

Crecimiento diamétrico de *Guarea guidonia* (L.) estimado con modelos no lineales. bosque seco tropical en el norte de Tolima. Colombia.

Estimate diametric growth of *Guarea guidonia* (L.), with non-linear matematics models. natural dray forest in Tolima north. Colombia.

Luis Alfredo Lozano Botache¹, Omar Aubrelío Melo Cruz²

- ¹. Grupo de Investigación en Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas Tropicales. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad del Tolima. Barrió Santa Helena, Ibagué- Tolima.
- ². Grupo de Investigación en Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas Tropicales. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad del Tolima.

Recibido: Agosto 15 de 2023

Aceptado: Octubre 13 de 2023

*Correspondencia del autor: Luis Alfredo Lozano Botache

E-mail: llozano@ut.edu.co

<https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i35.282>

Resumen

Introducción: Con el cómputo de modelos matemáticos es posible estimar el tiempo que toma una especie en conseguir un crecimiento máximo o asintótico. En este cálculo, el diámetro de un árbol, a la altura del pecho (D.A.P.), es una variable cómoda de medir durante largo tiempo. La diferencia entre cierto periodo de tiempo determinará incrementos que luego serán utilizados para el cálculo del crecimiento. El proceso se enriquece cuando se miden varios árboles de diferentes clases diamétricas. **Objetivo.** Calcular el crecimiento asintótico de *Guarea guidonia* (L.), con base en el Incremento Corriente Anual (ICA) de los D.A.P medidos en doce árboles, durante catorce años. **Materiales y métodos.** Los árboles se encuentran en una parcela permanente de investigación dentro de la reserva “Vallecita” en el municipio de Alvarado, al norte del departamento de Tolima, Colombia. Los modelos matemáticos no lineales utilizados fueron los de Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. Los perfiles obtenidos con las ecuaciones fueron comparados por medio del estadístico R² de regresiones lineales. **Resultados:** Se obtuvo que *G. guidonia* presenta un ICA máximo de 0.58 cm/año y el promedio general fue de 0.51 cm/año. Por los modelos de Von Bertalanffy y Gompertz, se estima que, desde un diámetro base de 10 cm, *G. guidonia* tardaría 89 años en llegar a un diámetro de 50 cm., y que, con el modelo Logístico, alcanzaría el mismo diámetro en 83 años. Al comparar los tres perfiles del crecimiento diamétrico acumulado de la especie se encontró que entre ellos no se presentan diferencias estadísticas significativas. En general, se tiene que, comparado con otras especies como *Anacardium excelsum* (Kunt), la *G. guidonia* presenta un crecimiento diamétrico lento. **Conclusión.** *G. guidonia* es una especie que requiere de planes de manejo que propendan por la conservación y el óptimo desarrollo de esta especie.

Palabras clave: Árboles del Tolima, Epidometría forestal, Tasa de crecimiento diamétrico.

Abstract

Introduction: Through the calculation of mathematical models, it is possible to estimate the time it takes for a species to reach maximum or asymptotic growth. In this calculation, the diameter of a tree, at breast height (DBH), is a convenient variable to measure over a long period of time. The difference between a given period of time will determine the increments that will later be used to calculate growth. The process is enriched when several trees of different diameter classes are measured. **Objective.** To calculate the asymptotic growth of *Guarea guidonia* (L.), from the Annual Running Annual Growth (ACA) of the DBH, measured in twelve trees, during fourteen years. **Materials and methods.** The trees are located in a permanent research plot within the “Valleci-ta” reserve in the municipality of Alvarado, in the north of the department of Tolima, Colombia. The nonlinear mathematical models used were those of Von Bertalanffy, Gompertz and Logistic. The profiles obtained with the equations were compared using the R2 statistic of linear regressions. **Results:** *G. guidonia* had a maximum ACA of 0.58 cm/year and the average was 0.51 cm/year. Using the Von Bertalanffy and Gompertz models, it is estimated that, from a base diameter of 10 cm, *G. guidonia* would take 89 years to reach a diameter of 50 cm, and that, with the Logistic model, it would reach the same diameter in 83 years. Comparing the three growth profiles, it is estimated that, from a base diameter of 10 cm, *G. guidonia* would take 89 years to reach a diameter of 50 cm. and that, with the logistic model, it would reach the same diameter in 83 years. When comparing the three cumulative growth profiles of the diameter of the species, it was observed that there were no significant statistics. In general, compared to other species such as *Anacardium excelsum* (Kunth), *G. guidonia* has a slow diametric growth. **Conclusion.** *G. guidonia* is a species that requires management plans for the conservation and optimal development of this species.

