

EVALUACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DE *Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS DE MANEJO EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA.

EVALUATION OF THE ESTABLISHMENT AND EARLY DEVELOPMENT OF *Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer UNDER DIFFERENT MANAGEMENT TREATMENTS IN THE NORTH OF THE PROVINCE OF MISIONES, ARGENTINA.

Fecha de recepción: 18/08/2021 // Fecha de aceptación: 20/12/2021

Diego Broz

Dr. Ing. Ftal. Universidad Nacional de Misiones, CONICET, FCF, Bertoni 124 (N3382GDD), Eldorado, Misiones, Argentina. diegoricardobroz@gmail.com

Silvia Korth

Ing. Ftal. Universidad Nacional de Misiones, FCF, Bertoni 124 (N3382GDD), Eldorado, Misiones, Argentina. silviakorth@hotmail.com

Alejandro Roberto Vargas

Ing. Ftal. Universidad Nacional de Misiones, FCF, Bertoni 124 (N3382GDD), Eldorado, Misiones, Argentina. hidrogis2020@gmail.com

Hernan Sosa

Ing. Agr. Universidad Nacional de Misiones, FCF, Bertoni 124 (N3382GDD), Eldorado, Misiones, Argentina. profeunam81@gmail.com

Yvyraretá
Revista Forestal País de Árboles

RESUMEN

Se presentan los resultados del establecimiento y el desarrollo inicial de una plantación experimental de 1,00 ha de bambú. El ensayo se estableció según un diseño completamente aleatorizado, con 3 tratamientos replicados 3 veces, que consistieron en diferentes densidades de plantación: 100, 200 y 400 matas/ha obtenidas a partir de los siguientes espaciamientos: 10 m × 10 m, 10 m × 5 m, 5 m × 5 m respectivamente. Las variables de respuesta medidas al primer año de plantación fueron la circunferencia a la altura del cuello de la mata (*CAC*), la altura de la mata (*H*), los diámetros a la altura del cuello de todos los culmos por mata (*DAC*) y la cantidad de culmos por mata (*N*). El promedio general sin discriminar por tratamiento de densidad de cada variable relevada fue de 60,58 cm para el *CAC*, 2,48 m para *H*, 1,73 cm para el *DAC* y 5,46 culmos por mata para *N*. Según los resultados

SUMMARY

The results achieved in the establishment and initial development of an experimental plantation of 1,00 ha of bamboo are presented. The trial was established according to a completely randomized design, with 3 treatments replicated 3 times, which consisted of different planting densities: 100, 200 and 400 clumps/ha obtained from the following spacings: 10 m × 10 m, 10 m × 5m, 5m × 5m respectively. The effect of planting density on circumference at canopy collar height (*CAC*), canopy height (*H*), diameters at canopy collar height of all canes per canopy (*DAC*) and number of canes per canopy (*N*) were evaluated at the first year of planting. The general average without discriminating by density surveyed was 60.58 cm for *CAC*, 2.48 m for *H*, 1.73 cm for *DAC* and 5.46 culms per clump for *N*. According to the results obtained by ANOVA, the effects of planting

Christian Bulman Hartkopf

Ing. Ftal. Becario del CONICET-INTA. Av. el Libertador 2472, (N3384) Montecarlo, Misiones, Argentina.
bulman.c91@gmail.com

Juan Carlos Camargo

Dr., Agrólogo. Universidad Tecnológica de Pereira, FCA, Pereira, Colombia.
jupipe@utp.edu.co

Ignacio Gutierrez

Ing. en Industrias de la Madera. Universidad Nacional de Misiones, FCF, Bertoni 124 (N3382GDD), Eldorado, Misiones, Argentina.
ignacioguti@gmail.com

obtenidos por el ANOVA, los efectos de la densidad de plantación sobre las variables biométricas evaluadas no fueron significativos ($p < 0.05$). Adicionalmente se ajustaron funciones alométricas para estimar la altura de la mata y el número de culmos por mata. Sabiendo que la densidad de plantación es un factor importante a tener en cuenta en el manejo de este cultivo y que los datos fueron tomados al año de su establecimiento, se considera necesario continuar con el estudio de evolución de estas y otras variables a distintas edades de madurez.

Palabras Clave: bambú, silvicultura, plantación, manejo forestal

density on the biometric variables evaluated were not significant ($p < 0.05$). Additionally, allometric functions were adjusted to estimate the height of the canopy and the number of canes per canopy. Knowing that planting density is an important factor to take into account in the management of this crop and that the data were taken one year after its establishment, it is considered necessary to continue with the study of the evolution of these and other variables at different maturity ages.

Key Words: bamboo, silviculture, plantation, forest management.

INTRODUCCIÓN

Los bambúes son, generalmente, plantas leñosas y de gran porte que pertenecen a la familia de las Poaceas, subfamilia Bambusoideae. Cuentan con aproximadamente 70 géneros y más de 1.500 especies distribuidas naturalmente en una franja tropical y subtropical entre los 46° de latitud norte y los 47° latitud sur, entre Asia, América, África y Oceanía, con una distribución altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 4.300 m (PEÑA *et al.*, 2015; CLARK *et al.*, 2015). Morfológicamente, existen varias formas de clasificar a los bambúes. En este sentido, BANIK (2015) los clasifica en bambúes altos, enanos y trepadores; por su parte, CLARK *et al.* (2015) y PEÑA *et al.* (2015) los clasifica en dos grandes grupos, bambúes herbáceos y leñosos. Otra forma de clasificarlos es según el tipo de rizoma; encontrándose los leptomorfo monopodiales o bambúes corredores, cuyos rizomas son largo y finos y, los paquimorfos simpodiales o bambúes en mata, cuyos rizomas son cortos y gruesos (PEÑA *et al.*, 2015).

De esta familia botánica se deben destacar dos atributos muy deseables como ser su alta capacidad de adaptación a diferentes climas y condiciones edáficas y su rápido crecimiento, el cual permite realizar cosechas sin causar agotamiento y degradación de suelos (DEMONARI, 2009). Estas características permiten que los bambúes, especialmente los leñosos, sean de alto interés debido a su utilidad en la construcción, como combustible, ornamento, fabricación de utensilios, papel, alimento entre otros usos (KAUR *et al.*, 2016). En Argentina

hay siete géneros de bambúes nativos: *Chusquea*, *Guadua*, *Lithachne*, *Olyra*, *Merostachys*, *Rhipidocladum* y *Pharus*; y tres especies exóticas introducidas desde Asia: *Phyllostachys*, *Bambusa* y *Dendrocalamus*. A pesar de ello, en el país se cuenta con escasa información sobre la silvicultura, manejo y aprovechamiento de bambúes (PEÑA *et al.*, 2015).

