

## Estructura y dinámica inicial de una forestación de *Schinopsis balansae* engl.



## Structure and initial dynamics of a forestation of *Schinopsis balansae* engl

Orquera, Ricardo Martín; Ruíz Díaz, Marianela; Velazco, Pablo Javier; Pérez, V.R.

 Ricardo Martín Orquera

rmorquera@fca.unl.edu.ar

Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICIAgro) / Universidad Nacional del Litoral - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNL-CONICET), Argentina

Marianela Ruíz Díaz

marianellaruizd@gmail.com

Estación Experimental Agropecuaria Colonia Benítez. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina

Pablo Javier Velazco

pablojvelazco@gmail.com

Facultad de Recursos Naturales, Universidad Nacional de Formosa. Centro de Ecología y Biodiversidad del Chaco Argentino, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

V.R. Pérez

victorforestal8@gmail.com

Facultad de Recursos Naturales - Universidad Nacional de Formosa, Argentina

### Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-e: 2346-9129

Periodicidad: Semestral

vol. 22, e0011, 2023

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 07 Noviembre 2022

Aprobación: 27 Abril 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863579017/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0010>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

**Resumen:** Es escaso el conocimiento que se posee sobre el comportamiento epidométrico de plantaciones realizadas con especies nativas. En este caso se reporta un estudio realizado en una plantación de *Schinopsis balansae* Engl. (Quebracho colorado chaqueño) de 15 años de edad. Se establecieron como objetivos aportar conocimientos e información técnica relacionada a la estructura y dinámica de dicha plantación, y determinar el modelo más conveniente para expresar la relación hipsométrica. En la obtención de datos se aplicó un muestreo simple aleatorio, en el cual se utilizaron seis parcelas rectangulares. La caracterización de la estructura horizontal incluyó la determinación de parámetros dasométricos e índices de densidad y dominancia por clase diamétrica. En la estructura vertical se utilizó el índice de posición sociológica. Como complemento al análisis estructural se utilizó la variable cualitativa forma de fuste. Con datos de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (HT), se analizó la relación hipsométrica. Los resultados revelaron una densidad actual de 547 ind. ha<sup>-1</sup>, diámetro medio de 12,1 cm, altura media de 7,2 m, área basal de 7,2 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y volumen de fuste 25,1 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. En cuanto a la estimación de la altura, la mejor predicción se logró a través de la ecuación  $h = .0,083 + 3,059 * \ln d$  correspondiente al modelo Henriksen. En relación a la dinámica del crecimiento se registró 0,8 cm.año<sup>-1</sup> y 1,7 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de incremento medio anual del diámetro y volumen, respectivamente. En conclusión, la plantación evaluada se encuentra transitando por su fase de crecimiento exponencial, edad natural de latizal. La estructura presenta una densidad normal, donde aún no hay una competencia excesiva. La mayoría de los individuos tienen un fuste recto, producto de su carácter silvícola y de podas realizadas en tiempo y forma. El modelo logarítmico de Henriksen resultó el más confiable para estimar la HT en base al DAP.

**Palabras clave:** crecimiento, densidad, espesura, silvicultura.

**Abstract:** Little is known about the epidometric behavior of plantations made with native species. In this case, a study was carried out in a plantation of 15 years old of *Schinopsis balansae* Engl. (Quebracho colorado chaqueño). The objectives of this work were to contribute with knowledge and technical information about the structure and dynamics

of this plantation, and to determine the most convenient model to express the hypsometric relationship. Data were obtained using a simple random sampling, with six rectangular plots. To characterize the horizontal structure, dasometric parameters were determined and density and dominance indexes by diameter class were calculated. The sociological position index was used to characterize the vertical structure. Stem shape was evaluated to complement the structural analysis. The hypsometric relationship was analyzed using data on diameter at breast height (DBH) and total height (TH). The results revealed a current density of 547 pl.ha<sup>-1</sup>, mean diameter of 12.08 cm, mean height of 7.20 m, basal area of 7.18 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, and stem volume of 25.06 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Height was best predicted by the equation  $h = -0.083 + 3.059 * \ln d$ , corresponding to the Henriksen model. Regarding growth dynamics, mean annual increase in diameter and volume was 0.81 cm.yr<sup>-1</sup> and 1.67 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, respectively. In conclusion, the evaluated plantation is going through its exponential growth phase. The plantation presented a normal density, without apparent competition. Most of the individuals have a straight stem, as a result of the timely and adequate pruning. The logarithmic Henriksen model was the most reliable for estimating TH based on DBH. This work provides information about the silvicultural potential of *S. balansae*.

**Keywords:** growth, density, thickness, silviculture.

## INTRODUCCIÓN

*Schinopsis balansae* Engl. (Anacardiaceae), es una especie arbórea que se distribuye en la porción oriental del Chaco Húmedo, en un área de más de 17 millones de hectáreas (Marino & Pensiero, 2003), al sur de Matto Grosso, Bolivia, Paraguay y en el Nordeste de Argentina; en este país comprende las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Corrientes, Santa Fe y Entre Ríos (Meyer & Barkley, 1973).

Desde que se descubrieran las propiedades curtientes del tanino a fines del siglo XIX, el quebracho colorado chaqueño ha sido objeto de una intensa explotación, principalmente en Argentina. En las décadas de 1930 y 1940 sólo quedaban en las provincias de Santa Fe y Chaco reducidísimas extensiones que mostraran el aspecto del quebrachal primitivo. Una de las áreas más afectadas ha sido la Cuña Boscosa Santafesina, que algunos autores consideran como el área del óptimo ecológico para esta especie (Barberis *et al.*, 2012). A partir del año 2000, el corrimiento de la frontera agrícola redujo aún más la superficie de los quebrachales y aumentó la superficie de pastizales y salitrales, aunque en menor medida que en otras regiones del Chaco (Barberis *et al.*, 2012).

En relación a esta problemática, las plantaciones forestales suponen un reto para los próximos años, debido a que tanto el sector público como el privado han manifestado su interés por esta práctica (Van Bodegom *et al.*, 2008), y llevarla a cabo mediante criterios sostenibles se considera indispensable si se quiere obtener un modelo eficiente y seguro. Una forestación es definida como el establecimiento o recuperación de bosques, creados por acción directa del hombre en terrenos donde antes no existía o eran insuficientes (Cozzo, 1976).

