

MODELO DE ÍNDICE DE SITIO PARA PLANTACIONES DE *Neltuma alba* (Griseb.) C.E Hughes & G.P. Lewis EN FORMOSA, ARGENTINA

SITE INDEX MODEL FOR PLANTATIONS OF *Neltuma alba* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis IN FORMOSA, ARGENTINA

Fecha de recepción: 05/05/2023 // Fecha de aceptación: 11/11/2023

RESUMEN

En la provincia de Formosa existen poco más 1.000 hectáreas de plantaciones de *Neltuma alba*, abarcando amplia diversidad de sitios. La productividad de los terrenos forestales, definida principalmente por la calidad del sitio, se estima mediante la máxima cosecha de productos, frecuentemente maderables, producida en un tiempo determinado. El objetivo del estudio fue obtener un modelo de índice de sitio y definir clases de calidad de sitio para estas plantaciones. Los datos procedieron de 48 parcelas de monitoreo permanente. La calidad de sitio se determinó a través del índice de sitio, el método de la curva guía y estimación del parámetro altura dominante. Se utilizaron valores de altura de árboles dominantes, desarrollando ecuaciones de regresión no lineal para ajustar los valores de altura a partir de la edad. El ajuste del modelo de Gompertz permitió determinar la ecuación para la altura dominante y el índice de sitio a la edad de 9 años. La curva guía posibilitó obtener una familia de curvas anamórficas, como una primera clasificación de los sitios. Fueron establecidas cinco clases de sitio: excelente (9,4 – 10,6 m), muy bueno (8,1 – 9,4 m), bueno (6,9 – 8,1 m), regular (5,6 – 6,9 m) y malo (4,4 – 5,6 m).

SUMMARY

In the province of Formosa, there are just over 1,000 hectares of *Neltuma alba* plantations, covering a wide diversity of sites. The productivity of forestlands, defined principally by the site quality, is estimated by the maximum harvest of products, often timber, produced in a given time. The objective of the study was to obtain a site index model and define site quality classes for these plantations. The data came from 48 permanent monitoring plots. Site quality was determined through the site index, the guide curve method and estimation of the dominant height parameter. Height values of dominant trees were used, developing nonlinear regression equations to adjust the height based on age. Fitting the Gompertz model allowed us to determine the equation for dominant height and site index at the age of 9 years. The guide curve made it possible to obtain a family of anamorphic curves, as a first classification of the sites. Five site classes were established: excellent (9,4 – 10,6 m), very good (8,1 – 9,4 m), good (6,9 – 8,1 m), regular (5,6 – 6,9 m) and poor (4,4 – 5,6 m).

Key words: Gompertz; guide curve, anamorphic, curves, carob tree.

Gladys M. Vicentini

Ing. Ftal. MSc. Prof. Edafología,
Facultad de Recursos Naturales,
UNaF. Av. Gutnisky 3200, Ciudad
de Formosa. Correo:
gladysvicentini@hotmail.com

Víctor R. Pérez

Ing. Ftal. MSc. Prof. Silvicultura.
Facultad de Recursos Naturales,
UNaF. Av. Gutnisky 3200.
Formosa. Correo:
victorforestal8@gmail.com

Ramón A. Friedl

Ing. Ftal. MSc. Facultad de
Ciencias Forestales, UNaM.
Bertoni 124, N3380, Eldorado,
Misiones. Correo:
raf.2006.1@gmail.com

Roberto A. Fernández

Ing. Agr. MSc. Facultad de
Ciencias Forestales, UNaM.
Bertoni 124, N3380, Eldorado,
Misiones. Correo: rfernandez.952@
gmail.com

Palabras clave: Gompertz; curva guía; curvas anamórficas, algarrobo

INTRODUCCIÓN

La productividad maderable de un terreno forestal es una estimación que usa como referencia la máxima cosecha maderable producida en un periodo de tiempo, lo que se conoce como calidad de sitio. Esta medida integra todos los factores bióticos y abióticos que influyen en el crecimiento de los árboles, por lo que se considera un fiel reflejo de la productividad maderable del sitio (DANIEL *et al.*, 1982).

La calidad de sitio considerada como una cualidad distintiva, indica en forma relativa, el grado de productividad de un lugar bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación; además, se refiere a la producción potencial de madera del sitio para una especie en particular. Su determinación, representa una importante información, necesaria para atender un plan de manejo forestal (MARES ARREOLA *et al.*, 2004; HUENDO *et al.*, 2004).

