



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

“MODELO DE DESARROLLO Y CALIDAD DE PLANTACIONES PARA *Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper* EN LA REGIÓN BRUNCA DE COSTA RICA”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MAGISTER
EN CIENCIAS FORESTALES CON EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRÍA

LIC. MARILYN ROJAS VARGAS

CARTAGO, COSTA RICA 2021

Acreditación

Trabajo final de graduación sometido al Tribunal Evaluador del Área Académica de Postgrado en Ciencias Forestales del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada como requisito parcial para optar por el grado de Magister

“Modelo de desarrollo y calidad para plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper* en la Región Brunca de Costa Rica”

Miembros del tribunal evaluador

Dr. Olman Murillo Gamboa
Tutor de tesis

Dr. Alexander Berrocal Jiménez
Coordinador de la Maestría

M.Sc. Mario Guevara Bonilla
Lector

Eugenia González C.

Dra. Eugenia González Castrillón
Lectora

Lic. Marilyn Rojas Vargas
Sustentante

Resumen

Rojas-Vargas, Marilyn

Los bambúes a nivel mundial son más reconocidos por su capacidad de producción de bienes y servicios ambientales. En Costa Rica más productores se interesan por la siembra de plantaciones de bambúes con fines industriales, sin embargo, existe poca información regional sobre la producción de las principales especies con mayor importancia comercial. Este trabajo tiene como objetivo establecer lineamientos de manejo para el desarrollo de plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth y *Dendrocalamus asper* (Schult) Backer en la Región Brunca de Costa Rica. Se realizaron dos inventarios forestales en las plantaciones más grandes y productivas de la zona. Se cortó y cubicó un total de 63 cañas de *G. angustifolia* y 50 para *D. asper*, con diámetros a la altura del pecho (DAP) entre 3 cm y 19,9 cm. Se construyó un modelo de evaluación de la calidad en donde se evaluó y validaron 9 variables. Los modelos de regresión se ajustaron mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios, basados en el diámetro a la altura del pecho (DAP) como única variable independiente. Para la validación de cada modelo se separó y utilizó de forma independiente, una subpoblación aleatoria con el 12% de las cañas cortadas por especie. Se determinó que el volumen comercial fue de $14,5 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ ($\pm 3,2$) y *D. asper* se estimó un total de $106,3 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ ($\pm 25,6 \text{ m}^3$). El ingreso de renuevos en *G. angustifolia* fue de 709 (± 141) por hectárea y 858 (± 214) en plantaciones de *D. asper*. El número total de cañas en plantaciones de *G. angustifolia* fue de 5105 (± 489) con un y 4687 (± 576) en *D. asper*. Para la evaluación del modelo de evaluación de la calidad se seleccionaron 6 variables (calidad del DAP, número de segmentos comerciales, presencia de espinas, estado fitosanitario, sobremadurez y calidad general de la caña), además se desarrolló el Índice de Calidad de la Plantación (ICP) que integra todas las variables evaluadas. Todos los modelos seleccionados presentaron un R^2 superior a 86%, donde los parámetros de cada modelo fueron siempre significativos con $P < 0,05$. *D. asper* presentó mejores coeficientes de sesgo (menor que 5,1%) que la especie *G. angustifolia*.

Palabras clave: volumen, producción forestal, bambú, bambú gigante

Abstract

Rojas-Vargas, Marilyn

Worldwide, bamboo is increasingly recognized for its capacity to produce environmental goods and services. In Costa Rica, more and more producers are interested in growing bamboo plantations for industrial purposes. However, there is little regional information on the production of the main species with greater commercial importance. This work aims to establish management guidelines for the development of *Guadua angustifolia* Kunth and *Dendrocalamus asper* (Schult) Backer plantation-types in Southern Costa Rica. Two forest inventories were carried out in the largest and most productive plantations in the area. A total of 63 reeds of *G. angustifolia* and 50 for *D. asper* were cut and cubiced, with Diameter Breast Height (DBH) between 3 cm and 19,9 cm. A quality evaluation model was constructed in which 9 variables were evaluated and validated. Regression models were adjusted using the ordinary least squares method, based on Diameter Breast Height (DBH) as the only independent variable. For the validation of each model, a random subpopulation with 12% of the reeds cut by species was separated and used independently. It was determined that the trade volume was 14,5 m³/ha⁻¹ (3,2) and *D. asper* was estimated at a total of 106,3 m³/ha⁻¹ (+25,6 m³). The income of renewals in *G. angustifolia* was 709 141) per hectare and 858) in plantations of *D. asper*. The total number of reeds in *G. angustifolia* plantations was 5105(±489) with one and 4687(±576) in *D. asper*. For the evaluation of the quality evaluation model, 6 variables were selected (DBH- quality, number of commercial segments, presence of thorns, phytosanitary status, overripeness and general quality of the cane). In addition, the Plantation Quality Index (PCI) was developed, which integrates all the variables evaluated. All the selected models presented an R² greater than 86%, where the parameters of each model were always significant with P < 0.05. *D. asper* had a better coefficient of bias than the species *G. angustifolia*

Keywords: volume, forestry production, bamboo giant, bamboo

Agradecimientos

Quisiera agradecer a la vida por permitirme trabajar con las plantas más maravillosas del mundo, que a mi parecer son los bambúes y que a su vez me ha permitido conocer a personas increíbles de todo el mundo.

Con todo mi corazón agradezco a mis estudiantes asistentes del proyecto: Desarrollo productivo del bambú en Costa Rica de la UNA, porque juntos hemos construido este gran sueño, que nos ha permitido más que un grupo de trabajo ser una gran familia, gracias por su apoyo incondicional en todo momento.

A la administración de la Escuela de Ciencias Ambientales que por cinco años ha creído en las oportunidades que brinda el bambú para el sector forestal y para los estudiantes de la EDECA, quisiera agradecer principalmente a la M.Sc. Virya Bravo Durán y al Dr. William Fonseca González por su amistad y apoyo en todo este camino.

A mis amigos y amigas de FUNDEBAMBÚ, porque han puesto toda su entrega para que este sector crezca y me han en este y otros proyectos.

Al señor Hormilson Cruz Ríos que es el máximo exponente del bambú en América, por aceptar compartir sus conocimientos con la comunidad del bambú costarricense, muchas gracias por las recomendaciones en este trabajo.

Al señor Olman Murillo Gamboa, por su apoyo como tutor de este trabajo.

A mis padres por ser parte de este sueño llamado bambú.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. HIPÓTESIS	5
4. REVISIÓN LITERARIA	6
4.1 El bambú en el entorno mundial	6
4.2 Importancia ambiental y social del bambú	7
4.3 Producción de bambú en Costa Rica	9
4.4 Contexto del bambú dentro de la situación post-COVID 19	11
4.5 Conocimientos generales del bambú	12
4.6 Crecimiento y desarrollo del bambú	13
4.7 Calidad y mercado de cañas de bambú	15
4.8 Estimaciones de volumen en plantaciones de bambú	16
4.9 Extracción de cañas en plantaciones de bambú	16
5. METODOLOGÍA	18
5.1 Área de estudio	18
5.2 Diseño y ejecución del sistema muestreo	19
5.2.1 <i>Guadua angustifolia</i>	19
5.2.2 <i>Dendrocalamus asper</i>	20
5.3 Variables medidas dentro de las unidades de muestreo	20
5.4 Determinación del volumen comercial y total en pie para cañas maduras	21
5.5 Productividad, crecimiento y distribución de estados de desarrollo de las plantaciones	24
5.5.1 Productividad	24
5.5.2 Crecimiento	25
5.5.3 Distribución de estados de desarrollo (DED)	26
5.6 Construcción del modelo para la evaluación de la calidad de plantaciones en pie	26
5.6.1 Calidad del diámetro basado en clases diamétricas	27
5.6.2 Número de piezas comerciales	27
5.6.3 Daño mecánico	27
5.6.4 Presencia de espinas	27
5.6.5 Inclinação	28

