

# Análisis silvicultural del bosque tropical atlántico a partir de la distribución diamétrica y riqueza florística del arbolado

## Silvicultural analysis of the Atlantic tropical forest from the tree diameter distribution and the floristic richness

José Imaña-Encinas<sup>1</sup> • Guillermo Riesco-Muñoz<sup>2</sup>  • Otacílio Antunes-Santana<sup>3</sup>  • Ronnie de Camino<sup>1</sup> 

Recibido: 15/4/2020

Aceptado: 6/8/2020

Publicado: 17/12/2020

### Abstract

The Atlantic tropical forest is highly fragmented and in strong regression. Next to these forests there are abandoned agricultural areas in which native vegetation is regenerating. The dynamics of that natural regeneration is poorly understood. The objective of the work was to define groups of tree species based on their regeneration pattern in these areas. To do that, the diameter distribution of the tree cover of an area in natural regeneration for 33 years in a Brazilian biological reserve was analyzed by species. 195 trees (813 trees ha<sup>-1</sup> 47.8 ± 95.6 trees per hectare) were inventoried on 2,400 m<sup>2</sup>, belonging to 15 families and 17 species, with a quadratic mean diameter of 13.7 cm and basal area averaging 11.9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Although 73 % of the diameters ranged from 5 to 15 cm, the diameter distribution was satisfactorily fitted to the Gauss curve. Only five species presented more than 75 trees ha<sup>-1</sup>: *Cecropia catarinensis*, *Miconia cinnamomifolia*, and *Miconia multiflora* presented distribution with a tendency to normal, while *Piptocarpha macropoda* presented an inverted J shape; *Vismia guianensis* only appeared in the lowest diameter class. Integrating into a dendrogram the dispersion syndrome, ecological group, and wood density attributed to the sampled species, five functional groups were distinguished. Due to its homogeneity coefficient, the surveyed stand was classified as an uneven forest. Despite 33 years having elapsed since the start of the natural regeneration, the forest stand is still in an initial stage of its natural succession towards climax structures.

**Key words:** Diameter distribution statistics, basal area, homogeneity coefficient, floristic survey.

1. Programa de Producción y Conservación de Bosques, CATIE. Turrialba, Costa Rica. [jose.imana@gmail.com](mailto:jose.imana@gmail.com), [rcamino@catie.ac.cr](mailto:rcamino@catie.ac.cr)

2 Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España. [guillermo.riesco@usc.es](mailto:guillermo.riesco@usc.es)

3 Departamento de Biofísica e Radiobiología, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Brasil. [otaciliosantana@gmail.com](mailto:otaciliosantana@gmail.com)

## Resumen

El bosque tropical atlántico se encuentra muy fragmentado y en fuerte regresión. En su entorno hay zonas agrícolas abandonadas en las que se está regenerando la vegetación nativa. La dinámica de esta regeneración natural es poco conocida. El objetivo del trabajo fue definir grupos de especies arbóreas en función de su pauta de regeneración en dichas zonas. Para ello, se analizó la distribución diamétrica de las especies del vuelo de una zona en regeneración natural desde hace 33 años en una reserva biológica brasileña. En 2 400 m<sup>2</sup> se encontraron 195 árboles (813 árboles ha<sup>-1</sup> 47,8 ± 95,6 árboles por hectárea), pertenecientes a 17 especies y 15 familias, con un diámetro medio cuadrático de 13,7 cm y área basal de 11,9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Aunque el 73 % de los diámetros se concentraba entre los 5 y 15 cm, la distribución diamétrica se ajustó satisfactoriamente al modelo de Gauss. Solo cinco especies presentaban más de 75 árboles ha<sup>-1</sup>: *Cecropia catarinensis*, *Miconia cinnamomifolia* y *Miconia multiflora* presentaron distribución con tendencia a la normal mientras que en *Piptocarpha macropoda* presentaba forma de J invertida; *Vismia guianensis* solo apareció en la primera clase diamétrica. Integrando en un dendrograma el síndrome de dispersión, grupo ecológico y densidad de la madera asignados a las especies de la muestra se distinguieron cinco grupos funcionales. Por su coeficiente de homogeneidad el vuelo se clasificó como bosque disetáneo irregular. A pesar de haber transcurrido 33 años desde el inicio de la sucesión ecológica, la masa forestal se encuentra aún en un estado inicial de su evolución hacia formas climáticas más evolutivas.

**Palabras clave:** Estadística distribuciones diamétricas, área basal, coeficiente de homogeneidad, inventario florístico.

## Introducción

La cubierta forestal de Brasil es de 463 millones de hectáreas, de las que el 98 % son ecosistemas naturales situados en el norte del país. El 2 % restante son plantaciones, principalmente de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus*, de las que se obtiene el 81 % de la madera que se aprovecha en el país. La Mata Atlántica o bosque tropical atlántico es el cuarto ecosistema forestal por importancia, con 30,9 millones de hectáreas (10 % del territorio nacional) [1].