Para la clasificación de sitio existen diversos métodos que permiten su evaluación y determinación. El índice de sitio (IS) es uno de los más utilizados y relaciona las características climáticas, fisiográficas y edáficas, empleando variables como edad del rodal y la altura total de cada árbol. Se aplica en rodales coetáneos, siendo la altura utilizada el promedio de los árboles dominantes o de los dominantes y codominantes. El índice de sitio es la altura media dominante que alcanzará un rodal en el sitio donde se desarrolla, a una edad denominada “base ó de referencia” (FERNÁNDEZ *et al.*, 1994; CASAUBÓN *et al.*, 2001; KEES y MICHELA, 2016; KEES *et al.*, 2017; SENILLIANI *et al.*, 2019).

En el año 2005 el Ministerio de la Producción y Ambiente de la Provincia de Formosa desarrolló un Plan Provincial de Fomento a la Forestación con Algarrobo, promoviendo el cultivo de la especie algarrobo blanco, *Neltuma alba* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (sinónimo: *Prosopis alba* Griseb.) y su complementación con la actividad agropecuaria. El mayor número de forestaciones con esta especie se localizó en la región noreste de la provincia, especialmente en los Departamentos de Pilcomayo y Pilagás, en una cobertura espacial definida por las localidades de Tres Lagunas, Siete Palmas, Buena Vista, Laguna Blanca y Riacho He-Hé.

En la provincia del Chaco para plantaciones de *N. alba* se ajustó el modelo de Gompertz, aplicando el método de la curva guía con una hipótesis de

crecimiento anamórfica. En el estudio fueron establecidas cuatro calidades de sitio con amplitudes de 2 metros de altura dominante, a la edad de referencia de 17 años (KEES *et al.*, 2017).

También para *N. alba* en Santiago del Estero, a partir de una familia de curvas anamórficas ajustada empleando el modelo Gompertz a una edad base de 15 años, se logró una estimación de la capacidad productiva de los sitios. Se diferenciaron tres calidades de sitio, I buena, II regular y III mala (SENILLIANI, 2021).

Los trabajos referidos precedentemente constituyen un apreciable antecedente para el presente estudio, aunque cabe resaltar que el material genético utilizado en esas plantaciones, las edades de las mismas y los ambientes son diferentes a los de Formosa (p. ej, en Santiago del Estero los estudios abarcaron esencialmente plantaciones ubicadas en el área de riego del río Dulce). En Formosa en particular se desconocen las diferentes calidades de sitio para la especie, su potencial de crecimiento y el turno de aprovechamiento requerido para obtener madera comercial. Debido a la importancia económica y social que reviste el cultivo de *N. alba* para la región noreste de Formosa, se consideró conveniente y oportuno estudiar el potencial productivo de los diferentes sitios en los que actualmente se desarrollan y pueden desarrollarse las plantaciones con algarrobo.

El objetivo del estudio fue ajustar un modelo de índice de sitio que permita precisar clases y curvas de calidad de sitio para plantaciones jóvenes de *N. alba* en la provincia de Formosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio.

El área de estudio se encuentra ubicada en la región NE de la Provincia de Formosa, Argentina. Corresponde a las zonas ecológicas denominadas “Pilcomayo Viejo” y “Depresión Oriental” (MORELLO y SCHAEFER, 2002). Presenta temperaturas medias anuales superiores a los 21°C, el promedio de las precipitaciones oscila alrededor de 1300 mm anuales con altos valores de Evapotranspiración Potencial del orden de los 1200 mm anuales. Según la clasificación de Thornthwaite, corresponde a un clima mesotermal, húmedo, subhúmedo, con nulo o pequeño déficit de agua.

La región pertenece a una gran planicie aluvial formada sobre sedimentos jóvenes vinculados a la morfodinámica subreciente del río Pilcomayo

(MORELLO y RODRÍGUEZ, 2009). En los albardones se encuentran Hapludoles, en las medias lomas los Natrustalfes y en las áreas más bajas, anegables por corto tiempo, los Albacualfes.

Metodología.

La valoración dasométrica de las plantaciones fue realizada en predios de productores forestales ubicados en ambientes representativos de la región y donde se concentran las forestaciones. Fueron seleccionados 24 sitios que representaron en forma equilibrada la mayor variabilidad ambiental de la región, estableciendo en cada uno de ellos parcelas de monitoreo permanente (PMP) de 1000 m² de superficie cada una. En cada sitio se instalaron dos PMP, registrándose en el estudio un total de 48 parcelas.