5.6.6	Estado fitosanitario	28
5.6.7	Número de nudos	29
5.6.8	Calidad general	29
5.6.9	Sobremadurez	29
5.6.10	Validación del modelo de calidad.....	30
5.6.11	Índice de calidad de la plantación (ICP)	30
5.7	Selección de modelos de regresión	31
5.7.1	Validación de los modelos.....	31
6.	RESULTADOS	32
6.1	Evaluación de la productividad, crecimiento y distribución de estados de desarrollo en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i>	32
6.1.1	Productividad.....	32
6.1.2	Crecimiento.....	33
6.1.3	Distribución de estados de desarrollo (DED)	34
6.2	Modelos para la evaluación de la calidad en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i>	35
6.2.1	Variables incluidas en el modelo	35
6.2.2	Categoría diamétrica y número asociado de piezas comerciales	35
6.2.3	Presencia de espinas.....	36
6.2.4	Estado fitosanitario	36
6.2.5	Cantidad de nudos	37
6.2.6	Validación del modelo	37
6.2.7	Variables excluidas del modelo	38
6.3	Modelos para la estimación de volumen comercial y total	38
7.1	Productividad, rendimiento y distribución de estados de desarrollo en plantaciones de bambú.....	40
7.1.1	Productividad.....	40
7.1.2	Crecimiento (ingreso de nuevos renuevos).....	41
7.1.3	Distribución de estados de desarrollo	42
7.2	Modelos para la evaluación de la calidad en plantaciones de bambú.....	43
7.3	Modelos de regresión.....	47
8.	CONCLUSIONES	49
9.	RECOMENDACIONES	50
10.	BIBLIOGRAFÍA	51
11.	ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clases diamétricas y tamaño de muestra utilizado para la cubicación de cañas de bambú en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> en la Región Brunca, Costa Rica.....	22
Cuadro 2. Variables definidas para la construcción de un modelo para la evaluación de calidad en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> en la Región Brunca, Costa Rica.....	26
Cuadro 3. Variables e indicadores dasométricos para cañas cubicadas de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> en la Región Brunca, Costa Rica.....	32
Cuadro 4. Parámetros estadísticos para la estimación del volumen comercial (m ³) por hectárea en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> (dato por cepa), Región Brunca, Costa Rica.....	33
Cuadro 5. Parámetros estadísticos para la estimación de la cantidad de renuevos por hectárea en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> , Río Claro, Región Brunca, Costa Rica.....	34
Cuadro 6. Parámetros estadísticos para el conteo de número de cañas totales por hectárea en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> , Río Claro, Región Brunca, Costa Rica.....	34
Cuadro 7. Distribución porcentual de cantidad de cañas por estado de desarrollo en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> en la Región Brunca, Costa Rica.....	35
Cuadro 8. Calificación de la variable calidad del diámetro para cañas en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> , Región Brunca, Costa Rica.....	36
Cuadro 9. Calificación de la caña según la cantidad de nudos en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> en la Región Brunca, Costa Rica.....	37
Cuadro 10. Error de muestreo para el Índice de calidad general en plantaciones de <i>G. angustifolia</i> en la Región Brunca, Costa Rica.....	37
Cuadro 11. Modelos de regresión para volumen comercial y total para plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> en la Región Brunca, Costa Rica.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología general del bambú.	13
Figura 2. Ubicación de las plantaciones de <i>G. angustifolia</i> , Río Claro de Golfito, Región Brunca, Costa Rica.	18
Figura 3. Ubicación de la plantación de <i>D. asper</i> , Savegre de Pérez Zeledón, Región Brunca, Costa Rica.	19
Figura 4. Clasificación de las cañas según su estado de desarrollo en plantaciones de bambú en Costa Rica.	21
Figura 5. Representación de la estimación del volumen general y volumen de espacio vacío de la caña de bambú en plantaciones de la Región Brunca, Costa Rica.	22
Figura 6. Presencia (A) y ausencia (B) de espinas en cañas de <i>G. angustifolia</i> , en la Región Brunca, Costa Rica.	28
Figura 7. Evaluación de la inclinación de cañas de bambú plantaciones de <i>G. angustifolia</i> , en la Región Brunca, Costa Rica.	28
Figura 8. Modelos de regresión A) modelo para volumen comercial en m ³ para <i>G. angustifolia</i> , B) modelo para volumen total en m ³ para <i>G. angustifolia</i> , C) modelo para volumen comercial en m ³ para <i>D. asper</i> , D) modelo para volumen total en m ³ para <i>D. asper</i> , en la Región Brunca, Costa Rica.	39
Figura 9. Modelo de calidad para plantaciones de <i>G. angustifolia</i> y <i>D. asper</i> en la Región Brunca, Costa Rica.	45

1. INTRODUCCIÓN

El bambú representa uno de los más grandes recursos naturales renovables del mundo ya que provee una gran variedad de productos (Mercedes, 2006). Este se puede utilizar ampliamente en el sector de la construcción, antenas de televisión, postes de tendido eléctrico, escaleras, envases, juguetes, muebles, puentes, manualidades y artículos de uso diario, incluyendo la producción de pulpa para la fabricación de papel. Además, las cañas de bambú verdes y gráciles se utilizan en la gastronomía y como medicina (Held, 2005; Belcher y Schreckenberg, 2007). Las bondades de esta especie la han convertido en un motor de desarrollo de la economía de muchos países, principalmente en los países orientales (Poppens y Morán, 2005).

En Costa Rica más del 70% de la madera que se consume se importa (Chacón, 2019). La causa de esta importación se debe a muchos factores, entre los que destaca la falta de eficiencia de un sector industrial en suplir las necesidades de los consumidores. Esto ha llevado a que la madera proveniente de las plantaciones forestales sea utilizada en la fabricación de tarimas, producto de poco valor agregado. La producción bambú es una opción para mitigar la poca disponibilidad de la madera, en usos como la construcción civil o en productos de mayor valor agregado, donde la madera de plantación es poco utilizada. A su vez, el establecimiento de plantaciones de bambúes, principalmente de la especie *Guadua angustifolia* Kunth se ha posicionado en Costa Rica en los últimos años (Fallas, 2016).

A pesar de que el país se ha enfocado a las siembras de la especie *G. angustifolia*, existe interés en desarrollar proyectos con *Dendrocalamus asper* (Schult) Backer para la producción de tarimas de embalaje y cada vez es más utilizada en el sector de la construcción. No obstante, la información sobre crecimiento y rendimiento en plantaciones *G. angustifolia* y *D. asper* en Costa Rica es insuficiente para la planificación y ordenación forestal de plantaciones de estas especies. Es necesario generar información sobre su productividad, que permita planificar labores de manejo, reducir costos en el aprovechamiento y aumentar rendimientos. El conocimiento de las diferentes actividades involucradas en el manejo de las plantaciones de estas dos especies de bambú, es fundamental para poder incentivar la siembra y, brindarle al productor datos reales sobre la productividad.

Esta investigación tiene como objetivo determinar la productividad en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper*, realizar una propuesta para la evaluación de la calidad en plantaciones de las dos especies y construir funciones de volumen comercial y total en función del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP). La información que se generó se basó en plantaciones de la empresa BAMBUTICO establecidas en la Región Brunca del país, esta empresa cuenta con más de 30 años de trabajar en la comercialización e industrialización de bambú.

