

Morfometría de copa de *Neltuma alba* (Griseb.) en plantaciones jóvenes de Formosa, Argentina

Crown morphometry of *Neltuma alba* (Griseb.) in young plantations from Formosa, Argentina

Liza Leonor López¹  • María Cristina Cañete²  • Víctor Ramón Pérez² 

Recibido: 31/10/2023

Aceptado: 11/01/2024

Abstract

The present investigation was carried out with the objective of evaluating the crown morphometric parameters of the *Neltuma alba* in young plantations located in different site properties, in order to describe their behavior and analyze their relationships. For this purpose, permanent sampling plots of plantations located in three site properties of the province of Formosa were surveyed, measuring the normal diameter, crown radius, total height, crown insertion height and crown length of all the trees that were found within the plots. Through these variables, the following were calculated: crown diameter, crown volume, degree of slenderness, amplitude index, protrusion index, crown percentage and crown shape. The mean values of the parameters and morphometric indices by sites class showed important differences. Statistically, the effect of the site could be evidenced on the crown percentage and crown volume. When using simple regression models, it was determined that the relationship between normal diameter and crown diameter can be properly described by linear functions. The information generated on the crown morphometry can contribute to improve the management decisions of the plantations of this species.

Keywords: Morphometric indices, crown parameters, site quality, Argentina.

1. Facultad de Recursos Naturales, UNaF. Formosa, Argentina. lizal2120@gmail.com

2. Laboratorio de Silvicultura. Facultad de Recursos Naturales, UNaF. Formosa, Argentina. mcristin33@gmail.com; victorforestal8@gmail.com

Resumen

La presente investigación fue realizada con el objetivo de evaluar los parámetros morfométricos de copa de *Neltuma alba* en plantaciones jóvenes ubicadas en diferentes calidades de sitio, a fin de describir su comportamiento y analizar sus relaciones. Para tal efecto, se relevaron parcelas de muestreo permanente de plantaciones ubicadas en tres calidades de sitio de la provincia de Formosa, midiéndose el diámetro normal, radios de copa, altura total, altura de inserción de copa y largo de copa de todos los árboles que se encontraron en las parcelas. A través de estas variables se efectuaron cálculos sobre el diámetro de copa, volumen de copa, grado de esbeltez, índice de amplitud, índice saliente, porcentaje de copa y forma de copa. Los valores medios de los parámetros e índices morfométricos por clases de sitios evidenciaron diferencias analíticas. Estadísticamente el efecto del sitio pudo evidenciarse sobre el porcentaje de copa y volumen de copa. Mediante el empleo de modelos de regresión simple se determinó que la relación entre el diámetro normal y el diámetro de copa puede describirse satisfactoriamente por funciones lineales. La información generada sobre la morfometría de copa puede contribuir a mejorar las decisiones de manejo de las plantaciones de esta especie.

Palabras clave: Índices morfométricos, parámetros de copa, calidad de sitio, Argentina.

Introducción

Entre las especies forestales nativas de regiones semiáridas argentinas, *Neltuma alba* (Griseb.) Hughes & Lewis (2022), ex *Prosopis alba* (algarrobo blanco), es considerada una de las más importantes por el valor comercial su madera, el alto contenido de proteínas y azúcares de sus frutos que son utilizados para alimento humano y forraje en poblaciones locales [1].

En Argentina, las investigaciones sobre las plantaciones de algarrobo blanco cobran mayor impulso desde la sanción de la Ley 25080 (Argentina, 1999) a través de la cual se promociona la forestación de especies nativas y exóticas en todo el territorio nacional. Para que los planes de forestación puedan ejecutarse con eficiencia técnica y tengan un impacto socioeconómico positivo es necesario la aplicación adecuada de los tratamientos silviculturales. A tal fin uno de los problemas básicos que se presenta es el escaso conocimiento sobre el comportamiento y productividad del algarrobo blanco bajo diferentes condiciones de sitio; consecuentemente, es necesario y oportuno avanzar en el desarrollo de las tecnologías silviculturales de esta especie [2].

La producción primaria de las especies arbóreas depende en gran medida del área foliar activa y de la estructura de copa. Por otro lado, la copa es afectada por factores dinámicos del ambiente y por la múltiple competencia aérea y radicular, tanto por el espacio vertical y horizontal, como también por la luz y los nutrientes, que ejercen marcada influencia en el vigor y la vitalidad, la estabilidad mecánica, dominancia y rendimiento de los árboles en cada sitio y rodal [3], [4].

La morfometría de un árbol a través de las variables de copa brinda una buena idea de las relaciones interdimensionales, el espacio vertical ocupado por cada árbol, el grado de competencia, la estabilidad, vitalidad y productividad de cada individuo en el rodal [5], [6]. Las relaciones morfométricas permiten describir y caracterizar las dimensiones de los árboles y rodales sin el conocimiento previo de la edad, y pueden ser de gran utilidad para ajustar la planificación de los tratamientos silviculturales y monitoreos forestales [7], [8].