Las densidades iniciales de plantación fueron 500, 625 y 667 pl. ha⁻¹, correspondientes a distancias de 5 x 4, 4 x 4 y 5 x 3 m, respectivamente. Las plantaciones tenían evidencias de prácticas de podas sistemáticas. Dado que aún no habían sido objeto de raleos, la reducción en la densidad al momento del estudio se correspondía con las pocas fallas de plantación.

La supervivencia se determinó a partir de la densidad de plantación inicial versus el número de plantas vivas encontradas en cada parcela. La adaptabilidad de la especie a las condiciones de los sitios muestreados se vio evidenciada por la supervivencia, vigorosidad y calidad de las plantas. Se considera que una especie ha superado el estrés de la plantación cuando los valores de supervivencia resultan superiores a 70 %, calificados como aceptables (DELGADO *et al.*, 2003). En la zona de estudio el algarrobo blanco superó ampliamente este piso, resultando superior al 90 %.

Desde la edad de 4 años hasta los 9 años se registraron anualmente los datos del diámetro a la altura de pecho (dap) medido a 1,30 m de altura con cinta dendrométrica y la altura total de los árboles dominantes (hdom) determinada con vara telescópica graduada. Estas mediciones se realizaron a los 10 individuos seleccionados por ser los de mayor diámetro. De esta manera, los promedios de la hdom de cada PMP resultaron de promediar los registros individuales de un número equivalente a 100 árboles dominantes por hectárea, procedimiento de selección propuesto por ASSMANN (1970) y frecuentemente citado en estudios de calidad de sitio (PÉREZ GONZÁLEZ *et al.*, 2012; KEES *et al.*, 2017).

La definición de las funciones matemáticas que representen adecuadamente el crecimiento de los árboles, requirió de modelos y métodos de ajuste, empleando la altura a una edad base establecida (CASAUBÓN *et al.*, 2001; HUENDO *et al.*, 2004; MARES ARREOLA *et al.*, 2004). Se empleó el

método de la curva guía para ajustar modelos de crecimiento al diagrama de dispersión de la relación edad-hdom y establecer el índice de sitio (HERNÁNDEZ RAMOS *et al.*, 2015).

El ajuste de un modelo de índice de sitio, permitió graficar la curva guía de crecimiento en altura y determinar el índice de sitio (IS) para la edad de referencia. Para la elección de esta edad, también denominada “edad base o índice”, existen diversas alternativas (THROWER, 1986). En ciertos casos es aproximado al turno de corta, en otros es la mitad del mismo (ORTEGA y MONTERO, 1988). En evaluaciones de la calidad de sitio en la Región Chaqueña para forestaciones de algarrobo blanco se estableció la edad base en 17 y 15 años (KEES *et al.*, 2017; SENILLIANI *et al.*, 2019). En el presente estudio se adoptó la edad de referencia de 9 años por ser la edad máxima que tenían las plantaciones evaluadas. Además, se consideró que a dicha edad, correspondiente aproximadamente a la mitad del turno de las mejores plantaciones de esta especie, las diferencias de potencial productivo entre sitios ya se expresaría y, en consecuencia, se podría disponer tempranamente una clasificación preliminar de los sitios destinados a la forestación.

Una vez que la curva promedio de crecimiento de la altura (Curva Guía) fue ajustada, se trazaron las curvas de la misma forma (curvas anamórficas) que pasaron por diferentes valores de IS (armonización) (AMICO *et al.*, 2010; KEES *et al.*, 2017; SENILLIANI, *et al.*, 2019; SENILLIANI, 2021).

En la determinación del índice de sitio por el método de la curva guía se buscó ajustar en forma analítica un modelo matemático para obtener una curva promedio en todo el intervalo de observaciones de altura dominante-edad. Los estudios sobre el crecimiento de los árboles emplean curvas de crecimiento utilizando un modelo, donde, y = vector de observaciones (variable dependiente), (j) representa una función lineal o no lineal en los parámetros, X = matriz de diseño (variables independientes). Los datos de las 48 PMP existentes en los diferentes sitios, fueron evaluados utilizando tres modelos de hdom-edad: modelo de Schumacher, modelo Logístico y modelo de Gompertz. Cabe resaltar que en estudios realizados sobre la misma temática en plantaciones de algarrobo blanco también se ajustó el modelo de Gompertz (KEES *et al.*, 2017; SENILLIANI, 2021).

