paujil (*Crax rubra*), entre otras.

## METODOLOGIA Y RESULTADOS

Para la realización de este estudio se establecieron parcelas permanentes en manchas de bosque primario de dos tipos de cativales:  $A_1$  y  $A_2$ , ubicados en la vereda La Balsa, corregimiento La Honda, municipio de Río Sucio, departamento del Chocó, Colombia. Se levantaron tres parcelas (1, 2 y 3) en el catival  $A_1$ , ocupando en total un área de 2,6 hectáreas y dos parcelas (4 y 5) en el catival  $A_2$ , las cuales cubren un área de 1,8 hectáreas.

Para el levantamiento de las parcelas se siguió la metodología propuesta por John y Tschinkel (1971), para lo cual las

parcelas de 50 m de ancho y 160 a 200 m de largo se dividieron en fajas de 2.000 m<sup>2</sup> en las cuales se identificaron árboles centrales y, se marcaron, identificaron y midieron los diámetros a la altura del pecho de todos los individuos de DAP > 10 cm. Para la identificación botánica de los árboles se dispuso de reconocedores de campo y del estudio taxonómico realizado por Echavarría y Varón (1988).

Los diámetros de los árboles marcados han sido medidos en dos oportunidades: marzo de 1987 y marzo de 1989.

Para el estudio de la distribución espacial del cativo, se levantaron transectos al interior de las parcelas permanentes, los cuales fueron divididos en subparcelas de 10 m x 10 m. En el catival A<sub>1</sub> se levantaron un total de 104 subparcelas correspondientes a seis transectos. En el catival A<sub>2</sub> se levantaron 36 subparcelas correspondientes a dos transectos.

#### *DIVERSIDAD FLORISTICA*

La mayoría de las comunidades ecológicas contienen gran número de especies de organismos y la frecuencia con que cada una de ellas se presenta, puede variar significativamente, desde especies muy comunes, hasta muy raras. La diversidad de una agrupación, como se ha tratado de definir, es un estadístico en el cual se combina el número de especies y la uniformidad de sus frecuencias. Se dice que una agrupación tiene alta diversidad cuando está conformada por gran número de especies, las cuales se presentan regularmente en cantidad uniforme. Por el contrario la diversidad es baja cuando las especies son pocas y su presencia no es regularmente uniforme en cantidad. Así, puesto que la diversidad depende de dos propiedades independientes de una agrupación, la ambigüedad es inevitable.

De acuerdo con Magurran (1988), la diversidad se puede ver como un indicador del bienestar de un ecosistema. En este sentido la Organización de las Naciones Unidas para la

Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (1980), plantea que: "consideraciones termodinámicas llevan a la hipótesis de que los suelos climáticos, de ambiente tropical húmedo depauperados en nutrientes, con elevada entropía, deberían sustentar poblaciones con entropía baja, a fin de mantener la estabilidad global del sistema".

#### INDICES DE DIVERSIDAD FLORISTICA

La mayoría de los índices de diversidad florística se han diseñado con base en modelos matemáticos que describen la distribución de la abundancia de las especies. En este sentido los patrones de distribución muestran que en las grandes comunidades, ricas en especies, ésta es usualmente logarítmica, mientras que a las comunidades pobres en especies corresponde una serie geométrica. Algunos índices de diversidad aplicados para el estudio de la diversidad de los cativales son:

1. serie Logarítmica: de acuerdo con Magurran (1988), esta serie está conformada por los términos:

$$X, X^2/2, X^3/3, \dots, X^i/i, \dots, X^m/m,$$

en donde  $X^i$  representa la predicción del número de especies con  $i$  individuos. El valor de  $X$  se obtiene por solución iterativa de la ecuación:

$$S/N = (1-X)/(X(-\ln(1-X))),$$

siendo  $S$  el número total de especies y  $N$  el número total de individuos encontrados.

Taylor (1978), Kempton y Taylor (1974, 1976), citados por Magurran (1988), estudiaron las propiedades de la serie logarítmica y proponen el índice

$$\alpha = N(1-X) / X$$

para el análisis de la diversidad de especies de una agrupación,

2. índice de Shannon ( $H'$ ): este índice asume que los individuos se muestrean aleatoriamente de una población infinitamente grande y que todas las especies están representadas en la muestra:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i,$$

siendo  $P_i$ , la proporción de individuos de la especie  $i$ .

De acuerdo con Fager (1972), citado por Toro (1989) el máximo valor teórico de  $H'$  es  $\ln(s)$  y el valor mínimo  $\ln(N/(N-S))$ .

Usualmente  $H'$  oscila entre 1,5 y 3,5 y solo rara vez sobrepasa 4,5 (Margalef 1972). May (1975), citado por Magurran (1988), demuestra que si la distribución de abundancia de especies es logarítmica, se necesitan  $10^5$  especies para que  $H'$  sea mayor a 5,0.

Según Whittaker (1972), citado por Magurran (1988),  $\exp H'$  representa el número de especies con igual frecuencia que se requieren para obtener el valor de  $H'$  dado por la muestra y puede utilizarse en reemplazo de  $H'$ .

La relación entre  $H'$  y la diversidad máxima  $H_{\max} = \ln S$ , puede tomarse como una medida de uniformidad ( $E$ ) Esta medida oscila entre 0,0 y 1,0. El valor máximo, (1,0), representa una situación en la cual todas las especies son igualmente abundantes (Pielou 1964 citado por Magurran 1988).

Para el análisis de la diferencia en diversidad entre dos agrupaciones utilizando el índice de Shannon,  $H'$ , se

hace uso del estadístico “t”, para lo cual la varianza y los grados de libertad se calculan según Hutchison (1970) citado por Magurran (1988), así:

$$\text{VAR } H' = \frac{\sum P_i (\ln P_i)^2 - (\sum P_i \ln P_i)^2}{N} + \frac{S - 1}{2N^2}$$

$$\text{GL} = \frac{(\text{VAR } H'_1 + \text{VAR } H'_2)^2}{(\text{VAR } H'_1)^2/N_1 + (\text{VAR } H'_2)^2/N_2}$$

3. índice de Dominancia de Simpson (D): esta medida trata de evaluar la importancia de la frecuencia de las especies más comunes de una agrupación. Se basa en la hipótesis de que la diversidad está inversamente relacionada con la probabilidad de que dos individuos tomados al azar, pertenezcan a la misma especie. De acuerdo con Magurran (1988), se calcula mediante la expresión:

$$1 - D = 1 - \sum n_i (n_i - 1) / N (N-1)$$

en la cual  $n_i$  indica el número de individuos de la especie  $i$ ,  $D$ , varía entre 0,0 y 1,0. El valor 1,0 indica la máxima dominancia (agrupación monoespecífica),

4. Coeficiente de Mezcla (CM): resulta de la relación entre el número total de especies y el número total de individuos de una agrupación. Mayo (1965) citado por Del Valle (1981), indica que éste coeficiente mide la intensidad de mezcla entre las especies de la comunidad, expresando el número promedio de individuos por especie presentes en la agrupación. Su expresión matemática es:

$$\text{CM} = S/N$$

### DIVERSIDAD DE LOS CATIVALES

Los índices planteados fueron calculados, de acuerdo con las observaciones de campo, para cada uno de los dos tipos de cativales estudiados.

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos de abundancia y frecuencia relativa para cada una de las especies observadas, tanto en el catival  $A_1$ , como en el catival  $A_2$ . Con base en la información se determinó el valor observado para los diferentes índices, tanto de diversidad como de dominancia. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

En este estudio la serie logarítmica resultó ser un buen descriptor matemático de la distribución de frecuencia de individuos por especie. Una prueba de bondad de ajuste ( $X^2$ ), no mostró diferencias significativas entre el número de especies observadas y las predichas por este modelo.

La marcada diferencia encontrada para el índice estaría indicando una significativa diferencia de diversidad entre los cativales  $A_1$  y  $A_2$ .

Esta misma diferencia se manifiesta en el índice de Shannon. Los resultados correspondientes permiten interpretar que el catival  $A_1$  presenta una diversidad equivalente a la de una agrupación de un poco más de dos especies con igual frecuencia cada una, mientras que para el catival  $A_2$  la agrupación requeriría de unas 18 especies con abundancia uniforme para alcanzar la equivalencia en términos de este índice. Además para el número de especies dado, la diversidad es de aproximadamente 24% en el catival  $A_1$  y de 77% en el catival  $A_2$ . En unidades del índice de Shannon

TABLA 1. Abundancia y frecuencia relativa catival A1.