Este recurso puede ser un material sustituto del metal y la madera tradicionales en la construcción. Los estudios muestran que, para productos hechos a base de bambú, los mercados se están expandiendo (PHIMMACHANH *et al.* 2015) debido especialmente al desarrollo de nuevos productos con base en la ingeniería en materiales (KAUR *et al.*, 2016). Varias regiones del país cuentan con un gran potencial para cultivar bambú, sin embargo, se deben tener ciertas consideraciones para lograr una producción acorde al propósito. La base de la industria es la oferta de materia prima en cantidad y calidad por lo cual la silvicultura y manejo de las plantaciones es muy importante, ya que permite cumplir los objetivos preestablecidos para el cultivo. Por lo tanto, mejorar la calidad del producto mediante un buen aprovechamiento, buenos tratamientos preindustriales, estandarización según los requerimientos del mercado podría contribuir en mejorar y hacer más eficiente esta actividad como alternativa económica incluso para pequeños productores (CAMARGO *et al.*, 2011).

Al tratarse el bambú de una monocotiledónea carece de crecimiento secundario, por lo que sus culmos elongan con un diámetro fijo predeterminado por la edad de madurez de la mata, la elongación máxima se aprecia luego del primer año (TRUJILLO y LÓPEZ, 2016). Según CAMARGO *et al.* (2008) la definición de la madurez de los culmos es subjetiva y se basa en características externas del mismo que

dependen de la presencia de líquenes u hongos sobre su superficie, lo cual puede variar según las condiciones de sitio y la región. Si éstos son cosechados en estados de madurez tempranos (muy jóvenes) o demasiado maduros, la calidad de los productos decrece para aplicaciones estructurales, laminados y artesanías e, incluso, son rechazados en el mercado (GARCÍA, 2004).

La densidad poblacional es otro factor a tener en cuenta en la gestión de este recurso. Los estudios muestran que las densidades de culmo más bajas dan como resultado un aumento del diámetro a la altura del pecho (*DAP*, diámetro considerado a 1,3 m), pero disminuyen la biomasa total (por unidad de área), mientras que las densidades de culmo más altas se relacionan con la reducción del *DAP* y mayor biomasa (KLEINHENZ y MIDMORE, 2001). Esto indica que la densidad de plantación es un factor fundamental cuando se trata de orientar la producción a la obtención de biomasa o para aplicaciones estructurales. CHEN *et al.* (2004) estudiaron el impacto del cambio del *DAP* en la distribución proporcional de la biomasa entre los compartimientos del bambú (culmos, ramas y hojas) y concluyeron que no hay diferencia significativa. Sin embargo, estos resultados también indican las necesidades y los beneficios de mediciones y reportes más completos y estandarizados de los datos de diámetro y altura de bambú, incluidos parámetros como la densidad y espesor de la pared del culmo. Es importante tener en cuenta que, en plantaciones en fase tempranas de desarrollo, se considera importante la densidad de matas, pero también la densidad dentro de cada mata.

Uno de los géneros más importantes dado su amplio espectro de usos, es el *Dendrocalamus* también conocido como “Bambú Gigante”, originario del sudeste de Asia. Según BENTON (2015) y MALANIT *et al.* (2011) los culmos pueden llegar a los 30 m de longitud, con internudos de 20 a 45 cm de longitud, 20 cm de *DAP* y hasta 27 mm de espesor de pared. Una de las principales ventajas de este género es que puede ser utilizado con fines estructurales (MALANIT *et al.*, 2011). Actualmente existen pocos países que se dedican al cultivo de esta especie, lo que ha marcado una verdadera revolución productiva debido a los bajos costos para obtener una plantación lograda (aproximadamente 2 años). Por otra parte, también este género aporta otras grandes ventajas para el medio ambiente debido a su gran capacidad de fijación de carbono en biomasa, en el orden de las 30 a 104 toneladas/hectáreas, dependiendo de la densidad de plantación y edad (*Dendrocalamus trictus*) (KAUSHAL *et al.*, 2016; NATH *et al.*, 2015; SINGH *et al.*, 2006).

En la provincia de Misiones la especie *Dendrocalamus asper* está siendo implantada gracias

al Plan Bambú Misiones (PBM, 2018) desarrollado en la órbita del Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables (MEyRNR). A través de este, se subsidia la entrega de plántulas a pequeños productores como alternativa de diversificación productiva. Sin embargo, en la región no se cuenta con una línea de investigación sobre silvicultura y manejo de esta especie, incluso, es escasa a nivel mundial, pero existen algunas experiencias como en el caso de la empresa Orquídeas S.R.L., localizada en San Ignacio, Misiones que cuenta con 20 ha cultivadas y un importante vivero de propagación vegetativa.

Aún no se cuenta con información sistematizada sobre el manejo de los culmos, lo cual conlleva a un manejo extractivista, sin posibilidad de prever ofertas futuras, tanto en cantidad como en calidad. Tampoco se realiza seguimiento de las plantaciones, relevamiento de datos sistematizados y análisis para determinar rendimientos, ajustes de ecuaciones de biomasa, modelos predictivos, entre otras cuestiones que son muy importantes para la consolidación de una cuenca productiva. En este sentido se plantea, como hipótesis de trabajo, que las diferentes densidades de plantación implican diferentes desarrollos iniciales, incluso sin encontrarse en competencia interespecífica.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

El ensayo instalado en el mes de septiembre del año 2019, cuenta con una superficie de 1,00 hectárea y se encuentra ubicado en la localidad de Colonia Victoria, Departamento Eldorado, Misiones, Argentina, siendo su centroide 26°18'40.41" de latitud Sur y 54°36'49.51" de longitud Oeste. El suelo es homogéneo en toda la extensión, perteneciendo al grupo Kandiuult (SOIL SURVEY STAFF, 2010), rojo, bien drenado, libre de fragmentos gruesos y con una profundidad efectiva superior a los 2 metros. El relieve es suave ondulado con pendientes del orden del 3 a 4 %. La evaluación física del suelo arroja valores típicos de un lote agrícola, con una densidad aparente de 1,16 g/cm³, valor medio para este tipo de suelos. El resultado del análisis químico del suelo indica un bajo porcentaje de materia orgánica de 2,08 % y un de pH 5,5. Los niveles de nutrientes son de 0,15 % para el nitrógeno (N), 1,87 ppm de fósforo (P), 0,66 meq/100g para el potasio (K) y 6,34 meq/100g calcio (Ca). Según valores establecidos por SOSA 1996, citado por ECHEVERRIA *et al.* (2015), indican niveles de P muy por debajo del límite aceptable para un suelo agrícola, sin embargo, el contenido de K y Ca arrojan valores altos con respecto al límite aceptable y para el caso del N, el nivel está por debajo del límite aceptable.