La calidad del ajuste de los modelos de regresión y la comparación de los modelos alternativos de regresión no lineal se basó en los siguientes criterios: a) que el cuadrado medio del error fuera el menor posible; b) que el número de parámetros del modelo fuera el menor posible; c) que el error estándar de las estimaciones de los parámetros fuera lo más pequeño

posible; y d) que la significancia estadística de los parámetros fuera p-valor < 0,05. El análisis estadístico se realizó con el programa InfoStat Versión 2020p

A fin de complementar la evaluación de los modelos se realizó el análisis visual del gráfico de los residuos estudentizados en función de las alturas predichas por cada modelo (Gráfico 1).

Los residuos presentaron una distribución aceptable, no se observó ninguna tendencia sistemática.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el propósito de informar respecto de la dinámica de la variable altura total de los árboles dominantes de las plantaciones evaluadas, seguidamente se exponen resultados estadísticos descriptivos (Tabla 1).

La bondad de ajuste y la capacidad predictiva de los modelos evaluados se muestran en Tabla 2.

Tabla 1. Estadística descriptiva de la altura total de los árboles dominantes.
Table 1. Descriptive statistics of the total height of the dominant trees.

Edad (años)	Media (m)	Mín (m)	Máx (m)	D.E. (m)	C.V. (%)
4	3,81	2,11	4,91	0,72	18,90
5	4,89	2,65	6,34	0,93	19,02
6	5,71	3,21	7,65	1,05	18,39
7	6,48	3,80	8,51	1,21	18,67
8	7,22	4,34	9,41	1,35	18,70
9	7,93	4,93	10,42	1,49	18,79

Referencias: Media = valor promedio; Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; D.E = desvío estándar; C.V = coeficiente de variación.

References: Mean = average value; Min = minimum value; Max = maximum value; S.D. = standard deviation; C.V = coefficient of variation.

Tabla 2: Parámetros estimados para cada modelo matemático
Table 2: Estimated parameters for each mathematical model

Modelo	n	CME	EE	p-level	α	β	Γ
Schumacher	288	1,269	1,160	< 0,05	-1,752	2,276	-0,230
Logístico	288	1,197	1,094	< 0,05	8,438	6,775	-0,446
Gompertz	288	1,193	1,092	< 0,05	8,844	-2,965	-0,323

Referencias: n=número de observaciones. CME=cuadrado medio del error. EE: error estándar del estimado. α , β , Γ = parámetros del modelo.

References: n = number of observations. CME = mean square error. SE: standard error of the estimate. α , β , Γ = model parameters.