Keywords: Growth rate diametric, Tolima Trees, Forests epidometry.

Introducción

El crecimiento de los árboles es el resultado de la modificación de diferentes variables como el diámetro, la altura, área basal y volumen, ya que, biológicamente, estas variables cambian debido a la actividad de los meristemos primarios, que se encargan del crecimiento longitudinal, y de los meristemos secundarios que dan lugar al crecimiento en diámetro (1,2,3).

El diámetro es una de las variables más utilizadas para evaluar el crecimiento arbóreo, ya que es de fácil medición, preciso, y además es empleado para estimar, por medio de modelos alométricos, otras variables de difícil medición (4); es por esto que con frecuencia el crecimiento arbóreo se calcula realizando mediciones sucesivas del diámetro, en áreas fijas o en parcelas permanentes de muestreo; estas pueden variar significativamente en términos de su relación con la edad y las dimensiones de las especies, o con las condiciones microclimáticas del sitio (5). Medewar (6) e Imaña y Encinas (7), mencionan que las tasas de incremento

diamétrico pueden elevarse y después caer. Este crecimiento se puede expresar por medio de una curva de tipo sigmoideal, donde la tasa específica de crecimiento siempre cae.

Según García (3) y Ramírez et al (8), modelar el crecimiento de los árboles es un tema muy importante en los campos de la ciencia como la biología y la silvicultura, ya que estos modelos permiten evaluar tratamientos de manejo alternativos, predecir rendimientos y optimizar la cosecha del bosque.

Modelos como el de Von Bertalanffy, el Logístico y el de Gompertz han sido aplicados con éxito en el ajuste del crecimiento (9). El modelo de Von Bertalanffy se emplea para estimar aproximadamente el crecimiento del bosque, comenzando en su etapa transitoria y logrando estimar su turno, permite el estudio de la población, el desarrollo de la productividad de los ecosistemas y estimar los ciclos de corta y los volúmenes explotables permitidos (10,11). Autores como Winsor

(12) y Casas et al (13), usaron el modelo de Gompertz para la descripción de fenómenos biológicos y económicos asociados al crecimiento, la curva de este modelo, muestra crecimientos tempranos rápidos, pero unos valores más lentos en la medida que se aproxima a la asíntota. Según Campbell y Reece (14), con el modelo logístico las especies se adaptan de forma instantánea al crecimiento y se aproxima a la capacidad de carga de forma lenta, se puede aplicar a pocas poblaciones reales, pero es un punto de partida útil para considerar la forma en que las poblaciones crecen y determinar qué factores afectan dicho crecimiento.

Según el IPNI (15), *Guarea guidonia* tiene cerca de cuarenta sinónimos, con nombres comunes como sambocedro, guanábano, cedrillo, cedro guamo, cedro quebracho, cedrillo blanco, cedrillo negro, cedro gallinazo. En Colombia, como trompillo, Pialde, Cedrillo, Sambo Cedro, tocota, villo villo, cedro macho, entre otros. Es una especie que puede alcanzar hasta los 30 m de altura y 50 cm de diámetro; su fuste es recto y con pequeños aletones (16,17). La madera de *G. guidonia* es empleada para la elaboración de muebles, instrumentos de cuerda,

artesanías, postes, en la construcción de vivienda, como leña y sus frutos son consumidos por las aves (16).

Este estudio tiene como objetivo evaluar el crecimiento diamétrico del *G. guidonia* en los bosques naturales del departamento del Tolima. Se calcula la tasa de incremento diamétrico por medio de los modelos no lineales de Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico; se estima el tiempo que requiere la especie para lograr un diámetro asíntotico y se comparan los tres perfiles del crecimiento diamétrico acumulado por medio de comparar coeficientes de regresión lineal.

Materiales y métodos.

Localización del área de estudio

La información se colectó con mediciones periódicas del diámetro de *G. guidonia*, en una parcela permanente de investigación, entre los años 2008 al 2022. La parcela de 50 x 40 metros se encuentra ubicada en una de las ocho unidades de ordenación forestal (UOF), delimitadas durante el desarrollo del plan General de Ordenación Forestal para el Tolima (18) y cuyas características se observan en la Tabla 1.