No. Orden	Nombre Común	Nombre Científico	No. Árboles/ha	Frecuencia Relativa
1	Cativo	<i>Prioria copaifera</i>	403,5	0,8507
2	Pacó	<i>Gnias cauliflora</i>	26,5	0,0558
3	Bambudo	<i>Pterocarpus officinalis</i>	11,2	0,0286
4	Mangleduro	<i>Cynometra longifolia</i>	10,0	0,0211
5	Hobo	<i>Spondias mombin</i>	3,5	0,0074
6	Virola	<i>Virola sp.</i>	3,1	0,0065
7	Guasco	<i>Eschweilera sp.</i>	3,1	0,0065
8	Guarumo	<i>Cecropia sp.</i>	2,3	0,0048
9	Salero	<i>Pachira acuatica</i>	1,9	0,0040
10	Olleto	<i>Lecythis tuyrana</i>	1,5	0,0032
11	Guásimo colorado	<i>Luehea seemannii</i>	1,2	0,0025
12	Caracoli	<i>Anacardium excelsum</i>	0,8	0,0017
13	Higueron	<i>Ficus insipida</i>	0,8	0,0017
14	Chagará	<i>Trichilia guadrijuga</i>	0,8	0,0017
15	Aserrín	<i>Pentacletra macroloba</i>	0,8	0,0017
16	Guamo	<i>Inga sp.</i>	0,8	0,0017
17	Cocuelo	<i>Couropita darienensis</i>	0,4	0,0008
18	Tamarindo	<i>Uribea tamarindoides</i>	0,4	0,0008
19	Canime	<i>Copaifera panamensis</i>	0,4	0,0008
20	Caimito	<i>Chrysophyllum caimito</i>	0,4	0,0008
21	Jagua	<i>Genipa americana</i>	0,4	0,0008
22	Guerre	<i>Astrocarium standleyanum</i>	0,4	0,0008
23	Castilla	<i>Castilla tunu</i>	0,4	0,0008

S = 23      n/ha = 474,6; SUM Pi = 1,0

S: número de especies,  
n/ha: número promedio de árboles por hectárea,  
Pi: proporción del número total de individuos por especie respecto al número total de individuos.

TABLA 2. Abundancia y frecuencia relativa catival A2.

No. Orden	Nombre Común	Nombre Científico	No. Arboles/Ha.	Frecuencia Relativa
1	Cativo	<i>Prioria copaifera</i>	57,22	0,1506
2	Guamo	<i>Inga sp.</i>	47,22	0,1247
3	Guerre	<i>Astrocarium standleyanum</i>	40,00	0,1057
4	Guarumo	<i>Cecropia sp.</i>	40,00	0,1057
5	Mangleduro	<i>Cynometra longifolia</i>	34,44	0,0910
6	Guasco	<i>Eschweilera sp.</i>	22,22	0,0587
7	Pacó	<i>Grias cauliflora</i>	21,67	0,0555
8	Virola	<i>Virola sp.</i>	12,78	0,0338
9	Güino	<i>Carapa guianensis</i>	8,89	0,0235
10	Castilla	<i>Castilla tunu</i>	8,89	0,0235
11	Cocuelo	<i>Couropita darienensis</i>	8,33	0,0220
12	Chagará	<i>Trichilia quadrijuga</i>	7,78	0,0206
13	Caracoli	<i>Anacardium excelsum</i>	6,67	0,0176
14	Bambudo	<i>Pterocarpus officinalis</i>	6,11	0,0161
15	Tapaliso	<i>Licania arborea</i>	6,11	0,0161
16	Caimito	<i>Chrysophyllum caimito</i>	5,56	0,0147
17	Incive	<i>Lauraceae</i>	5,00	0,0132
18	Hobo	<i>Spondias mombin</i>	5,00	0,0132
19	Carbonero	<i>Licania sp.</i>	4,44	0,0120
20	Punula	<i>Quararibea sp.</i>	3,89	0,0100
21	Vara santa	<i>Triplarix sp.</i>	3,38	0,0088
22	Caidita	<i>Lauraceae</i>	2,78	0,0078
23	Cansa muchacho	<i>Oxandra panamensis</i>	2,22	0,0059
24	Guásimo colorado	<i>Luehea seemannii</i>	2,22	0,0059
25	Hueso	<i>Didimopanax sp.</i>	2,22	0,0059
26	Cargadero	<i>Malmea anomala</i>	1,67	0,0044
27	Guaraguo	<i>Coccoloba coronato</i>	1,11	0,0029
28	Lechero	<i>Brosimun utile</i>	1,11	0,0029
29	Ficus	<i>Ficus sp.</i>	1,11	0,0029
30	Ceiba bonga	<i>Ceiba pentandra</i>	1,11	0,0029

Continúa

TABLA 2. Continuación.

31	Madroño	<i>Rheedia edulis</i>	1,11	0,0029
32	Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	0,56	0,0015
33	Mora	<i>Miconia sp.</i>	0,56	0,0015
34	Canime	<i>Copaifera panamensis</i>	0,56	0,0015
35	Yaya	<i>Unonopsis pittieri</i>	0,56	0,0015
36	Borojoso	<i>Rubiaceae</i>	0,56	0,0015
37	Jagua	<i>Genipa americana</i>	0,56	0,0015
38	Cadillo	<i>Sloanea picapica</i>	0,56	0,0015
39	Higüo	<i>Miconia sp.</i>	0,56	0,0015
40	Guayabillo	<i>Terminalia chiriquensis</i>	0,56	0,0015
41	Pantano	<i>Hyeronima axiflora</i>	0,56	0,0015
42	Mielquemada		0,56	0,0015
43	Truntago	<i>Vitex columbiensis</i>	0,56	0,0015
S = 43		n/ha = 378,56;	SUM Pi = 1,0	

(H'), la diferencia entre los dos tipos de cativales es en términos estadísticos altamente significativa, lo que le da validez probabilística a las observaciones anteriores.

Los valores encontrados para el índice de Shannon son consistentes con los análisis teóricos hechos para su rango de distribución (Fager 1972, citado por Toro 1989; May 1975 citado por Magurran 1988) y con las observaciones hechas por otros autores (Margalef 1972 y May 1975, citados por Magurran 1988).

Otros estudios; Saldarriaga (1985), Uhl y Murphy (1981), Knight (1975) citados por Toro (1989), reportan valores de este índice superiores a 5,0. Aunque estos valores no dejan de ser extraños, la ausencia del análisis de distribución del número de individuos por especie, no permiten concluir en relación con su validez.

El índice de dominancia de Simpson mostró diferencias en cuanto a la importancia del cativo en los dos tipos de cativales. Así, mientras que en el catival  $A_1$  resultó ser de aproximadamente 73% en el catival  $A_2$  no alcanzó el 8%. Este índice, lo mismo que el Coeficiente de Mezcla son consistentes con las medidas de diversidad calculadas y confirman las diferencias entre los dos tipos de cativales. Los valores encontrados en dicho coeficiente son intermedios entre los extremos reportados para bosques tropicales naturales de 327 individuos por especie para manglares prácticamente puros y 3,5 individuos por especie para bosque mixto (Del Valle 1981).

TABLA 3. Índices de diversidad y dominancia de los cativales<sup>1</sup>.

		Catival $A_1$	Catival $A_2$
Area total muestreada	A	2,60ha	1,8ha
Número de individuos	N	1.233,00	682
Número de especies	S	23,0000	43
Serie logarítmica	X	0,99675	0,98527
	a	4,0203	10,196
Índice de diversidad	H'	0,7456	2,89
de Shannon	exp H'	2,1078	18,0112
	E	0,2378	0,7686
Índice de dominancia	D	0,7279	0,0793
de Simpson			
Coeficiente de Mezcla	C.M	1/54	1/16

<sup>1</sup> Tomada de Gómez (1990)

*ORGANIZACION ESPACIAL*

La forma como se distribuyen en el espacio los individuos de una especie se conoce con el término patrón espacial de la especie (Matteucci y Colma 1982). De acuerdo con este concepto las especies pueden tener patrones regulares, aleatorios o agregados.

Se dice que la organización espacial de los individuos de una especie sigue un patrón aleatorio cuando cada punto del espacio considerado tiene igual probabilidad de estar ocupado por un individuo de la especie en cuestión. En este caso, la distribución del número de individuos por unidad muestral sigue una serie de Poisson, en la cual los parámetros estadísticos media y varianza son de igual magnitud. Un patrón agregado se da cuando los individuos se concentran anormalmente en algunas de las unidades muestrales, caso en el cual la varianza es significativamente mayor que la media. Por el contrario, si los individuos se organizan más uniformemente de lo que se espera por azar, en las diferentes unidades muestrales se habla de patrón regular en cuyo caso la varianza es significativamente menor que la media.