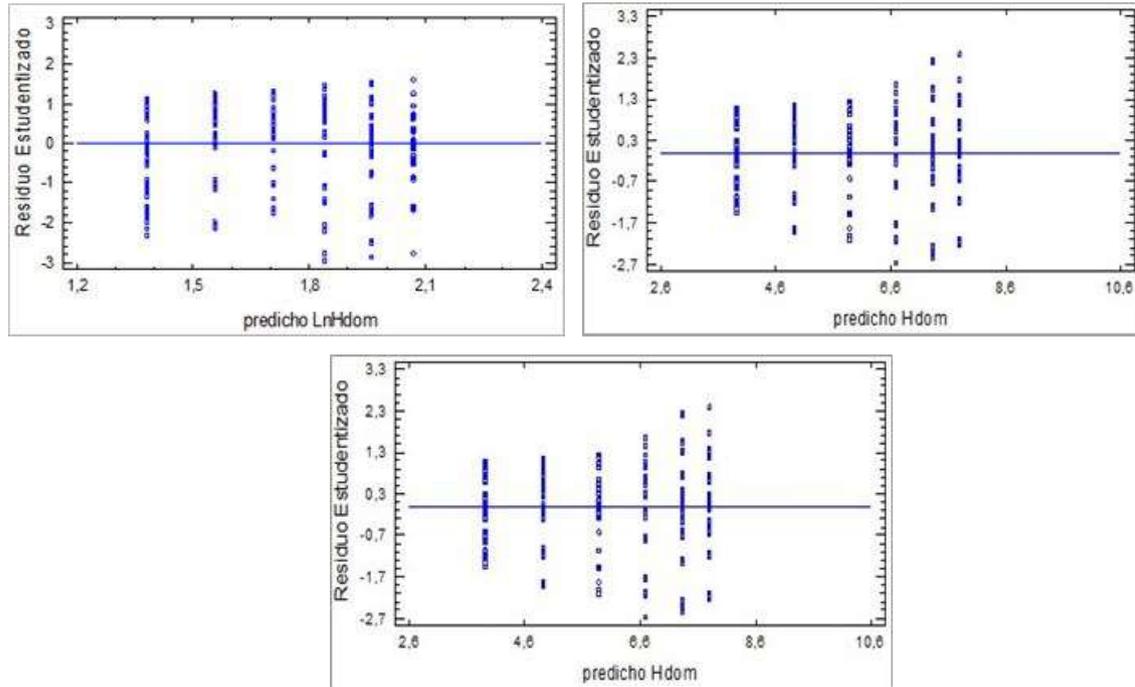


Gráfico 1. Modelo ajustado frente a los residuos estudentizados. Arriba izq. **Modelo de Schumacher.** Arriba der. **Modelo Logístico.** Abajo. **Modelo Gompertz.**
Graph 1. Adjusted model against the studentized residuals. Above left. **Schumacher model.** Above right. **Logistic model.** Below. **Gompertz model.**

En un contexto de similitud de resultados, especialmente entre los modelos Logístico y de Gompertz, y considerando los criterios establecidos para comparar los modelos evaluados, el modelo no lineal propuesto por Gompertz fue el seleccionado por presentar los menores valores del cuadrado medio del error y del error estándar de las estimaciones de los parámetros. Este modelo evidenció mejor ajuste en la relación de la altura dominante con la edad, permitiendo hallar la curva guía más apropiada para la clasificación de sitios. El modelo de Gompertz también fue utilizado en otras investigaciones en la Región Chaqueña, en estudios relacionados a la calidad de sitio para plantaciones de *N. alba* (KEES *et. al.*, 2017; SENILLIANI, 2021).

El modelo de Gompertz, permitió el ajuste de la ecuación:

$$Hdom = \alpha * \exp(-\beta * \exp(-\gamma * E))$$

$$Hdom = 8,844 * \exp(-2,965 * \exp(-0,323 * E))$$

Donde:

Hdom: es la altura dominante en m

E: edad en años

El índice determinado para la edad de referencia de 9 años fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$IS = \left[\frac{Hdom}{\exp(-2,96 * \exp(-0,32 * E))} \right] \exp(-2,96 * \exp(-0,32 * Ei))$$

Donde:

IS: es el índice de sitio a la edad de referencia de 9 años

E: edad en años

Ei: edad índice o edad de referencia

El ajuste del modelo matemático, permitió obtener la curva promedio o curva guía, en todo el intervalo de observaciones edad - altura dominante. El valor de la altura dominante estimada a la edad de referencia de 9 años fue de 7,5 m. A partir de dicha curva guía, se trazaron curvas proporcionales, arriba y debajo de la misma, las cuales representan diferentes índices de sitio (CLUTTER *et. al.*, 1983; PÉREZ GONZÁLEZ *et. al.*, 2012).

Para obtener las curvas anamórficas, en la ecuación de índice de sitio, se despejó el parámetro asintótico y su expresión se sustituyó en la ecuación original, con lo que el valor asintótico se consideró implícito y los parámetros de forma fueron comunes para todos los sitios. Se modificó la edad y el índice de sitio y se mantuvo constante la edad base, con lo cual se generó la familia de curvas anamórficas (HUENDO *et. al.*, 2004). Fueron determinadas 5 clases de sitio. Cada IS es el punto medio del intervalo que define una clase de sitio; así, la C I contiene en su punto medio al

IS=10 y sus límites a la edad de 9 años son 9,4 y 10,6 (Gráfico 2 y Tabla 3).

Las curvas anamórficas que fueron obtenidas a partir de la curva guía constituyen una estimación de la calidad de sitio para la producción de *N. alba* en el área de estudio (región NE de la provincia de Formosa). El modelo ajustado permitió definir los rangos de altura dominante e índice de sitio según clases de sitios y edad. En la fila correspondiente a los 9 años se observa el intervalo de Hdom y el IS correspondiente a cada clase de sitio (Tabla 3).