Hasta hace unos setenta años el bosque tropical atlántico se extendía por toda la costa brasileña pero actualmente solo se encuentran algunos fragmentos, sobre todo en

áreas montañosas costeras de las regiones sur y sureste del país [2].

La gestión dirigida a conservar dichos recursos forestales debe basarse en un conocimiento suficiente de los mismos. Para lograr ese conocimiento es necesario descubrir la estructura del vuelo mediante técnicas de inventario forestal, siendo la distribución diamétrica una de las características que mejor describen dicha estructura [3].

El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar el progreso de la regeneración natural del dosel de un área, colindante con una masa de bosque atlántico, en la Reserva Biológica Sitio dos Palmares, Estado de Espírito Santo (Brasil). como información de apoyo para fundamentar las correspondientes medidas de conservación.

## Materiales y métodos

El área de estudio se localizó en la Reserva Biológica Sitio dos Palmares (Santa Maria de Jetibá: 20°02'27"S 40°44'45"O), específicamente en el distrito de Rio Claro del municipio de Santa Maria de Jetibá en el estado de Espírito Santo (Brasil), a una altitud de 692 m sobre el nivel del mar. De acuerdo con la clasificación de Köppen [4], el clima es de tipo tropical de altitud (Cwb) con estaciones lluviosa y seca bien definidas. La temperatura media anual es de 18 °C y la precipitación media anual de 1 800 mm.

La Reserva Biológica Sitio dos Palmares conserva algunos fragmentos bien preservados del bosque atlántico original. En la reserva, hay también algunas áreas en el entorno de dichos fragmentos, que durante muchos años estuvieron sometidas a una intensa actividad agrícola, específicamente con cultivos de café [5]. Hace más de 33 años que este cultivo fue abandonado en la zona, iniciándose así un proceso de regeneración natural de la vegetación nativa. Para el presente estudio fue escogida aleatoriamente una de esas áreas en regeneración natural, que ocupaba aproximadamente seis hectáreas. En ella se establecieron seis parcelas de 400 m<sup>2</sup> cada una (20 x 20 m), distribuidas aleatoriamente y separadas entre sí. El área de muestreo total fue de 2 400 m<sup>2</sup>.

Todos los árboles vivos, incluyendo palmeras, con diámetro normal igual o superior a 5 cm fueron identificados taxonómicamente en campo por un dendrólogo, y posteriormente se verificó la identificación botánica en el Herbario de la Universidad de Brasilia a partir de muestras recogidas en la zona de estudio. La nomenclatura de los ejemplares identificados siguió

la clasificación w3Trópicos del Jardín Botánico de la Universidad de Missouri [6].

Se midió el diámetro normal de cada árbol identificado, calculándose la sección normal, el número de árboles por hectárea y el área basal [7]. Para modelar el patrón de distribución de los diámetros normales de la población en su conjunto y por cada especie, se ajustó al número de individuos arbóreos por clase diamétrica los modelos matemáticos exponenciales de Meyer [8]:

$$y = \alpha_0 e^{\alpha_1 x} \quad (1)$$

y de Gauss [9]:

$$y = \beta_0 e^{\left[-0.5 \left(\frac{x - \beta_1}{\beta_2}\right)^2\right]} \quad (2)$$

dónde:  $y$  es el estimador del número total de árboles en la clase diamétrica  $x$ , expresada por su marca de clase en centímetros

$\alpha_1$ ,  $\beta_1$ , son los parámetros del modelo, calculados para la muestra completa y para cada una de las especies más abundantes.

Como estimadores de la bondad del ajuste se emplearon el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ), la raíz del error medio cuadrático (RMSE, en porcentaje) y el sesgo relativo (E, en porcentaje), ejecutados con el programa SigmaPlot [10].

A partir de las dotaciones reales de cada clase diamétrica se calculó la constante  $q$  de Liocourt como cociente entre el número de árboles por hectárea de una clase diamétrica y el número de árboles por hectárea de la clase inmediata superior [8].

El volumen maderable con corteza fue calculado para cada clase diamétrica aplicando un coeficiente mórfico de masa igual a 0,6 [7]. Determinados la densidad poblacional y el volumen de madera por clase diamétrica se calculó para toda la masa el coeficiente de homogeneidad [11].

A partir de bibliografía se obtuvo para cada especie muestreada el síndrome de dispersión (DIS) (anemócoria, autocoria y zoócoria) y el grupo ecológico (GE) (especie pionera, secundaria inicial, secundaria tardía y clímax) como variables cualitativas; así como, la densidad de la

madera como variable cuantitativa. A partir de dichos parámetros, las especies fueron reunidas en grupos funcionales (GF) según la metodología propuesta por Díaz y Cabido [12], construyéndose la matriz de distancia [13], utilizando el paquete `ade4` en el programa R project. A partir de la matriz de distancia fue construido un dendrograma funcional [14] adoptando el nivel de corte de 0,6.