En una plantación con fines productivos, conocer el estado estructural, es un criterio fundamental, ya que según Wadsworth (2000), la estructura debe ser considerada primordial para un manejo forestal eficiente en términos de productividad y continuidad de rendimientos. El mismo autor define a la estructura de un bosque como la representación de los pies que componen la masa en términos de edad, tamaño, copa u

otras clasificaciones. En consecuencia, adopta una importancia ecológica y silvicultural (Araujo *et al.*, 2008). Complementariamente, en el contexto de la planificación de conducción silvicultural, el conocimiento de la dinámica del crecimiento constituye una indispensable información para el manejo eficiente y la obtención de una producción óptima y sostenible.

El extracto tánico del quebracho colorado es motivo de un importante comercio de exportación, siendo por consiguiente fuente de recursos para la economía argentina y precisamente en esta circunstancia radica su importancia. Actualmente en Argentina existen tres empresas que se dedican a la comercialización del tanino, (una localizada en la provincia de Formosa y dos en Chaco), que son las que mayor contribución tienen en el mercado, debido a que Argentina es el país el que más produce y cotiza a nivel mundial (Benítez Palacios & Velazquez Oña, 2010).

Los bosques implantados de *S. balansae* (quebracho colorado chaqueño) suponen una alternativa con doble propósito para las empresas que dedican su producción a la obtención de extractos tánicos, por un lado, la obtención de materia prima de una manera eficiente y segura y por otro aliviar la presión sobre los bosques naturales. A fin de conocer el estado actual de una masa forestal se realizó un diagnóstico en base al estudio de los caracteres estructurales.

En tal sentido, los objetivos que se plantean son, aportar información técnica relacionada a las características estructurales y de dinámica inicial de una plantación de *S. balansae* de 15 años de edad y determinar el modelo matemático más conveniente para estimar la altura total en función del diámetro normal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Área de Estudio.

El estudio se ubica en proximidades de la localidad La Escondida, en la provincia del Chaco (Figura 1).

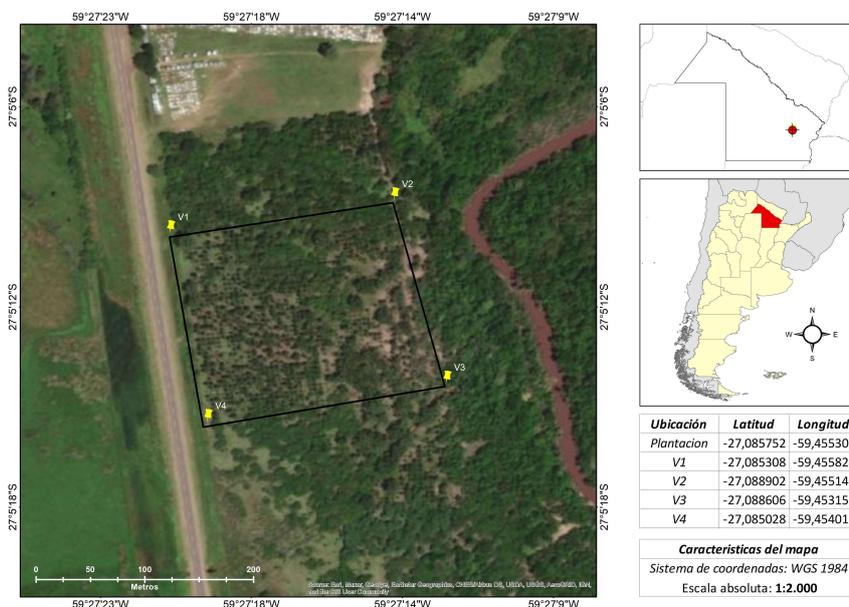
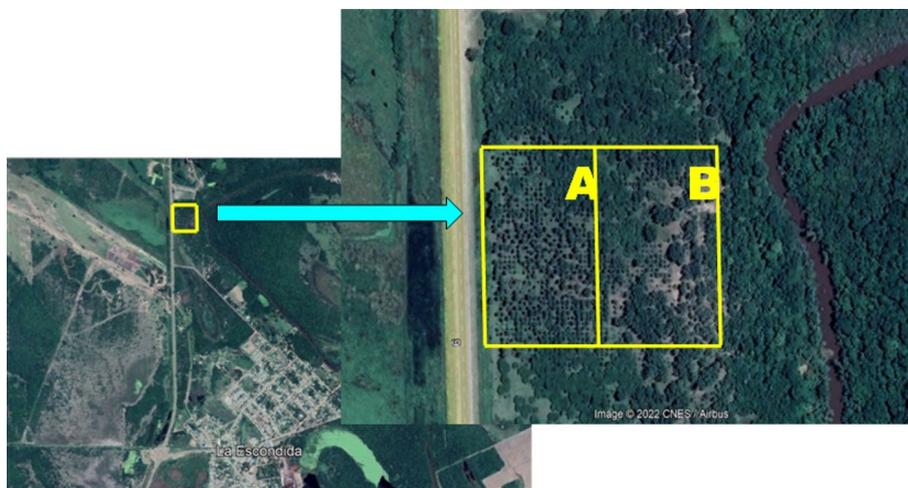


FIGURA 1 / FIGURE 1

Figura 1. Localización de La Escondida en la provincia del Chaco, Argentina.  
Figure 1. Location of La Escondida in the province of Chaco, Argentina.

La forestación aquí analizada corresponde a una plantación de 7 hectáreas ubicada a 2 km al norte de la localidad La Escondida, Departamento Gral. Donovan, provincia del Chaco, y en adyacencia de la ruta provincial N° 9 ( $27^{\circ}05'18''\text{S } 59^{\circ}27'30''\text{W}$ ) y pertenece a la empresa Indunor S.A. En base a la detección de sectores homogéneos y heterogéneos, el área la plantación se estratificó en los sectores A y B (Figura 2).



**FIGURA 2 / FIGURE 2**

Figura 2. Localización de la plantación de quebracho colorado Chaqueño (INDUNOR S.A). Fuente: Google Earth Pro. Coordenadas:  $27^{\circ}05'18''\text{S } 59^{\circ}27'30''\text{W}$ .

Figure 2. Location of the Chaqueño red quebracho plantation (INDUNOR S.A). Source: Google Earth Pro. Coordinates:  $27^{\circ}05'18''\text{S } 59^{\circ}27'30''\text{W}$ .