En Santiago del Estero se determinaron tres clases de sitio, con un rango similar a las registradas para Formosa, CI = 9,2 - 11,2 m, IS = 10,2; CII = 7,2 - 9,2 m, IS = 8,2; CIII = 5,2 - 7,2 m, IS = 6,2. Se verificó la existencia de solapamiento de datos de la clase I con la clase II en algunas series de datos a edades tempranas, situación que se repite en la clase II a iguales edades, con la clase III (SENILLANI, 2021). En Chaco, en base al rango de alturas encontradas a la edad de referencia se definieron las siguientes clases de calidad de sitio: CI: más de 11 metros; CII: de 9 a 11 metros; CIII: de 7 a 9 metros; C IV: 5 a 7 metros (KEES *et. al.*, 2017).

Otra respuesta silvicultural de las plantaciones fue expresada como incremento medio anual en diámetro (IMA del DAPdom) y en altura (IMA de Hdom) para cada clase de sitio (Tabla 4).

Destaca el carácter cultural de esta especie la poca variabilidad de la altura y su crecimiento (aspecto también referido por KEES *et. al.*, 2017). Consecuentemente, en cualquier caso y particularmente en algarrobo, la estimación precisa de la calidad de sitio exige que las mediciones de altura se realicen de manera correcta y confiable, minimizando los errores.

Cabe señalar que en plantaciones de Santiago del Estero los valores registrados para IMA DAP (cm.año^{-1}) en las clases CI = 1,30; CII = 1,18-1,27 y CIII = 0,88 (SENILLANI, 2021), resultaron menores a los obtenidos en forestaciones de Formosa.

Los parámetros ambientales que explican el crecimiento de *N. alba* en la región NE de Formosa fueron semejantes a los obtenidos en la zona centro-norte de la provincia de Chaco, donde el drenaje, profundidad de enraizamiento, posición topográfica y la textura subsuperficial fueron los parámetros considerados en la evaluación de los suelos como factor de sitio. Suelos con textura liviana fueron calificados como sitios de buena productividad mientras que aquellos con drenaje pobre, someros y relieve subnormal como de menor productividad (KEES *et. al.*, 2017).

En Santiago del Estero, el impacto de factores fisiográficos en el crecimiento refiere a propiedades físicas-químicas del suelo, infiriéndose que el crecimiento está condicionado negativamente por la conductividad eléctrica-CE y otros parámetros característicos de las condiciones de salinidad, como la asociación simbiótica (SENILLANI *et. al.*, 2021). Estos valores ($\text{CE} = 19,9 \text{ dS.m}^{-1}$) son muy superiores en relación a los registrados en Formosa (valores de salinidad de 4 a 12 dS.m^{-1}).

Una plantación de algarrobo característica de la provincia de Chaco, con una densidad inicial de 625 pl.ha^{-1} , fue evaluada a los 9 años antes de la aplicación del primer raleo por lo bajo registrando un IMA DAP igual a 1,39 cm.año^{-1} (KEES y MICHELA, 2016). Este dato en relación con los valores determinados para la región NE de la provincia de Formosa, se corresponde con un crecimiento registrado en la clase de menor calidad (IMA DAPdom en clase V = 1,40 cm.año^{-1}).

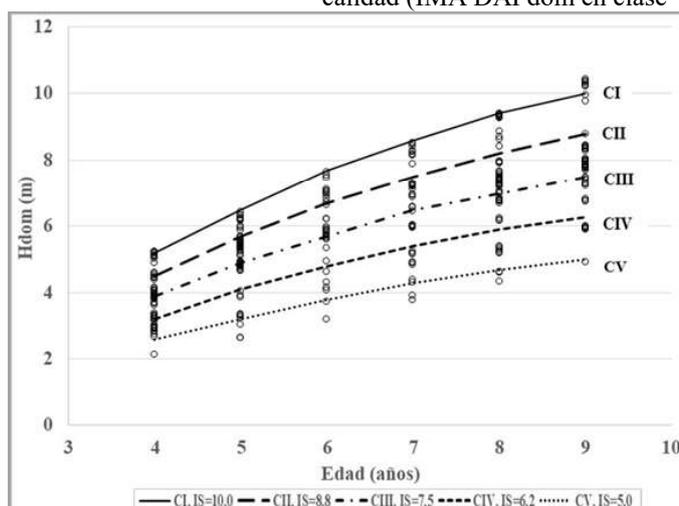


Gráfico 2. Curvas de calidad de sitio con referencia a los respectivos Índices de Sitio (IS). Edad de referencia 9 años. Calidades de sitio: C I = Clase I, Excelente; C II = Clase II, Muy Bueno; C III = Clase III, Bueno; C IV = Clase IV, Regular y C V = Clase V, Malo.