De acuerdo a [9] y [10] para la caracterización productiva de plantaciones forestales, el proceso operativo más frecuente consiste en la observación y registro de variables como el diámetro del fuste medido a 1,30 m del suelo, la altura, el área basimétrica y el volumen del fuste, pero raramente los estudios contemplan mediciones más detalladas de los parámetros de la copa. La cobertura de copa, el índice de copa, el índice de espacio vital, el porcentaje de copa, la forma de copa y el manto de copa son variables menos conocidas.

Cuando las variaciones en la arquitectura de los árboles obedecen no solo a la constitución genética sino a las condiciones de sitio y/o manejo, entonces la caracterización de la estructura vertical puede ser un elemento importante en la evaluación de plantaciones [7].

El sitio es el efecto de la acción conjunta de los factores ecológicos abióticos (climáticos, edáficos y fisiográficos) en un territorio concreto [11]. En tanto la calidad de sitio es definida como la potencialidad, expresada en producción de madera para una especie particular o para un tipo forestal, en un tiempo dado [12].

La generación de información morfométrica de la copa de árboles de algarrobo blanco favorecerá su domesticación, uso y conservación [13]. En este contexto el objetivo del presente estudio fue determinar los parámetros morfométricos de copa de plantaciones jóvenes de *N. alba* en diferentes calidades de sitio y analizar sus relaciones y comparaciones entre las diversas clases de sitio, con el propósito de proveer información útil para la decisión adecuada de la aplicación de los tratamientos silviculturales.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en plantaciones de *N. alba* de la provincia de Formosa (Argentina), que se extiende entre los paralelos 22° y 27° de latitud sur y los meridianos 57° y 63° de longitud oeste (figura 1). El clima es cálido y la temperatura media anual supera los 21 °C. Las precipitaciones anuales oscilan entre 600 mm al noroeste y 1200 mm al sudeste. Estas características sumadas a la existencia de una verdadera estación invernal, hacen que el área sea clasificada como de “clima subtropical - continental”. Las cotas altimétricas son de 55 metros sobre el nivel del mar en el este y de 210 metros sobre el nivel del mar en el oeste. Las asociaciones de suelos presentes son: Natrustoles típicos–Natrustalfes típicos; Ocracualfes mólicos–Natrustalfes típicos; Haplacuentos aéricos–Natrustalfes típicos; Haplustalfes kanháplicos [14].

Datos forestales

Los datos evaluados provienen de parcelas de monitoreo permanente instaladas en forestaciones de la provincia de Formosa, ubicadas en diferentes calidades de sitio en las siguientes localidades: Formosa (edad 14,5 años), Tres Lagunas (edad 13,8 años), Siete Palmas (edad 16 años), Palo Santo (edad 13,5 años), Buena Vista (edad 16,5 años) y El Quebracho (edad 14 años).

Con base en la clasificación de sitios formulada para forestaciones de algarrobo de acuerdo a su potencial de crecimiento [15], en el presente estudio se consideraron las siguientes categorías de análisis:

- Clase de sitio 1 (CS1): contempla sitios de calidad muy buena (II) a excelente (I); posición topográfica de loma, media loma alta (80-90 m.s.n.m.), suelos con textura liviana, de horizonte A de 20-25 cm de espesor, buena profundidad efectiva (100 cm), relieve normal, bien drenados.
- Clase de sitio 2 (CS2): sitios de calidad regular (IV) a buena (III); posición topográfica de media loma, disminución en el drenaje y un aumento en el contenido de arcilla en el horizonte A (15 a 20 cm), con más de 50 cm de profundidad efectiva y menos que 1 m.
- Clase de sitio 3 (CS3): calidad de sitio mala (V); posición topográfica de media loma baja tendida (70 m.s.n.m.), mayor contenido de arcilla en los horizontes subsuperficiales, delgado espesor del horizonte superficial (valor promedio 10-15 cm), profundidad efectiva 45 cm, imperfectamente drenados.