Tabla 1: Descripción y ubicación de la parcela donde se evaluó el crecimiento del *Guarea Guidonia* (L.). Departamento del Tolima.

UOF	Nº De Parcela	Municipio	Coordenadas planas		Altitud (msnm)	Precipitación anual (mm)	zona de vida
			N	W			
IV	7	Alvarado	4°33'33"	75°01'18"	439	1.548,42	bs-T

UOF: Unidad de Ordenación Forestal
bs-T: Bosque Seco Tropical.

Análisis de datos

Entre las especies de la parcela permanente de investigación, se encontraron 12 individuos de *G. guidonia*, que se midieron y marcaron con pintura amarilla a partir de 10 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). El cálculo de los incrementos se basó en lo descrito por Melo y Vargas (19), organizando los diámetros medidos de menor a mayor, y de esta forma calcular los incrementos por periodos anuales de medición. En este orden, el primer incremento corresponde a la diferencia de los diámetros medidos entre la primera medición de diciembre del 2008 y la de junio del 2009. Sucesivamente, el último incremento es la diferencia de los diámetros medidos entre el periodo de diciembre del 2008 a febrero del 2022. Para el cálculo del incremento corriente anual (ICA), se toma la diferencia entre la última medición y la primera, dividido en el tiempo de diferen-

cia entre las mediciones, en este caso se tienen catorce años de medición. Los diámetros de la última medición se clasifican por clases diamétricas, dejando como límite inferior el diámetro menor (10 cm) y, como límite superior el diámetro mayor (60 cm); el rango entre clase y clase es de 10cm, para un total de 5 clases diamétricas y se calcula el ICA promedio por cada clase diamétrica.

Evaluación del crecimiento diamétrico

Algunos estudios como los de Domínguez-Callero et al (20), Del Valle (21), en el Pacífico colombiano y Ramírez et al (8), en los llanos occidentales de Venezuela, han presentado bases para evaluar el crecimiento diamétrico de especies forestales, con base en estas tres metodologías. La tasa de crecimiento diamétrico de *G. guidonia*, se evaluó utilizando los incrementos por clases diamétricas para cada uno de los tres modelos. Por

medio de regresión no lineal, se hallaron los parámetros de cada ecuación. El ajuste de los modelos se evaluó con el cuadrado medio del error (CME). Con la integración de las ecuaciones de tasas de crecimiento, se obtienen las del crecimiento acumulado del diámetro en función del tiempo. Con los parámetros de las ecuaciones de las tasas de crecimiento diamétrico, se calcularon los valores que determinan el crecimiento de la especie con el paso del tiempo, donde el diámetro está en función de la edad. Aquí, los parámetros se determinan con la generalidad de tomar como asíntota el diámetro mayor encontrado en las mediciones.

Modelos de crecimiento

Los modelos no lineales y las respectivas ecuaciones usadas para hallar la tasa de crecimiento diamétrico y el crecimiento diamétrico acumulado de *G. guidonia*, se escogieron por ser de los más utilizados en los estudios de crecimiento animal, económico o de especies forestales (Tabla 2). El primer modelo que se empleó para simular el crecimiento de *G. guidonia* es el de Von

Bertalanffy el cual es explicado por Riaño (11) y, Melo y Vargas (19), como el modelo que representa las ecuaciones empíricas de crecimiento, si se tiene en cuenta lo siguiente: si $m = 0$, se comporta como una curva monomolecular o Mitscherlich. Si $m = 2$, se comporta como una curva Logística o Autocatalítica y si $m = 1$, se comporta como la curva de Gompertz (22). La asíntota "A", representa el valor límite máximo que toma la función de crecimiento y k es un parámetro relacionado con la tasa de crecimiento con que se llega a la asíntota (19). Estudios realizados por algunos autores (19,23), entre otros, comprueban que con la interacción de algunos parámetros de las ecuaciones de Von Bertalanffy, se pueden deducir funciones que permiten un mejor entendimiento de las curvas de crecimiento y de sus tasas de crecimiento como: la media ponderada de la tasa de crecimiento absoluto: $A.k / (2m+2)$; el tiempo requerido para que se efectúe la mayor parte del crecimiento: $(2m+2)/k$; la media ponderada de la tasa de crecimiento relativo: k / m .

Tabla 2: Ecuaciones con sus respectivos parámetros de la tasa de crecimiento diamétrico y crecimiento diamétrico acumulado para cada uno de los modelos.