## Resultados y discusión

En el inventario florístico del área estudiada (2400 m<sup>2</sup>) se encontraron 195 árboles (813 árboles ha<sup>-1</sup>, 47,8 ± 95,6 árboles por hectárea), pertenecientes a 17 especies arbóreas, distribuidas en 15 familias (Cuadro 1 y Cuadro 2). La familia con mayor riqueza en especies fue Melastomataceae, con tres especies del género *Miconia*. Aunque se trata de una masa mixta pluriespecifica la mayor parte de las existencias recae en muy pocas especies. De hecho, las mayores densidades poblacionales se concentraron en las especies *M. cinnamomifolia* (242 árboles por hectárea; 14,2 ± 28,4 árboles por ha<sup>-1</sup>) y *C. catarinensis* (167 árboles por hectárea; 9,8 ± 19,6 árboles por ha<sup>-1</sup>), que reunían el 50 % del total de ejemplares de la población. Incluyendo *M. multiflora* (104 árboles por hectárea; 6,1 ± 12,2 árboles por ha<sup>-1</sup>) y *V. guianensis* (96 árboles por hectárea; 5,6 ± 11,3 árboles por ha<sup>-1</sup>) las cuatro especies acumulaban el 75 % de los ejemplares y el 78 % del área basal.

A pesar de su pluriespecificidad, el área de estudio se halla en unos niveles de espesura y riqueza florística del arbolado claramente inferiores a los que refieren otros estudios en ámbitos ecológicos similares (Cuadro 3), lo que permite afirmar que el área de estudio se encuentra aún en una fase inicial de la estructuración hacia la fase clímax de desarrollo, puesto que no hay constancia de etapas de regresión durante los 33 años de regeneración natural de la zona de estudio.

De las 17 especies, tres de ellas tienen carácter de secundarias tardías (Cuadro 2). Incorporando a *D. nigra* (acumulan 50 árboles por hectárea entre las cuatro), podrán formar la base dominante de la estructura del futuro bosque secundario. Este grupo de cuatro especies presentan un diámetro medio de 8,5 cm (11,9/813 = 0,015 ± 0,03 cm) y se estima que su crecimiento diametral es de unos 4 mm año<sup>-1</sup>, que es el calculado para las especies pioneras del Cuadro 2. Por tanto, el grupo de especies secundarias tardías alcanzarían en unos 17-18 años un diámetro cuadrático medio de 15,5 cm, que es el estimado a partir de los resultados de Alves Júnior et al. [15] y Drumond y Meira Neto [16] para bosques más evolucionados.

**Cuadro 1.** Distribución diamétrica de la población arbórea en la zona objeto de estudio (área en regeneración natural del bosque atlántico en la Reserva Biológica Sítio Palmares, Brasil). C.D.: clase diamétrica (cm); Dk: diámetro marca de clase (cm); n: número de individuos contabilizados; N: número de árboles por hectárea; N (%): porcentaje del número de árboles totales; q: constante de Liocourt; AB: área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ); AB (%): porcentaje del área basal total;  $\Sigma$  AB: área basal acumulada ( $m^2 ha^{-1}$ ); V: volumen estimado ( $m^3 ha^{-1}$ ).

**Table 1.** Stand diameter distribution in the study area (zone under natural regeneration of the Atlantic forest in the Sítio Palmares Biological Reserve, Brazil). C.D.: diameter class (cm); Dk: center of diameter class (cm); n: number of trees; N: number of trees per hectare; N (%): percentage of the number of trees; q: Liocourt constant; AB: basal area ( $m^2 ha^{-1}$ ); AB (%): percentage of the basal area;  $\Sigma$  AB: cumulative basal area ( $m^2 ha^{-1}$ ); V: estimated volume ( $m^3 ha^{-1}$ ).

C.D.	Dk	n	N	N (%)	q	AB	AB(%)	$\Sigma$ AB	V
5 – 10	7,5	73	304	37,4	1,06	1,4	11,4	1,4	6,10
10 – 15	12,5	69	288	35,4	2,30	3,3	27,5	4,6	20,87
15 – 20	17,5	30	125	15,4	1,76	3,0	24,9	7,6	31,16
20 – 25	22,5	17	71	8,7	4,25	2,6	21,8	10,2	30,91
25 – 30	27,5	4	17	2,1	4,00	0,9	7,6	11,1	13,74
30 – 35	32,5	1	4	0,5	1,00	0,3	2,8	11,4	4,16
35 – 40	37,5	1	4	0,5		0,5	4,0	11,9	3,46
Total		195	813	100,0		11,9	100,0		110,40

**Cuadro 2.** Caracterización del arbolado en el área en regeneración natural de la Reserva Biológica Sítio Palmares, Brasil. n: número de árboles; N: número de árboles por hectárea; D: diámetro medio aritmético (cm); R: rango diamétrico (cm); AB: área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ); PE: densidad de la madera ( $g cm^{-3}$ ); GE: grupo ecológico; DIS: sistema de diseminación y GF: grupo funcional. P: pionera, Si: secundaria inicial, St: secundaria tardía, An: anemócora, Zo: zoócora.