Caracterización del ensayo

El material experimental corresponde a plantones de *D. asper* de un año de edad y de 70 cm de altura en promedio. El enraizamiento y cultivo se llevó a cabo en macetas de 4 litros colocadas sobre loza radiante hasta el momento del despacho. La preparación del suelo se realizó en el mes de agosto del año 2019 y consistió en dos pasadas cruzadas de rastra de disco con una profundidad de entre 15 a 20 cm (Imagen 1).

En el mes de septiembre se realizó la plantación con hoyadora realizando pozos de 30 cm de profundidad, a los cuales se le incorporó 25 gramos de un fertilizante NPK (15-15-15) y 1,00 litro de gel forestal hidratado antes de establecer los plantones (Imagen 2).

Pasado los 30 días desde la plantación se repusieron 4 plantones, considerando un 1,7% de

reposición por falla. A los 6 meses de la plantación se realizaron tratamientos culturales que consistieron en un desmalezado homogéneo en toda la extensión del ensayo haciendo uso de motoguadaña y machete.

Dada la homogeneidad del sitio se optó por instalar el ensayo bajo un diseño completamente aleatorizado, considerando la densidad de plantación como el factor (tratamiento) a ensayar a tres niveles distintos (100, 200 y 400 plantas/ha). Cada tratamiento fue replicado tres veces (Figura 1), considerando el tamaño de parcela de 1.111 m², lo que totaliza una superficie experimental total de 10.000 m². En la tabla 1 se muestran las características de los tratamientos ensayados respecto de las densidades de plantas y sus espaciamientos, así como el área útil por mata y el número de matas por parcela.



Imagen 1. Sitio con el suelo preparado listo para la plantación en agosto de 2019
Image 1. Site with prepared soil ready for planting in August 2019



Imagen 2. Ensayo instalado en septiembre de 2019
Image 2. Essay installed in September 2019

Tabla 1. Caracterización de los tratamientos
Table 1. Treatments characterization

Tratamiento	Densidad (matas/ha)	Espaciamento	Área útil promedio (m ² /mata)	Plantas (matas/parcela)
Tratamiento 1 (T1)	100	10 m × 10 m	11	11
Tratamiento 2 (T2)	200	10 m × 5 m	5,5	22
Tratamiento 3 (T3)	400	5 m × 5 m	2,75	44

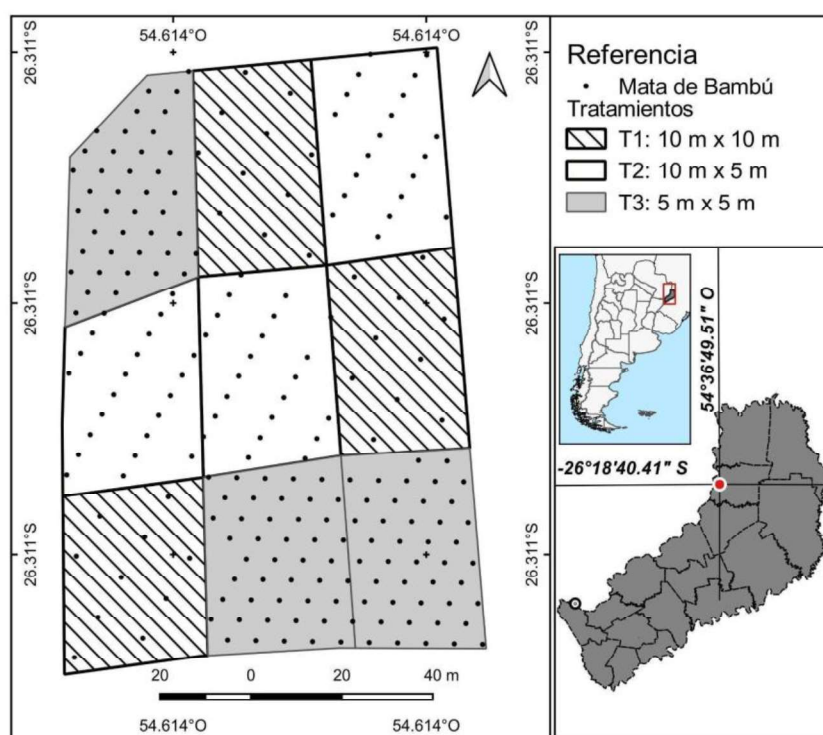


Figura 1. Ubicación geográfica del ensayo y distribución de los tratamientos
Figure 1. Geographic location of the trial and distribution of treatments

Variables registradas por mata

A fin de caracterizar inicialmente la plantación experimental de *D. asper* se realizó, al año de su establecimiento, un relevamiento de variables biométricas, midiendo la circunferencia a la altura del cuello de la mata (*CAC*) en el primer entrenudo, la altura de la mata (*H*) considerando al culmo más largo de la mata, los diámetros a la altura del cuello de todos los culmos por mata (*DAC*) y el número de culmos por mata (*N*). Se entiende por culmo a cada caña o vara, mientras que la mata es el conjunto de culmos pertenecientes a una planta. Para la determinación del *CAC* de las matas se utilizó una cinta métrica ±1 mm de precisión, midiendo la misma al nivel del suelo. El *DAC* de los culmos se obtuvo mediante el uso de calibre con una precisión ±0,02 mm y la altura de la mata con una vara telescópica con una precisión de ±1 cm (ver Imagen 3).

Procesamiento de datos de parcelas experimentales

Con los datos relevados se construyeron diferentes variables como ser *CAC mata* (cm), la cual se obtuvo dividiendo la suma de las circunferencias individuales por la cantidad de matas. Para obtener el *DAC culmo* (cm) se determina previamente el diámetro medio de los culmos por mata y realizando el promedio de este dividiendo el mismo por el número de matas. La *H mata* (m) se obtuvo promediando las alturas de todas las matas por tratamiento. Para obtener el número de culmos medio por mata (*N culmo*) se determina el número de culmos por mata a través de la sumatoria de todos los culmos presentes por mata y luego se realiza el promedio de este último.



Imagen 3. Estado del ensayo al momento de la medición al año de plantación.
Image 3. Status of the test at the time of measurement to the year of planting.

Análisis estadístico

Primeramente, se realiza una caracterización del ensayo a través de la determinación de los valores medios y otras medidas descriptivas características de las variables relevadas. Los gráficos de cajas y bigotes presentan información acerca del valor de la mediana, la media y los cuantiles 0,25 y 0,75, y los bigotes el valor de la media más menos tres desvíos estándar, también muestran la presencia de valores extremos. Si se observan junto a los polígonos de frecuencia y gráfico de barras se tiene una buena representación de la forma en que las variables bajo estudio se distribuyen de acuerdo con la densidad de plantación.