El establecimiento y manejo de plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* representa una oportunidad, para que pequeños productores en Costa Rica se mantengan en una actividad agrícola, y no emigren a regiones urbanas, con un aumento en el valor agregado de la producción de sus fincas y consecuentemente, mejorar sus ingresos y calidad de vida. Además, una de las principales ventajas de las plantaciones de bambú es, que si se compara con las principales especies forestales plantadas en Costa Rica (teca y melina), se tiene una producción anual una vez llegado a su etapa de madurez productiva (aproximadamente entre los 5 y 10 años),

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo para la evaluación del crecimiento y calidad de plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper* en la Región Brunca de Costa Rica.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar la productividad, crecimiento y distribución de estados de desarrollo en de plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper* en la Región Brunca de Costa Rica.
- Desarrollar un modelo para la evaluación de la calidad de plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper*.
- Construir funciones de volumen comercial y total para plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper* en la Región Brunca de Costa Rica.

3. HIPÓTESIS

Hipótesis nula

Se plantea como hipótesis nula, que no existe diferencias en el crecimiento y productividad de volumen comercial ($\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$) y número de cañas a cañas a extraer, entre plantaciones de *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*.

Hipótesis alternativa

Si existen diferencias significativas en el crecimiento y productividad de volumen comercial en m^3/ha , entre las plantaciones de ambas especies de bambú *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*.

4. REVISIÓN LITERARIA

4.1 El bambú en el entorno mundial

En el mundo existen aproximadamente 1642 especies de bambúes distribuidas en climas, templados, subtropicales y tropicales (Londoño, 2011). En el mundo se estima que existen más de 30 millones de hectáreas con bambú (INBAR, 2020). Se estima que en América hay 25 especies introducidas y 429 especies nativas, principalmente en países como Ecuador, Colombia y Argentina. Cada una de las especies posee diferentes usos desde la construcción hasta la gastronomía (Giraldo, 2009).

La producción mundial de bambú alcanzó en el 2016 un valor de unos 12 mil millones de dólares USD, pero se prevé que para los próximos años su valor supere los 60 mil millones dólares USD (Darabant, 2016, INBAR 2020). En China se producen alrededor de 350 mil toneladas de pulpa de papel con bambú (1,5% del papel que se producen en el mundo), en Brasil hay más de 200 mil hectáreas cultivadas de bambú para papel y Taiwán exporta más de \$50 millones/año en bambú comestible (Mercedes, 2006). El bambú también juega un papel importante en el sustento de muchas familias en todo el mundo (Becker, 2004).

En el mundo, la subsistencia de muchas familias se encuentra asociada a la producción de bambú (Sunderlin, 2008), donde más de 1 000 000 de personas viven en casas de bambú. En la India la demanda laboral asociada al bambú es superior a los 16,7 millones de jornadas de trabajo por año (Giraldo, 2009), así mismo en el Ecuador hay 500.000 personas involucradas en la cadena productiva del bambú y en Perú aún no se tiene monitoreada la cadena productiva, no obstante INBAR está trabajando una estrategia para el país. Colombia y Ecuador juegan un papel importante ya que poseen bosques naturales, principalmente de *G. angustifolia* (Londoño, 2001), en los cuales existen 100.000 personas involucradas en la cadena productiva (Paucar, 2020)

En Colombia en la región del café, representa un recurso natural utilizado tradicionalmente por los agricultores para construir casas, muebles, artesanías, chapas y suelo (Held, 2005). El uso

del bambú se ha posicionado en las comunidades por sus bondades de manejo y rápido crecimiento (Zhang *et al.*, 2002). Para los colombianos la guadua es un recurso fácil de cultivar, transportar, cortar y moldear, tienen un rápido crecimiento y alcanzan la madurez en un período relativamente corto (Cruz, 2009), algunas variedades de bambú como *Guadua aculata* y *D. asper* también han tomado importancia en este país, debido a que tienen un rápido crecimiento inicial cuando son manejadas (Camargo, 2012).

Las importaciones mundiales de bambú y subproductos alcanzaron los USD \$1 441 millones en 2018. Los principales importadores fueron EEUU (19%) y Japón (17%), en productos destacaron, los brotes de bambú (17%, más de la mitad importado por Japón) y los muebles de bambú o ratán (14%, EEUU tiene la principal cuota de participación). El bambú posee excelentes propiedades nutritivas y medicinales, lo que representa uno de los principales mercados emergentes del bambú. Los principales productos con valor agregado lanzados entre el 2014 y el 2018 fueron los alimentos procesados (69% como los brotes de bambú con combinaciones de sabores), los productos de cuidado personal y belleza (20%; como ingrediente) y productos domésticos (6%; como artículos para el hogar). En el caso de su uso en muebles destacan las tecnologías de laminado, y en construcción con enfoque en la arquitectura sostenible y en diseños enfocados en la serenidad. Otros productos incluyen: bicicletas, pajillas, ropa, calzado, entre muchos otros en donde la conciencia ecológica y la sostenibilidad son los principales factores que fomentan la innovación (PROCOMER, 2019).

4.2 Importancia ambiental y social del bambú

El bambú aporta múltiples beneficios para el ambiente desde el punto de vista de incremento de materia orgánica al suelo y protección del recurso hídrico (Deras, 2003). Su rápido crecimiento y desarrollo le permite aportar al suelo entre 2 y 4 Mg/ha/año de biomasa, que constituye entre el 10 y el 14% de la totalidad de material vegetal que se genera en una plantación y que cumple un importante papel al contribuir a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo (Montiel, 2006). A su vez, su sistema entretejido de rizomas y raíces origina una malla que permite formar muros biológicos de contención que controlan la socavación lateral y amarran

fuertemente el suelo, previniendo la erosión y convirtiéndola en una especie con función protectora, especial para ser usada en laderas y cuencas hidrográficas (Giraldo, 2009).

El bambú se comporta como una “bomba de almacenamiento de agua”, que funciona por el principio de “vasos comunicantes”. En épocas húmedas absorbe importantes volúmenes de agua que almacena en su entre nudo y en su sistema rizomático y en época de verano ante la necesidad del suelo, libera, de manera paulatina, el líquido que ha almacenado. En estudios realizados por (Arango, 2011; Hidalgo, 2003) se calcula que una hectárea de *G. angustifolia* puede almacenar hasta 30 375 litros de agua. Esta característica lo hace excepcional para proyectos de protección y conservación del recurso hídrico (Camargo y Kleinn 2010).

El agua proveniente de la precipitación que cae sobre las plantaciones de bambú, permanece mucho tiempo en él, toma diversos caminos y demora más tiempo en caer al suelo e infiltrarse, dando como resultado la "Regulación de Caudales" (Giraldo, 2009). De esta manera se evitan las crecidas súbitas y se forman reservas de agua que son empleadas dentro del sistema cuando se requiera, especialmente en épocas de verano; el dosel o bóveda que se conforma por el follaje en las riberas de las fuentes de agua, impiden las pérdidas por altas y rápidas tasas de evaporación (súbita) contribuyendo a la regulación hídrica (Ospina, 2002).

El bambú tiene la capacidad como cualquier especie forestal de almacenar carbono, mediante la captura de CO₂, esto lo realiza por medio de la fotosíntesis, y lo almacena en tejidos, capturando hasta 54 toneladas C/ha⁻¹ en un periodo de 6 años en Colombia (INBAR 2011; Riaño *et al.*, 2002), hasta 110 Mg/ha⁻¹ en 10 años en Bolivia (Rojas, 2009) y en China para la especie *P. pubescens* se encontraron incrementos de 20,8 Mg/ha⁻¹ (Aguierre *et al.*, 2018).