**Table 2.** Characterization of the tree species in the area in natural regeneration of the Sítio Palmares Biological Reserve, Brazil. n: number of trees; N: number of trees per hectare; D: arithmetic mean diameter (cm); R: diameter range (cm); AB: basal area ( $m^2 ha^{-1}$ ); PE: wood density ( $g cm^{-3}$ ); GE: ecological group; DIS: dissemination system and GF: functional group. P: pioneer, Si: initial secondary, St: late secondary, W: anemochore, Zo: zoochore.

especie	familia	n	N	D	R	AB	PE	GE	DIS	GF
<i>Cecropia catarinensis</i> Cautrec.	Urticaceae	40	166	15,49	7,0 – 26,0	3,4960	0,40	P	Zoo	3
<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemao ex Benth.	Leguminosae	2	8	5,00	5,0 – 5,0	0,0163	0,92	Si	Ane	2
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Arecaceae	1	4	12,00		0,0470	0,92	Si	Zoo	5
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	Meliaceae	5	20	8,50	5,0 – 13,0	0,1377	0,60	St	Zoo	4
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltdl.	Rubiaceae	1	4	5,50		0,0098	0,76	Si	Zoo	5
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae	8	33	10,31	9,0 – 13,0	0,2848	0,72	Si	Ane	2
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin	Melastomataceae	58	241	13,31	6,0 – 32,0	3,9126	0,91	P	Zoo	3
<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	1	4	14,00		0,1306	0,68	Si	Zoo	5
<i>Miconia multiflora</i> Cong.	Melastomataceae	25	104	12,20	5,0 – 22,0	1,3818	0,77	Si	Zoo	5
<i>Ocotea elegans</i> Mez.	Lauraceae	2	8	8,25	7,5 – 9,0	0,0448	0,78	St	Zoo	4
<i>Piptocarpha macropoda</i> (DC.) Baker	Asteraceae	18	75	11,97	6,0 – 25,0	0,9827	0,46	P	Ane	1
<i>Solanum verbascifolium</i> L.	Solanaceae	1	4	5,00		0,0081	0,44	P	Zoo	3
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) Burger, Lanj. & Wess. Boer.	Moraceae	1	4	11,00		0,0395	0,77	Si	Zoo	5
<i>Vanillosmopsis erythropappa</i> (DC.) Sch. Bip.	Asteraceae	3	12	11,83	5,0 – 19,0	0,1693	0,70	P	Ane	1
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Seem.	Hipericaceae	23	96	7,06	5,0 – 9,5	0,3929	0,77	P	Zoo	3
<i>Vochysia bifalcata</i> Warm.	Vochysiaceae	3	12	24,33	7,5 – 38,0	0,7372	0,59	Si	Ane	2
<i>Xylopia sericea</i> A. St.-Hil.	Annonaceae	3	12	10,83	9,5 – 12,5	0,1165	0,63	St	Zoo	4
<b>Total</b>		<b>195</b>	<b>813</b>			<b>11,9084</b>				

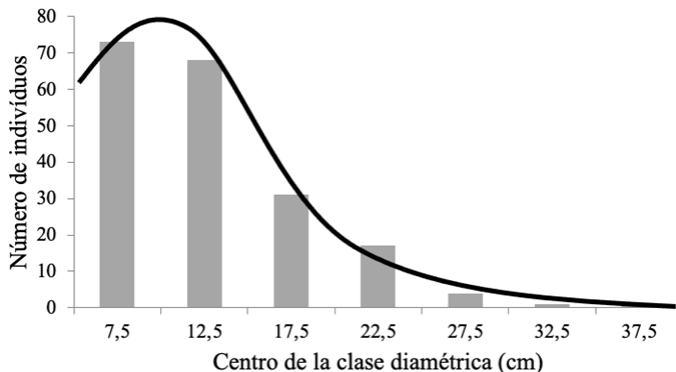


Figura 1. Distribución diamétrica de la población y curva normal de Gauss ajustada (ecuación en el Cuadro 5).

Figure 1. Stand diameter distribution and fitted Gauss curve (equation in Table 5).

Por lo tanto, 33 años de regeneración natural y crecimiento para la zona analizada parece ser un periodo aún insuficiente, como para que la dinámica de la masa alcance una estructura vegetal de comunidad arbolada pluriespecífica y disetánea con distribución diamétrica en J invertida, característica típica de los bosques primarios del bioma atlántico [15, 16]. Es probable que, en ausencia de perturbaciones significativas durante las dos próximas décadas, se produzca un aumento en el número de especies; aunque, se cree que no será muy significativo debido a la falta de corredores naturales para la llegada de material reproductivo desde bosques próximos con mayor diversidad florística. De hecho, en el bosque primario adyacente al área en regeneración natural analizada fueron encontradas 70 especies distribuidas en 32 familias [17] y ninguna de las especies más abundantes aparecía en la zona de estudio. Por

otra parte, se espera la densificación de la masa forestal por incorporación de nuevas cohortes anuales de regeneración, que lleven la distribución diamétrica de la masa al modelo decreciente en J invertida, como indicador de una posible estabilización de la estructura del vuelo.