Seguidamente se lleva a cabo un análisis de variancia (ANOVA), a fin de determinar si el efecto de los tratamientos sobre las variables relevadas a un año de la instalación del ensayo con *D. asper* es significativo. Complementariamente se realiza un análisis de correlación para evaluar la existencia de asociación entre las variables y un análisis de regresión lineal, buscando desarrollar y ajustar relaciones funcionales que expliquen la variación de la variable dependiente en relación con la o las variables explicativas o independientes involucradas en los modelos.

En ambos casos se aplicaron modelos lineales mixtos por la necesidad de dar respuesta a los incumplimientos de los supuestos que sustentan ambos métodos, dada la naturaleza que va adquiriendo el experimento y de la información emanada del mismo, que es básicamente de medidas repetidas en el tiempo. Se probaron los supuestos de homogeneidad de variancia de los errores, su independencia y el tipo de distribución de estos. Uno de los beneficios más importantes que pueden obtenerse con el uso de modelos mixtos es la posibilidad de incrementar la

precisión de las estimaciones (BALZARINI *et al.*, 2012; BALZARINI *et al.*, 2006). Para todos los análisis se utilizó el software InfoStat como intérprete de R (DI RIENZO *et al.*, 2018).

ANOVA

Mediante la implementación de modelos lineales mixtos hace posible modelar la respuesta del ensayo como función de factores cuyos efectos pueden considerarse tanto como constantes fijas o como variables aleatorias (modelo condicional), también existe la opción de manejar las correlaciones de manera explícita a través de la modelización de la estructura de correlación (modelo marginal). Adicionalmente se incorporan diferentes modelos de heterocedasticidad cuando el supuesto de homocedasticidad no se cumple. En esta oportunidad se consideran las correlaciones en forma explícita y al basarse en el primer relevamiento de datos el supuesto de independencia de los errores se cumple. Ya en la segunda intervención se modelizará la matriz de correlación a partir de una estructura Auto-regresiva de orden 1. Para el ajuste del modelo de ANOVA se utilizó como método de estimación el de máxima verosimilitud restringida (REML). Para estimar los efectos fijos del modelo mixto se implementó el método de los mínimos cuadrados generalizados. En este caso, las pruebas de hipótesis son del tipo secuencial. La especificación siguiente representa al modelo marginal definido en la Ec. 1 (DI RENZO *et al.*, 2009).

$$y_i = \mu + \tau_i + \varepsilon_i; \quad i = 1 \text{ a } T \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ijk} \approx N(0, \Sigma_j)$$

Donde y_i es la respuesta al i -ésimo tratamiento, μ la media general de la variable bajo estudio, τ_i los efectos fijos de los tratamientos, ε_i el término del error asociado a la observación y_i . T es el número de niveles de densidad. ε_{ijk} el término del error asociado a la observación Y_{ijk} . Σ_j matriz de covariancia en la cual se encuentran incluidas σ^2 y ρ .

Como resultado de cada ANOVA se obtienen los valores de F junto al p-valor. Además, se agregan los estadísticos de bondad de ajuste como el criterio de información de Akaike (*AIC*) y el criterio Bayesiano de Información (*BIC*), Sigma (la estimación de σ_ε , siendo este el desvío estándar de ε_i) y el coeficiente de determinación (R^2). Complementariamente se realizó una comparación múltiple entre medias del tipo mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher (DI RENZO *et al.*, 2009), considerando un nivel de significancia del 5 %, buscando identificar posibles diferencias significativas en términos estadísticos entre las medias de los tratamientos.

Análisis de correlación y regresión lineal

El análisis de correlación se efectúa a fin de encontrar asociaciones entre las variables bajo estudio, determinando el coeficiente de correlación lineal de Pearson (R), que indica la fuerza y dirección de la asociación lineal entre dos variables, sin depender de las unidades de medida de las variables. Además, se realiza una prueba de t como test de significancia estadística sobre R .

Donde las correlaciones entre variables fueron significativas ($p < 0,05$) se procedió con el análisis de regresión lineal. Una vez ajustado el modelo de regresión se hace posible predecir, considerando la precisión del modelo, el valor promedio que tomaría la variable dependiente para valores establecidos de la variable independiente.

En este trabajo se ajustan modelos de regresión lineal tomando como variables dependientes aquellas de difícil medición como ser *H mata* y *N culmo*, utilizando como variables predictoras al *CAC mata* y *DAC culmo*, y combinaciones de estas. La relación entre estas variables se caracteriza por un modelo estadístico-matemático conocido como función de regresión lineal simple o múltiple. El modelo de regresión lineal múltiple se define en las ecuaciones 2 y 3.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \quad (2)$$

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i; \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

Donde y es variable respuesta, dependiente o predicha, x es la variable regresora, explicativa o independiente, β_0 es el parámetro desconocido que representa la ordenada al origen de la recta, $\beta_1 \dots, \beta_k$ son los parámetros desconocidos o coeficientes de regresión parciales que representan las tasas de cambio en y frente al cambio unitario de x_1, x_2, \dots, x_{ki} respectivamente, si se consideran constantes al resto de las x_j , ε es el término de error del modelo o ruido aleatorio. y_i y x_i denotan los pares de valores observados para cada una de las variables.

En la tabla 2 se detallan los modelos ajustados, siendo la ecuación N° 3 la única que incluye más de una variable independiente.

Tabla 2. Modelos predictivos de *H mata*, *DAC culmo* y *N culmo*.

Table 2. Predictive models of *H mata*, *DAC culmo* and *N culmo*.

N°	Modelos ajustados
1	<i>H mata</i> = $b_0 + b_1$ <i>CAC mata</i>
2	<i>H mata</i> = $b_0 + b_1$ <i>DAC culmo</i>
3	<i>H mata</i> = $b_0 + b_1$ <i>CAC mata</i> + b_2 <i>DAC culmo</i>
4	<i>N culmo</i> = $b_0 + b_1$ <i>CAC mata</i>

Se utiliza para el ajuste de los modelos de regresión el método de estimación de máxima verosimilitud (ML) y las pruebas de hipótesis del tipo secuencial. Una vez ajustados los modelos y estimados los coeficientes de regresión se evalúa la contribución y significancia de cada coeficiente individualmente a través de la prueba de t . Se presentan los valores de t , los coeficientes b_i , el error estándar de b_i y sus valores de probabilidad (p -valor). Los estadísticos de bondad de ajuste utilizados para evaluar los modelos ajustados son *AIC*, *BIC*, Sigma y R^2 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del caso de estudio

En la Tabla 3 se presentan los estadísticos descriptivos que caracterizan al ensayo para la edad de un año. Respecto de los valores medios de *CAC mata* se puede observar que T3 presenta los mayores valores seguido por T2 y T1. Esta misma tendencia puede ser observada en la variable *H mata* promedio. El *DAC culmo* promedio es mayor en el T2 con un valor de 1,81 cm, comparable al obtenido en T3. En cuanto a la variable *N culmo* los valores medios son mayor en el T1 con 5,65 culmos por mata, seguido por T3 y finalmente T2.