Estudios exhaustivos realizados en bosques tropicales naturales, han llegado a la conclusión de que el patrón espacial de las especies no es del tipo aleatorio (Jack 1961).

*CLASIFICACION DEL PATRON ESPACIAL DE UNA ESPECIE*

La relación entre la varianza y la media (varianza relativa) ha sido utilizada para el estudio del patrón espacial de una especie.

Una relación mayor que la unidad indica una distribución contagiosa y una menor que la unidad una distribución binomial (Smith citado por Jack 1961). Adicionalmente a este criterio, se dispone de técnicas estadísticas que permiten



estudiar el ajuste de las observaciones del número de individuos por unidad muestral a funciones de distribución de probabilidades.

La función binomial negativa ha sido utilizada para describir el comportamiento de ésta variable cuando se da el fenómeno del gregarismo (Gómez 1984).

De acuerdo con la UNESCO (1980), la distribución espacial de los árboles se puede estudiar, utilizando ciertos criterios de presencia o ausencia en series de parcelas contiguas. Este método, conocido como de sucesiones continuas, establece que la homogeneidad de la distribución de una especie se cuantifica mediante el número de sucesiones continuas de parcelas adyacentes con presencia o ausencia de individuos de la especie. Sí el número de parcelas en las cuales la especie está presente, se denota con  $m$  y ausencia con  $n$ , entonces un patrón de distribución aleatorio, daría por resultado que el número de sucesiones continuas  $U$ , se distribuiría con media

$$U = ( 2 mn / (m + n)) + 1$$

y varianza

$$\sigma^2 (U) = 2 mn (2mn - n - m) / (m + n)^2(m + n - 1)$$

De acuerdo con este método la tendencia al gregarismo se manifiesta en observaciones de  $U$  demasiado bajas y la superhomogeneidad con valores de  $U$  demasiados altos, en relación con los valores teóricos.

En el caso de que el patrón de una especie, sea de naturaleza contagiosa, se hace necesario considerar tanto la frecuencia como el tamaño de los agregados. En éstas circunstancias el tamaño de las unidades muestrales podrán ocultar la presencia de un patrón agregado, particularmente si tales unidades muestrales son de mayor tamaño que el de los

agregados o que la distancia entre ellos. Además tamaños de parcela demasiado pequeños en relación con el tamaño de los agregados podrán provocar errores en la interpretación de los resultados.

#### *PATRON ESPACIAL DEL CATIVO*

El método de las sucesiones continuas se aplicó a transectos ubicados en los cativales  $A_1$  y  $A_2$  y para tamaños de parcela de 100, 200, 300 y 400 m<sup>2</sup>.

De acuerdo con este método en el catival  $A_1$  considerando todos los individuos mayores o iguales a los 10 cm de DAP, el número de sucesiones continuas observado ( $U_0$ ) resultó mayor que el número de sucesiones esperado bajo un patrón espacial aleatorio ( $U$ ). Por el contrario, en el catival  $A_2$ ,  $U_0$  resultó menor que  $U$ . Estos resultados estarían indicando la presencia de agregados de cativo en el catival  $A_2$  y la ausencia de los mismos en el caso del catival  $A_1$ .

Considerando solamente los individuos de cativo de 40 cm o más de DAP, la metodología de las sucesiones continuas arrojó los siguientes resultados: en el catival  $A_1$  el  $U_0$  resultó mayor que  $U$  excepto en algunos transectos, cuando se consideraron tamaños de parcela de 200 y 300 m<sup>2</sup>; en el catival  $A_2$  el  $U_0$  resultó menor que  $U$  a excepción del caso en el cual se consideraron parcelas de 100 m<sup>2</sup> de área. Este último resultado estaría indicando la presencia en ese tipo de bosque, de agregados de cativos de más de 40 cm de DAP cubriendo áreas superiores a los 100 m<sup>2</sup>.

La varianza relativa resultó en general menor que la unidad y la función de Poisson no describió adecuadamente la distribución del número de árboles por parcela. El caso de mayor relevancia, por alejarse de esta línea de comporta-

miento, se dio en el catival  $A_2$ , cuando se consideraron todos los individuos superiores a 10 cm de DAP y tamaños de parcela de 400 m<sup>2</sup>, en el cual, la varianza superó significativamente la media, evidenciando la presencia del fenómeno del gregarismo. En este caso la distribución del número de árboles por parcela se ajustó mejor a una distribución binomial negativa, que a la función de Poisson. Una situación similar a ésta se presentó en el catival  $A_1$ , para unidades muestrales de 300 m<sup>2</sup> cuando se tuvieron en cuenta solamente los individuos adultos de cativo (los que superaban los 40 cm de DAP).

### *CRECIMIENTO*

La variación a través del tiempo de las características dimensionales de los individuos de una comunidad, es probablemente el parámetro silvícola de mayor relevancia desde el punto de vista del análisis de las posibilidades de producción y de manejo de una agrupación específica. Este parámetro, comúnmente denominado tasa de crecimiento, ha sido estudiado exhaustivamente en la mayoría de los bosque de interés económico del planeta. En las latitudes medias y altas el método más utilizado para la estimación de crecimiento diamétrico de árboles forestales se conoce con el nombre de Análisis Troncal, y se basa en el análisis de los anillos de crecimiento presentes en los árboles. En el caso de las especies forestales tropicales, sin embargo, la ausencia de dichos anillos en muchas de ellas o, cuando éstos se dan, sus irregularidades, poca definición y especialmente el insuficiente conocimiento sobre su periodicidad, han impedido la utilización del análisis troncal en forma generalizada.

### *ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DE ESPECIES FORESTALES TROPICALES*

Un método alternativo utilizado en los trópicos para el estudio de crecimiento de árboles, es el de los tiempos de paso

empleando la medición sucesiva durante varios años de árboles marcados. El método básicamente consiste en determinar el incremento corriente anual de clases diamétricas sucesivas. El tiempo de paso se determina para cada clase diamétrica como el tiempo requerido para que el árbol promedio pase desde el límite inferior de la clase hasta el límite superior y, por sumatoria el tiempo requerido para alcanzar el límite superior de cualquier clase diamétrica establecida. Se han utilizado métodos matemáticos o bien para estimar la edad de los árboles, en función del diámetro, o bien para determinar funciones continuas que relacionen diámetro y edad. Del Valle (1986), demuestra que el modelo propuesto por Von Bertalanffy, en su forma diferencial, además de posibilitar un tratamiento matemático al método de los tiempos de paso, reduce a casos particulares de él otros métodos matemáticos propuestos con el mismo fin.

De acuerdo con Von Bertalanffy (1976), el crecimiento se basa en la acción encontrada de procesos anabólicos y catabólicos. Para la modelación del crecimiento de animales propuso la ecuación diferencial

$$\frac{dw}{dt} = n w^m - p w,$$

donde:

w : peso o volumen de un organismo,

n, p : constantes de anabolismo y catabolismo respectivamente.

t : tiempo.

Richards y Chapman según Pienaar y Turnbull (1973), trabajando con plantas y animales respectivamente, propu-

sieron que el exponente  $m$  se mantuviera como variable y no constante, como lo había propuesto Von Bertalanffy.

En el caso del estudio del crecimiento del diámetro de árboles ( $D$ ) el modelo anterior puede expresarse

$$\frac{dD}{dt} = nD^m - pD,$$

donde  $D$  es el DAP.

Esta ecuación permite, utilizando técnicas estadísticas adecuadas, encontrar la relación entre el diámetro y el crecimiento corriente anual del diámetro y calcular una función del diámetro en términos de la edad, puesto que la integral de la anterior ecuación es (Del Valle 1986)

$$D = A (1 - Ce^{-kt})^{1/(1-m)},$$

en la cual  $A = (n/p)^{1/(1-m)}$  es la asíntota;  $K = p(1-m)$ ;  $C = 1 - (D_0/A)^{(1-m)}$  siendo  $D_0$  el límite inferior de la primera clase diamétrica.

En el caso en el cual exista información que permita obtener una adecuada estimación de la asíntota ( $A$ ), los cálculos pueden simplificarse ya que la ecuación de incremento resulta ser

$$\frac{dD}{dt} = n (D^m - A^{(m-1)}D),$$

Del Valle (1986).