El presente estudio hace referencia exclusivamente al rodal del sector A que cubre poco más del 50% del área plantada. En este sector la parte inferior de las plantas de quebrachos está libre de ramas como consecuencia de la práctica de poda sistemática, único tratamiento silvicultural realizado. El marco de plantación inicial que se utilizó fue de  $4 \times 4$  m, que corresponde a una densidad de  $625 \text{ ind. ha}^{-1}$ .

## Características ambientales

La zona en donde se encuentra la plantación se ubica al Este de la provincia del Chaco, la temperatura media es media de  $21,5^{\circ}\text{C}$  y la precipitación media anual de  $1.343 \text{ mm año}^{-1}$  (EEA INTA Colonia Benítez, 2012). En relación a las características edáficas, el sitio fue clasificado por (Prause *et al.*, 2021) como Natrustalf mólico, quien estudió puntualmente la influencia edáfica sobre el crecimiento de *S. balansae* en el mismo sitio. Según Ledesma (1992), estos suelos presentan un horizonte superficial de escaso espesor en donde se acumula la materia orgánica, fuertemente sódico y moderadamente salino.

## Aspectos metodológicos del estudio

Con el propósito de observar y medir las variables silvícolas y dasométricas se instalaron seis parcelas rectangulares de 700 m. cada una, con distribución aleatoria en el sector A. Considerando que el área total de este sector A es de 3.8 ha, resulta que la intensidad de muestreo fue del 10,95%.

Las variables dasométricas medidas en cada árbol de todas las parcelas de muestreo, fueron:

- **DAP.** Diámetro del fuste medido a 1,30 m de altura, con cinta dendrométrica; en cm
- **HT.** Altura total medida con vara telescópica graduada; en m.

- **HF.** Altura del fuste medida con vara telescópica graduada; en m. La HF se define como la distancia a lo largo del eje del árbol entre el nivel del suelo y el punto de inicio de la copa, es decir, punto en que se interrumpe su desarrollo lineal por la presencia de las ramas principales.

Para la descripción de los caracteres estructurales se utilizó la metodología de Acosta *et al.*, (2006). Los parámetros estructurales se obtuvieron del análisis de la estructura horizontal y estructura vertical.

La estructura horizontal se analizó considerando la densidad ( $\text{ind.ha}^{-1}$ ), área basal ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ ) y volumen de fuste ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ) por clase diamétrica. Para el cálculo del volumen se utilizó la ecuación de Stoate simplificado determinado por Delvalle y Pérez (2019) para *S. balansae*:  $\text{VF} = 0,02822 + 0,744428 * (\text{DAP}^2 * \text{HF}) - 0,007436 * \text{HF}$ .

La determinación empírica de los niveles de espesura del rodal, la cual se define como grado de agrupamiento o proximidad de los árboles de una masa y refleja el grado de influencia mutua, competencia e interrelación de los árboles que la componen, se realizó con base a la siguiente clasificación (González Vázquez, 1947):

- a) La **espesura es normal** cuando las copas de los árboles son tangentes. Cubierta de vuelo completa. Se corresponde con una densidad normal.
- b) La **espesura es excesiva** cuando las ramas de las copas se entrecruzan. Cubierta de vuelo trabada. Se corresponde con una densidad excesiva.
- c) La **espesura es defectiva** cuando hay un espacio libre entre las copas que permite el ingreso de la luz al piso del bosque. Cubierta de vuelo incompleta. Se corresponde con una densidad defectiva.

Para la determinación de la clasificación sociológica propia de la estructura vertical, se utilizó la metodología para masas regulares (Romero Acevedo, 2008). Dicha clasificación consta de cuatro clases: dominante, codominante, intermedio y dominado.

- Árboles dominantes: aquellos cuyas copas se levantan por encima del nivel general del techo del bosque.
- Árboles codominantes: aquellos cuyas copas forman el nivel general del techo del bosque
- Árboles intermedios: son los que tienen sus copas debajo del techo general del bosque
- Árboles dominados: aquellos que tienen sus copas completamente por debajo del techo del bosque

Entre los caracteres cualitativos de los árboles se observó la forma de fuste, esta variable se determinó a partir de una apreciación visual de la forma general del fuste y clasificándolo en alguna de las siguientes clases:

1. **Recto:** aquel árbol que exhibe condiciones de rectitud en toda la longitud del fuste.
2. **Semicurvo:** aquel árbol con fuste levemente combado.
3. **Curvo:** aquel árbol que posee en el fuste dos o más sectores combados pronunciados.

Continuando con el análisis estructural se examinó la relación hipsométrica, para lo cual se utilizaron registros de altura total y diámetro a la altura del pecho (Finger, 1992; Prodan *et al.*, 1997), que fueron ajustados según diferentes modelos matemáticos:

$$h = a + b * d \text{ Lineal simple}$$

$$h = a + b * \ln d \text{ Logarítmico, modelo de Henriksen}$$

$$h = a + b * d^2 \text{ Parábola incompleta}$$

$$h = a + b * d + c * d^2 \text{ Polinómico de 2º grado}$$

$$h = a * \exp^{(b * d)} \text{ Exponencial}$$

$$h = a * d^b \text{ Potencial}$$

$$h = a * b^{\text{dap}} \text{ Potencial}$$

Donde:

h = altura total del árbol (m)

d = diámetro a la altura del pecho (cm)

a, b, c = coeficientes de los modelos

ln = transformación logaritmo natural

Los estadísticos utilizados para evaluar la calidad del ajuste fueron el coeficiente de correlación de Pearson (r); coeficientes de determinación simple y ajustado ( $R^2$  y  $R^2 A.$ ); error estándar de estimación (EE); error absoluto medio (EAM); cuadrado medio del error (CME) y el estadístico de Durbin-Watson. Complementariamente se realizó el análisis del gráfico de residuos estudentizados.

En relación a la dinámica del crecimiento se evaluó el incremento medio anual de diversas variables dasométricas, a los 15 años (edad de la plantación al momento del presente estudio).

$$IMA = Y_t / t_0$$

Donde:

IMA: incremento medio anual.

Yt: dimensión de la variable dasométrica.

t<sub>0</sub>: edad a partir del tiempo cero.