MODELOS	TASA DE CRECIMIENTO dD/dt (cm/año)	CRECIMIENTO ACUMULADO D (cm)	Parámetros
Von Bertalanffy	$n(D^m - A^{(m-1)}D)$	$A(1 \pm be^{-kT}) \frac{1}{1-m}$	D: Diámetro normal (cm) A: Asíntota de diámetro n y m: Parámetros de regresión no lineal. y: $n(A^{m-1})$ k: $(1-m)$ y b: $\pm \left[1 - \left(\frac{D_0}{A} \right)^{1-m} \right]$ D_0 : Diámetro en el tiempo t_0
Logístico	$kD(1 - \frac{D}{A})$	$\frac{A}{1 + be^{-kt}}$	Donde A: Asíntota del diámetro D: Diámetro normal k: Tasa específica de crecimiento b: $A - D_0/D_0$ D_0 : Diámetro normal cuando $t=0$
Gompertz	$kD \ln \frac{A}{D}$	$Ae^{-be^{-kT}}$	A: Asíntota del diámetro D: Diámetro normal k: Tasa específica de crecimiento b: $A - D_0/D_0$ D_0 : Diámetro normal cuando $t=0$

El segundo modelo fue el Logístico. Este modelo ha sido implementado en varios estudios (20,24,25,26), los cuales se basaban en comprobar que la tasa de crecimiento de la población varía con el tiempo y que es una alternativa al modelo de crecimiento exponencial en el cual la tasa de crecimiento es constante. En un estudio, Espina (24) describe que con los parámetros de las ecuaciones del modelo Logístico se pueden determinar los puntos de inflexión los cuales se expresan con las siguientes funciones: Punto de inflexión en el diámetro: $A/2$; Punto de inflexión en el tiempo: $\ln b/k$.

El tercer modelo fue el de Gompertz, que ha sido empleado por diferentes autores (27,28). Este modelo presenta una curva de crecimiento de forma sigmoidal y genera asimetría alrededor del punto de inflexión; muestra crecimientos tempranos rápidos, pero unos valores más lentos en la medida que se aproxima a la asíntota. Según Blasco (29), con los parámetros del modelo de Gompertz se puede estimar el momento en que la curva de crecimiento deja de acelerarse y empieza a retardarse, los cuales están definidos por las siguientes expresiones: puntos de inflexión en el tiempo: $\ln b/k$ y puntos de inflexión en el diámetro: A/e .

Comparación de modelos

Para diferentes edades de estimación, los parámetros de los modelos permitirán calcular los crecimientos de *G. guidonia*. La comparación de estos crecimientos se puede desarrollar con regresiones lineales que permitan la evaluación de si existen diferencias estadísticas entre los valores que definen los perfiles de cada modelo, aunque esto no determina cual es el mejor. Para realizar el análisis realizan pruebas de t, y del coeficiente de co-

relación, R^2 ajustado, a partir de confrontar los valores obtenidos en cada modelo.

Resultados

Incremento Corriente Anual Diamétrico de la especie

En la Tabla 3. Se muestra el arreglo de las clases diamétricas para *G. guidonia*. La tabla presenta cinco clases diamétricas, de 10 centímetros de amplitud, la respectiva clase diamétrica, la medición inicial, la medición final y el Incremento Corriente Anual (ICA), de cada clase. Al final, se tiene el ICA promedio de 0,51 cm/año para todas las clases diamétricas, en un periodo de 14 años (2008 - 2022).

Tabla 3: Incremento corriente anual (ICA) de *G. Guidonia*, organizados por clases diamétricas de 10 centímetros de amplitud y un periodo de medición de 14 años (2008 -2022). Bosques naturales del norte de Tolima. Colombia

	Clase Diamétrica (cm)	Marca de Clase (cm)	I.C.A. (cm/año)
1	10,0 ≤ 19,9	14,00	0,5536
2	20,0 ≤ 29,9	22,00	0,3786
3	30,0 ≤ 39,0	30,00	0,5786
4	40,0 ≤ 49,9	38,00	0,5357
5	50,0 ≤ 59,9	46,00	0,5143

Parámetros de los modelos de crecimiento diamétrico

Las ecuaciones con sus respectivos parámetros determinados por regresión no lineal, utilizadas para hallar la tasa de crecimiento diamétrico de *G. Guidonia*, se presentan en el Tabla 4. El menor CME, lo tuvo la ecuación del modelo Gompertz.