Para tener una estimación del número de culmos totales por hectárea, variable que es trascendente para determinar la producción del cultivo, se realiza el producto entre el número de

matas implantadas según el tratamiento de densidad por el *N culmo* promedio obtenido según tratamiento. En este sentido se obtienen al primer año en promedio 565 culmos por hectárea en T1, 1.044 culmos en T2 y 2.204 culmos en T3. Respecto de la mortalidad esta resultó ser baja, 2 plantas de un total de 235 establecidas representando solamente el 1%, indicando una alta supervivencia de las plantas instaladas en campo.

Los siguientes gráficos de cajas y bigotes junto con los polígonos de frecuencia y gráfico de barras muestran cómo se distribuyen las variables bajo estudio. En las Figuras 2A y 3A se observa que las distribuciones de la variable *CAC mata* para los tres tratamientos son aproximadamente simétricas, siendo éstas muy similares en cuanto a forma. El sesgo para T1 y T3 es positivo y para T2 negativo. Las *CAC mata* más frecuentes para T1 y T3 son de 50 cm y de 70 cm para el T2. No se observan valores extremos.

En cuanto a *H mata* las distribuciones según tratamiento muestran una significativa asimetría positiva, indicando la existencia de algunos culmos con alturas elevadas cuales generan estas influencias. En T1 y T2 las alturas más frecuentes están en el orden de los 1,50 m, en T3 una gran proporción de culmos tienen alturas superiores a los 2,50 m. La

dispersión media de la variable es alta, con valores mínimos y máximos de altura que van desde los 10 cm a los 5,20 m, sin presencia de valores extremos (Fig. 2B y 3B).

Respecto de la variable *DAC culmo* en las Figuras 2C y 3C se detectan distribuciones muy similares con marcada asimetría positiva, indicando la presencia de diámetros de culmos grandes que arrastran la distribución hacia la derecha. Entre un 70 y 80% de los culmos presentan un *DAC* de 1,50 cm. La dispersión media que tiene la variable también es elevada, observándose 6 valores extremos los cuales fueron considerados en los análisis estadísticos posteriores.

La distribución de la variable *N culmos* promedio por mata, según Figuras 2D y 3D, presenta una asimetría positiva, con valores de media superiores a los de la mediana, indicando presencia de valores altos de *N culmos* que sesgan la distribución hacia la derecha. Más del 50% de las matas estudiadas en los tres tratamientos de densidad presentan entre 4 a 6 culmos, así mismo un 25 a 30% de las matas presentan de 7 a 9 culmos. Se observa la existencia de un valor extremo en T1 (14 culmos por mata), que se mantiene en el análisis estadístico.

Tabla 3. Resumen descriptivo de las variables biométricas evaluadas
Table 3. Descriptive summary of the biometric variables evaluated

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1 [100 matas/ha]	<i>CAC mata (cm)</i>	40	59,10	17,02	28,79	20	90
	<i>H mata (m)</i>	40	2,30	0,76	33,12	1,3	4,4
	<i>DAC culmo (cm)</i>	40	1,57	0,44	28,36	0,83	2,96
	<i>N culmo</i>	40	5,65	2,68	47,52	1	14
2 [200 matas/ha]	<i>CAC mata (cm)</i>	65	59,26	21,63	36,50	5	119
	<i>H mata (m)</i>	65	2,51	1,02	40,83	0,1	5,2
	<i>DAC culmo (cm)</i>	65	1,81	0,80	44,30	0,5	4,97
	<i>N culmo</i>	65	5,22	2,04	39,16	1	10
3 [400 matas/ha]	<i>CAC mata (cm)</i>	128	63,38	20,46	32,28	3	121
	<i>H mata (m)</i>	128	2,62	0,99	37,81	0,42	5,15
	<i>DAC culmo (cm)</i>	128	1,80	0,65	35,82	0,3	4,53
	<i>N culmo</i>	128	5,51	2,02	36,60	1	10

Donde: [n] número de matas relevadas por tratamiento; [D.E.] desvío estándar; [CV] coeficiente de variación; [Mín.] mínimo; [Máx.] máximo.

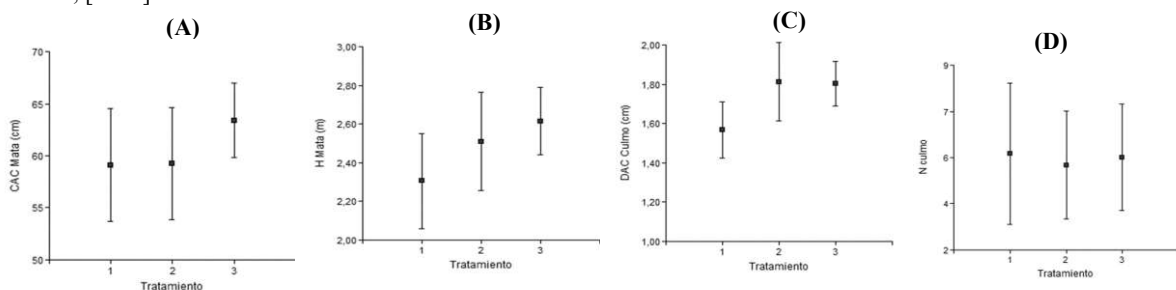


Figura 2. Gráficos de cajas y bigotes para las variables según tratamiento
Figure 2. Box-and-whisker plots for the according with treatment