La captura de carbono y el aumento del reservorio de carbono, no se restringe al material comercial o aéreo, ya que el rizoma sigue extendiéndose en el terreno, incrementando aún más este reservorio de manera más eficiente que un árbol, ya que al ser cosechada la caña, el rizoma permanece para dar seguimiento a los ciclos de crecimiento (Bali *et al.*, 2016). A nivel general existen pocos estudios de incrementos de carbono en la biomasa del bambú.

Dentro de los principales beneficios de consumir bambú para la salud humana se encuentra la protección de problemas de corazón debido a la disolución del colesterol LDL con la presencia de fitoesteroles y fitonutrientes (Youming y Peiying ,2004). Sumado a esto uno de los descubrimientos más importantes corresponde a las propiedades anti-cancerígenas mayoritariamente en cáncer pulmón, estómago, ovario y pecho. Estudios han revelado que el alto contenido de fibra, reduce el riesgo de cáncer de colon (Changtham y Sharma, 2017). El fortalecimiento del sistema inmunológico, movimientos saludables para el intestino, y propiedades antiinflamatorias son además muchas de las otras dificultades de salud a las cuales el bambú responde (Muniappan y Sundararaj, 2003; Ito, *et al.*, 2007; Park y Jhon, 2009).

El bambú tiene múltiples beneficios a nivel constructivo: es liviano y sismo-resistente, las construcciones pueden tener una vida útil hasta de 100 años, posee características físico mecánicas óptimas para realizar construcciones de todo tamaño, además es un material térmico y aislante acústico ya que en el interior de las cañas de bambú se forman cámaras de aire que permiten regular la temperatura del material, estas características lo hace un material excepcional para ser utilizado en zonas urbanas y rurales. Por estas y muchas otras características el bambú es catalogado como el acero vegetal y la madera del siglo 21 (Bonilla, 2020).

El bambú puede brindar los mismos beneficios constructivos que el acero, pero además es un material sustentable y auto-regenerable. La utilización de bambú en combinación con otros materiales puede reducir la huella ecológica hasta en un 45%, lo que lo hace un material muy eficiente para combatir los efectos del cambio climático, estas características además responden a las políticas de Costa Rica en materia de mitigación y adaptación al cambio climático, como la estrategia de descarbonización (Bonilla, 2020).

4.3 Producción de bambú en Costa Rica

El bambú en Costa Rica se empezó a utilizar para apuntalar banano (soporte para la planta), por las empresas en los años 1930. En el año 1986 se realizó un proyecto del gobierno que impulsaba la construcción de vivienda alternativa de bambú. No obstante, el proyecto no alcanzó sus objetivos, debido a que el gobierno de turno rechazó el apoyo para continuar con el financiamiento para la construcción (M, Retana. comunicación personal, 26 de abril, 2016).

Del 2014 al 2018 el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) retomó los esfuerzos por establecer plantaciones de bambú, con base en la especie *G. angustifolia*. Esta iniciativa estuvo coordinada por MIDEPLAN, dentro de la cual se encuentra una comisión nacional de bambú conformada por INA, UNA, INDER, ITCR, ICE, CNFL. El objetivo de esta comisión fue coordinar esfuerzos de financiamiento para proyectos de producción e investigación a nivel nacional y, en apoyo en la conformación de la cooperativa BAMBUCOOP en la Región Brunca de Costa Rica (Fallas, 2016).

A esta iniciativa se han sumado las investigaciones de entidades superiores de educación. La Universidad de Costa Rica y la Universidad Nacional, que poseen proyectos de investigación. Mientras que el INA desarrolla labores en la generación de capacidades con jóvenes y privados de libertad. En Costa Rica existe un gran potencial para el desarrollo del bambú, debido a las condiciones climatológicas y a la diversidad de bambú. Lo que representa una oportunidad para complementar iniciativas de desarrollo sostenible para los productores rurales (Morales, 2003).

En el año 2017 se retomaron esfuerzos por un grupo de actores a nivel nacional y se crea la Fundación para el Desarrollo del bambú en Costa Rica (FUNDEBAMBÚ). Esta es una organización no gubernamental sin fines de lucro, innovadora y promotora del emprendedurismo en el desarrollo del cultivo, transformación y uso del bambú en Costa Rica. Dentro de los principales logros que se han realizado hasta la fecha se encuentra, el desarrollo del I Simposio de bambú en Costa Rica en el 2018. El cual se realizó en conjunto con la UNA y tuvo como objetivos, promover el conocimiento en los avances tecnológicos, los emprendimientos productivos, las novedades relacionadas con los procesos de transformación, comercialización, uso y cultivo del bambú, el desarrollo de la economía verde y la conformación de la cadena productiva integrada por los diferentes actores relacionados con las actividades propias del bambú. Así también, por medio de la FUNDEBAMBÚ se han firmado convenios con instituciones como: UNA, MAG y FONAFIFO, con el propósito de fortalecer la producción del cultivo en Costa Rica (UNA, 2019).

4.4 Contexto del bambú dentro de la situación post-COVID 19

Ante la emergencia se estima una contracción económica para la región latinoamericana del 5,3 % y un aumento en la pobreza del 4,4 % (FAO, 2020); que afecta en mayor medida zonas rurales. Las medidas de la FAO y en general la comunidad mundial señalan que las rutas de las iniciativas deberán, entre algunos otros aspectos, orientarse a promover un enfoque territorial para el desarrollo agrícola, la aceleración de la transformación agrícola y sostenibilidad de los sistemas alimentarios, económicos y de acceso a los servicios medioambientales. Basado en la información anterior, la cuarta fase para la atención de la emergencia propuesta por la ONU (ONU, 2020) como ruta mundial, deja claro que el compromiso se enfocará en la resiliencia, promoción de sistemas de producción sostenibles, políticas y proyectos directamente asociados a pequeños productores y empresas, todos con un fuerte componente de innovación, (FAO, 2020; ONU, 2020).

Dentro del marco de las estrategias para la recuperación mundial ante la emergencia, se hace especial referencia a la seguridad, mantenimiento y mejoras en torno al recurso hídrico. El cual resulta ser fundamental para el aumento de la capacidad de resiliencia, sostenibilidad de los sistemas productivos y sobre todo como elemento crucial en los sistemas de salud, saneamiento y reducción de riesgos generados por la pandemia. Ante esto la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su informe técnico sobre “agua, saneamiento, higiene y residuos para el manejo del virus COVID-19” (OMS, 2020), la UNESCO (Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (UNESCO, 2020) y la FAO (FAO, 2020), concuerdan en señalar que las medidas que se adopten deberán poder asegurar acciones que impacten de manera positiva la seguridad hídrica, atendiendo a mantener y aumentar los aportes indispensables del recurso hídrico y afrontar los desafíos que presenta a nivel regional.

Costa Rica ha planteado una serie de medidas para la atención y recuperación de las condiciones posteriores a la emergencia planteando, en paralelo a la atención inmediata de la pandemia, el abordaje de las repercusiones económicas, sociales y ambientales. La estrategia plasmada en el informe de “Evaluación económica inicial de los efectos de COVID-19 y el alcance de las opciones de política en Costa Rica” (PNUD, 2020), generado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), plantea como norte en la ruta de las medidas enfocarse en

la atención en temas de empleo, protección de grupos vulnerables de la población, la reactivación económica, mejora en la estructura productiva y el apoyo de la transición hacia economías verdes. Aspecto considerado como oportunidad inmersa en la reactivación de la economía.

El bambú es un elemento con alto potencial para contrarrestar la emergencia mundial del COVID-19, ya que responde a gran parte de las acciones prioritarias para la reactivación económica y, fortalece la capacidad de resiliencia de los ecosistemas y de las comunidades.