## RESULTADOS

### Caracteres Estructurales

#### *Estructura horizontal*

Los resultados detallados sobre los parámetros estructurales en términos absolutos y relativos por clase diamétrica se presentan en la Tabla 1.

Clases	N	N	DAP	HT	HF	AB	AB	VF	VF
Diamétricas cm	ind.ha <sup>-1</sup>	%	cm	m	m	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	%	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	%
I (3 - 5,9)	99	18,1	4,88	4,69	2,90	0,189	2,6	1,17	4,7
II (6 - 8,9)	41	7,5	7,61	6,60	3,49	0,189	2,6	0,71	2,8
III (9 - 11,9)	109	19,9	10,58	6,71	3,30	0,963	13,3	3,40	13,6
IV (12 - 14,9)	138	25,2	13,56	7,32	3,65	2,000	27,7	7,04	28,1
V (15 - 17,9)	116	21,2	16,51	8,99	3,60	2,490	34,5	8,64	34,6
VI (18 - +)	44	8,0	20,02	8,43	2,90	1,397	19,3	4,10	16,2
<b>Total</b>	<b>547</b>	<b>100</b>				<b>7,228</b>	<b>100</b>	<b>25,06</b>	
<b>100</b>									
<b>Media</b>			<b>12,08</b>	<b>7,22</b>	<b>3,44</b>				

(N) Número de individuos por hectárea, (DAP) diámetro a la altura del pecho, (HT) altura total. (AB) área basal. (VF) volumen de fuste.

(N) Number of individuals per hectare, (DAP) diameter at breast height, (HT) total height. (AB) Basal area. (VF) stem volume.

**TABLA 1 / TABLE 1**

Tabla 1. Estructura dasométrica de la plantación a los 15 años de edad.  
Table 1. Dasometric structure of the plantation at 15 years of age.

Si bien existe una importante densidad se podría considerar que no es excesiva, teniendo en cuenta que los árboles se encuentran en una etapa de desarrollo inicial y que sus copas todavía no se tocan. Desde otra perspectiva vale señalar que como consecuencia de la incipiente competencia ya están claramente definidas las diversas clases de tamaños de individuos, tanto en diámetro como en altura.

Los árboles dominantes de la forestación conformados por la totalidad de la clase VI y parcialmente de la clase V, registraron en promedio 19,5 cm de DAP; 8,8 m de HT y 3,5 m de HF.

Sin considerar la primera clase que contiene a los ejemplares más pequeños y totalmente dominados, con diámetro inferior a 6 cm, el resto de la población presenta una inequívoca distribución simétrica de la densidad por clase diamétrica, en forma de campana. El valor más alto de frecuencia (poco más del 25% de la densidad total) se registra en la clase de 12 – 14,9 cm, donde se localiza el promedio diamétrico aritmético (12,1 cm) y el diámetro medio cuadrático (13 cm).

La masa principal del rodal constituida por las tres clases diamétricas superiores representa el 81,4% del área basal (5,8 m.ha<sup>-1</sup>). En este estrato se evidencia que la clase diamétrica con mayor área basal es la clase V, con un 34,5% del total. El 79% del volumen de fuste total estimado (19,8 m.ha<sup>-1</sup>), proviene de la masa principal. Por otro lado, el resto de la masa forestal estudiada, conformada por las tres clases diamétricas inferiores, tiene importante cantidad de individuos de tamaño reducido (249 ind.ha<sup>-1</sup> con diámetro inferior a 12 cm), representando el 18 % de la cobertura (1,3 m.ha<sup>-1</sup> de área basal).

### *Estructura vertical*

En relación a la estructura vertical seguidamente en la Tabla 2 se presenta la clasificación sociológica de los pies que componen el rodal.

<b>Clase de Altura, Estrato</b> (m)	<b>Densidad</b> (ind.ha <sup>-1</sup> )	<b>Densidad (%)</b>
Dominado ( $\leq 5,6$ )	109,4	20,0
Intermedio (5,7 - 7,2)	164,1	30,0
Codominante (7,3 - 8,8)	127,5	23,3
Dominante (8,9 - 10,4)	146,0	26,7
<b>Total</b>	<b>547</b>	<b>100</b>

**TABLA 2 / TABLE 2**

Tabla 2. Clasificación sociológica de la estratificación vertical.  
Table 2. Sociological classification of vertical stratification.

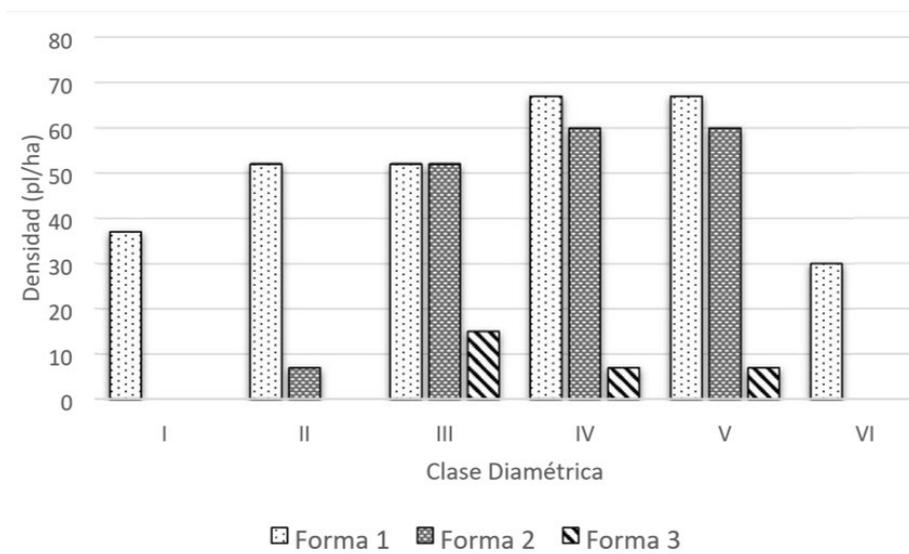
Esta clasificación permite estimar que el 50% de la densidad actual conforma la masa principal, representada por árboles dominantes y codominantes; es el estrato más valioso desde la perspectiva maderera. En el extremo opuesto se ubican los árboles dominados e intermedios, que constituyen el estrato accesorio. En este último estrato hay un 20% de la densidad existente a los 15 años, representada por plantas de escaso vigor y tamaño, y consecuentemente está dominado y cubierto por el dosel de la mayoría de los árboles del rodal.