En cada Clase de sitio se muestrearon 47 árboles. Para determinar la morfometría en cada árbol se midió el diámetro normal (DN) utilizándose cinta dendrométrica;

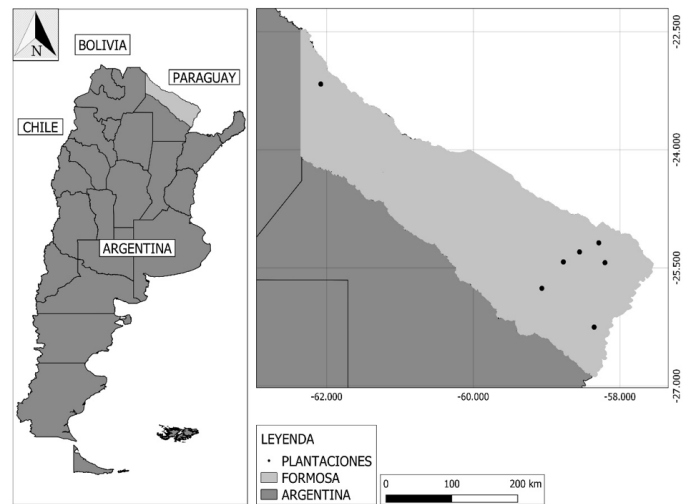


Figura 1. Localización geográfica de la Provincia de Formosa en la República Argentina y plantaciones estudiadas.

Figure 1. Geographic location of the Province of Formosa in the Argentine Republic and the plantations studied.

la altura total (HT); el largo de copa (LC) entendida como la altura desde la primera rama viva hasta el ápice; HT y LC fueron medidos con vara telescópica graduada; el radio de copa (RC) calculado a partir de la medición con cinta métrica y brújula de 4 radios por árbol, mediante el método de ángulos fijos (90°, 180°, 270° y 360°). Los radios medidos en proyección vertical se tomaron desde el centro del árbol al borde exterior de la copa. Por lo tanto, el diámetro de copa (DC) se fijó en dos veces el promedio de los 4 radios medidos [16]. El volumen de copa (VC) fue estimado a partir de la misma expresión algebraica utilizada en otro estudio similar en árboles de algarrobo blanco [13].

Análisis estadístico

En función a la información de campo se determinaron diversos parámetros y relaciones morfométricas (cuadro 1), cuyos estimadores de estadística descriptiva por clase de sitio fueron consignados en matriz de información tabulada. Con los valores morfométricos por clase de sitio se realizó análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) y comparación múltiple de medias a través de la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves-DGC para igual nivel de significancia.

También se estudiaron las relaciones simples entre diámetro normal y diámetro de copa mediante análisis de regresión, considerándose al diámetro normal como variable independiente de las ecuaciones matemáticas, por ser un rasgo de fácil medición. Los modelos fueron evaluados a través del coeficiente de determinación

Cuadro 1. Parámetros para caracterizar la morfometría de copa de *Neltuma alba*.

Table 1. Parameters to characterize the crown morphometry of *Neltuma alba*.

Parámetro morfométrico	Determinación
Esbeltez (E)	$\frac{\text{Altura total (m)}}{\text{Diámetro normal(cm)}}$
Porcentaje de Copa (% C)	$\frac{\text{Largo de copa (m)}}{\text{Altura total (m)}} \times 100$
Forma de Copa (FC)	$\frac{\text{Diámetro de copa (m)}}{\text{Largo de copa (m)}}$
Índice de Copa (IC)	$\frac{\text{Largo de copa (m)}}{\text{Diámetro de copa (m)}}$
Índice Saliente (IS)	$\frac{\text{Diámetro de copa (m)}}{\text{Diámetro normal (m)}}$
Relación DN/RC	$\frac{\text{Diámetro normal (cm)}}{\text{Radio de copa(m)}}$
Índice de Amplitud (IA)	$\frac{\text{Diámetro de copa (m)}}{\text{Altura total (m)}}$
Volumen de Copa (VC)	$2/3 \pi \cdot \bar{R}c^2 \cdot Hc (m^3)$

simple y ajustado (R y R²aj) y el error estándar de estimación, utilizándose un nivel de confianza de 95% y una probabilidad < 0,05 para la significancia estadística. Para el procesamiento estadístico se utilizó el programa InfoStat/Profesional Versión 2020.

Resultados y Discusión

Los resultados sobre los parámetros morfométricos en las tres clases de sitio se presentan en los cuadros 2, 3 y 4. La totalidad de las variables referidas en el cuadro 2 resultaron diferentes estadísticamente (P < 0,05) entre las tres clases de sitios, con una clara tendencia decreciente de los valores, desde las plantaciones localizadas en los mejores sitios (CS1) hacia las representaciones de forestaciones establecidas en ambientes con diferentes y crecientes restricciones para el adecuado crecimiento y desarrollo de los algarrobos (CS2 y CS3).

En relación al diámetro normal y diámetro de copa se determinó que en promedio los árboles de la clase de sitio 1 (CS1) son 33,2 y 15,2 %, comparativamente más gruesos que los de la clase intermedia (CS2) y 72,8 y 56,8 %, respectivamente mayores que los de sitio deficiente (CS3).

Resultados del grado de esbeltez; porcentaje, forma y volumen de copa para plantaciones de algarrobo blanco en las tres clases de sitios se exponen en cuadro 3.

Cuadro 2. Morfometría de plantaciones de *Neltuma alba* en los sitios de evaluación.