Distribuidos los diámetros normales de la población en clases de 5 cm de amplitud (Figura 1 y Cuadro 1) se constituyeron siete clases diamétricas, en un rango de 5 a 38 cm, con un diámetro cuadrático medio de 13.7 cm. Las dos primeras clases diamétricas, de 5 a 15 cm, concentraban el 73 % de la población y entre las tres primeras clases concentraban el 88 % del arbolado. La abundancia de las clases dimensionales inferiores, posiblemente clases de edad juveniles, deben orientar al gestor forestal hacia intervenciones de consolidación de dicha regeneración natural [2]; así como, hacia acciones de restauración del tipo de plantaciones de enriquecimiento, tal como fue recomendado para algunos bosques secundarios establecidos naturalmente en potreros abandonados en el norte de Costa Rica [18].

El área basal ( $11,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ;  $0,01 \pm 0,03 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) se hallaba concentrada en un 74 % en las clases diamétricas centrales (de 10 a 25 cm) (Cuadro 1). La distribución claramente asimétrica del número de árboles y la centralidad del área basal por clases diamétricas permitía suponer que la distribución normal o gaussiana con tendencia a la asimetría sería un modelo aceptable para describir la tendencia de la distribución objeto de estudio. El ajuste de la curva de distribución de Gauss mostró un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ) igual a 0,98, con un valor de la raíz del error medio cuadrático (RMSE) del 15,6 % y un sesgo relativo (E) del 2,0 %. En la Figura 1 se observa que solo las cuatro primeras clases diamétricas se ajustan aproximadamente

Cuadro 3. Estructura de la masa forestal en diversos estudios realizados sobre fragmentos de bosque atlántico brasileño. NE: número de especies; NF: número de familias; N: número de árboles por hectárea; AB: área basal ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ); P: periodo de regeneración, en años.

Table 3. Stand structure in several studies carried out on fragments of the Brazilian Atlantic forest. NE: number of species; NF: number of families; N: number of trees per hectare; AB: basal area ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ); P: regeneration period, in years.

Zona	Estado	NE	NF	N	AB	P	Fuente
Región metropolitana de Recife	Pernambuco	54	25	1 657	24,7 – 41,7		[15]
Región metropolitana de Recife	Pernambuco	48	25	1 268			[24]
Rio Doce	Minas Gerais	43	23	1 247	16,7	25	[16]
Mata da Pedreira	Minas Gerais	91	30	957			[25]
Reserva Forestal y Ecológica Mata do Paraíso	Minas Gerais				21,3 – 60,4		[26]
Isla Grande	Rio de Janeiro				26,3	32,4	[25]
						50	[27]



**Cuadro 4.** Número de individuos en cada clase diamétrica para las cinco especies arbóreas más abundantes. C.D.: clase diamétrica (cm); Dk: diámetro marca de clase (cm).

**Table 4.** Number of trees by diameter class for the five more frequent tree species. C.D.: diameter class (cm); Dk: center of diameter class (cm).

C.D.	Dk	Número de árboles (n)				
		<i>C. catarinensis</i>	<i>M. cinnamomifolia</i>	<i>M. multiflora</i>	<i>V. guianensis</i>	<i>P. macropoda</i>
05 – 10	07,5	6	15	7	23	13
10 – 15	12,5	13	24	14		3
15 – 20	17,5	15	11	1		
20 – 25	22,5	5	6	3		1
25 – 30	27,5	1				1
30 – 35	32,5		1			
35 – 40	37,5		1			
<b>Total</b>		<b>40</b>	<b>58</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>18</b>

**Cuadro 5.** Parámetros de ajuste del modelo (1) para la población completa y para las tres especies más representadas (*C. catarinensis*, *M. cinnamomifolia* y *M. multiflora*), junto con el modelo (2) para *P. macropoda*. Se aportan los estadísticos de bondad de ajuste de las distribuciones.

**Table 5.** Fitting parameters of the model (1) for the entire sample and for each of the most frequent species (*C. catarinensis*, *M. cinnamomifolia* y *M. multiflora*), with model (2) for *P. macropoda*. Distribution goodness-of-fitting statistics are included.

Especie	Parámetros del modelo			Estadísticos de bondad de ajuste		
	$\alpha_0, \beta_0$	$\alpha_1, \beta_1$	$\alpha_2, \beta_2$	R <sup>2</sup>	RMSE (%)	E (%)
todas	74,7251	8,6027	7,3836	0,98	15,61	2,0
<i>C. catarinensis</i>	15,751	15,141	5,168	0,97	13,60	0,2
<i>M. cinnamomifolia</i>	22,931	12,031	5,149	0,94	24,99	5,0
<i>M. multiflora</i>	16,101	11,054	2,749	0,73	47,96	11,9
<i>P. macropoda</i>	22,106	-0,1246		0,65	82,87	0,5

al modelo y que éste sobreestima las dotaciones de las clases superiores, pudiéndose inferir que en las clases diamétricas superiores algunos árboles fueron probablemente cortados y las especies presentes (*Cecropia catarinensis* con 12 árboles por hectárea, *M. cinnamomifolia* con 8 árboles por hectárea y *P. macropoda* con 8 árboles por hectárea) constituyen el testimonio de las especies pioneras que aparecieron en la zona de estudio en un primer momento de la sucesión ecológica secundaria (Cuadro 4 y Cuadro 5).