Tabla 4: Ecuaciones de tasas de crecimiento diamétrico de *G. Guidonia*, con sus parámetros y CME. En un periodo de medición de 14 años (2008 -2022). Bosques naturales del norte de Tolima. Colombia.

MODELO	D (cm)	PARÁMETROS			CME	
		A (cm)	b	k		m
Von Bertalanffy	$A(1 \pm be^{-kT}) \frac{1}{1-m}$	57,2	0,0056	0,0285	0,9968	0,10
Logístico	$\frac{A}{1 + be^{-kt}}$	57,2	4,72	0,0425		0,06
Gompertz	$Ae^{-be^{-kT}}$	57,2	1,744	0,0287		0,08

Ecuaciones de los modelos

Von Bertalanffy: $D = 57,2 (1 - 0,0056^{0,0286(\text{edad})})^{1/(1 - 0,9968)}$

Logístico: $D = 57,2 / (1 + 4,72^{0,0425(\text{edad})})$

Gompertz $D = 57,2^{-1,744 \exp(-0,0287(\text{edad}))}$

Ecuación 1

Ecuación 2

Ecuación 3

El crecimiento acumulado de *G. Guidonia*, estimado por cada uno de los modelos, se presenta en la Tabla 5 y se visualizan en la Figura 1. Las curvas que se trazan con los modelos de Von Bertalanffy y Gompertz muestran un comportamiento similar. Mientras que por el modelo Logístico se muestra una variación visual con respecto a las anteriores.

Tabla 5. Valores estimados de crecimiento diamétrico, en centímetros, para *Guarea. Guidonia* (L.), calculados por los modelos Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz. Bosques naturales del norte de Tolima. Colombia.

Crecimiento diamétrico acumulado, en centímetros, según tres modelos			
Tiempo en años	Von Bertalanffy	Logístico	Gompertz
0	10,0000	10,0000	10,0000
10	15,4517	13,9950	15,4461
20	21,4154	18,9453	21,4075
30	27,3581	24,6478	27,3511
40	32,8782	30,6897	32,8743
60	41,8608	41,7658	41,8639
80	47,9664	49,3917	47,9737
83	48,6667	50,2114	48,6744
89	49,9241	51,6299	49,9321
90	50,1162	51,8397	50,1243
100	51,7937	53,5766	51,8018
110	53,0901	54,7769	53,0979
120	54,0851	55,5916	54,0922
130	54,8444	56,1377	54,8508
140	55,4217	56,5007	55,4273