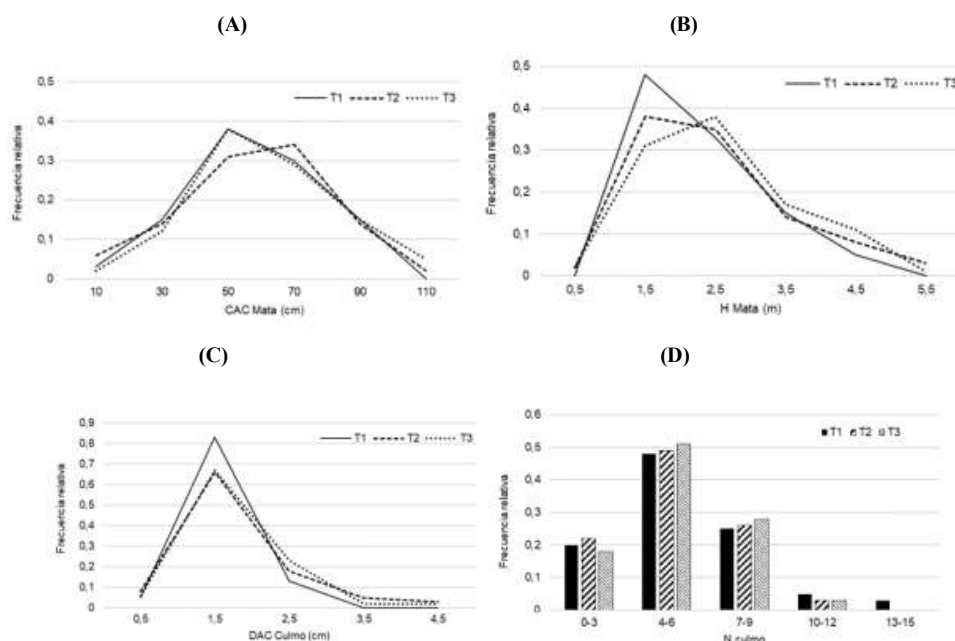


Figura 3. Distribuciones de frecuencias relativas de las variables según tratamiento
Figure 3. Relative frequency distributions of the according with treatment

Efectos de la densidad sobre las variables biométricas

Según los resultados obtenidos en los ANOVA los efectos de la densidad de plantación no fueron significativos considerando las variables evaluadas al año de su establecimiento.

La Tabla 4 presenta los estadísticos de significancia estadística y bondad de ajuste resultantes del ANOVA para las cuatro variables biométricas. Se puede observar que la variable *CAC mata* no se vio influenciada por las diferentes densidades de plantación al año de su instalación. Según los resultados obtenidos no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias para las diferentes densidades de plantación. Las pruebas de los supuestos indican cumplimiento pleno. La variable *H mata* no fue afectada significativamente por la densidad de plantación al año de instalado el ensayo; los supuestos que sustentan el método se cumplen para la variable en cuestión. En cuanto al *DAC culmo* éste tampoco se ve afectado por la densidad, quedando demostrado así la homogeneidad estadísticamente entre las medias obtenidas en cada tratamiento al año de establecido el experimento. Para esta variable los supuestos también se cumplen. Respecto de *N culmos* promedio por mata los resultados del ANOVA indican que tanto en el tratamiento de densidad medio, alto y bajo la variable tampoco difiere en términos estadísticos. El supuesto de variancia homogénea siempre cumple, así como el de independencia de los errores. Para todos los casos

el R^2 indica que el factor densidad de plantación explica entre 1 y 2% la variabilidad de las características evaluadas al primer año. Los indicadores de la bondad de ajuste del modelo de ANOVA AIC, BIC y Sigma muestran valores altos.

De acuerdo con los resultados de estudios de KLEINHENZ Y MIDMORE (2001) densidades de culmo bajas dan como resultado un aumento del *DAP*, sin embargo, al evaluar los resultados del presente ensayo no se detectó un impacto significativo de los diferentes tratamientos de densidad sobre los diámetros de los culmos, y a su vez la correlación entre ambas variables *N culmos* y *DAC culmo* aún no demostró ser significativa (ver tabla 6).

Se considera que, debido al corto periodo desde el establecimiento, la densidad de plantas que favorecería la competencia entre matas no muestra un efecto significativo hasta la fecha de evaluación. No obstante, en términos numéricos entre plantas el efecto pudiera ser notable, ya que al observar los resultados presentados en la tabla 4, a una mayor densidad plantas (400 matas/ha) se observó un mayor *CAC mata* (59,10 cm en T1, 59,26 cm en T2 contra 63,38 cm en T3), sin presentar diferencias estadísticas significativas. Esta diferencia numérica probablemente se deba a que al haber más plantas por unidad de superficie la competencia de las malezas se reduce por el sombreado que producen los culmos, así mismo el efecto de las heladas también puede ver minimizado. Esta relación será evaluada en próximos estudios.

Tabla 4. Estadísticos de significancia estadística y bondad de ajuste de las cuatro variables
Table 4. Statistics of statistical significance and goodness of fit of the variables

Variable	(F; p-valor)	AIC	BIC	Sigma	R ²
<i>CAC mata (cm)</i>	0,93; 0,3949 ns	2.057,32	2074,51	20,26	0,01
<i>H mata (m)</i>	1,66; 0,193 ns	658,32	675,51	0,96	0,01
<i>DAC culmo (cm)</i>	2,21; 0,111 ns	488,1	505,29	0,67	0,02
<i>N culmo</i>	0,57; 0,5675 ns	1.027,63	1.044,82	2,15	0,01

Donde: [p-valor] valor de probabilidad que indica homogeneidad estadística cuando el mismo es superior al 0,05 (nivel de significancia), [s] significativo a nivel de alfa de 0,05; [ns] no significativo. Códigos de significación para el p-valor: *** [0 a 0,001]; ** (0,001 a 0,01); * (0,01 a 0,05); · (0,05 a 0,1); sin código (0,1 a 1].

Análisis de correlación y regresión lineal.

Comprobación de la significancia de la correlación

En la Tabla 5 se exponen los resultados del análisis de significancia del coeficiente de correlación (*R*). Se observa que existe correlación lineal positiva medianamente fuerte entre las variables *CAC Mata* y *H Mata*, *CAC Mata* y *DAC Culmo*, *CAC Mata* y *N culmo*, *H Mata* y *DAC Culmo* con valores de *R* de 0,48, 0,52, 0,52 y 0,68 respectivamente. El valor de *R* entre *H Mata* y *N Culmo* toma un valor de 0,13, el cual indica que la magnitud de la asociación entre ambas es débil siendo su dirección positiva, sin embargo, se presenta como significativa. La asociación entre *DAC Culmo* y *N culmo* se considera no significativa, siendo el valor de *R* de -0,04.

Análisis de los estimadores de regresión parciales y calidad del ajuste del modelo de predicción

Partiendo del análisis de correlación se realizaron los ajustes de los modelos de regresión expuestos en la Tabla 3, considerando como variables predichas aquellas de difícil determinación y como variables independientes a aquellas con las cuales presentan correlaciones significativas y son más fáciles de obtener. En la tabla 6 se presentan los valores de los coeficientes de regresión junto a los estadísticos de bondad de ajuste para cada modelo. Para el ajuste se utilizaron todos los pares de valores de las variables involucradas en el análisis sin discriminar por tratamiento de densidad dado que según los resultados del ANOVA no existieron efectos significativos de los mismos sobre las variables. Se comprobaron los supuestos que sustentan el método.