Dado el carácter heliófilo de la especie, los individuos dominados, por recibir luz directa solo en una parte reducida de su copa, reducirán inexorable y progresivamente su vigor y vitalidad, proceso de declinación que culminará en su muerte. Es decir, los árboles del estrato accesorio (intermedios y dominados) no tienen posibilidad de sobrevivencia en el futuro del rodal y consecuentemente, el silvicultor deberá focalizarse en ellos cuando decida prontamente en una intervención, reducir la densidad y asignar de manera más conveniente los recursos del sistema.

Al evaluar la espesura del rodal con base a la proximidad y conectividad entre copas, se observó que el nivel de espesura resultó defectiva. Predomina la cubierta de vuelo discontinua, es decir las copas de los árboles no se tocan, existiendo una separación importante entre ellas. La porción libre de ramas en los árboles es consecuencia de la ejecución de podas sistemáticas.

### *Forma de fuste*

Considerando la variable forma general del fuste se observó presencia mayoritaria de la forma 1. En la Figura 3 se muestra la distribución de la forma de fuste (I, II y III) en clases diamétricas.



**FIGURA 3 / FIGURE 3**

Figura 3. Forma general de fuste de los individuos por clase diamétrica.  
 Figure 3. General shape of the stem of individuals by diameter class.

En todas las clases diamétricas predominan los individuos con fuste recto (forma I), alcanzando el 59% de la densidad total. Consecutivamente, el 35% pertenece a la forma 2 (individuos con fuste semicurvo), encontrándose distribuidas en las clases diamétricas intermedias. Por último, hay baja presencia de individuos (6% del total de árboles) con forma 3, correspondiente a árboles con fuste curvo. Los árboles con forma 2 y 3 en la mayoría correspondían a arboles dominados, no podados o con una poda tardía. No obstante, los individuos de forma 1 generalmente son árboles dominantes y podados.

Respecto del análisis estadístico de la relación hipsométrica, en la Tabla 3 se exponen los coeficientes de las funciones ajustadas y los estadísticos de diagnóstico usados para probar la bondad de ajuste de los modelos utilizados.

M	Ecuación	R <sup>2</sup> %	R <sup>2</sup> A. %	ESE	ESE %	EAM	CME	D-W
1	$h = 3,620 + 0,295 * d$	73,4	72,4	0,954	13,1	0,783	0,910	1,90
2	$h = -0,083 + 3,059 * \ln d$	76,0	75,1	0,906	12,5	0,726	0,821	2,15
3	$h = 5,198 + 0,0115 * d^2$	66,0	64,8	1,078	14,8	0,884	1,162	1,50
4	$h = 2,153 + 0,598 * d - 0,013 * d^2$	76,0	74,3	0,922	12,7	0,730	0,849	2,16
5	$h = 4,046 * e^{(0,0446 * d)}$	71,2	69,1	1,027	14,1	0,823	1,054	1,70
6	$h = 2,379 * d^{0,45448}$	75,7	74,8	0,912	12,6	0,734	0,832	2,09
7	$h = 4,3784 + 1,0402^d$	70,3	69,2	1,008	13,9	0,823	1,016	1,50

(M) modelo; (R<sup>2</sup>) coeficientes de determinación simple; (R<sup>2</sup> A.) coeficientes de determinación ajustado; (ESE) error estándar de estimación; (EAM): error absoluto medio; (CME): cuadrado medio del error y (D-W) estadístico de Durbin-Watson.

(M) model; (R<sup>2</sup>) coefficients of simple determination; (R<sup>2</sup> A.) adjusted determination coefficients; (SES) standard error of estimation; (EAM): mean absolute error; (CME) mean square error and (D-W) Durbin-Watson statistic.

### TABLA 3 / TABLE 3

Tabla 3. Ecuaciones y estimadores estadísticos para los siete modelos examinados.

Table 3. Statistical equations and estimators for the seven models examined.

En todos los casos el valor – P de la prueba resultó menor que 0,05, evidencia de una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%. El coeficiente de determinación simple osciló entre 66,0 y 76,6 %. Los modelos explican entre el 64,8 y 75,1 % (R<sup>2</sup> ajustado) de la variabilidad en “h”. El coeficiente de correlación de Pearson calculado para los modelos 1,2 y 3 fue alto (superior a 0,80). Según los valores calculados del estadístico de Durbin-Watson no se observó correlación significativa de los residuos.

Con base a los criterios para la selección del mejor modelo, tales como la distribución de residuales (distribución aleatoria, sin ningún patrón); coeficiente de correlación, coeficiente de determinación y el estadístico de Durbin-Watson (cuanto más alto mejor); el error estándar de estimación, error absoluto medio y cuadrado medio del error (mejor cuando el valor sea más bajo o menor), los modelos de mejores desempeños fueron el 2 (logarítmico), y 6 (potencial), con resultados de ajuste similares, sin diferenciarse estadísticamente, de modo que cualquiera podría utilizarse. El modelo 4, polinómico de segundo grado, si bien presenta estimadores interesantes, cabe señalar que el término con variable cuadrática (d<sup>2</sup>) resultó estadísticamente no significativo ( $\alpha = 0,05$ ), por lo que sería aconsejable eliminarse del modelo, quedando en tal caso como la expresión del modelo 1 (lineal).

En la Figura 4 se observa alta similitud gráfica en la distribución de los residuales para los dos mejores modelos. En general, existe un patrón aleatorio de los residuos.

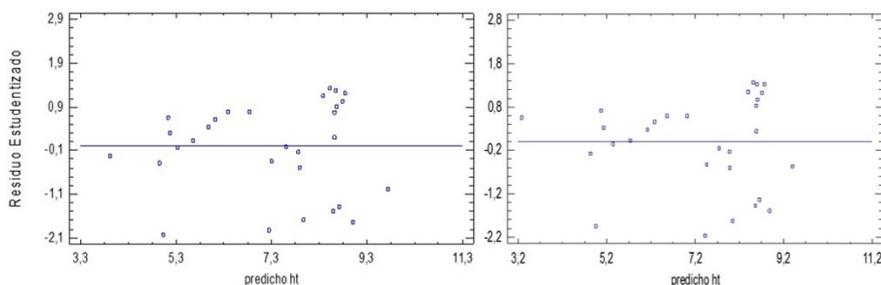


FIGURA 4 / FIGURE 4

Figura 4. Modelo ajustado frente a los residuos estandarizados. Modelo logarítmico (izquierda) y modelo potencial (derecha).  
 Figure 4. Fitted model against standardized residuals. Logarithmic model (left) and potential model (right).