Table 2. Morphometry of *Neltuma alba* plantations in the study sites.

Var	CS	G.E.	Media	D.E.	C.V.	Min	Max	Q1	Q3
DN	1	A	26,63	4,82	18,12	19,10	37,90	22,30	29,50
	2	B	19,99	5,24	26,23	10,10	27,70	15,40	24,70
	3	C	15,41	4,01	26,02	8,50	23,70	11,70	18,40
HT	1	A	10,17	1,17	11,52	7,36	12,68	9,45	11,00
	2	B	8,21	0,79	9,64	6,22	9,83	7,65	8,68
	3	C	6,11	1,26	20,69	3,63	8,45	5,10	7,07
LC	1	A	7,52	1,02	13,59	5,82	9,91	6,72	8,13
	2	B	5,60	1,02	18,19	2,69	7,58	5,00	6,21
	3	C	4,09	1,16	28,34	1,73	5,95	3,30	5,05
DC	1	A	8,09	1,86	23,01	4,43	14,50	6,76	9,20
	2	A	7,02	2,02	28,75	3,15	10,46	5,41	8,66
	3	B	5,26	1,29	24,59	2,98	8,53	4,31	5,99

G.E.: grupos estadísticos con una letra común no son diferentes significativamente (p > 0,05).

Dónde: CS = clase de sitio; G.E. = grupos resultantes de la aplicación de la prueba estadística DGC; Media = valor promedio; D.E = desvío estándar; C.V = coeficiente de variación; Min = mínimo; Max = máximo; Q1 = primer cuartil; Q3 = tercer cuartil; DN = diámetro normal, medido a 1,30 m de altura (cm); HT = altura total (m); LC = largo de copa (m); DC = diámetro de copa (m).

Cuadro 3. Grado de esbeltez, porcentaje de copa y forma de copa de *Neltuma alba*.

Table 3. Degree of slenderness, crown percentage and crown shape of *Neltuma alba*.

Var	CS	G.E.	Media	D.E.	C.V.	Min	Max	Q1	Q3
E	1	A	38,88	5,04	12,97	31,21	50,00	34,54	41,97
	2	A	43,44	10,25	23,60	31,27	77,13	35,89	48,29
	3	A	40,77	7,73	18,96	28,27	66,44	35,20	43,06
% C	1	A	74,14	7,36	9,93	58,00	85,20	68,50	80,20
	2	B	67,85	8,72	12,84	38,20	79,80	63,60	73,30
	3	B	66,06	8,52	12,89	47,70	78,80	58,50	72,40
FC	1	A	1,07	0,17	15,68	0,59	1,46	1,01	1,15
	2	A	1,25	0,24	19,61	0,74	1,77	1,09	1,39
	3	A	1,33	0,26	19,61	0,93	2,26	1,18	1,45
VC	1	A	260,0	118,4	45,53	77,1	566,7	147,5	330,3
	2	B	166,5	110,0	66,08	14,0	433,8	75,2	265,5
	3	C	69,0	47,67	69,10	9,1	193,2	31,6	103,5

G.E.: grupos estadísticos con una letra común no son diferentes significativamente ($p > 0,05$).

Dónde: CS = clase de sitio; G.E. = grupos resultantes de la aplicación de la prueba estadística DGC; Media = valor promedio; D.E = desvío estándar; C.V = coeficiente de variación; Min = mínimo; Max = máximo; Q1 = primer cuartil; Q3 = tercer cuartil; E = grado de esbeltez; % C = porcentaje de copa; FC = forma de copa; VC = volumen de copa (m^3).

Esbeltez (E)

La esbeltez que deviene de la relación altura/diámetro ha sido utilizada como indicador de la estabilidad de los árboles en el rodal contra los daños mecánicos causados por diversos agentes naturales, como ser los fuertes vientos [7]. Se considera que cuanto más alto es el valor de la esbeltez menor resulta la estabilidad del árbol al daño mecánico [6].

Si bien en las plantaciones de algarrobo blanco evaluadas el valor promedio de esbeltez más bajo correspondió a la CS1, pudiendo interpretarse la existencia de una mayor estabilidad en los individuos de sitios de mejor calidad para resistir contra los daños, cabe aclarar que del análisis de las varianzas realizado para verificar la igualdad del grado de esbeltez de las tres clases de sitios, se determinó un valor de $Pr > F = 0,3390$ lo que indica la inexistencia de diferencias estadísticas significativas. Los valores medios de esbeltez en las tres clases de sitio son superiores a los consignados [13] para la misma especie.