## CRECIMIENTO DEL CATALVAL

El método de tiempos de paso se aplicó a todos los individuos, a los cuales le fue medido su diámetro normal (DAP) durante los dos años de desarrollo de la investigación. Los cálculos se efectuaron tanto para todas las especies incluidas en las mediciones, como para el catalvo, aisladamente, por ser la especie dominante de la asociación. Los resultados para los tipos de bosque definidos: catalval  $A_1$  y catalval  $A_2$ , se presentan en las Tablas 4 y 5 y en la Figura 1.

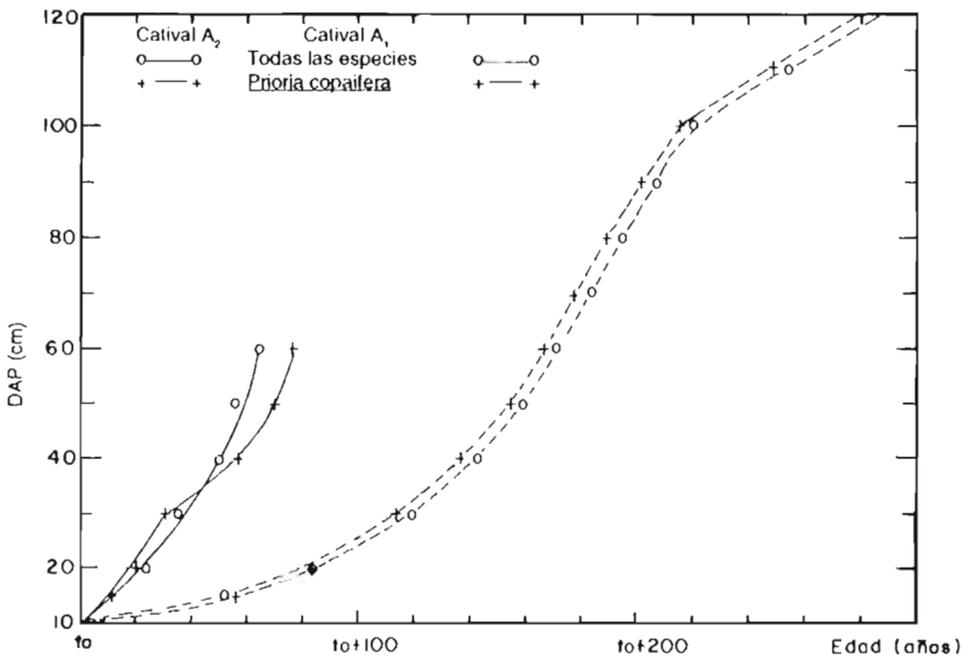


FIGURA 1. Crecimiento diamétrico acumulado del catalval. Método de los tiempos de paso.

TABLA 4. Crecimiento promedio de los árboles del catival A<sub>1</sub>. Método de los tiempos de paso

Clase Diamétrica		Todas las especies		Cativo		
(cm)	N	Tiempo Paso Promedio Acumulado (años)		N	Tiempo Paso Promedio Acumulado (años)	
10 - 15	160	52,63	52,63	135	55,99	55,99
15 - 20	101	29,17	81,80	78	27,83	83,82
20 - 30	128	37,01	118,81	108	30,28	114,10
30 - 40	62	24,04	142,85	53	23,91	138,01
40 - 50	54	15,76	158,61	45	16,85	154,86
50 - 60	42	12,25	170,86	41	12,82	167,68
60 - 70	22	12,96	183,82	21	11,49	179,17
70 - 80	15	10,32	194,14	15	10,37	189,54
80 - 90	11	12,45	206,59	11	12,45	201,99
90 - 100	6	13,79	220,38	6	13,79	215,78
100-110	3	33,33	253,71	3	33,33	249,11
110-120	3	32,00	285,71			

TABLA 5. Crecimiento promedio de los árboles del catival A<sub>2</sub>. Método de los tiempos de paso.

Clase Diamétrica		Todas las especies		Cativo		
(cm)	N	Tiempo Paso Promedio Acumulado (años)		N	Tiempo Paso Promedio Acumulado (años)	
10 - 15	93	11,89	11,89	9	11,51	11,51
15 - 20	43	10,97	22,86	3	9,68	21,19
20 - 30	40	12,29	35,15	6	10,48	31,67
30 - 40	19	14,62	49,77	1	25,00	56,67
40 - 50	8	6,72	56,49	3	14,29	70,96
50 - 60	4	7,48	64,33	3	6,52	77,21

Estos resultados muestran un comportamiento normal, tanto de las tasas de crecimiento por clase diamétrica, como del crecimiento acumulado. En el caso del catival  $A_1$  el comportamiento de las curvas de crecimiento es prácticamente el mismo, ya sea que se considere el conjunto de especies de la asociación o el cativo solamente. Este es un resultado que se esperaba debido a la fuerte influencia que ejerce el cativo en la muestra. Las tasas de crecimiento más bajas se presentan en la primera clase diamétrica considerada, alcanzando valores extremadamente bajos (de menos de 0,1 cm por año) y las más altas en la clase de 70-80 cm, llegando a alcanzar casi un cm/año.

En el catival  $A_2$  el comportamiento de las tasas de crecimiento es un poco errático, especialmente cuando se considera el cativo solamente. Este comportamiento probablemente está influenciado por el pequeño tamaño de la muestra. En este caso, sin embargo, se puede evidenciar un mayor crecimiento y una edad más temprana para la maximización de las tasas de crecimiento que en el catival  $A_1$ .

Aunque Del Valle (1979), en términos de la clasificación aquí adoptada, no indica el tipo de bosque del cual provienen sus datos, sus resultados no difieren significativamente de los que aquí se presentan; en cambio si lo hacen los resultados obtenidos por Linares (1988) en la misma región que la de este estudio. Este autor encontró un comportamiento anormal de las curvas de crecimiento corriente anual del cativo, tanto en el catival  $A_1$ , como en el catival  $A_2$ ; dichas curvas con más de un máximo relativo y valores hasta de casi dos cm/año de crecimiento promedio anual en diámetro, no dejan de ser exageradamente extrañas.

Con el fin de obtener modelos matemáticos para la descripción del crecimiento corriente; a los datos agrupados por clase diamétrica se ajustó el modelo de Von Bertalanffy en su

forma diferencial, para lo cual se emplearon técnicas de mínimos cuadrados no lineales. A partir de los parámetros mínimo cuadráticos estimados, se obtuvieron los del modelo que describe el comportamiento del diámetro a través del tiempo. En ninguno de los casos se pudo lograr un ajuste satisfactorio del modelo a los datos. La tendencia general fue la sobreestimación consistente del DAP por parte del modelo de Von Bertalanffy. El hecho de requerirse la utilización del método de mínimos cuadrados no lineales (el cual hace uso de un procedimiento iterativo, a partir de unos valores de partida de los parámetros) no deja de ser un inconveniente operativo para el ajuste de este modelo. Además, las relaciones matemáticas involucradas al interior del modelo hacen posible que no tenga interpretación en el campo de los números reales. Esta situación se dio cuando se ajustó dicho modelo a los datos de crecimiento del cativo con datos agrupados y asumiendo un valor para la asíntota, dando por resultados estimados para  $n$  y  $p$  con signos opuestos.

A los datos individuales de la tasa de crecimiento promedio anual se ajustó el modelo de von Bertalanffy en su forma diferencial; dando por resultado un comportamiento de los modelos ajustados con gran cantidad de problemas estadísticos especialmente referidos a bajo nivel de ajuste, presencia de heteroscedasticidad y autocorrelación en los errores. En algunos casos los valores asintóticos estimados por el modelo resultaron completamente desfasados de lo que puede esperarse de acuerdo con el fenómeno estudiado. El análisis de residuales permitió detectar la presencia de una gran variabilidad en las tasas de crecimiento tanto del cativo, como del conjunto de especies del catival en los dos tipos de bosque estudiados. Esta variabilidad se puede observar en todas las categorías diamétricas y probablemente está altamente correlacionada con factores de competencia por luz y nutrientes entre los individuos de la asociación.

Aunque las tasas de crecimiento observadas en los dos tipos de catival son relativamente bajas, el hecho de que los datos provengan de bosques primarios, en los cuales, en términos generales, los individuos están sujetos a una fuerte competencia por luz y nutrientes hace que dichas tasas estén muy por debajo de las que potencialmente podrían alcanzarse si se aplicaran tratamientos silviculturales adecuados referidos fundamentalmente a la dosificación de la energía lumínica. Experiencias al respecto (Loestch y Haller, Prince, Brown, citados por Del Valle 1979) indican que las tasas de crecimiento se incrementan entre dos y cuatro veces, cuando al bosque primario se aplican técnicas de manejo silvícola.