4.5 Conocimientos generales del bambú

G. angustifolia y *D. asper* poseen excelente calidad estructural y son especies de gran tamaño, sus cañas pueden medir hasta 30 metros de altura y 25 cm de diámetro (Londoño, 2002). En su estructura fisiológica está formado por un rizoma que presenta yemas, brácteas y raíces adventicias que cumplen la función de absorción y anclaje, mientras que las brácteas de apariencia fibrosa y delgada, son las encargadas de proteger el rizoma (Chaowang, 2013). A continuación se describen las diferentes estructuras que conforman una planta de bambú.

Cepa: Es la parte del tallo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; posee una longitud de entre tres y 4 metros. Las distancias de nudos las más cortas y en la construcción se les utiliza como columnas (Cruz, 2009).

Basa

Sección del tallo (caña) entre cuatro y ocho metros de longitud, de uso comercial principalmente como vigas y columnas.

Sobrebasa

Sección intermedia del tallo, de aproximadamente cuatro metros de longitud, generalmente utilizada en la construcción como elemento de soporte y viguetas para formaletear planchas, paneles y barandas.

Varillón

Sección superior del tallo, de aproximadamente tres metros de longitud, diámetro de menor medida, usada como soporte de estructuras menores.

Copa

Parte superior de la planta, de longitud inferior a los 2 metros.

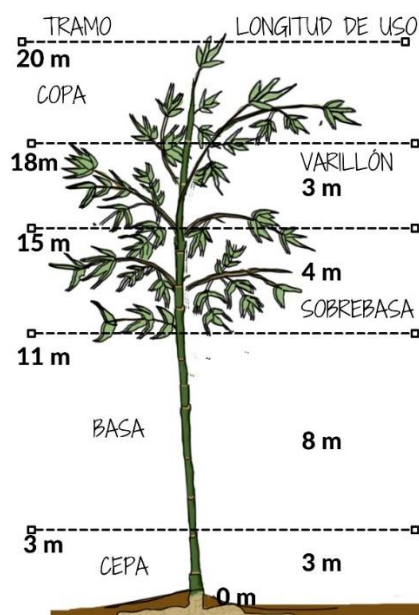


Figura 1. Morfología general del bambú.
Despieces de la caña de bambú (Rodríguez, 2008)

4.6 Crecimiento y desarrollo del bambú

El crecimiento de los bambusales es diferente en su comportamiento a los rodales de árboles. El diámetro y altura de las cañas de bambú depende del tamaño del rizoma que las genera, la caña una vez que brota del suelo lo hace con un diámetro definido, el cual disminuye proporcional y gradualmente con la altura (factor conicidad) (Rodríguez, 2008). En rodales de bambú las relaciones entre densidad de cañas y variables dasométricas como el diámetro, no son tan marcadas y evidentes, debido a que su patrón de crecimiento es otro y cada caña no representa un único individuo como tal (Camargo, 2006).

El ingreso de los renuevos explica el incremento la biomasa, dado que determinará la generación de nuevas cañas en los distintos estados de madurez. Según Salas (2006) las cañas maduras generarán los nuevos renuevos. Al cumplirse la vida útil de las cañas maduras, se genera ingreso de renuevos, que con el paso del tiempo tendrán mayor altura y diámetro. Por tanto, para cada

año se espera el ingreso estimado de entre 12 a 14 renuevos por cepa (Camargo, *et al.*, 2007). Por tanto, el crecimiento y perpetuidad de la plantación depende de la cantidad de renuevo que ingresen. A su vez, depende de la dinámica de la plantación y las prácticas de manejo que se realicen. Por lo tanto, si ocurre una degradación por carencia de cañas maduras, será menor la cantidad de ingresos y por ende la producción.

La estructura de los bosques de guadua está dada por la cantidad de cañas que se encuentran en diferentes estados de madurez (Camargo, 2008). Es necesario la definición de las características de cada uno de los estados de madurez cuando se realiza un inventario, con el fin de tener claridad de las características de los ejes que se podrían extraer. Esta información permite determinar el estado de salud del ecosistema, con base en la cantidad de ejes (renuevos y juveniles) y de la disponibilidad de cañas comerciales. Además, de proveer información sobre el estado de manejo de una plantación. Cada uno de los tipos de cañas presentan características fisiológicas y físico-mecánicas diferentes (Camargo *et al.* 2007).

La capacidad productiva de un rodal de bambú está relacionada con la producción de nuevos brotes, número total de tallos, área basal y volumen total (Morales, 2003; Camargo, 2006). Se ha determinado que existe una relación estrecha entre el área basal y el número total de tallos (Gadow, 2003). Al respecto, Camargo (2006) definió tres clases de densidad para la especie *G. angustifolia*, clase baja de 1300 a 3900, media de 3901 a 8000 y alta de 8001 a 15700. En donde los rodales de baja densidad, registran un diámetro esperado significativamente mayor. Las características dimensionales y de calidad de la producción, dependen entonces en gran parte del manejo que se realice.

El manejo en plantaciones de bambú es esencial para asegurar la salud de la plantación. Camargo y Dossman (2007) encontró que existe una mayor cantidad de cañas en estado juvenil cuando los guaduales son manejados. Mientras que aumenta la presencia de cañas secas y dañadas cuando no se manejan. No obstante, no se recomienda un aprovechamiento que disminuya la densidad total a menos de 300 cañas por ha. Según (Camargo, 2006), la distribución óptima de los guaduales es de 33,3% (juvenil y renuevo), 33,3% juveniles, 33,3% maduras. Por tanto, no es recomendable que existan cañas muertas, ya que pueden influir en la muerte del rizoma y en la salud del guadual.

4.7 Calidad y mercado de cañas de bambú

Existen diferentes variables que pueden indicar la calidad de las plantaciones de bambú. Según García (2004) estas variables son: DAP, longitud total, longitud comercial, espesor de la pared, volumen neto (m^3), dureza, humedad, resistencia al corte, densidad, longitud de los entrenudos y compresión. Estas variables son parte de las características deseadas por los clientes en el momento que las cañas salen al mercado (Darabant, 2016). No obstante, no se registra ninguna comparación de estas características para las especies en estudio.

Las características comerciales de los tallos de bambú dependen directamente del país, mercado y uso final. A nivel general, los tallos comerciales son aquellos que poseen más de 10 cm de diámetro, no obstante en otros países los tallos empiezan a utilizarse desde 1 cm de diámetro (Cruz, 2009), mientras que en algunos se consideran comerciales con diámetros entre los 7 y 15 cm. Debido a la alta diversidad de definiciones sobre lo que es un tallo comercial, se utiliza entonces la medida general de tallos maduros de más de 10 cm de diámetro, medido a los 1,3 m sobre el eje de la caña.

Existe una alta variabilidad de la distribución diamétrica por clase de edad en los rodales de bambú. En Colombia, bosques con manejo y con programas intensivos de fertilización, han obtenido cepas que empiezan a generar tallos de 10 cm de DAP, entre los tres y cuatro años de edad. Estudios realizados por Cruz (2009) demuestran que los distanciamientos de siembra y la fertilización, influye directamente en la productividad y el tiempo en que se pueda aprovechar una plantación. Sin embargo, se puede decir que una plantación se encuentra madura hasta los 7 años de edad (M. Retana, comunicación personal, 26 de abril, 2016).