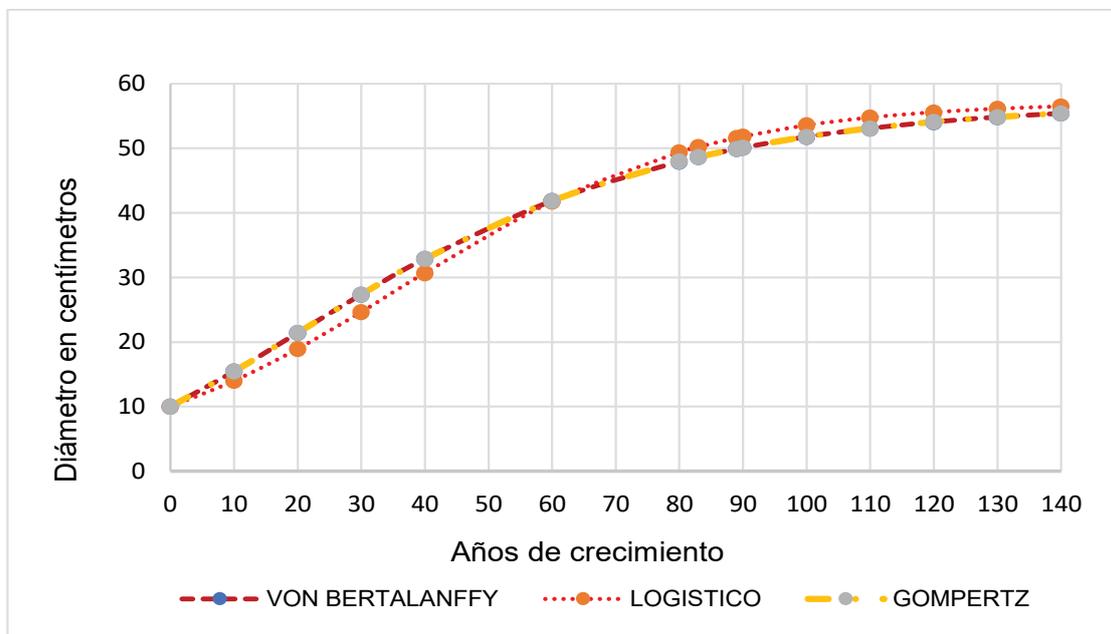


Figura 1: Curvas del crecimiento diamétrico acumulado de *G. Guidonia* para cada uno de los modelos. En un periodo de medición de 14 años (2008 -2022). Bosques naturales del norte de Tolima. Colombia

Los modelos de Von Bertalanffy y Gompertz estiman que, para estas condiciones de medición y área de estudio, alcanzar un diámetro de 50 centímetros a la altura del pecho, a partir de una base de 10 centímetros, sería necesario un periodo de crecimiento de 89 años. Según el logístico, de 83 años. Para los tres modelos, para llegar a un diámetro asintótico de 55 centímetros serían necesario un poco más de 140 años, cuando se estima que ocurriría la edad del punto de inflexión de mayor crecimiento.

Evaluación de similitud entre los tres modelos

Una primera evaluación es la correlación de datos estimados por los tres modelos, donde se encuentra que estos se relacionan con sentido positivo y que la significancia estadística entre ellos permite la predicción del uno frente al otro modelo. La Tabla 6. se muestra la correlación de Pearson y la Tabla 7, su grado de significancia.

Tabla 6. Correlación de Pearson para los crecimientos diamétricos acumulados de *G guidonia*, calculados con los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz. Bosques naturales del norte de Tolima. Colombia.

	Von.Bertalanffy	Logístico	Gompertz
Von.Bertalanffy	1,0000	0,9977	1,0000
Logístico	0,9977	1,0000	0,9977
Gompertz	1,0000	0,9977	1,0000

Tabla 7. P-valor para los crecimientos diamétricos acumulados de *G guidonia*, calculados con los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz. Bosques naturales del norte de Tolima. Colombia.

	Von.Bertalanffy	Logístico	Gompertz
Von.Bertalanffy		<.0001	<.0001
Logístico	<.0001		<.0001
Gompertz	<.0001	<.0001	

La segunda evaluación se realiza con el cálculo de tres regresiones lineales; la primera entre los datos de crecimiento acumulado de los modelos de Von Bertalanffy y el logísticos; la segunda el de Von Bertalanffy con Gompertz, y la tercera regresión relaciona el logístico con Gompertz. En la Tabla 8 se presenta el resumen de los valores significativos para las regresiones.

Tabla 8. Valores significativos de tres regresiones lineales que relacionan los predichos del crecimiento diamétrico acumulado de *G guidonia*. Bosques naturales del norte de Tolima. Colombia.

Regresiones	R2 ajustado	ECMP Medida del error entre lo observado y los predichos	P- valor para el modelo
Von Bertalanffy - logísticos	1,00	1,67	0,0001
Von Bertalanffy - Gompertz	1,00	0.000019	0,0001
logístico - Gompertz	1,00	2,01	0,0001

Discusión

Los valores del incremento corriente anual de *G. guidonia*, estimado por medio del modelo de Von Bertalanffy, mostró una similitud con los valores estimados por el modelo de Gompertz debido a que el valor del parámetro “m” de la ecuación fue cercano a la unidad, lo cual coincide con la teoría de González (22) donde se sostiene que el modelo de Von Bertalanffy, puede representar a todas las ecuaciones empíricas de crecimiento y que

si el valor del parámetro “m” es igual a 1 (la unidad), se comporta como la curva de Gompertz.