#### *ESTRUCTURA DIAMETRICA*

La distribución del número de árboles por categoría diamétrica, ha sido uno de los parámetros más estudiados por la silvicultura.

Claramente las investigaciones silviculturales han mostrado la importancia del conocimiento de la estructura diamétrica o estructura total, tanto para la caracterización del tipo de bosque, como para la identificación de su estado de desarrollo y para el planteamiento de sistemas de manejo silvicultural; así, resultados de algunas investigaciones al respecto señalan que:

1. los bosques tropicales en un avanzado estado de madurez presentan una estructura diamétrica en forma de "J" invertida, lo cual indica un flujo adecuado de la regeneración hacia los diámetros mayores. En este sentido la UNESCO (1980), afirma que la estructura diamétrica pantropical por encima de los 20 cm del DAP es claramente exponencial y que cualquier anomalía debe considerarse como producto de una baja calidad en el muestreo o de alteraciones producidas por el hombre o la naturaleza,

2. a los diferentes tipos de estructura han sido asociados tipos de comportamiento silvícola. Curvas exponenciales son indicadoras de fuerte tendencia esciófila de las especies, mientras que curvas en media campana expresan una tendencia heliófila (UNESCO 1980),
3. el área basal, un indicador de la densidad de un rodal de muy frecuente utilización, se comporta a través del diámetro de manera altamente dependiente de la estructura diamétrica. Si la distribución diamétrica sigue leyes exponenciales el área basal tiende a seguir una función gamma incompleta. Además a partir del comportamiento de dicha estructura es posible hacer inferencias en relación con el comportamiento de las alturas y de los volúmenes. Ogawa, citado por UNESCO (1980), plantea una relación parabólica o hiperbólica para la altura en función del diámetro, mientras que Rollet, citado por esa misma institución encontró relaciones significativas entre área basal y volumen por clase diamétrica en bosques tropicales.
4. además en el planteamiento del manejo silvícola para bosques disetáneos, la estructura diamétrica ha sido tomada como herramienta fundamental (Chagas *et al* 1983, Moser 1976, Adams 1976, Alexander y Edminster 1977).

En el caso del catival, los pocos estudios realizados indican que la distribución de los árboles por categoría diamétrica es regular o positiva y el alto número de cativos en las clases inferiores parecen garantizar la permanencia del rodal con composición y calidad futuras semejantes a las actuales (Mayo 1965, Becerra 1968, Muñoz, citado por Escobar y Vásquez 1987).

*MODELOS DE ESTRUCTURA DIAMETRICA POSITIVA*

Para describir la estructura diamétrica de bosques disetáneos han sido planteados varios modelos matemáticos, entre los cuales se resaltan:

1. el polinomial de Goff y West, deducido a partir de observaciones sobre las tasas de crecimiento del número de individuos por clase diamétrica en bosques regenerados naturalmente. Goff y West (1975), establecen una curva hipotética de la población en equilibrio que consta de tres fases. La primera constituida por el dosel inferior en la cual se presenta un gran número de individuos y alta competencia por nutrientes, lo que da por resultado alta mortalidad y por consiguiente una fuerte pendiente de la curva que describe la estructura; la segunda conformada por el dosel superior o intermedio de árboles vigorosos y de rápido crecimiento y relativa baja mortalidad y, por consiguiente una pendiente suave de la curva, por lo cual fue denominada plateau y la tercera, conformada por el dosel superior de árboles maduros, caracterizada por alta mortalidad, ocasionada por el efecto de enfermedades y fuertes vientos, y lento crecimiento, dando por resultado una fuerte pendiente de la curva de la estructura diamétrica. La conjunción de estas tres fases, da por resultado una curva sigmoideal rotada, la cual puede describirse por el modelo

$$\log f_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3 + \dots + b_n d_i^n,$$

donde:

- $f_i$  : frecuencia o número de árboles en la clase diamétrica  $i$ ,  
 $d_i$  : marca de clase diamétrica  $i$ ,  
 $n$  : grado del polinomio.

Contente *et al* (1979), confirman los planteamientos de Goff y West (1975) y concluyen que la forma sigmoideal rotada es biológicamente más sustentable en poblaciones en equilibrio o en rodales de tardío crecimiento y siempre incluyendo la totalidad del rango diamétrico,

2. la distribución de Weibull, la cual en su forma original, es una función de densidad de probabilidades de la forma:

$$f(X) = c/b ((x - a)/b)^{(c-1)} e^{-((x-a)/b)^c},$$

$$X \geq a, b > 0, c > 0, a > 0,$$

donde:

X: variable aleatoria en estudio,

a: valor mínimo que puede tomar X,

b: parámetro de escala,

c: parámetro de forma,

f(X): función de densidad de probabilidades de X.

Este modelo puede tomar formas muy variadas de acuerdo con los valores de sus parámetros, incluyendo distribuciones unimodales. Valores de  $c < 1$  dan por resultado funciones decrecientes y en el caso  $c = 1$ , la función de Weibull se convierte en la exponencial negativa.

Bailey y Dell (1973) fueron los primeros en utilizar este modelo para la descripción de la estructura diamétrica siendo actualmente el más comúnmente utilizado con este fin (Clutter *et al*, 1983) y se han desarrollado varios métodos para la estimación de sus parámetros (Arteaga, 1987).

La función de distribución acumulada de Weibull,  $F(X)$  se obtiene por integración de la función de densidad  $f(x)$  y se puede expresar como

$$F(X) = 1 - e^{-((x-a)/b)^g},$$

3. la distribución beta, en la cual la función  $B(g,t)$  corresponde a la integral de la función de densidad de probabilidades

$$f(X) = (x-a)^g (b-x)^t$$

donde

$X$ : variable aleatoria en estudio,  
 $a$ : límite inferior,  
 $b$ : límite superior,  
 $g, t$ : parámetros.

y puede expresarse como:

$$B(g,t) = \int (x-a)^g (b-x)^t dx; \quad a \leq x \leq b.$$

Estimados los parámetros se obtiene el valor de  $B(g,t)$  por métodos numéricos y se calcula un factor de reducción en la escala de la ordenada  $c$ , así

$$c = \frac{N_r}{N_e} = \frac{\text{No. total de observaciones}}{\text{No. total de frecuencias estimadas}}$$

el cual al multiplicarse por la función de densidad, permite estimar las frecuencias de cada clase con marca de clase  $x$ .

La función  $B(g,t)$  produce distribuciones decrecientes para  $g \leq 0$  y  $t > 0$  y de acuerdo con Loetsch *et al* (1973) citado por Arteaga (1987), algunas experiencias muestran una fuerte

subestimación de las frecuencias diamétricas en las vecindades del diámetro máximo b. Arteaga (1987), describe algunos métodos para la estimación de los parámetros,

4. la función exponencial o Meyer tipo I, la cual es probablemente la que más ha sido utilizada para describir la estructura diamétrica de bosques disetáneos. Fue planteada con el fin de describir matemáticamente observaciones sobre el comportamiento de las frecuencias de árboles en clases diamétricas sucesivas, las cuales mostraban la forma de una serie geométrica (Ley de Licourt). Su expresión es

$$Y = K \exp(-bx),$$

donde:

Y : número de árboles,

X : marca de clase diamétrica,

K,b : parámetros,

b : estima la tasa a la cual decrece Y en clases diamétricas sucesivas y K la densidad relativa.

#### *ESTRUCTURA DIAMETRICA DEL CATIVAL*

La distribución del número de individuos por categoría diamétrica, se estudió en los dos tipos de cativales, para las especies más abundantes. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

TABLA 6. Frecuencia (No. de árboles/ha ) por categoría diámetrica de las especies más abundantes del catival.