En plantaciones de *Acacia magnum* [17] se observó que según variaron las condiciones de sitio, principalmente el tipo de suelo, también varió significativamente el valor de esbeltez. En tanto del análisis estadístico comparativo entre *Pinus cooperi* y *Pinus leiophylla* se concluyó que el grado de esbeltez era igual entre ambas especies [19]. Esta respuesta concuerda con los resultados obtenidos en este estudio de *N. alba*, en que la estabilidad de las plantaciones jóvenes creciendo en distintas clases de sitios, no presentó variación significativa.

Porcentaje de Copa (%C)

Este criterio es a menudo utilizado como un indicador de la vitalidad de un árbol. Según cuadro 3, el porcentaje de copa se observó en mayor proporción en la CS1 lo que muestra que árboles con mayor diámetro normal y extensión de copa (DC) tienden a presentar mayor proporción de copa. El valor de porcentaje de copa de CS1 resultó estadísticamente diferente (P-valor $< 0,05$) de los calculados para las clases de sitios restantes. Los valores obtenidos en las distintas clases de sitio superan el 50%, lo que señala que más de la mitad de la altura total de los árboles está ocupada por sus copas. En [13] para igual especie se informan resultados similares de porcentaje de copa.

Forma de Copa (FC)

De acuerdo a [6] cuanto menor es la forma de copa, mayor es la productividad del árbol y que la forma de copa sirve como criterio para prescribir aclareos en el manejo forestal. En las plantaciones de *N. alba* aquí evaluadas, se observan menores valores de FC en sitios de mejor calidad (CS1), aumentando progresivamente hacia los sitios más restrictivos; el valor medio más alto se registró en la CS3, correspondiente a plantas de menor productividad características de sitios deficientes. En el análisis de varianza se determinó que $Pr > F = 0,1900$, valor que expresa la inexistencia de diferencias estadísticas significativas de la FC entre las tres clases de sitios. Para la misma especie [13] se informan valores superiores de FC.

Cuadro 4. Diversos índices de copa de *Neltuma alba* comparativos por clases de sitios.

Table 4. Crown indices of *Neltuma alba* when compared by class of sites.

Var	CS	G.E.	Media	D.E.	C.V.	Min	Max	Q1	Q3
IC	1	A	0,96	0,18	19,23	0,68	1,69	0,84	0,99
	2	A	0,83	0,17	20,77	0,57	1,36	0,70	0,91
	3	A	0,78	0,15	18,84	0,44	1,08	0,69	0,84
IS	1	A	30,40	4,16	13,68	21,30	39,1	28,10	33,10
	2	A	35,30	5,70	16,14	21,60	48,6	31,90	38,60
	3	A	34,60	4,95	14,30	24,80	46,9	30,50	37,50
IA	1	A	0,79	0,15	18,41	0,50	1,22	0,69	0,89
	2	A	0,84	0,19	22,47	0,45	1,22	0,69	0,99
	3	A	0,87	0,15	16,84	0,61	1,19	0,76	0,97
DN/RC	1	A	6,75	0,94	13,92	5,12	9,39	6,04	7,13
	2	A	5,82	1,04	17,86	4,11	9,27	5,17	6,19
	3	A	5,89	0,83	14,12	4,27	8,05	5,34	6,34

G.E.: grupos estadísticos con una letra común no son diferentes significativamente ($p > 0,05$).

Dónde: CS = clase de sitio; G.E. = grupos resultantes de la aplicación de la prueba estadística; DGC; Media = valor promedio; D.E = desvío estándar; C.V = coeficiente de variación; Min = mínimo; Max = máximo; Q1 = primer cuartil; Q3 = tercer cuartil; IC = índice de copa; IS = índice saliente; IA = índice de amplitud; DN/RC= relación diámetro normal / radio de copa.

Volumen de Copa (VC)

Es la única variable que presenta altos valores de coeficiente de variación (entre >45 y <70 %), condición observada en las tres clases de sitios. El comportamiento de las variables aquí referido tiene similar tendencia a lo informado en otro estudio [13], en que los árboles de algarrobo blanco tenían dimensiones mayores. El VC entre clases de sitios resultó estadísticamente diferente (P-valor < 0,05).

Resultados sobre diversos índices de copa para plantaciones de algarrobo blanco en las tres clases de sitios se exponen en cuadro 4.

Índice de Copa (IC)

Este índice revela la relación entre el largo y el diámetro de la copa, dando una buena idea de la dimensión de la copa arbórea. En el cuadro 4 se evidencia que el menor valor de este índice fue observado en individuos que crecen en sitios de calidad deficiente (CS3), obteniéndose el mayor valor en mejores calidades de sitio. Estas diferencias de valores de IC entre clases de sitios no fueron corroboradas en el análisis estadístico en el que se obtuvo un $Pr > F = 0,1719$.