El crecimiento diamétrico de *G. guidonia* podría considerarse como lento, ya que, al compararse con los de *Anacadium excelsum* (Kunth) Skeels, en condiciones de estudio similares (30), se tendría que, para 80 años de crecimiento, *A. excelsum* conseguiría un diámetro de

113 centímetros, mientras que *G. guidonia* alcanzaría un diámetro de 48 a 49,4 cm, siendo menos de la mitad de *A. excelsum*. Una situación similar ocurre cuando se comparan con los crecimientos de *Cedrela Odorata*, que crece en los bosques de la amazonía, y que han sido estudiados por el SINCHI, CORPOAMAZONIA y MAVDT (31), cuando el crecimiento diamétrico sería casi cuatro veces más lento, sin dejar de considerar las diferencias entre las zonas de vida de estos dos estudios. De igual manera, a esta diferencia podría sumarse la densidad de la población y el tamaño de muestra, porque en la Amazonía se inventariaron 226 individuos de *C. odorata* en 4.4 ha, y a cambio, en el departamento del Tolima se midieron doce árboles de *G. guidonia* en 0.4 ha, lo cual equivalen a 51 y 30 árboles/ha., respectivamente.

De acuerdo con los modelos, la mayor dinámica de crecimiento diamétrico en *G. guidonia* se podría estar presentando entre los 20 y 60 años, a partir de un diámetro base de 10 centímetros.

No obstante que el modelo Logístico es un buen estimador del tiempo para que *G. guidonia* llegue al diámetro asintótico, al realizar la comparación de los perfiles del crecimiento diamétrico elaborado con los otros dos modelos, se encontró que no existe diferencia estadística significativa entre estos.

Los resultados del estudio motivan proponer otros aná-

lisis, como, por ejemplo, la explicación de la similitud matemática de los incrementos entre las diferentes clases diamétricas y su incidencia en el cálculo de la biomasa por clase diamétrica. A futuro, será necesario relacionar el crecimiento con la variación climática y la fenología de la especie.

La suma de estudios de crecimiento para diferentes especies, en las mismas condiciones de estudio, contribuirán a construir medidas de restauración y manejo de ecosistemas forestales.

Conclusión.

Guarea guidonia es una especie nativa del bosque seco tropical del norte del Tolima, de lento crecimiento diamétrico, por lo que debe ser considerada como especie estratégica para la conservación de este ecosistema, limitando su aprovechamiento como madera comercial.

Agradecimientos a:

Universidad del Tolima
Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTO-LIMA)
Ingeniera Forestal Yeimy Lorena Bonilla Vargas
Licenciado en Matemáticas Luis Fernando Caicedo Guzmán
Administradora Ambiental Luisa Fernanda Lozano Castellanos
A todas aquellas personas que contribuyeron a la realización de este trabajo.