Al ajustar el modelo 1 para *H mata*, tomando a *CAC mata* como variable independiente, se observa que ambos estimadores de regresión parciales aportan de manera significativa a la regresión. El valor de b_1 indica que al incrementarse *CAC mata* en 1 cm la *H mata* se acrecienta en 0,023 m. El valor de R^2 es relativamente bajo, revelando que solo un 23% de la variación del *H mata* está explicado por el modelo lineal simple que contiene como variable explicativa a *CAC mata*. El valor de Sigma es de 0,85 m, indicando

cuanto varían los valores observados de altura de los culmos con relación a los valores estimados en base al modelo de regresión ajustado.

A partir del ajuste del modelo 2 para *H mata*, que considera como variable predictora a *DAC culmo*, se logran coeficientes de regresión significativos según el test de t. Respecto al valor del b_1 se interpreta que si el *DAC* se incrementa en una unidad la *H* promedio de los culmos por mata aumenta en 0,80 m. Se observa que los indicadores de bondad de ajuste del modelo mejoran, con una disminución en el AIC, BIC y Sigma. R^2 aumenta respecto del modelo anterior, indicando en este caso que alrededor del 46% de la variabilidad de *H mata* está explicado por el modelo ajustado. En este sentido *DAC culmo* explica mejor el comportamiento de *H mata*, pudiendo esta ser utilizada para estimar la altura promedio de los culmos a la edad de un año.

El modelo 3, predictivo de *H mata*, incluye tanto a *CAC mata* como *DAC culmo* como variables predictoras de *H mata*. Los resultados del ajuste del modelo de regresión lineal múltiple indican que ambos coeficientes (b_1 y b_2) de las variables independientes tuvieron contribuciones estadísticamente significativas según la prueba t. Sus valores indican una tasa de cambio de 0,0081 m de *H culmo* por cada centímetro de incremento de *CAC mata*, así como un aumento de 86 cm en la altura media de culmo por cada unidad de incremento de *DAC culmo*. En cuanto la calidad del ajuste el resumen de salida presentado en la tabla 7 muestra que el R^2 aumenta a 0,48, o sea que el 48% de la variación del *H mata* está explicado por el modelo lineal múltiple que contiene en este caso a las dos variables explicativas. El hecho de haber agregado al modelo la variable explicativa *CAC mata* implicó un aumento de sólo el 2% en R^2 . Se observa una leve disminución de los valores AIC, BIC y Sigma.

El modelo 4 de predicción de *N culmo* a partir de la variable explicativa *CAC mata* muestra que sus coeficientes aportan de manera significativa a la regresión lineal. El número de culmos promedio se incrementa en 0,055 cuando la circunferencia de la mata aumenta en un centímetro. En cuanto a la bondad

de ajuste 27% de la variabilidad del número de culmos está explicada por el modelo de regresión que contiene a *CAC mata* como variable independiente. En cuanto a Sigma su valor indica que es de 1,83 culmos.

En términos generales las bondades de ajuste de los modelos predictivos de las variables biométricas desarrolladas son bajas, con valores de R² que van de los 23 a 48%. Teniendo en cuenta estos resultados, donde la variabilidad explicada según el coeficiente de determinación es aún baja (<50%), no

resulta revelador la aplicación de estos modelos como herramientas predictivas en la práctica. Es necesario seguir realizando mediciones de las variables, a fin de encontrar relaciones verdaderamente significativas entre *CAC* y *DAC*, así como con *H* y *N*. En el campo de las regresiones se profundizaría posteriormente probando otro tipo de modelos no lineales o modelos donde se transforman las variables o se ponderan los residuos (weighted) para reducir heteroscedasticidad.

Tabla 5. Coeficientes de correlación lineal de Pearson y su significancia estadística
Table 5. Pearson's linear correlation coefficients and their statistical significance

Variable 1	Variable 2	n	R	p-valor	
<i>CAC Mata (cm)</i>	<i>H Mata (m)</i>	233	0,48	<0,0001***	s
<i>CAC Mata (cm)</i>	<i>DAC Culmo (cm)</i>	233	0,52	<0,0001***	s
<i>CAC Mata (cm)</i>	<i>N Culmo</i>	233	0,52	<0,0001***	s
<i>H Mata (m)</i>	<i>DAC Culmo (cm)</i>	233	0,68	<0,0001***	s
<i>H Mata (m)</i>	<i>N Culmo</i>	233	0,13	0,0416*	s
<i>DAC Culmo (cm)</i>	<i>N Culmo</i>	233	-0,04	0,5027	n s

Donde: [R] coeficiente de Correlación de Pearson

Tabla 6. Coeficientes de regresión lineal simple y estadísticos de la bondad de ajuste
Table 6. Simple linear regression coefficients and statistics of the goodness of fit

Modelo N°	Coefficientes	Estimación	E.E.	T	p-valor	n	AIC	BIC	Sigma	R ²
1	Intercepto (b ₀)	1,1087	0,178	6,230	<0,0001***	233	591,10	604,90	0,85	0,23
	<i>CAC mata</i> (b ₁)	0,0231	0,003	8,448	<0,0001***					
2	Intercepto (b ₀)	0,8008	0,130	6,145	<0,0001***	233	507,30	521,10	0,71	0,46
	<i>DAC culmo</i> (b ₁)	0,9818	0,070	14,11	<0,0001***					
3	Intercepto (b ₀)	0,5201	0,157	3,313	0,0011**	233	499,82	517,06	0,694	0,48
	<i>CAC mata</i> (b ₁)	0,0081	0,003	3,095	0,0022**					
4	<i>DAC culmo</i> (b ₂)	0,8570	0,079	10,8	<0,0001***	233	950,15	963,96	1,83	0,27
	Intercepto (b ₀)	2,0453	0,385	5,317	<0,0001***					
	<i>CAC Mata</i> (b ₁)	0,0554	0,006	9,315	<0,0001***					

Donde: [E.E.] error estándar residual

CONCLUSIONES

Como la densidad de implantación es un factor importante a tener en cuenta en el manejo de este cultivo, es necesario continuar con el estudio a fin de estudiar la evolución de las variables biométricas que lo caracterizan, ya que al año de implantación el impacto de la densidad no fue significativo en términos estadísticos.