Entre las dos opciones con mejores valores de estadísticos de bondad de ajuste, la expresión matemática del modelo 2 (logarítmico) resulta más parsimoniosa.

### Dinámica del Crecimiento

En relación a la dinámica del crecimiento, en la Tabla 4 se presentan los resultados de incremento medio anual (IMA) por clase diamétrica.

Clases	IMA DAP	IMA HT	IMA HF	IMA AB	IMA VF
Diamétricas cm	cm.año <sup>-1</sup>	m.año <sup>-1</sup>	m.año <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
I (3 - 5,9)	0,33	0,31	0,19	0,013	0,08
II (6 - 8,9)	0,51	0,44	0,23	0,013	0,05
III (9- 11,9)	0,71	0,45	0,22	0,064	0,23
IV (12 - 14,9)	0,90	0,49	0,24	0,133	0,47
V (15- 17,9)	1,10	0,60	0,24	0,166	0,58
VI (18 - +)	1,33	0,56	0,19	0,093	0,27

(IMA DAP) Incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho (IMA HT) Incremento medio anual de la altura total (IMA HF) Incremento medio anual de la altura de fuste (IMA AB) Incremento medio anual del área basal (IMA VF) Incremento medio anual del volumen de fuste.

(IMA DAP) Mean annual increase in diameter at breast height (IMA HT) Mean annual increase in total height (IMA HF) Mean annual increase in stem height (IMA AB) Mean annual increase in basal area (IMA VF) Average annual increase in stem volume.

TABLA 4 / TABLE 4

Tabla 4. Incremento medio anual de diversas variables dasométricas. Edad del rodal: 15 años.  
 Table 4. Average annual increase of dasometric variables. Stand age: 15 years.

Los valores estimados de incremento medio anual del rodal a la edad de 15 años fueron: 0,8 cm.año<sup>-1</sup> del DAP; 0,5 m.año<sup>-1</sup> de la HT; 0,2 m.año<sup>-1</sup> de la HF; 0,5 m..ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> del AB y 1,7 m..ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> del VF. En este periodo de vida de la plantación, en promedio por cada 1 cm de incremento diamétrico se registró 0,60 m de incremento en altura total. Al considerarse solo el estrato de árboles dominantes se estimaron incrementos medios anuales de 1,3 cm del DAP y 0,6 m.año<sup>-1</sup> de la HT.

En el contexto de los caracteres silvícolas y posibilidades del *S. balansae*, y considerando la edad cronológica del rodal, transitando por la edad natural de alto latizal, se interpreta que el crecimiento de esta plantación se encuentra en la fase de crecimiento rápido. Es decir, según la instancia actual de la dinámica del rodal, la especie estaría pasando por la fase de crecimiento diamétrico exponencial, la que se mantendría hasta los 20 años aproximadamente.

## DISCUSION

Los resultados del análisis estructural de la plantación a los 15 años revelan 87,5% de sobrevivencia, 12, cm de DAP, 7,2 m de altura total, 7,2 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> de área basal y 25,1 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de volumen de fuste.

Una de las variables a manipular que se encuentra estrechamente relacionada con el crecimiento y productividad de un rodal es la densidad. Smith (1986) señala que el crecimiento en volumen incrementa a medida que aumenta la densidad hasta un punto donde se alcanza un “plateau”, luego de lo cual el crecimiento disminuye con la densidad. En este contexto, Lendínez (2010), expresa que es esencial estudiar la dinámica del crecimiento de diversos parámetros dasométricos para determinar ciclos de corta y regular la producción del bosque, así como organizar la estructura de la plantación en el tiempo y en el espacio.

La posición sociológica de los pies que componen la forestación como indicador del potencial de crecimiento, es un criterio de selección fundamental para un manejo eficiente de la densidad, siempre y cuando se tenga en cuenta el temperamento de la especie y la estratificación observada. Desde esta perspectiva correspondería prontamente eliminar los árboles más pequeños (clases diamétricas I y II) debido a que no tienen condiciones biológicas para competir favorablemente con los individuos de los estratos superiores, y las plantas de mala forma (clase de forma 3) de la masa principal. La presencia actual de estos ejemplares en la forestación solo puede justificarse desde la perspectiva ambiental; silviculturalmente es irrelevante. Un manejo efectuado de la forma enunciada lograría homogeneizar y mejorar la estructura, direccionando mayores recursos a los árboles más vigorosos y de mejores formas, que permitiría aumentar la calidad del rodal y el crecimiento diamétrico de los árboles.

Por otro lado, el tratamiento intermedio que complementaría el inmediato manejo de la densidad referido, es el levantamiento de la altura del fuste a través de la poda sistemática alta. Actualmente las cuatro clases diamétricas superiores tienen en promedio más de 3,30 m de longitud de fuste, la que se podría extender a 5,0 m con la aplicación de una poda alta. En tal caso, la misma solo se debería aplicar a 200 ind.ha<sup>-1</sup> de ejemplares selectos (vigorosos y de buena forma) y distribuidos regularmente en el área forestada. La propuesta de manejo de la densidad antes descrita es acorde a lo que plantean Bravo *et al.* (1997), quienes remarcan que a través de las cortas intermedias se concentra la capacidad productiva de la plantación en una cantidad reducida de árboles selectos, de modo que se optimice la potencialidad del sitio y los beneficios.

En una plantación de la misma especie, instalada a un distanciamiento de 2 x 3m, en un suelo de monte profundo de la localidad de Estanislao del Campo (Formosa), Barret (1974) indica que a la edad de 11 años, la forestación disponía un DAP de 15,5 cm, una altura media de 7,50 m y un volumen total con corteza de 60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. En consideración a ello, se evidencia una diferencia significativa en el DAP y volumen entre ambos contextos. Este contraste puede darse debido a lo que señala Valerio (1997), el tamaño y estructura de las diferentes poblaciones es el resultado de las exigencias de las especies y las características del ambiente.