Las plantaciones de bambú al igual que las plantaciones forestales tradicionales, compiten por el uso de la tierra con cultivos agrícolas de rotación menor y mayor rentabilidad por unidad de área. A diferencia de las plantaciones tradicionales, las plantaciones de bambú poseen ciclos menores. Una vez alcanzado su estado de madurez óptimo para aprovechamiento (entre 4-6 años), se obtiene cañas maduras anualmente, lo que brinda una ventaja para poder competir con

el uso de la tierra. Para potenciar las características intrínsecas de las plantaciones de bambú, es necesario conocer la calidad en términos generales, con el fin de tomar decisiones para optimizar su manejo, crecimiento y rendimiento.

4.8 Estimaciones de volumen en plantaciones de bambú

Se conoce pocas investigaciones relacionadas con estimaciones de volumen comercial en plantaciones de bambú (Kleinn y Morales 2002). Debido a la variabilidad existente, se recomienda para estimar el volumen comercial, la corta de ejes y utilizar la siguiente fórmula (Cruz, 2009):

$$V = \text{DAP}^2 * \pi / 4 * h * K$$

Donde:

DAP² = Diámetro (cm)

H = Altura total

K = Factor de forma estimado para las cañas cortadas.

Camargo y Kleinn (2010) ajustaron curvas para la estimación de volumen y altura comercial en plantaciones de *G. angustifolia*. Sin embargo, estas ecuaciones solamente son aplicables a plantaciones de la zona cafetalera en Colombia.

4.9 Extracción de cañas en plantaciones de bambú

En plantaciones de bambú existen dos métodos para seleccionar la cantidad de cañas maduras a extraer (M. Retana, comunicación personal, 26 de abril, 2016). Un primer método consiste en extraer un porcentaje de las cañas maduras anualmente, ante esto Camargo (2006) menciona que se debe extraer entre un 35% a 45% de las cañas maduras por hectárea.

El segundo método utilizado en Costa Rica por la empresa BAMBUTICO y ampliamente descrito por Cruz (2009), consiste en el manejo de la densidad de rodales basado en el método de tiempos de paso. Para el bambú el tiempo de paso se considera como el periodo de tiempo que tarda una determinada caña, en pasar del estado de renuevo a juvenil y, posteriormente a

maduro para cada clase diamétrica. Los tiempos de paso están determinados por la dinámica natural de la plantación.

Para aplicar el método en primera instancia es necesario definir las clases diamétricas de la plantación con base en los productos a obtener (tutores, varas y material para construcción). Cada clase diamétrica tardará lapsos de tiempo diferentes en pasar al siguiente estado de madurez. Para cada clase diamétrica se determinará el número de individuos maduros, juveniles y renuevo por hectárea. Con base en esto se determina el índice de corta, donde la cantidad de cañas maduras a cortar se determinará según el número de cañas juveniles disponibles. Ya que el número de individuos juveniles constituirá las cañas maduras del siguiente año. Mediante este método se asegura la sostenibilidad de la producción en el tiempo.

La cantidad de cañas a extraer anualmente se encuentra definida por la capacidad de regeneración de la plantación y por factores de calidad de sitio, como elementos determinantes en la dinámica natural (entre 650 y 750 cañas/año; M. Retana, comunicación personal, 26 de abril, 2016).

El conocimiento del ciclo de la plantación y la diferenciación de los elementos que la conforman, permite una mejor planificación del aprovechamiento y conocer la dinámica de productividad (Kleinn y Morales, 2006). Cuando no se realiza el aprovechamiento de manera oportuna o no se efectúa adecuadamente, se puede causar una sucesión regresiva. Lo cual produce una degradación paulatina del guadual por exceso de individuos, que pueden provocar una disminución de la actividad biológica. Esto implica que los guaduales deben ser intervenidos en lapsos determinados, para regular el espacio vital de los individuos y favorecer la aparición de renuevos. Cuando un rodal de *G. angustifolia* no se aprovecha oportunamente, se puede presentar una densidad por hectárea que puede superar las 8000 cañas, con una proporción alta de cañas sobremaduras y secas (Giraldo, 2009).

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de estudio

El área de estudio la componen 10,5 hectáreas de *G. angustifolia* y 1,6 ha de *D. asper*, ambas propiedades de la empresa BAMBUTICO. Las plantaciones de *G. angustifolia* se encuentran ubicadas en la localidad de Río Claro, cantón de Golfito y tienen una edad aproximada de 8 años.

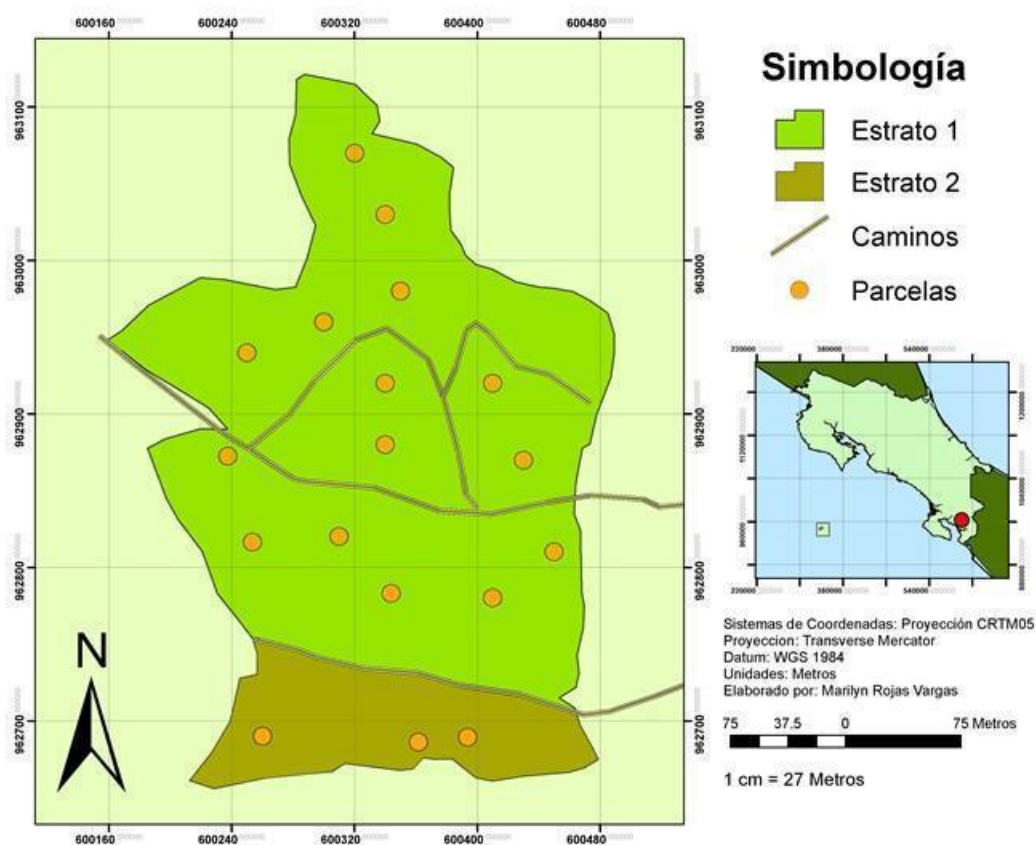


Figura 2. Ubicación de las plantaciones de *G. angustifolia*, Río Claro de Golfito, Región Brunca, Costa Rica.

Las plantaciones de *D. asper* se ubican en la zona de Savegre de Pérez Zeledón y poseen una edad de 20 años (Figura 2 y Figura 3 respectivamente).