Tipo de Catival	Clase Diamétrica (cm)	Total	Cativo	Mangle Duro	Bambudo	Paco
A <sub>1</sub>	10 - 20	216,52	177,28	2,68	3,83	16,90
	20 - 30	94,60	79,61	0,75	2,70	7,30
	30 - 40	41,15	33,45	2,66	2,67	0,38
	40 - 50	36,90	31,90	2,28	1,92	
	50 - 60	27,30	26,13	0,36		
	60 - 70	18,04	17,66	0,38		
	70 - 80	9,60	9,60			
	80 - 90	6,92	6,92			
	90 - 100	4,20	4,20			
	100 - 110	2,27	2,27			
	110 - 120	1,14	1,13			
	120 - 130	1,54	1,13			
	170 - 180	0,38				
A <sub>2</sub>	10 - 20	235,62	21,37	17,54	12,60	33,42
	20 - 30	62,99	9,31	8,76	10,96	8,77
	30 - 40	27,42	7,12	4,93	5,49	2,20
	40 - 50	10,97	3,84	2,19	3,84	
	50 - 60	8,78	4,93	1,10	1,10	
	60 - 70	3,75	0,55	1,65		
	70 - 80	0,55	0,55			
	80 - 90	3,84	2,74			
	100 - 110	0,55	0,55			
	110 - 120	1,65	1,65			
	130 - 140	2,20	1,65			
	140 - 150	1,65	1,10			
	150 - 160	1,10	0,00			
	160 - 170	0,55	0,00			
	170 - 180	1,65	0,55			
		220 - 230	0,55	0,00		

La estructura diamétrica para el conjunto de especies, muestra una tendencia claramente decreciente, como corresponde a un bosque seguramente disetáneo. En el catival  $A_1$  se presentan algunas anomalías para las mayores categorías diamétricas, especialmente por la aparición de especies que alcanzan grandes tamaños, pero que aparentemente no tienen asegurada su presencia dentro del ecosistema, como es el caso del caracolí (*Anacardium excelsum*).

La estructura diamétrica de las especies más abundantes también presenta tendencia, aunque con menor claridad, decreciente, lo que parece indicar que su presencia dentro de dichos ecosistemas está asegurada. La principal anomalía se da para el mangle duro (*Cynometra martiana*) en el catival  $A_1$ .

Estas observaciones están de acuerdo con los resultados de Escobar y Vásquez (1987), reportados para estos tipos de bosques.

Con el fin de modelar la estructura diamétrica, se ajustaron los modelos Weibull, Polinomial de segundo y tercer grado, Beta, Meyer y algunas modificaciones de estos modelos, a la información de frecuencia por clase diamétrica clasificada por: tipo de bosque, grupos de especies y amplitud de las clases diamétricas. De acuerdo con los resultados se seleccionaron dos modelos: el de Weibull y un modelo obtenido por modificación planteada al modelo de Meyer, para describir la estructura diamétrica tanto del conjunto de especies, como del cativo en los cativales  $A_1$  y  $A_2$ . El ajuste se hizo tanto para cada una de las parcelas, como para el conjunto de parcelas en cada uno de los tipos de bosques analizados.

Para la estimación de los parámetros se utilizaron métodos de regresión, así:

1. el modelo de Weibull se ajustó, aplicando la transformación desarrollada por Seth *et al* (1975), para la distribución acumulada. En el caso en el cual  $a$  (diámetro mínimo) es cero, dicha transformación es:

$$F(X_i + W/2) = 1 - \exp(-((X_i + W/2)/b)^c),$$

que en forma lineal puede expresarse como

$$\ln(-\ln(1-F(X_i+W/2))) = c \ln(X_i+W/2) - c \ln b$$

en las cuales  $X_i$  es la marca de la clase diamétrica y  $W$  la amplitud de la clase. De esta manera el modelo lineal general  $Y = B_0 + B_1X + E$  puede ajustarse, haciendo

$$Y = \ln(-\ln(1-F(X_i + W/2))), \text{ y}$$

$$X = \ln(X_i + W/2)$$

y los parámetros estimados  $b_0$  y  $b_1$  relacionados con los parámetros del modelo de Weibull por las ecuaciones

$$c = b_1,$$

$$b = \exp(-b_0/b_1),$$

$$a = 0,0,$$

2. el modelo de Meyer  $Y = K e^{-bx^c}$  se transformó en

$$Y = Ke^{-bx^c}, \text{ Arteaga (1987).}$$

El parámetro  $c$ , se estimó como el valor para el cual se minimizaba la suma de cuadrados de los errores. Determinado  $c$  se ajustó un modelo lineal general a las variables:  $\ln Y$ , con  $Y$  = número de árboles por ha en la clase diamétrica  $i$  como variable dependiente y  $X^c$  con  $X$  = marca de clase, como variable independiente. De esta manera los parámetros estimados del modelo lineal ajustado ( $b_0$  y  $b_1$ )

se relacionan con los parámetros del modelo de Meyer de la siguiente manera

$$K = \exp(b_0),$$

$$b = -b_1.$$

Los resultados obtenidos al ajustar estos modelos a los datos provenientes de los cativales  $A_1$  y  $A_2$  y para amplitudes de las clases diamétricas de 10 cm se presentan en la Tabla 7 tanto para el conjunto de especies como para el cativo. En esta tabla el modelo de Weibull está definido por la función

$$F(x) = 1 - \exp(-(x/b)^c),$$

donde  $F(x)$  representa la proporción de individuos con DAP menor o igual a  $X$  cm. Por su parte el modelo de Meyer modificado está definido por  $Y = K \times 10^{(-bx)^c}$ , donde  $Y$  representa el número de individuos por hectárea en la clase diamétrica con marca de clase de  $X$  cm.

Aunque los dos modelos en términos estadísticos, describen adecuadamente el comportamiento de los datos muestrales, resulta evidente en todos los casos la superioridad del modelo de Weibull sobre el de Meyer modificado y sobre todos los demás ensayados para describir la estructura diamétrica del catival.

**TABLA 7. Ajuste de los modelos Weibull y Meyer modificado a la estructura diamétrica de los cativales A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>, para amplitud de clases diamétricas de 10 cm.**

		Modelo Weibull modificado				
Tipo de Bosque	Población	Estimados de Parámetros		Nivel Ajuste R <sup>2</sup> (%)	Significancia Regresión F	
		b	c			
A <sup>1</sup>	Todas las especies	29,100	1,22161**	99,5	1817,6 **	
	Cativo	30,464	1,22600**	99,5	413,5 **	
A <sub>2</sub>	Todas las especies	14,910	10,6964**	95,8	430,2 **	
	Cativo	40,5261	0,9968**	97,5	458,4	
		Modelo Meyer modificado				
Tipo de Bosque	Población	Estimados de Parámetros			Nivel Ajuste R <sup>2</sup> (%)	Significancia Regresión F
		k	b	c		
A <sub>1</sub>	Todas las especies	505,475	0,03680	0,9	92,5	186,1**
	Cativo	263,627	0,01943**	1,0	98,0	503,7**
A <sub>2</sub>	Todas las especies	1,6x10 <sup>11</sup>	-17,31341**	-0,1	80,5	82,7**
	Cativo	2,4x10 <sup>9</sup>	5,35667**	0,1	66,3	29,4**

\*\* Valores altamente significativos (P<0,01)

En las Figuras 2 y 3 se presentan graficados los modelos de Weibull ajustados, tanto para los cativales A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>, como para el conjunto de especies de las agrupaciones y para el cativo. En todos los casos los modelos muestran una exagerada acumulación de individuos en la primera clase diamétrica (10-20 cm), producida seguramente por el excesivo lento crecimiento de los individuos de esta clase, los cuales están sometidos a una muy fuerte competencia sobre todo por energía lumínica. La proporción de individuos que pasan de una clase diamétrica a la siguiente es especialmen-