Por otra parte, Cersósimo (1964) quien realizó estudios en un rodal implantado de *S. balansae* a los 15 años de edad, con un distanciamiento 2 x 2m equivalente a una densidad inicial de 2500 ind.ha<sup>-1</sup>, reportó DAP de 10,5 cm, altura de 7 m, área basal de 17,54 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> y volumen de 72,25 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. En cuanto al DAP y altura los datos son similares a los relevados en el presente estudio, sin embargo, el área basal y volumen denotan una marcada diferencia que está asociada a la elevada densidad de plantación.

En una parcela de *S. balansae* del Ministerio de la Producción y Ambiente de Formosa, implantada en una zona húmeda (1.300 mm de precipitación anual) y suelo arcilloso, con un distanciamiento inicial de 4 x 4 m, a la edad de 15 años se registraron los siguientes valores: 10,7 cm de DAP, 7,6 m de HT, 2,6 m de HF, 5,6 m.ha<sup>-1</sup> de área basal, 18,6 m.ha<sup>-1</sup> de volumen de fuste de y 25,8 m.ha<sup>-1</sup> de volumen total (comunicación personal de la profesional responsable de la parcela).

Respecto a la dinámica del crecimiento, la plantación aquí referida se encuentra en estado latizal, ingresando a su periodo de mayor crecimiento de su ciclo biológico. Las estimaciones de incremento medio anual fueron 0,8 cm.año<sup>-1</sup> del DAP, 0,5 m.año<sup>-1</sup> de la HT, 0,5 m.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> del AB y 1,7 m.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> del VF. La parcela de quebracho de 15 años del Ministerio de la Producción y Ambiente de Formosa, antes aludida, registra valores de incremento medio anual ligeramente inferiores; DAP de 0,7 cm.año<sup>-1</sup>, área basal de 0,4 m.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y 1,2 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> del volumen de fuste.

Giménez y Ríos (1999) mencionan que en el análisis epidométrico de cinco individuos de la localidad de Arraga, Santiago del Estero, se determinó un rango máximo de IMA del DAP de 0,4 - 0,5 cm.año<sup>-1</sup>, para edades entre 52 y 81 años. En tanto Araujo (2007) señala que según diversos estudios realizados sobre el quebracho colorado (Ukrin, 1968; Sachtler, 1977; Coronel, 1984), existe coincidencia en atribuir un crecimiento diamétrico entre 0,3 y 0,4 cm.año<sup>-1</sup>.

Delvalle y Pérez (2019) informan que el crecimiento de cuatro rodales de 32 años existentes en la zona este de la provincia del Chaco, registró un rango de IMA de 0,4–0,5 cm.año<sup>-1</sup> de DAP y 1,1–1,7 m.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de volumen de fuste. Si bien estos datos en incremento volumétrico son similares a los obtenidos en la plantación aquí analizada, difieren significativamente en el crecimiento diamétrico debido posiblemente a la diferencia de edad y etapa de desarrollo.

Los resultados referidos por Cersósimo (1964) para otra plantación de igual edad difieren sensiblemente, ya que informa un IMA de 0,7 cm.año<sup>-1</sup> del DAP, 1,2 m.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> del área basal y 4,8 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> del volumen. En tanto la plantación analizada por Barret (1974), a los 11 años de edad presentaba un IMA aún mayor de 5,5 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.

En cuanto al análisis de la relación hipsométrica, la expresión matemática del modelo 2 (logarítmico, modelo de Henriksen) es parsimoniosa y presenta los mejores valores de estadísticos de bondad de ajuste, por lo que resulta la más conveniente para la estimación de la altura total de árboles individuales en función del diámetro a la altura del pecho. Esta respuesta coincide con los resultados comunicados por Pece *et al.* (2006) quienes determinaron que el modelo de Henriksen fue el más adecuado para estimar la altura de *Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. con base a valores del diámetro.

La ecuación doble logarítmica (ln h; ln d) es también frecuentemente utilizada en estudios de relaciones hipsométricas (p.ej. Brown *et al.*, 1989; Teixeira da Gama *et al.*, 2015), pero según Pece *et al.* (2006) al aplicarse en *S. lorentzii* tiende a sobreestimar en los valores mayores. En el presente estudio no se examinó dicho modelo.

Delvalle y Pérez (2019) expresan la existencia de una alta correlación entre el DAP y la HT de árboles de *S. balansae*. De la evaluación de diversos modelos en el análisis de la relación hipsométrica, determinaron que el modelo polinómico de segundo grado es el que presentaba mejor ajuste. Señalan que casi el 83% de la variación del diámetro es explicado por el modelo.

## CONCLUSIÓN

En base a los resultados estructurales obtenidos se concluye que se trata de una plantación joven correspondiente a la edad natural de latizal, presentando una densidad normal y consecuentemente sin registrarse una competencia fuerte entre los individuos. Respecto a los caracteres cualitativos, el 59% de los árboles son de fuste recto. Los árboles con forma 2 y 3 en la mayoría correspondían a individuos no podados o con una poda tardía.

El modelo logarítmico de Henriksen resulta adecuado para la estimación confiable de la altura total de árboles individuales en función del diámetro a la altura del pecho.

En relación a la dinámica, la plantación se encuentra en la fase de rápido crecimiento.