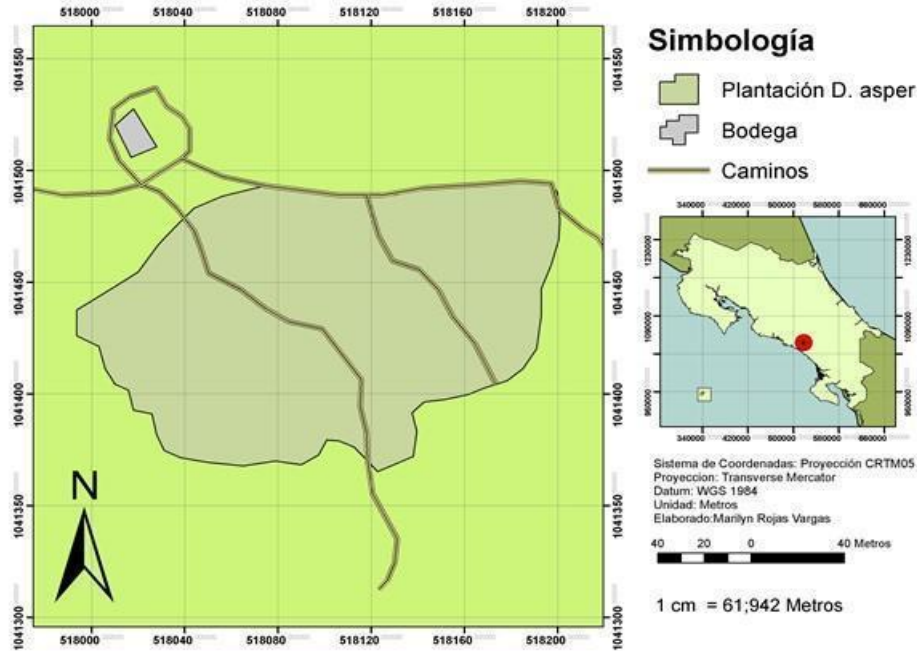


Figura 3. Ubicación de la plantación de *D. asper*, Savegre de Pérez Zeledón, Región Brunca, Costa Rica.

5.2 Diseño y ejecución del sistema muestreo

5.2.1 *Guadua angustifolia*

Se estableció un muestreo simple aleatorio con parcelas circulares de 100 m² y se midió la totalidad de las cañas. Para el cálculo de la unidad de muestreo se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \left(\frac{Z_{1/2}}{R} * CV \right)^2 / \left(1 + \frac{n}{N} \right)$$

(Ecuación 1)

$$n = \left(\frac{1,96}{0,18} * 0,40 \right)^2 / \left(1 + \frac{10,5}{1050} \right) = 18$$

Donde:

n: área del bloque (10,57 ha)

N: número potencial de unidades de muestreo que pueden ser seleccionadas

CV: coeficiente de variación sugerido para este sistema (33%)

R: Precisión deseada (18%)

Z: Nivel de confianza en $\alpha-1$ * nivel de confianza (95% de probabilidad)

5.2.2 *Dendrocalamus asper*

El muestreo se realizó mediante un procedimiento sistemático con inicio aleatorio, en una intensidad del 3% del total de cepas. Para ello se adaptó la metodología de árboles individuales propuesta por Murillo (1991). En este procedimiento de muestreo, la cepa es la unidad muestral. Si se asume que se evaluará un 3% del total de cepas, entonces, esto corresponde a que de manera sistemática, por cada 33 cepas se incluirá una en la muestra. La plantación se recorrió en forma de zigzag para proceder con el muestreo hasta completar toda la población. El punto de inicio de muestreo se determinó a partir de un número aleatorio. Se seleccionó esta metodología debido a que *D. asper* tiene un rizoma paquimorfo (cepas agrupadas).

5.3 Variables medidas dentro de las unidades de muestreo

En cada una de las unidades de muestreo se midieron las siguientes variables:

Número de cañas presentes en la unidad muestral con una altura total superior a 1,3 m.

Número de renuevos totales en la unidad de muestreo

Diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros, a 1,3 m.

Estado de desarrollo de la caña (Figura 4). Clasificado de la siguiente manera:

- Madura: la caña muestra manchas blancas de forma circular y presencia de musgo en los entrenudos. El color de la caña es de un verde opaco oscuro.
- Sazona: Posee un color verde oscuro, pero aún no evidencia la presencia de manchas blancas en la caña. En esta etapa ha perdido sus hojas caulinares.
- Renuevo: No presenta hojas ni ramas, aún mantiene hojas caulinares y puede alcanzar una altura superior a los 20 metros.



Figura 4. Clasificación de las cañas según su estado de desarrollo en plantaciones de bambú en Costa Rica.

Estados de madurez de cañas de bambú A) Renuevo; B) Sazón; C) Maduro; D) Muerto (Fonseca y Rojas 2016).

5.4 Determinación del volumen comercial y total en pie para cañas maduras

Con los datos obtenidos del muestreo, se generó una distribución diamétrica en clases de 2,5 cm considerando solamente las cañas maduras para recolectar la información requerida para la construcción de las tablas de volumen y despiece, así como para el ajuste del modelo de volumen. Para esto se cortaron un total de 63 cañas de *G. angustifolia* y 50 cañas de *D. asper* (Cuadro 1), seleccionadas determinando un número de individuos para cada clase diamétrica, proporcional a la abundancia encontrada en el muestreo para las mismas clases.

Las cañas se cubicaron cada 1,5 metros desde la base, se registró para cada sección el diámetro y el espesor de la pared interna, utilizando un pie de rey, en las cuatro direcciones cardinales (N, S, E, O). Cuando la medición coincidió con un nudo de la caña, se obtuvo el diámetro en la sección inmediata anterior al nudo (Figura 5).

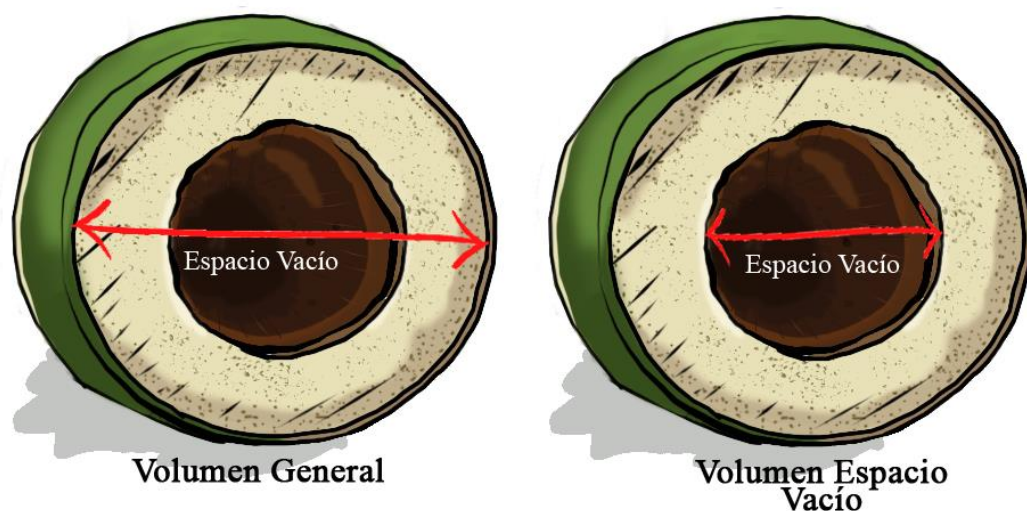


Figura 5. Representación de la estimación del volumen general y volumen de espacio vacío de la caña de bambú en plantaciones de la Región Brunca, Costa Rica

Para el cálculo del volumen comercial de cada caña, se cubió hasta un diámetro mínimo 7,5 cm, y para el volumen total hasta 2,4 cm aproximadamente. El tamaño para las piezas comerciales se definió en 6 m, esta es la medida más utilizada para comercializar bambú en Costa Rica.