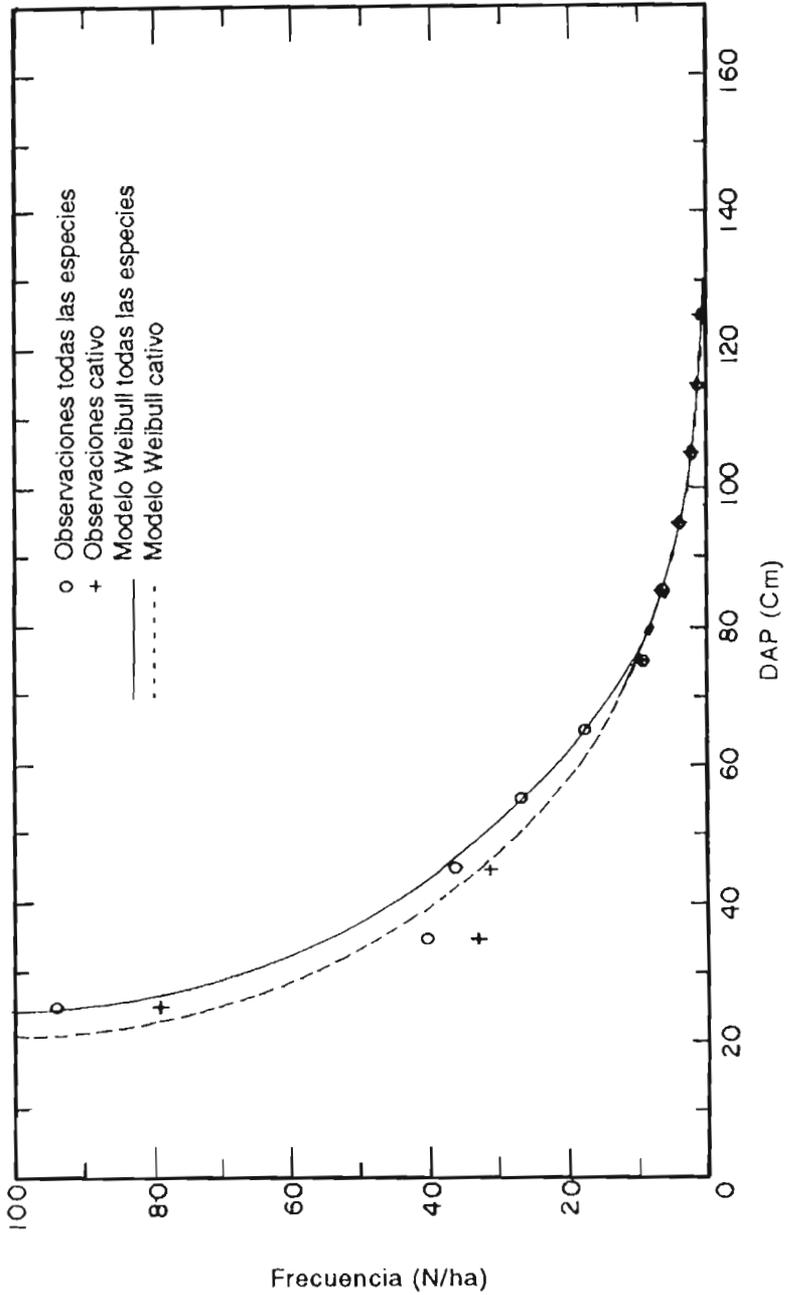


FIGURA 2. Descripción de la Estructura diamétrica del cativo A1 por el modelo de Weibull.

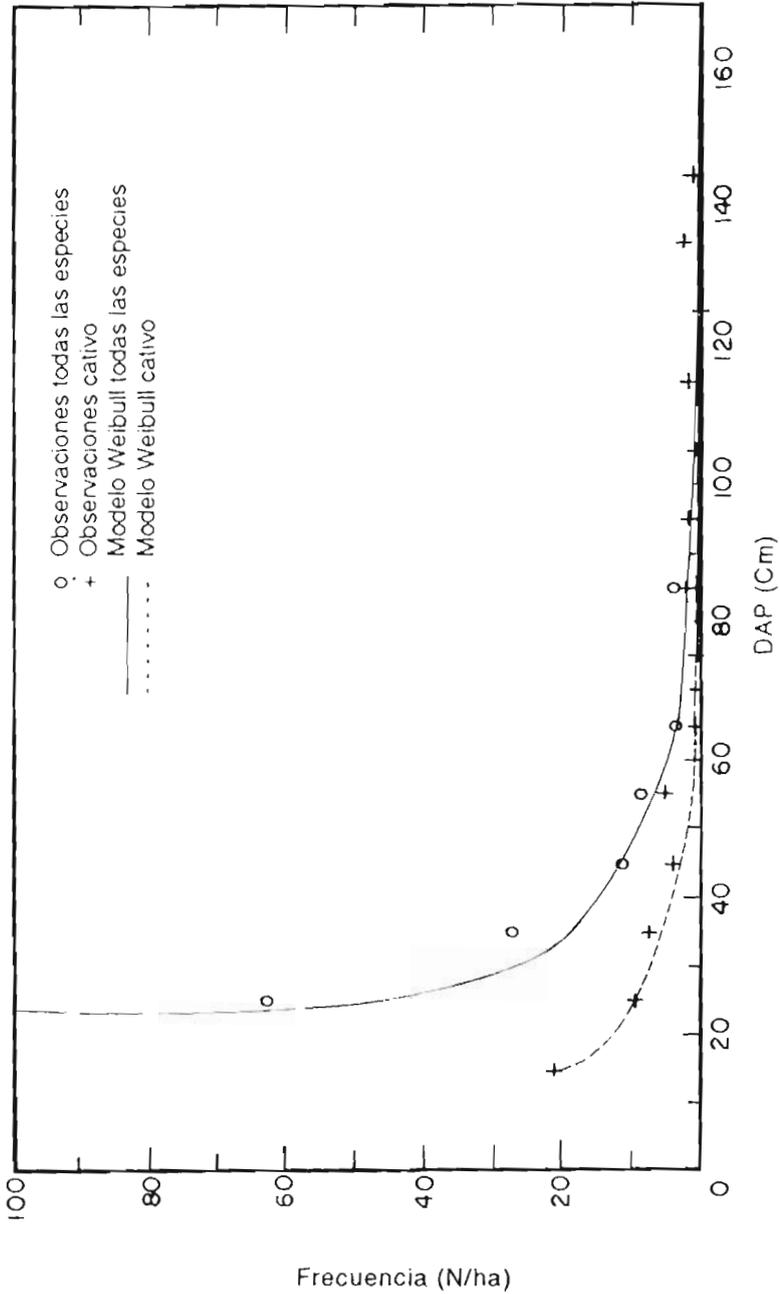


FIGURA 3. Descripción de la estructura diamétrica del cativo A2 por el modelo de Weibull.

te baja, cuando se hace referencia a las dos primeras clases diamétricas, la cual toma valores de aproximadamente 0,4 en el catival  $A_1$  y 0,14 y 0,34 para el conjunto de especies y para el cativo respectivamente en el catival  $A_2$ , mientras que en las siguientes clases diamétricas esta proporción es netamente superior. De acuerdo con dichos modelos en los diferentes casos la proporción de individuos que pasan de una clase diamétrica a la siguiente ( $p$ ) sigue los siguientes comportamientos: en el catival  $A_1$ ,  $p$ , pasa de 0,38 a 0,71 entre la primera y la segunda clase, para luego estabilizarse decreciendo progresivamente hasta 0,46 en la penúltima clase; este caso, considerando solamente el cativo, se puede observar un comportamiento muy similar, aunque con valores de  $p$  un poco mayores. En el catival  $A_2$ ,  $p$ , pasa de 0,14 en la primera clase a 0,61 en la segunda, para luego estabilizarse, creciendo progresivamente hasta alcanzar un valor de 0,8 en la penúltima clase diamétrica; en este tipo de bosque el cativo presenta un comportamiento un poco diferente al del conjunto de especies, tomando valores de  $p$  de 0,34 para la primera clase diamétrica y luego estabilizándose tomando valores prácticamente sin variaciones de aproximadamente 0,78. En términos generales la información muestral confirma estas observaciones, aunque indica que estos valores de  $p$  son relativamente bajos, no solamente en la primera, sino también en la segunda categoría diamétrica (20-30 cm).

Si se asume que las poblaciones en estudio se encuentran en equilibrio, la información recolectada estaría indicando que en este tipo de ecosistemas opera un proceso de selección, el cual se concentra en las primeras clases diamétricas, produciendo altas tasas de mortalidad por categoría diamétrica en los individuos menores de 30 cm de DAP, las cuales son del orden de 60% en el catival  $A_1$  y de 70% en el catival  $A_2$  para el conjunto de especies y un poco menores para el cativo. Sin embargo si se tiene en cuenta la tasa de crecimiento corriente anual, la cual es exageradamente baja en estas categorías

diamétricas, la tasa de mortalidad anual no alcanza el 1%, lo cual explica la alta acumulación de individuos de estas dimensiones en las poblaciones estudiadas. En estas condiciones, el flujo de individuos a través de las diferentes clases diamétricas es muy lento, pero seguramente susceptible de acelerarse si se intervienen adecuadamente los factores que limitan el crecimiento de los individuos, los cuales además del potencial genético individual tienen que ver con la alta competencia que se da entre los diferentes individuos, tanto por agua, como por nutrientes y sobretodo por la energía radiante disponible.