## REFERENCIAS

- Acosta, V. H., Araujo, P. A., & Iturre, M. C. (2006). *Caracteres estructurales de las masas*. Serie didáctica N°22. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina
- Araujo, P. Iturre, M.C., Acosta, V.H. & Renolfi, R.F. (2008). *Estructura del bosque de La María EEA INTA Santiago del Estero*. Quebracho - Revista de Ciencias Forestales, N° 16, 5-19. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Araujo, P., Juárez de Galíndez, M. & Iturre, M. (2007). *Crecimiento de las especies principales de un bosque en regeneración del Chaco Santiagueño*. Quebracho, Revista de Ciencias Forestales, N° 14, 36-46. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina
- Barberis, I., Mogni, V., Oakley, L., Alzugaray, C., Vesprini, J.L. & Prado, D. (2012). *Biología de especies australes: Schinopsis balansae Engl. (Anacardiaceae)*. Provincia de Santa Fe, Argentina. Kurtziana Tomo 37 (2): 59-86.
- Barret, W. (1997). *Antecedentes y situación actual del cultivo del Quebracho Colorado en el Chaco argentino*. Buenos Aires, Argentina: Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. 15 p.
- Barkley, F. A., & Meyer, T. (1973). *Revisión del género Schinopsis (Anacardiaceae)*. Lilloa, 205-258.
- Benítez Palacios, S. V., & Velásquez Oña, A. J. (2010). *Plan de Comercio Exterior y Negocios Internacionales de Importación de extracto de quebracho desde Argentina a régimen de consumo*. [Tesis, Ingeniería en Comercio Exterior y Negociación Internacional. Universidad de las fuerzas armadas, ESPE]. Repositorio institucional: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2847>
- Bravo F., Montero G. y Miren Del Rio. (1997). *Índices de Densidad de las Masas Forestales*. Ecología, N°11, pp 177-187.
- Brown, S., Gillespie, A.J., & Lugo, A.E. (1989). *Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data*. Forest Science. Vol. 35 (4).
- Cersósimo, J.F. (1964). *Crecimiento de los quebrachos colorados chaqueños y santiagueños en parcelas experimentales*. Notas Silvícolas N° 19. Administración Nacional de Bosques. Dirección de Investigaciones Forestales. 8 p.
- Coronel, E. (1984). *Bestimmung einiger holztechnologischer Eigenschaften der Baumart Aspidosperma quebracho blanco Schlecht. (Quebracho blanco) und ihre Bewertung durch Schnittholzsortierung, unter besonderer Berücksichtigung der argentinischen Holzverwertung und -verwendung*. Inaugural - Dissertation. Forstwiss. Fakultät, Univ. Freiburg. 159 p
- Cozzo, D. (1976). En: *Tecnología de la Forestación en la Argentina y América Latina*. Capítulo XXIV. Las Podas. 382-404. Año 1976.
- Delvalle, P. & Pérez, V.R. (2019). *Ensayos silviculturales del quebracho colorado chaqueño en la provincia del Chaco*. Informe técnico de avance interno. Empresa Indunor S.A. 37 p.
- EEA, INTA Presidencia Roque Sáenz Peña. (2012). *Datos disponibles de las casillas meteorológicas*. INTA, Regional Chaco-Formosa, Argentina. <http://inta.gob.ar/documentos/datos-obtenidos-de-las-casillas-meteorologicas>.
- Finger, C.A.G. (1992). *Fundamentos de biometría forestal*. Brasil. Imprenta Universitaria- UFSM. Rio grande do Sul. Santa María: UFSM/CEPEF/FATEC. 268 p.

- Giménez, A.M. & Ríos, N.A. (1999). *Crecimiento de Schinopsis quebracho-colorado (Schlecht.) Barkl. et Meyer, Anacardiaceae*. Madera y Bosques, Vol. 5, núm. 2. pp 35-51. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México.
- González Vázquez, E. (1947). *Selvicultura I: Fundamentos naturales de la Selvicultura. Los bosques ibéricos*. (2da. ed. pp. 575p) Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Valencia, España.
- Lendinez, C.D. (2010). *Estudio Para la determinación de modelos de crecimiento de especies forestales en un bosque del Chaco semiárido, Argentina*. [Proyecto de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal]. Biblioteca Universitaria de Madrid, <https://www.upm.es/UPM/Biblioteca>
- Ledesma, I. (1992). *Carta de Suelos de los Campos Anexo Lote V y Estación Forestal Plaza INTA*. 90 pp.
- Marino, G. D., & Pensiero, J. F. (2003). *Heterogeneidad Florística y Estructural de los Bosques de Schinopsis Balansae (Anacardiaceae) en el Sur del Chaco Húmedo*. Darwiniana, 41(1-4), 17-28.
- Martínez, G. R. (2018). *La dinámica socio-territorial en el centro-este chaqueño desde finales del siglo XIX hasta principios del siglo XXI*. (Doctoral disertación, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste).
- Pece, M.G.; Benítez, C.; Juárez, M.; Mariot, V.; Sanguedolce, J.; Pranzoni, O. 2006. Modelación de la altura total para quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis quebracho-colorado*). Foresta Veracruzana, vol. 8, núm. 1. pp. 1-7. Recursos Genéticos Forestales Xalapa, México.
- Prause, J., López, C. F., & Lancho, J. G. (2021). *Influencia de las propiedades edáficas sobre el crecimiento de Schinopsis balansae Engler en el Parque Chaqueño Húmedo (Argentina)*. Revista de Ciencias Forestales, 29, 1-2.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F. & Real, P. (1997). *Mensura Forestal*. Serie de investigación y evaluación en desarrollo sostenible. San José, Costa Rica: IICA, GTZ. 561 pp.
- Romero Acevedo, C.F. (2008). *Masas forestales en cinco parques de Neiva*. Revista nodo N° 5, Volumen 3, Año 3: 85-99. Colombia.
- Sachtler, M. (1977). *Inventario y Desarrollo Forestal del Noroeste Argentino (Plan NOA II). Reconocimiento Forestal en la Región Noroeste*. FAO DP/ARG/70/536. Informe Técnico N° 1. Roma. 426 p.
- Smith, D. (1986). *The practice of Silviculture*. 8th ed. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Teixeira da Gama, A., Dias Cabacinha, C., Rodrigues Meira, M. & Santana Leite, M.V. (2015). *Estimativas Volumétricas y Hipsométricas para el Barbatimão en el Norte de Minas Gerais*. Floresta e Ambiente: 22(4): 483-493.
- Ukrin, C. (1968). *Principios y organización forestal racional en los bosques del Parque Chaqueño Seco*. Boletín Forestal. Santiago del Estero. p. 14-20
- Valerio, J. 1997. "Intensidad de cosecha y ciclos de corta en el manejo de bosque natural". Simposio Internacional Posibilidades de manejo Forestal Sostenible en América Tropical. BOLFOR, CIFOR, IUFRO. Santa Cruz de la Sierra. 255 – 263.
- Valentini, J.A. (1960). *La reforestación con quebracho colorado y algunas normas silvícolas relacionadas con su aprovechamiento racional*. Bonplandia 1: 51-69. p. 53.
- van Bodegom, A.J., J. van den Berg & P. van der Meer. (2008). *Forest plantations for sustainable production in the tropics: Key issues for decision-makers*. The Netherlands: Wageningen University & Research Centre
- Wadsworth, F. H. (2000). *Producción Forestal para América Tropical*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710 pp.