Un valor del cociente  $q$  de Liocourt sensiblemente constante es un indicador de estabilidad de la distribución diamétrica [8]. Se calculó para la masa forestal en estudio (Cuadro 1), comprobándose que en las clases extremas la  $q$  difería apreciablemente del resto. Esto permite conjeturar que un número apreciable de ejemplares de dichas clases fueron extraídos recientemente, quizá a causa de incendios de los que no se han encontrado

evidencias. El área basal era muy diferente entre clases diamétricas (Cuadro 1), lo que hacía descartar que la estructura de la masa se hallara en situación de equilibrio según el criterio areal de Beranger [19].

En el análisis de la relación porcentual del número de individuos por clase diamétrica y correspondiente volumen de madera, se encontró un coeficiente de homogeneidad igual a 1,15, lo cual indica que la comunidad vegetal, de acuerdo con De Camino [11], se ajusta a la definición de bosque disetáneo irregular.

De las cinco especies que presentaban una abundancia superior a 75 árboles por hectárea, *V. guianensis* solo se encontraba en la primera clase diamétrica (5-10 cm). Para las otras cuatro especies: *M. cinnamomifolia* (242 árboles por hectárea), *C. catarinensis* (167 árboles por hectárea), *M. multiflora* (104 árboles por hectárea) y *P. macropoda* (75 árboles por hectárea) se ajustaron

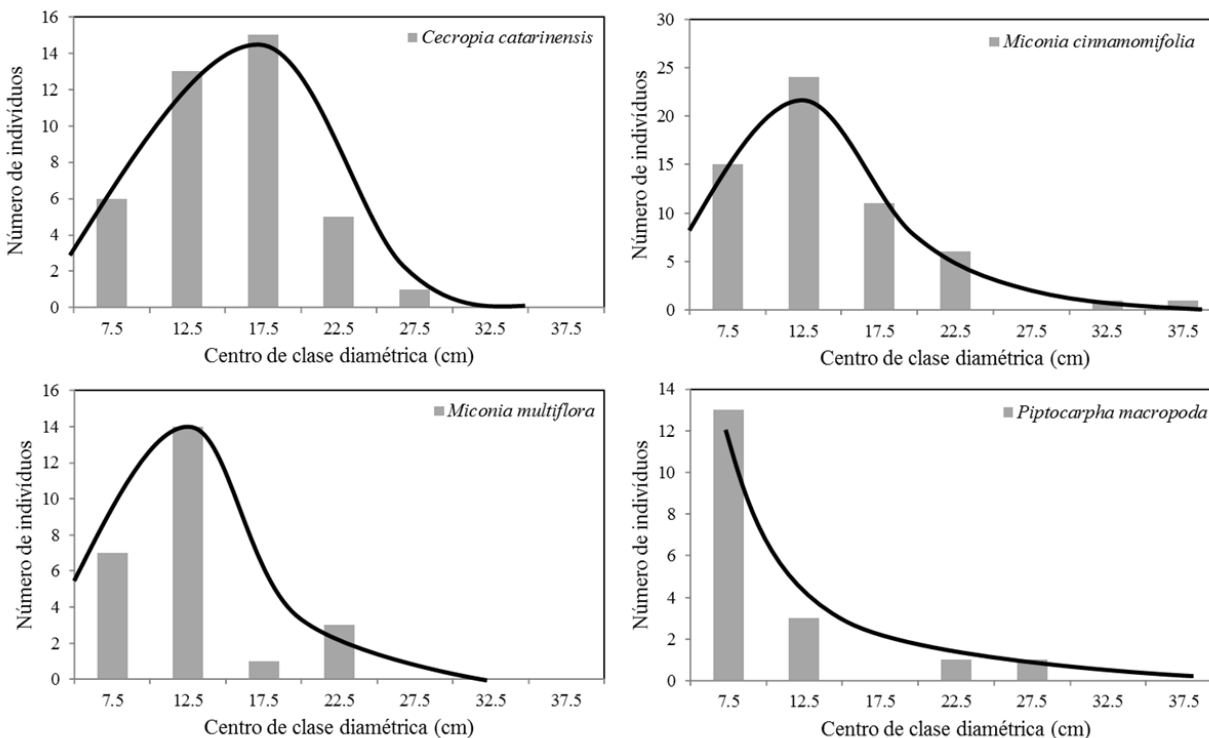


Figura 2. Distribución diamétrica de la población y modelos ajustados (ecuaciones en el Cuadro 5) para las cuatro especies más abundantes de la muestra y con representación en dos o más clases diamétricas.

Figure 2. Stand diameter distribution and fitted models (equations in Table 5) for the four most abundant species in the sample and represented in two or more diameter classes.