Los valores de IC comunicados para la misma especie [13] resultan nítidamente inferiores a los determinados en el presente estudio. Según [7], una explicación de por qué en sitios de deficiente calidad el índice de copa es menor con respecto a sitios buenos, puede estar

relacionada con la densidad del rodal, dado que en sitios restrictivos los árboles crecen más lentamente y aún no han ocupado plenamente el área de crecimiento. Se comprobó que el valor de este índice en *Acacia magnum* varió significativamente según cambiaron las condiciones del sitio de plantación, observándose que en óptimas condiciones de sitio los árboles muestran copas más delgadas [17].

Índice Saliente (IS)

Este índice expresa la relación entre el diámetro de copa y el diámetro normal, mostrando la ocupación que necesita un árbol para desarrollarse sin competencia; este índice crece a medida que el árbol engrosa en diámetro [7]. En cuadro 4 se observa que *N. alba* en los mejores sitios tiene un diámetro de copa 30 veces mayor que el diámetro normal, y en sitios de clase 2 y clase 3 el promedio de esta relación varía entre 34 y 35. En relación a este índice vale destacar que las tres clases de sitios no resultaron ser estadísticamente diferentes ($Pr > F = 0,1334$).

El algarrobo blanco es una especie demandante de luz y en situaciones más restrictivas hay una disminución en su rendimiento, lo que se traduce en la necesidad de un mayor espacio vital para producir individuos más gruesos. Por ejemplo, se estima que para producir individuos de 50 cm de diámetro normal se tendría un diámetro de copa de 15 m, por lo que entrarían aproximadamente 57 árboles por hectárea, bajo el supuesto de copas redondeadas y

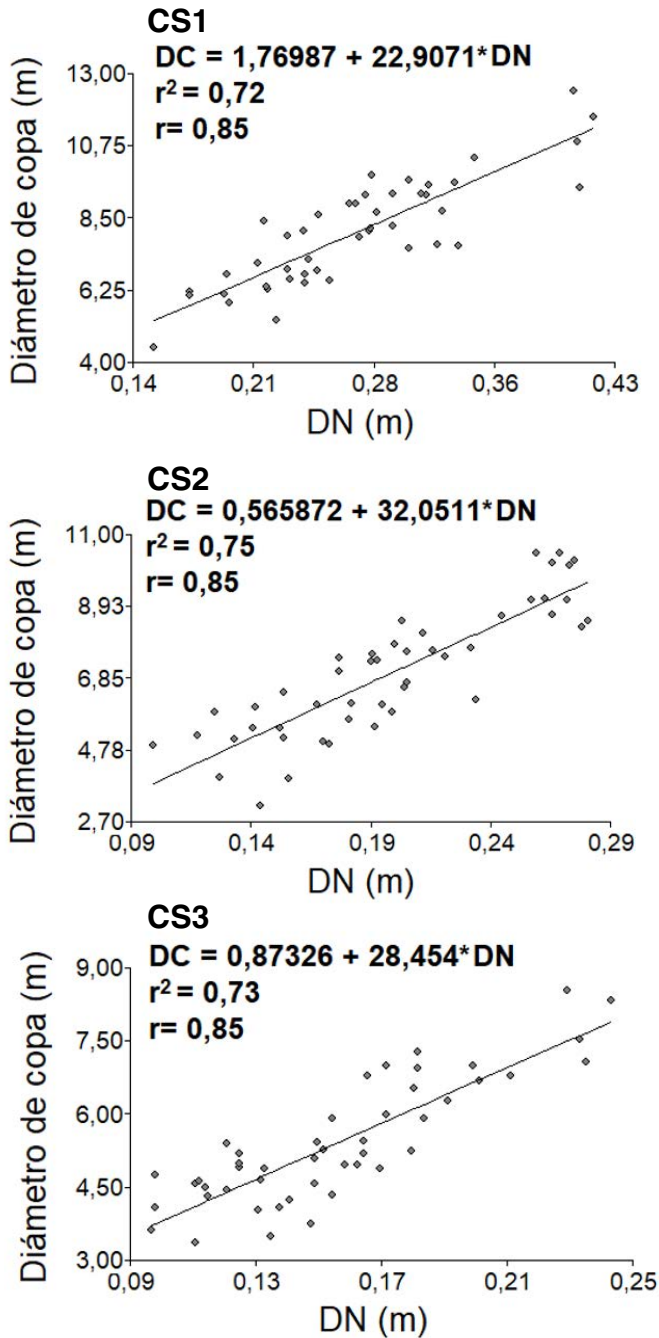


Figura 2. Relación entre diámetro de copa y diámetro normal de *Neltuma alba* según clase de sitio.

Figur3 2. Relationship between crown diameter and normal diameter of *Neltuma alba* according to site class.

plena ocupación del área. En general, el promedio del IS para este estudio se aproxima a los valores observados para algarrobo blanco [13], en los que el índice varió entre 24,3 y 29,4.