Referencias

1. Londoño Arango, Alberto. (1977). Anatomía de Maderas. Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal. Talleres Offset del Centro de Publicaciones de la Universidad del Tolima. 203 pp.
2. Diéguez, A.U., M. Barrio, F. Castedo, A.D. Ruíz, M.F. Álvarez, J.G. Álvarez y A. Rojo. (2003). Dendrometría. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.
3. García, W. (2009). Sistema de crecimiento y rendimiento para *Pinus patula* de Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de Maestría en Ciencias Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado De México. 78 p.
4. López Serrano, Francisco Ramón; García Morote, Francisco Antonio; del Cerro Borja, Antonio. (2003). Dasometría. Albacete. España. ISBN 84-932789-3-9
5. Hernández, L. y H. Castellanos. 2006. Crecimiento diamétrico arbóreo en bosques de Sierra de Lema. Guayana venezolana: primeras evaluaciones. *Interciencia* 31(11): 787-793.
6. Medewar, P.B. (1941). The laws of biological growth. *Rev Nature* 148 (3665): 772-774.
7. Imaña, J. y O. Encinas. 2008. Epidometría Forestal. Universidad de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Brasilia, Mérida. 66 p.
8. Ramírez, H., M. Acevedo, M. Ataroff y A. Torres. 2009. Crecimiento diamétrico de especies arbóreas en un bosque estacional de los llanos occidentales de Venezuela. *Rev Ecotr Soc Ven de Ecol* (Ven), 22(2): 46-63
9. Gutiérrez, R. (2005). Difusiones estocásticas no homogéneas lognormales y gompertz. Proceso de rayleigh. Aplicaciones. Tesis doctoral. Universidad de granada, departamento de estadística. 173 p.
10. López, A. (1993). Modelos Matemáticos para describir el crecimiento de un bosque primario en el Bajo Calima. Universidad Javeriana. Cali.
11. Riaño, O. (2000). Solución completa de una ecuación diferencial utilizada para determinar crecimiento de árboles. *Rev Col For (Col)* 6 (13): 119-124.
12. Winsor C.P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve. *Rev Proc of the Nat Acad of Scien (USA)* 18 (1): 1-7.
13. Casas, G., D. Rodríguez y G. Afanador. (2010). Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Rev Colomb de Cienc Pec (Col)* 23: 349-358.
14. Campbell, A.N. y B.J. Reece, (2007). Biología. Ed. Médica Panamericana. 7ª edición. Madrid, España. 1532 p.
15. IPNI. The International Plant Names Index Collaborators (2019). Consultado agosto 29 de 2023. En: International Plant Names Index. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/uhllmw> accessed via GBIF.org.
16. Villalobos, M. (2011). Tratamiento Taxonómico de Meliaceae (*Cabralea*, *Cedrela*, *Guarea*, *Ruagea*, *Swietenia*) en la Región Madidi, Bolivia. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia. Consultado febrero 10 de 2023. En: http://www.mobot.org/PDFs/research/madidi/Villalobos_2011_Thesis.pdf
17. Rodríguez, M. (1996). Manual de Identificación de Especies Forestales de la Subregión Andina. ISBN: 9972-44-002-8. Consultado febrero 10 de 2023. En: http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2448/Technical/S-PD-150-91-R1-I-Manual%20de%20Identificaci%C3%B3n-6.pdf
18. CORTOLIMA – Universidad del Tolima. (2007). Plan general de Ordenación Forestal para el Tolima. Citado en febrero 17 de 2023. En: (PDF) Lineamientos del Plan General de Ordenación Forestal para el Departamento del Tolima (researchgate.net)
19. Melo, A. y R. Vargas. (2003). Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima. Ibagué. 185 p.
20. Domínguez- Callero, Pedro A.; Rodríguez-Flores, Felipa de J.; Lizárraga-Mendiola, Liliana; Jiménez-Gómez, Marco A.; Navar, Jose. (2017). Aplicaciones y ejemplos de modelos de crecimiento diamétrico para árboles tropicales. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Dirección de Investigación y Posgrado. Consultado febrero 10 de 2023. En: <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1060>. *Rev Ecos y rec agrop (Mex)*, vol. 4, núm. 11, pp. 265-274, 2017.
21. Del Valle, J.I. (1997). Crecimiento de cuatro especies de los humedales forestales del litoral Pacífico Colombiano. *Rev de la Acad Colomb de Cienc Ex, Fís y Nat (Col)*, 21(81): 445-466.

22. González, H. (1994). Generalización de un modelo determinístico para el análisis del crecimiento de organismos vivos. *Rev Fac Nac de Agr (Col)*. Medellín 47: 89 – 98.
23. Vásquez, G. (1988). Crecimiento de un bosque de guandal explotado en el Pacífico Colombiano. Tesis de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 213 p.
24. Espina, L. (1984). El modelo logístico. Serie de estudios económicos, n° 23. Departamento de informaciones estadísticas y publicaciones de banco central de Chile, Santiago de Chile. 38 p.
25. Isaza, J.F. y D. Campos. (2006). Ecología: una mirada desde los sistemas dinámicos. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 356 p.
26. Quiñonez, J. y A. Lecompte. (2007). Modelos exponencial y logístico de la población en el suroeste de Puerto Rico. *Revista de investigación en ciencias matemáticas*, 1(3). Consultado 03 de febrero de 2023. En: [<http://cremc.ponce.inter.edu/3raedicion/articulo4.htm>].
27. Noguera, R.R., R.L. Pereira y C.E. Solarte. (2008). Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. *Livestock Research for Rural Development* 20(5). Consultado 10 de febrero de 2023. En: [<http://www.lrrd.org/lrrd20/5/nogu20079.htm>].
28. Casas, G., D. Rodríguez y G. Afanador. (2010). Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Rev Colomb de Cienc Pec (Col)* 23: 349-358.
29. Blasco, A. s. f. La descripción del crecimiento, informe técnico ocasional N° 6. Departamento de ciencia animal. Universidad Politécnica de Valencia. España. 21 p.
30. Lozano B., L.A., Franco O., Nathaly, Bonilla V., Jeimy Lorena. (2012). Estimación del crecimiento diamétrico, de *Anacardium excelsum* (Kunth) Skeels, por medio de modelos no lineales, en bosques naturales del Departamento del Tolima. *Rev Bol Cient Mus Hist Nat Univ Caldas (Col)* vol.16 no.1 pp. 19-32
31. SINCHI. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI); Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA); Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2007). Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables. Bogotá, Colombia. 266 p.