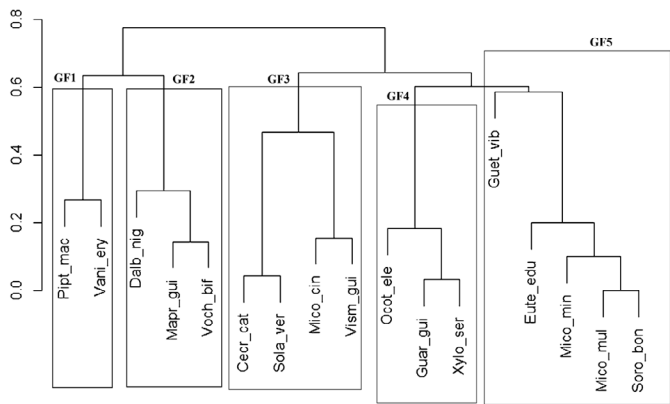


Figura 3. Dendrograma funcional con el agrupamiento de las 17 especies. El nombre científico está abreviado. Ejemplo: Pipt\_mac = P. macropoda.

Figure 3. Functional dendrogram with the grouping of the 17 species. The scientific name is abbreviated. Example: Pipt\_mac = P. macropoda.

los modelos (1) y (2) a sus distribuciones diamétricas (Cuadros 2, 4 y 5; Figura 2). De las cuatro especies, *C. catarinensis* era la que más se aproximaba por su distribución a la ley normal en tanto que *P. macropoda*

presentaba una distribución monótona decreciente que la hacía aproximarse a una curva en J invertida.

En función de los atributos cualitativos asignados a las especies y las características cuantitativas evaluadas en la población arbórea, a pesar de la presencia de pocas especies en la muestra, fue posible identificar cinco grupos funcionales en el conjunto de especies que componen la regeneración natural del bosque atlántico en la Reserva Biológica Sitio dos Palmares (Cuadro 1 y Figura 3). El grupo funcional 1 (GF1) quedó constituido por especies pioneras anemócoras. En el grupo GF2 quedaron las especies anemócoras y secundarias iniciales. El grupo GF3 quedó compuesto por especies pioneras zoócoras. En el grupo GF4 se establecieron especies zoócoras secundarias tardías con densidad de la madera entre 0.60 y 0.78 g cm<sup>-3</sup>. El grupo GF5 quedó formado por especies zoócoras y secundarias iniciales.

Dentro de cada grupo funcional se sitúan especies que poseen funciones semejantes dentro del ecosistema, corroborando las afirmaciones de Tilman et al. [20] y de Hooper y Vitousek [21]. Teóricamente se puede deducir que las especies pertenecientes al mismo grupo funcional (GF) son competidoras por recursos similares, como se ha observado en lo referente al proceso de dispersión

[12]. Consecuentemente las especies de los demás grupos no son competidoras, pudiendo darse incluso un proceso de mutualismo que no dificulta el desarrollo de las demás especies [22]. Sin embargo, podría estar produciéndose una competencia intergrupala para ciertos recursos más escasos en la estación, específicamente los relacionados con la riqueza de nutrientes del suelo [23].

## Conclusiones y recomendaciones

A pesar de haber transcurrido 33 años en proceso de regeneración natural, el área de estudio aún se encontraba en una etapa inicial de la sucesión ecológica del arbolado, según atestiguaban la pobreza florística, la abundancia de regenerado de escaso tamaño, la baja espesura (tanto en número de árboles por hectárea como en área basal) y la tendencia a la normalidad de la distribución diamétrica de la población en su conjunto y de cada una de las especies arbóreas más abundantes. Se estima que tendrán que pasar todavía unos 17-18 años hasta que la estructura de la masa se asemeje a la de otros bosques atlánticos maduros. Se sugiere adoptar los criterios de manejo que aplica CATIE en los procesos de restauración forestal de bosques secundarios formados sobre potreros abandonados.

Se espera que el avance de la sucesión natural secundaria ya iniciada conduzca a una mayor dotación de las clases diamétricas superiores, con un mejor ajuste de la distribución diamétrica exponencial decreciente de Meyer. Es más incierta la posible transición de la masa forestal analizada hacia una mayor diversidad florística ya que las masas maduras de bosque atlántico más próximas no son colindantes y no hay corredores biológicos a través de los que pudieran trasladarse los propágulos de nuevas especies arbóreas. Por tanto, será muy aconsejable la realización de futuros inventarios para valorar si la evolución natural de estos enclaves de vegetación natural se dirige hacia estructuras semejantes al bosque atlántico originario.