Índice de Amplitud (IA)

Los resultados para este índice en las tres clases de sitio, consignados en cuadro 4, no son estadísticamente

diferentes ($Pr > F = 0,5757$). Se estima un valor de IA individual que varía entre 0,45 y 1,22. Bajo condiciones de competencia los árboles sobresalientes de *Cedrela odorata* presentan un índice de amplitud que varía en un rango de 0,39 y 0,44; estos individuos tienen copas estrechas debido a la autopoda [18]. En el caso del algarrobo blanco los valores mayores se corresponderían a su característica de copa de extenderse lateralmente en mayor medida y presentar una autopoda deficiente. Para el caso que se considere aplicar aclareos en un rodal con base a la altura de los árboles y no a la edad, se puede utilizar el valor de este índice como indicador para la aplicación de dichas intervenciones silviculturales [19]. Por ejemplo, considerando el valor del índice de amplitud para *N. alba* de 0,79 y una altura promedio de 10,17 m (CS1), se tendría un diámetro de copa promedio de 8,09 m por árbol, lo cual equivale a tener una densidad de 190 árboles por hectárea, bajo el supuesto de copas redondeadas, con cubierta de vuelo plena (espesura normal).

Índice de DN/RC

El índice de diámetro normal/radio de copa es una medida de la eficiencia en la acumulación de diámetro normal por unidad de área de copa [20]. En plantaciones de *N. alba* se determinó que, en sitios de buena calidad por cada metro de incremento en el radio de copa, el diámetro normal se incrementa en promedio 6,75 cm. En las plantaciones localizadas en sitios de menor calidad (CS2 y CS3), los valores de este índice son similares (5,82 y 5,89, respectivamente). Los resultados referidos en cuadro 4 no son diferentes estadísticamente ($Pr > F = 0,1469$).

De la evaluación estadística de los ocho parámetros e índices morfométricos precedentes, el porcentaje de copa y volumen de copa han sido los únicos que demostraron suficiente sensibilidad a los cambios de calidad de sitio. De modo que en plantaciones jóvenes de *N. alba* estos dos parámetros pueden proveer información de rápida y confiable obtención, útil para la aplicación eficiente de los tratamientos silviculturales.

Por otro lado, del examen de la relación entre el diámetro normal del árbol y el diámetro de la copa se evidenció que la misma puede describirse satisfactoriamente por funciones lineales (figura 2).

El coeficiente de correlación de Pearson calculado indica la existencia de una correlación positiva sin diferenciación estadística para las tres clases de sitio. Entre el 72 y 75 % de la varianza del diámetro de copa es explicada por los modelos. La tendencia observada muestra que a medida que crece el diámetro normal también lo hace el diámetro de copa, lo cual en principio permitiría determinar el espacio ocupado por la especie en relación a su copa

y diámetro. Cabe señalar que, a pesar de la existencia de una adecuada y bien definida relación entre ambos diámetros, la variación de los diámetros de copa para un mismo valor de diámetro normal del árbol puede ser muy grande. Esta situación exige que la estimación de diámetro de copa a partir de datos de diámetro normal, sea realizada de manera criteriosa y cautelosa.

Conclusiones

Los parámetros e indicadores morfométricos de la copa son caracteres particulares de cada especie. A través del estudio se pudo aportar evidencia empírica respecto de los índices morfométricos de copa en *N. alba* en plantaciones según clases de sitios, los cuales podrían utilizarse complementariamente a otros índices silviculturales para evaluar la calidad y vitalidad de las forestaciones.

Las diferencias analíticas según las clases de sitios de los valores medios de los parámetros e índices morfométricos (p.ej. forma de copa, esbeltez, índice de copa), indicaría que éstos pueden resultar útiles para describir rodales de algarrobo blanco, permitiendo interpretar condiciones de crecimiento y manejo.

Estadísticamente el efecto del sitio pudo constatar sobre el porcentaje de copa y volumen de copa. Se evidencia que conforme mejoran las condiciones de sitio, esta especie presenta una mayor superficie de fotorrecepción solar lo que se traduce en una superior capacidad fotosintética y productividad.

En la aplicación de modelos de regresión simple se confirmó una correlación positiva entre el diámetro normal y el diámetro de copa, estimándose que los modelos por sitio explican entre el 72 y 75 % de la varianza del diámetro de copa.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Formosa - UNaF por el financiamiento total del proyecto de investigación, del cual proviene el presente documento. A los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Forestal (Facultad de Recursos Naturales, UNaF) por la importante contribución para la toma de datos dasométricos de campo.

Referencias

[1] M. Giménez, N. Rios, J. G. Moglia, P. Hernández y S. Bravo. «Estudio de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba* Griseb. algarrobo

blanco». *Forestal Venezolana*, vol. 45, nº 2, pp. 175-183, 2001.