Graph 2. Site quality curves with reference to the respective Site Indices (SI). Reference age 9 years. Site qualities: C I = Class I, Excellent; C II = Class II, Very Good; C III = Class III, Good; C IV = Class IV, Regular and C V = Class V, Poor.

Tabla 3. Clases de sitio según intervalos de altura dominante, edad e IS. ER=9años
Table 3. Site classes according to dominant height intervals, age and IS. RE=9 years

Edad (años)	CS V, Malo		CS IV, Regular		CS III, Bueno		CSII, M. Bueno		CS I, Excelente	
	Hdom	IS	Hdom	IS	Hdom	IS	Hdom	IS	Hdom	IS
4	2,3–2,9	2,6	2,9–3,6	3,2	3,6–4,2	3,9	4,2–4,9	4,5	4,9–5,5	5,2
5	2,8–3,7	3,2	3,7–4,5	4,1	4,5–5,3	4,9	5,3–6,1	5,7	6,1–6,9	6,5
6	3,3–4,3	3,8	4,3–5,3	4,8	5,3–6,2	5,7	6,2–7,2	6,7	7,2–8,1	7,7
7	3,8–4,8	4,3	4,8–5,9	5,4	5,9–7,0	6,5	7,0–8,1	7,5	8,1–9,2	8,6
8	4,1–5,3	4,7	5,3–6,5	5,9	6,5–7,6	7,0	7,6–8,8	8,2	8,8–10,0	9,4
9	4,4–5,6	5,0	5,6–6,9	6,2	6,9–8,1	7,5	8,1–9,4	8,8	9,4–10,6	10,0

Referencias: IS = Índice de sitio. ER= Edad de referencia. CS = Clase de sitio. Hdom = altura dominante.

References: IS = Site Index. ER= Reference age. CS = Site Class. Hdom = dominant height.

Tabla 4. Incremento medio anual en altura y diámetro por calidad de sitio.
Table 4. Mean annual increase in height and diameter by site quality

Clase de Sitio	IMA Hdom (m.año ⁻¹)	IMA DAPdom (cm.año ⁻¹)
C I	1,15	2,85
C II	0,96	2,37
C III	0,87	2,01
C IV	0,68	1,64
C V	0,57	1,40

Referencias: IMA Hdom=Incremento medio anual de la altura de los árboles dominantes [m. año⁻¹]. IMA DAPdom=Incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho de los árboles dominantes [cm. año⁻¹]

References: IMA Hdom= Mean annual increase in the height of dominant trees [m. year⁻¹]. IMA DBH= Mean annual increase in diameter at breast height of dominant trees [cm. year⁻¹]

CONCLUSIONES

En el área de estudio las plantaciones jóvenes de *Neltuma alba* presentaron marcada variabilidad en la respuesta de crecimiento según la calidad de los suelos utilizados para su cultivo.

El modelo de Gompertz aplicado a los datos muestrales de edad-hdom resultó ser apropiado para estimar el crecimiento de la altura de los árboles dominantes. La expresión matemática que definió la curva guía obtenida a través de este modelo fue:

$$H_{dom} = 8,85 * \exp(-2,96 * \exp(-0,32 * E))$$

y el índice de sitio se determinó por:

$$IS = \left[\frac{H_{dom}}{\exp(-2,96 * \exp(-0,32 * E))} \right] \exp(-2,96 * \exp(-0,32 * 9))$$

Las curvas anamórficas generadas describen adecuadamente la tendencia de crecimiento de *N. alba*, permitiendo una primera clasificación de las forestaciones de acuerdo a su potencial de crecimiento. Se establecieron cinco clases de índice de sitio para la edad base de 9 años, a saber: CI: 9,4-10,6 m - excelente,

CII: 8,1-9,4 m - muy bueno, CIII: 6,9-8,1 m - bueno, CIV: 5,6-6,9 m - regular y CV: 4,4-5,6 m - malo. El uso de estas clases está restringido al área de estudio, y a los rangos de altura de árboles dominantes y edad comprendidos en esta investigación.