## Referencias

- [1] M. Eckardt, H. Rodrigues Nascimento, A. Nazário de Almeida e Y. Vieira de Abreu, "Crescimento da atividade florestal no Brasil", *Revista da Madeira*, vol. 145, 20-23. 2016.
- [2] F. Rubio Scarano y P. Ceotto, "Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change", *Biodiversity and Conservation*, vol. 24, 2319–2331. 2015.
- [3] I. Díaz-Maroto Hidalgo y G. Riesco Muñoz, *Inventario forestal*. (2ª ed.). Escuela Politécnica Superior de Lugo. 2001.
- [4] M. C. Peel, B. L. Finlayson y T. A. McMahon, "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 11, 1633–1644. 2007 <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- [5] E. Sales, V. Méndez y F. R. Caporal, "Agroecological Transition of Conilon Coffee (*Coffea canephora*) Agroforestry Systems in the State of Espírito Santo, Brazil", *Agroecology and Sustainable Food Systems*, vol. 37(4), 405-429. 2013. 10.1080/10440046.2012.712633.
- [6] Trópicos, Accesos en abril y junio de 2016. URL <http://www.tropicos.org>.
- [7] J. Imaña-Encinas, "Mensura dasométrica". Brasília: Universidade de Brasília, Depto. Engenharia Florestal; 2011.
- [8] H. A. Meyer, "Structure, growth and drain in balanced uneven aged forest". *Journal of Forestry*, vol. 50, 85-92. 1952.
- [9] J. H. Zar, "Bioestatistical analysis". Upper Saddle River: Prentice Hall. 1996.
- [10] Systat. Manual de uso do SigmaPlot, Accesos en enero de 2016. URL <http://www.systat.com/products/sigmaplot>.
- [11] R. De Camino, "Determinación de la homogeneidad de rodales", *Bosques*, vol. 1(2), 110-15. 1976.
- [12] S. Díaz y M. Cabido, "Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes", *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 16(11), 646–55. 2001.
- [13] S. Pavoine, J. Vallet, A. B. Dufour, S. Gachet y H. Daniel, "On the challenge of treating various types of variables: application for improving the measurement of functional diversity", *Oikos*, vol. 118, 391–402. 2009.
- [14] P. Legendre y L. Legendre, "Numerical Ecology". Amsterdam: Elsevier Science BV. 2012.
- [15] F. T. Alves Júnior, C. F. L. Silva Brandao, K. Rocha, J. Silva, L. C. Marangon y R. L. C. Ferreira, "Estrutura diamétrica e hipsométrica do componente arbóreo de um fragmento de mata atlântica, Recife – PE", *Cerne*, vol. 13(1), 83-95. 2007.
- [16] M. A. Drumond y J. A. Meira Neto, "Composições florística e fitossociológica de uma mata secundária de um trecho da Mata Atlântica", *Ciência Rural*, vol. 29(4), 657-61. 1999.
- [17] J. Imaña-Encinas, C. Almeida Conceição, O. A. Santana, C. R. Imaña y J. Paula, "Distribuição diamétrica de um fragmento de floresta Atlântica no município de Santa Maria de Jetibá, ES", *Floresta*, vol. 43(3), 385-94. 2011.
- [18] V. Granda Moser, B. Finigan, Z. S. Ramos, G. Detlefsen y A. Molina, "Potencial de manejo de bosques restaurados por sucesión natural secundaria en Guanacaste, Costa Rica, composición, diversidad y especies maderables". Turrialba, Costa Rica: CATIE; (Serie técnica, Boletín técnico, 78) 2015.
- [19] E. Mackay, "Fundamentos y Métodos de la Ordenación de Montes, Primera Parte". Sección de Publicaciones. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 1961.



- [20] D. Tilman, C. L. Lehman y K. T. Thomson, "Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94: 1857–61. 1997.
- [21] D. U. Hooper y P. M. Vitousek, "The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes", *Science*, vol. 277, 1302–05. 1997.
- [22] P. B. Adler, A. Fajardo, A. R. Kleinhesselink y N. J. B. Kraft, "Trait-based tests of coexistence mechanisms", *Ecology Letters*, vol. 16, 1294–306. 2013.
- [23] N. J. B. Kraft, P. B. Adler, O. Godoy, E. James, S. Fuller y J. M. Levine, "Community assembly, coexistence, and the environmental filtering metaphor", *Functional Ecology* (en línea) <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.12345>, 2014.
- [24] M. A. M. Silva, T. N. F. Guerra, P. G. de A. Mendes, M. D. Barbosa, K. D. Rocha y L. F. C. Chaves, *Diversidade da regeneração natural de diferentes amostragens em um fragmento de floresta atlântica, Recife, PE*. En: *Resumos IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, Recife, UFRPE*. 2009.
- [25] L. C. Marangon, J. J. Soares, A. L. Feliciano y C. F. L. Silva Brandão, "Regeneração natural em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais", *Árvore*, vol. 32(1), 183-91. 2008.
- [26] C. S. Braga, V. H. B. Barbosa, C. E. Gazzola y H. C. T. Dias, *Relação entre área basal e a precipitação efetiva em um fragmento de mata atlântica na zona da mata norte mineira*. En: *II Seminário de Recursos hídricos da bacia do Paraíba do Sul: recuperação de áreas degradadas, serviços ambientais e sustentabilidade, Anais. Taubaté*. p. 661-5., 2009
- [27] R. R. Oliveira, "Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ", *Rodriguésia*, vol. 53(82), 33-58. 2002.