- [2] V. Pérez, G. Vicentini, L. Ocampo y C. Vega. «Evaluación preliminar de la calidad de sitio para *Prosopis alba* Griseb. mediante la utilización de criterios dasométricos». *Memorias del 1º Congreso Forestal Chaco Sudamericano. Producción y Sustentabilidad*, Filadelfia, Paraguay, 2011, p. 11. ISSN 1853-5755.
- [3] J. Hernández-Ramos, V. J. Reyes-Hernández, A. M. Fierros-González, E. Buendía-Rodríguez, G. Quiñonez-Barraza y H. M. De los Santos-Posadas. «Morfometría de copa en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae* en Michoacán, México». *Bosque*, vol. 43, nº 3, pp. 309-320, 2022.
- [4] J. Hernández-Ramos, V. J. Reyes-Hernández y L. Beltrán-Rodríguez. «La copa como indicador fotosintético relevante en el manejo forestal de bosques templados». *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 13, nº 74, pp. 4-33, 2022.
- [5] L. L. Chanchari Tello, O. F. J. Galván Gildemeister, K. S. Córdova Flores, A. L. Ypushima Pinedo y S. P. Flores Vásquez. «Evaluación de las relaciones morfométricas de una plantación de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook f. ex Schumann a diferentes distanciamientos y profundidades». *Revista de Investigación Científica Tayacaja, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja, Perú*. vol. 4, nº 2, pp. 66-70, 2021.
- [6] M. A. Durlo y L. Denardi. «Morfometría de *Cabralea canjerana*, em mata secundaria nativa do Rio Grande do Sul». *Ciência Florestal*, vol. 8, nº 1, pp. 55-66, 1998.
- [7] D. Arias-Aguilar. «Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales». *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 2, nº 5, pp. 19-32, 2012.
- [8] A. F. Hess, T. Loiola, I. Arruda de Souza y B. Nascimento. «Morfometría de la copa de *Araucaria angustifolia* en sitios naturales en el sur de Brasil». *Bosque (Valdivia)*, vol. 37, nº 3, pp. 603-611, 2016.
- [9] O. Murillo-Gamboa. «Índices de calidad para la reforestación en Costa Rica». *Agronomía Costarricense*, vol. 24, nº 2, pp. 41-47, 2000.
- [10] J. E. Vásquez Rengifo. «Morfometría y coeficiente de forma de un modelo de fuste para una plantación maciza de pino chuncho *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blake en el CIPTALD-Tulumayo». *Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tesis. Tingo María, Perú*, 2016. 90 pp.
- [11] R. Serrada Hierro. «*distritoforestal.es*» [En línea]. *Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal*. Madrid, España. Disponible: https://distritoforestal.es/images/Apuntes_de_Selvicultura_completo_2011.pdf [Último acceso: 15 octubre 2022].
- [12] J. L. Clutter, J. C. Forston, L. V. Pienaar, G. H. Brister y R. L. Bailey. *Timber Management: A Quantitative Approach*. New York, USA. John Wiley & Sons, Inc., 1983, p. 333.

- [13] A. B. Cisneros, J. G. Moglia y J. A. Álvarez. «Morfometría de copa en *Prosopis alba* Griseb.». *Ciência Florestal*, vol. 29, nº 2, pp. 863-884, 2019. UFSM.
- [14] INTA - Gobierno de la Provincia de Formosa. «Atlas de Suelos de la República Argentina: Formosa. Escala 1:500.000». 1989.
- [15] G. M. Vicentini. Aptitud de suelos en forestaciones de *Prosopis alba* Griseb. de la Provincia de Formosa, Argentina. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM. Eldorado, Misiones, 2020, 67 pp.
- [16] C. R. Sanquetta, A. Behling, A. P. Corte, A. C. Fernandes, S. M. Beckert y A. A. Simon. «Equações para estimativa do diâmetro de copa para *Acácia-negra*». *Floresta e Ambiente*, vol. 21, nº 2, pp. 192-205, 2014.
- [17] Y. L. Pérez Bravo, C. Ríos Albuerno e I. Díaz Hernández. «Relaciones morfométricas en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* Willd en dos regiones de Villa Clara». *Centro Agrícola*, vol. 46, nº 3, pp. 30-38, 2019.
- [18] J. Martínez Vásquez. Variación fenotípica y selección de árboles de *Cedrela odorata* en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro, México. 2018, p. 58.
- [19] J. A. Nájera-Luna y E. Hernández-Hernández. «Relaciones morfométricas de un bosque coetáneo de la región de el Salto, Durango». *Ra Ximhai*, vol. 4, nº 1, pp. 69-81, 2008.
- [20] B. R. Lockhart, R.C. Jr. Weih y K. M. Smith. «Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species». *Journal of the Arkansas Academy of Science*, vol. 59, nº 1, pp. 110-115, 2005.