Los modelos de predicción del comportamiento medio de las variables estudiadas son preliminares y hasta la fecha sencillos en su forma matemática. Su aplicación se limita a plantaciones de *D. asper* de un año de edad, además demostraron tener calidades de ajuste bajas y no fueron validadas en su capacidad predictiva a partir de una muestra independiente. El método de ajuste implementado posteriormente servirá para hacer frente a la naturaleza de los datos que será del tipo longitudinal, ya que surgen de medidas repetidas sobre los mismos individuos, y en mediciones posteriores se irán incumpliendo el supuesto de independencia de los errores.

No se midieron los diámetros a la altura del pecho como propone la literatura, ya que la mayoría de estos no alcanzaban la altura de referencia. Es por esta razón que en el futuro se propone determinar el largo, curvatura del culmo y *DAP*, así como el espesor de pared a diferentes alturas, longitud de entrenudo, volumen aparente y la biomasa. Estas características biométricas de los culmos, la mata y de la masa serán determinadas a medida que la plantación experimental vaya evolucionando. Se desarrollarán diferentes relaciones alométricas entre medidas tomadas en el mismo individuo, determinando el volumen, la biomasa y carbono acumulado de los culmos, así como su largo y espesor de pared a fin de construir modelos para predecir estas variables en base a aquellas de fácil medición. Es necesario poner más énfasis en las relaciones de espacio y competencia a fin de poder centrar más la discusión sobre estos aspectos característicos del ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- BALZARINI, M.; Macchiavelli, R.; Casanoves, F. 2006. Aplicaciones de Modelos Mixtos en Agricultura y Forestería. Apuntes de clases de Posgrado Mérida, Venezuela. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, Universidad de Puerto Rico y CATIE, Costa Rica.
- BALZARINI, M.; Di Rienzo, J.; Tablada, M.; González, L.; Bruno, C.; Córdoba, M.; Casanoves, F. 2012. Estadística y Biometría. Ilustraciones del uso de Infostat en problemas de agronomía. Universidad Nacional de Córdoba. 380 pp.
- DEMONARI, S.M. 2009. Viverización de Tacuaruzú, *Guadua chacoensis* (Rojas) Londoño & Peterson. Integradora II (trabajo de graduación). Facultad de Ciencias Forestales, UNAM, Argentina. 21 pp.
- DI RIENZO, JULIO & Macchiavelli, Raul & Casanoves, Fernando. 2009. Modelos lineales mixtos en Infostat. Tutorial, Grupo InFoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL https://www.researchgate.net/publication/283506647_Modelos_lineales_mixtos_en_Infostat
- DI RIENZO J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- BANIK, R.L. (2015). Morphology and Growth. En Liese, W.; Köhl, M. (Eds.). Bamboo: the plant and its uses, pp. 43-90. Springer
- BENTON, A. (2015). Priority Species of Bamboo. En Liese, W.; Köhl, M. (Eds.). Bamboo: the plant and its uses, pp. 31-42. Springer.
- CAMARGO, J.C.; Morales-Pinzón, T. (2008). Mensura e Inventario Forestal para la Planificación y Manejo Sostenible de Bosques de Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira – Colciencias. 125 pp.
- CAMARGO, J.C.; Rodriguez, J.A.; Niño, J.; Mosquera, O.M.; Ríos, A.M.; Cortes, Y.J.; Quintero, H.; Henao, E.; Monroy, M.; Arango, A.M., Suarez, J.D. (2011). Desarrollo tecnológico para optimizar la calidad de los productos obtenidos de bosques de guadua: definiendo la madurez de los culmos y mejorando los procesos de organización. Editorial Publprint. Pereira, Risaralda. 137 pp.
- CHEN, S.; Wu, B.; Wu, M.; Zhang, D.; Cao, Y.; Yang, Q. (2004). A study of the interannual succession rule and influential factors of young stands structures of *Phyllostachys pubescens*. Journal of Zhejiang Forestry College, 21(4), 393-397.
- CLARK, L.G.; Londoño, X.; Ruiz-Sanchez, E. (2015). Bamboo Taxonomy and Habitat. En Liese, W.; Köhl, M. (Eds.). Bamboo: the plant and its uses. Springer. 355 pp.
- ECHEVERRIA, E. y García F. 2015. Fertilidad y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Capítulo 28: Yerba Mate, 415 – 428 pp. Segunda edición.

- GARCÍA, J.H. (2004). Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 110 pp.
- KAUR, P.J.; Pant, K.K.; Satya, S.; Naik, S.N. (2016). Bamboo: the material of future. *International Journal Series in Multidisciplinary Research*, 2(2), 27-34.
- KAUSHAL, R.; Subbulakshmi, V.; Tomar, J. M. S.; Alam, N. M.; Jayaparkash, J.; Mehta, H.; Chaturvedi, O. P. (2016). Predictive models for biomass and carbon stock estimation in male bamboo (*Dendrocalamus strictus* L.) in Doon Valley, India. *Ecologica Sinica*, 36(6), 469-476.
- KLEINHENZ, V.; Midmore, D.J. (2001). Aspects of bamboo agronomy. *Advances in Agronomy*, 74:99-153.
- MALANIT, P.; Barbu, M. C.; Frühwald, A. (2011). Physical and mechanical properties of oriented strand lumber made from an Asian bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer). *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(1), 27-36.
- NATH, A.J.; Lal, R.; Das, A.K. (2015). Managing woody bamboos for carbon farming and carbon trading. *Global Ecology and Conservation*, 3, 654-663.
- PBM (2018). Cuidados y plantación de la especie de Bambú *Dendrocalamus asper*. Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de Misiones. 4 pp.
- PEÑA, C.M.; Paredes, A.; Caro, M.E.; Thomae, A.; Michelena, E.; Rúgolo de Agrasar, Z.; Soria, P.; Zagare, V. (2015). Solución Bambú: Guía para el manejo sustentable del Género *Phyllostachys*. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). 311 pp.
- PHIMMACHANH, S.; Ying, Z.; Beckline, M. (2015). Bamboo resources utilization: A potential source of income to support rural livelihoods. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 3(6), 176-183.
- SINGH, P.; Dubey, P.; Jha, K. K. (2006). Biomass production and carbon storage at harvest age in superior *Dendrocalamus strictus* Nees. plantation in dry deciduous forest region of India. *Indian Journal of Forestry*, 29(4): 353-360.
- SOIL SURVEY STAFF (2010) Keys to Soil Taxonomy. 11va Ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. 338 pp. En https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050915.pdf revisado el 18/08/2021
- TRUJILLO, D.; López, L.F. (2016). Bamboo material characterisation. En Harries, K.A.; Sharma, B. *Nonconventional and vernacular construction materials*. Woodhead Publishing. pp. 365-392.