Los modelos seleccionados para la descripción de la estructura diamétrica de los cativales no muestran en forma evidente las fases planteadas por Goff y West (1975). Los modelos de Weibull ajustados cuando se grafican en escala semilogarítmica señalan un cambio brusco de pendiente en la segunda categoría diamétrica (DAP = 25 cm), a partir de la cual la pendiente varía en forma suave y progresiva, sin que se pueda delimitar claramente el denominado plateau.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio en términos generales se puede concluir, lo siguiente:

1. todos los parámetros estructurales evaluados para las dos agrupaciones identificadas conducen a la afirmación de que dichas agrupaciones presentan diferencias sustanciales, tanto en términos de la estructura de diámetros, y de la diversidad florística de las comunidades, como en términos de la importancia y patrón de distribución espacial de la especie predominante. Así mismo, el crecimiento presenta tasas y formas de comportamiento diferentes en las dos agrupaciones tanto para *Prioria copaifera* G., la especie dominante, como

para el conjunto de especies. Dadas las condiciones del estudio es posible afirmar, como hipótesis de trabajo, que el grado de inundación al que está sometida la comunidad vegetal, en el caso de los cativales, determina de una manera importante las características estructurales de la asociación vegetal presente, lo cual permitiría conformar al interior de unidades climáticas, unidades de manejo silvícola relativamente homogéneas,

2. a medida que disminuye el grado de inundación al que está sometida la comunidad aumenta la diversidad florística y disminuye la importancia de la especie predominante. Además el grado de contagio entre los individuos de la especie predominante (*Prioria copai-fera* G.) varía significativamente de acuerdo con dicho grado de inundabilidad: en el catival  $A_1$  sólo se detectó contagio cuando se consideraron individuos de más de 40 cm de DAP, en cambio en el catival  $A_2$  se detectó la presencia de agregados para individuos de más de 10 cm de DAP,
3. en los dos cativales considerados, las tasas de crecimiento diamétrico resultaron relativamente bajas, especialmente en las primeras categorías diamétricas. Estas tasas de crecimiento varían significativamente de acuerdo con el grado de inundabilidad siendo alrededor de tres veces superior en el catival  $A_2$  que en el catival  $A_1$ . Se pudo, además, detectar en los dos casos una gran variabilidad de las tasas de crecimiento individual, seguramente altamente correlacionada con factores de competencia entre los individuos,
4. la estructura diamétrica de los dos tipos de cativales analizados es claramente decreciente, tanto para el

conjunto de especies, como par las especies más abundantes. De todos los modelos matemáticos ajustados a la información muestral, el de Weibull resultó ser el mejor descriptor de este fenómeno.

La información analizada muestra tanto para *Prioria copaifera* G. como para el conjunto de especies una exageradamente alta acumulación de individuos en las primeras categorías diamétricas (10 a 30 cm de DAP) producto seguramente de una abundante regeneración natural y de bajas tasas de mortalidad y de crecimiento diamétrico en estas categorías de tamaño.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar especiales agradecimientos a las entidades: Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS), MADERAS DEL DARIEN S.A. y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA por el apoyo logístico o financiero brindado para la realización del presente estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, D.M. A note on the interdependence of stand structure and best stocking in a selection. *En: Forest Science*. Vol. 22, No. 2 (1976); p. 180 - 184.
- ALEXANDER, R.R. and EDMINSTER, C.B. Uneven aged management of old growth spruce fir forest: cutting methods and stand structure goals for the initial entry. *En: Research Paper*. USDA Forest Service, No. 186 (1977) p. 12.
- ARTEAGA, F.J. Modelos matemáticos para la descripción de la estructura diamétrica de varios tipos de cativales. Medellín, 1987. 165 p. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

- BAILLEY, R.L. and DELL, T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *En: Forest Science*. Vol 19, No. 1 (1973); p. 97 - 104.
- BECERRA, J.E. Algunos aspectos ecológicos y silviculturales en los bosques de la costa sur del pacífico y zona de Urabá. *En: México y sus bosques*. Vol. 3, No. 22 (1968); p. 24 - 28.
- CLUTTER, J.L. *et al.* Timber management: a quantitative approach. New York: John Wiley, 1983. 333 p.
- CONTENTE. *et al.* Comparação de modelos descritivos da distribuição diamétrica em uma floresta tropical. *En: Floresta*. Vol. 10, No. 2 (1979); p. 19 - 32.
- CHAGAS, J.C. *et al.* Emprego da distribuição diamétrica na determinação da intensidade de corte em matas naturais submetidas ao sistema de seleção. *En: Arvore*. Vol. 7, No. 2, (1983); p. 110 - 122.
- DEL VALLE, J.I. Curva preliminar de crecimiento del cativo (*Prioria copaifera* Grisebach) en bosque virgen, empleando el método de los tiempos de paso. *En: Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. Vol. 32, No. 2, (1979); p. 19 - 26.
- \_\_\_\_\_. La ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy en la determinación de la edad y el crecimiento de árboles tropicales. *En: Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, Vol. 39, No. 1 (1986); p. 61 - 73.
- \_\_\_\_\_. Estructura del bosque tropical húmedo. Documento de trabajo sin publicar. Medellín: El Autor, 1981. 43 p.
- ECHAVARRIA, J.A. y VARON, T. Estudio dendrológico de la asociación catival en la Balsa - Chocó. Medellín, 1988. 548 p. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

ESCOBAR, J.A. y VASQUEZ, I.F. Caracterización de tipos de cativales. Medellín, 1987. 201 p. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

GOFF, F.G. and WEST, D. Canopy - Understory interaction effects on forest population structure. *En: Forest Science*. Vol. 21, No. 2 (1975); p. 98-108.

GOLLEY, T.B. The structure of tropical forest in Panamá and Colombia. *En: Bioscience*. Vol. 19, No. 8 (1969); p. 693 - 697.

GOMEZ, H. La distribución binomial negativa en el estudio de poblaciones de insectos. *En: Revista Facultad Nacional de Agronomía*. Medellín. Vol. 37, No. 2 (1984); p. 3 - 11.

GOMEZ, H.D. Algunos aspectos estructurales de los cativales de la región de Urabá. Medellín, 1990. 137 p. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

HOLDRIDGE, L. Ecología basada en zonas de vida. San José: IICA, 1979. 216 p.

JACK, W.H. The spacial distribution of tree stems in a tropical high forest. *En: Empire Forestry Review*. Vol. 40, No. 3 (1961); p. 234 - 241.

JOHN, H. y TSCHINKEL, H. Parcelas forestales permanentes: su establecimiento, medición y análisis. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1971. 190 p.

LESLIE, A. J. Los bosques tropicales de especies mixtas: nuevo examen



de los aspectos económicos de los sistemas de ordenación natural.  
*En: Unasyva. Vol 39 (1987); p. 46 - 57.*

LINARES, R. Estudio preliminar de la asociación catival en Colombia.  
Bogotá: CONIF, 1988. 68 p.

MAGURRAN, A.E. Ecology diversity and it's measurement. Princeton  
University Press, 1988. 179 p.

MATTEUCCI, S.D. y COLMA, A. Metodología para el estudio de la  
vegetación. Washington: Secretaría General de los Estados  
Americanos, 1982. 168 p.

MAYO, E. Algunas características ecológicas de los bosques inundables  
del Darién, Panamá, con miras a su posible utilización. *En:*  
Turrialba. Vol. 15, No. 4 (1965); p. 336 - 347.

MOSER, J.W. Specification of density for the inverse J-shaped diameter  
distribution. *En: Forest Science. Vol. 22, No. 2 (1976); p. 177 - 180.*

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCA-  
CION, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO), PROGRAMA  
DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE y  
ORGANIZACION MUNDIAL PARA LA AGRICULTURA Y LA  
ALIMENTACION. Ecosistemas de los bosques naturales tropi-  
cales: informe sobre el estado de los conocimientos. Madrid:  
UNESCO, 1980. 771 p.

PIENAAR, I.V. and TURNBULL, K.J. The Chapman - Richards genera-  
lization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth  
and yield in even-aged stands. *En: Forest Science. Vol. 19, No.  
1 (1973); p. 2 - 22.*

SETH, S.K. *et al.* A comparative study of some distributions diameters at breast height in even-aged stands. *En: Indian Forester*. Vol 101, No. 1 (1975); p. 20 - 29.

TORO, A.P. Estudio de la sucesión secundaria en campos de cultivos abandonados en el Araracuara, Amazonas. Medellín, 1989. 52 p. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

VON BERTALANFFY, L. Algunos aspectos de la teoría de los sistemas en biología. *En: \_\_\_\_\_ Teoría general de los sistemas*. México: Fondo de la Cultura Económica, 1976.