Los valores de incremento medio anual en diámetro y altura para las clases de sitio establecidas fueron: IMA DAPdom (cm.año⁻¹) de 2,85; 2,37; 2,01; 1,64 y 1,40 e IMA Hdom (m.año⁻¹) de 1,15; 0,96; 0,87; 0,68 y 0,57, para las clases de sitio I, II, III, IV y V, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

AMICO, I.; Bava, L.; Calderon, A. 2010. Índices de calidad de sitio de *Populus nigra* 'Italica' en plantaciones lineales en el noroeste de Chubut. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias*, UN Cuyo. Tomo 42. N° 1. 147-158.

ASSMANN, E. 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Oxford, UK, Pergamon Press. 506 pp.

- CASAUBÓN, E.A.; Gurini, L.B.; Cueto, G. R. 2001. Diferente calidad de estación en una plantación de *Populus deltoides* cv Catfish 2 del Bajo Delta bonaerense del Río Paraná (Argentina). *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*. Vol. 10 (2). 217-232.
- CLUTTER, J.L.; Forston, J.C.; Pienaar, L.V.; Brister, G.H.; Bailey, R.L. 1983. *Timber Management: A Quantitative Approach*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 333 p.
- DANIEL, P.W.; Helms, U.E.; Baker, F.S. 1982. Principios de Silvicultura. Segunda Edición. Capítulo 11 "Evaluación de la Calidad del Sitio". pág. 231 – 252.
- DELGADO, A.; Montero, M.; Murillo, O.; Castillo, M. 2003. Crecimiento de especies forestales nativas en la zona de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 27(1): 63-78.
- FERNÁNDEZ, R.; Crechi, E.; Friedl, R. 1994. Evaluación del comportamiento de la altura dominante como medida de la calidad de sitio para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. *Interciencia* Vol. 19. No 6. p: 343-346.
- HERNÁNDEZ RAMOS, J.; García Magaña, J.; García Cuevas, X.; Adrián Hernández Ramos, A.; Muñoz Flores, H.; Samperio Jiménez, M. 2015. Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht y Cham en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. vol.6 no.27
- HUENDO, S. M.; Chan, J. M.; Collazo, I.V. 2004. Comportamiento de dos métodos en la predicción y representación gráfica del Índice de Sitio. *Rev. Ciencia Forestal en México*. Vol. 29. N° 95.
- KEES, S.M.; Michela, J.F. 2016. Recomendaciones prácticas de poda y raleo con diferentes horizontes de planificación en la provincia del Chaco. INTA. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación. Consultado 10/08/2022. Disponible en https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/80247/mod_resource/content/1/Kees%20Poda%20algarrobo.pdf
- KEES, S.M.; Michela, J.F.; Skoko, J.; Gómez, C.A.; Crechi, E.H.; Letourneau, F.J. 2017. Curvas de Índice de Sitio para *Prosopis alba* en la Provincia del Chaco. *Revista Forestal Yvyrareta* 24. 13-19.
- MARES ARREOLA, O.; Cornejo Oviedo, E.H.; Valencia Manzo, S.; Flores López, C. 2004. Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en CD.
- Hidalgo, Michoacán. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 27: 77 – 80.
- MORELLO, J.; Rodríguez, A. 2009. El Chaco sin bosques: la pampa o el desierto del futuro. Orientación Gráfica Editora. 432 p.
- MORELLO, J.; Schaefer, P. 2002. Subregiones ecológicas de la provincia de Formosa y sus contenidos edáficos dominantes (1º aproximación). *Investigaciones y Ensayos Geográficos*. Revista de Geografía. Facultad de Humanidades (UNaF). Año 1, N° 1, 19 – 30.
- ORTEGA, A.; Montero, G. 1988. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica. ICONA, Madrid. *Ecología* 2: 155-184.
- PÉREZ GONZÁLEZ, G.; Domínguez, M.; Martínez Zurimendi, P. Etchevers Barra, J. 2012. Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques* 18(1), 7 – 24.
- SENILLIANI, M. G.; Bruno, C.; Brassiolo, M. 2019. Site index for *Prosopis alba* plantations in the semi-arid Chaco through mixed models. *CERNE*, Vol. 25, N° 2:195 – 202.
- SENILLIANI, M. G. 2021. La calidad de sitio como condicionante del crecimiento y calidad de frutos de plantaciones de *Prosopis alba* Griseb en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).125 pp.
- THROWER, J. 1986. Estimating Site Quality from Early Height Growth of White Spruce and Red Pine Plantations in the Thunder Bay area. Tesis de maestría. Lakehead University, Ontario