Cuadro 1. Clases diamétricas y tamaño de muestra utilizado para la cubicación de cañas de bambú en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* en la Región Brunca, Costa Rica.

Especie	Clase DAP (cm)	Tamaño de la muestra (n)	DAP medio (cm)
<i>G. angustifolia</i>	3-7,4	1	6,0
	7,5-10	6	9,0
	10-12,4	13	11,4
	12,5-15	18	13,9
	Mayor a 15	12	16,3
	3-7,4	7	5,6
	7,5-10	21	8,5
	10-12,4	14	11,2
	12,5-15	18	13,7
	Mayor a 15	3	17,2

A las cañas cortadas se les midió en el suelo las siguientes variables:

- Longitud total: distancia (m) desde la base hasta el ápice.
- Longitud comercial: distancia (m) desde la base hasta donde el diámetro se reduce a 7,5 cm.
- Longitud de entrenudos: distancia de la sección comprendida entre un nudo y otro, se midió cada uno de los nudos hasta la punta de la caña, para esto se utilizó una cinta métrica.

El volumen de cada pieza se obtuvo restando el volumen del espacio vacío al volumen general. De esta manera se obtuvo tanto el volumen de la biomasa, como el volumen comercial (Figura 5).

Donde:

Volumen general: volumen del espacio vacío junto al del espesor de la pared.

Volumen del espacio vacío: volumen que no contempla el espesor de la pared.

$$Vol \left(\frac{m^3}{sección} \right) = \left(\frac{\pi}{4} * \frac{(D_1)^2 + (D_2)^2}{2} * L \right) - \left(\frac{\pi}{4} * \frac{(D_1)^2 + (D_2)^2}{2} * L \right)$$

(Ecuación 2)

Donde:

$Vol \left(\frac{m^3}{sección} \right)$: Volumen en m³ de la sección

D₁: diámetro menor (m)

D₂: diámetro mayor (m)

D₀₁: diámetro menor de espacio vacío (m)

D₀₂: diámetro mayor de espacio vacío (m)

L: longitud de la sección comercial (6 m)

Para la estimación del volumen total y comercial de la caña, se determinó el volumen de cada sección con base en Smalian, y se sumó el volumen de todas sus secciones (ecuación 3):

$$Vol \text{ Caña } (m^3) = \sum_{i=j}^{i=n} Vol \text{ sección} \quad \textbf{(Ecuación 3)}$$

Donde:

Vol Caña (m^3)= Volumen de la caña en m^3

j= número de secciones

Vol sección = volumen en m^3 de la sección

5.5 Productividad, crecimiento y distribución de estados de desarrollo de las plantaciones

5.5.1 Productividad

La productividad se definió como el volumen comercial por hectárea, para cada clase diamétrica. En cada caña cubicada, se realizó un despiece comercial para determinar el volumen por caña en cada clase diamétrica. Para el cálculo de la productividad se utilizó la siguiente ecuación:

Estimación de volumen por hectárea para *G. angustifolia*

$$Vol \left(\frac{m^3}{ha^{-1}} \right) = Pj * (10000/p)$$

(Ecuación 4)

Donde:

Vol $\left(\frac{m^3}{ha^{-1}} \right)$ = Volumen en m^3 por hectárea

Pj = Volumen comercial promedio por hectárea

p = Tamaño de la unidad de la unidad de muestreo o parcela de 100 m^2 .

Para determinar el volumen por hectárea para *D. asper*, se obtuvo el volumen de cada cepa, mediante la sumatoria del volumen comercial de las cañas maduras de cada cepa. Se obtuvo este volumen y se multiplicó por el número de cepas por hectárea:

Estimación de volumen por hectárea para *D. asper*

$$Vol \left(\frac{m^3}{ha^{-1}} \right) = Pj * N$$

(Ecuación 5)

Donde:

$Vol \left(\frac{m^3}{ha^{-1}} \right)$ = Volumen en m³ hectárea

Pj = Volumen promedio de la cepa

N = Número de cepas en la plantación

5.5.2 Crecimiento

El crecimiento en plantaciones de bambú se definió como la cantidad de renuevos que ingresan anualmente en una plantación. Para su estimación se utilizaron los datos del número de renuevos contados por unidad de muestreo, y se extrapolaron a hectárea haciendo uso de las ecuaciones 7 y 8.

Estimación de renuevos en *G. angustifolia*

$$Re \left(\frac{n}{ha^{-1}} \right) = Pr * (10000/p)$$

(Ecuación 6)

Donde:

$Re \left(\frac{n}{ha^{-1}} \right)$ = Número de renuevos por hectárea

Pr = Promedio de renuevos por unidad de muestreo

p = Tamaño de la parcela (100 m²)

Estimación de renuevos en *D. asper*

$$Re \left(\frac{n}{ha^{-1}} \right) = Pr * N$$

(Ecuación 7)

Donde:

$Re \left(\frac{n}{ha^{-1}} \right)$ = Número de renuevos por hectárea

Pr = Promedio de renuevos por cepa

N = Número total de cepas de la plantación

5.5.3 Distribución de estados de desarrollo (DED)

Se refiere a distribución de cañas por hectárea según su estado fisiológico. Para su determinación se utilizó los datos del conteo de cañas con su respectiva clasificación según su estado de desarrollo. Este cálculo se determinó mediante el porcentaje de individuos por hectárea de cada estado de desarrollo (ecuación 8).

$$DED \left(\frac{n}{ha^{-1}} \right) = \left(\frac{n-re}{n-total} \right) * 100$$

(Ecuación 8)

Donde:

$DED \left(\frac{n}{ha^{-1}} \right)$ = Porcentaje por hectárea de cañas para cada estado de desarrollo

n-re = Promedio del número de cañas por hectárea para cada estado de desarrollo

n-total = Promedio del número de cañas por hectárea

5.6 Construcción del modelo para la evaluación de la calidad de plantaciones en pie

Para la construcción del modelo de calidad se determinó inicialmente un grupo de variables (Cuadro 2), con base en la evaluación de un conjunto de cañas cortadas de ambas especies. Posteriormente, el modelo fue validado durante un muestreo más amplio de *G. angustifolia*, donde se verificaron todas las variables propuestas hasta determinar su pertinencia, o también, proponer nuevas variables a ser consideradas en el modelo.

Cuadro 2. Variables definidas para la construcción de un modelo para la evaluación de calidad en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* en la Región Brunca, Costa Rica.

DAP	Estado de desarrollo	Calidad del DAP	No de Piezas comerciales	Daño mecánico	Presencia de Espinas	Inclinación	Estado fitosanitario	Calidad de cada pieza	Calidad General
	Renuevo								
	Sazón	1 2 3	Cantidad	1 2	1 2	1 2	1 2 3	P1 P2 P3	1 2 3
	Madura								
	Sobremadura								
Puede incluirse otra variable que se considere pertinente.									

5.6.1 Calidad del diámetro basado en clases diamétricas

Una vez realizado el inventario de las plantaciones se realizó una propuesta de clases diamétricas. Estas se definieron a partir de los valores máximos y mínimos, se determinó el ámbito de los datos: Valor máximo - Valor mínimo. El ámbito se dividió en tres para determinar las clases con base en tres tercios, diámetro alto, medio y bajo. En el modelo se utilizó para categorizar la variable en las categorías 1, 2 y 3 respectivamente.

5.6.2 Número de piezas comerciales

El número de piezas comerciales por caña se determinó con base en la cubicación y la tabla de despiece, durante la determinación del volumen comercial y total en pie. De esta manera se determinó el número de piezas comerciales para uso en construcción, para cada clase diamétrica. El largo de las piezas comerciales se definió en 6 metros.

5.6.3 Daño mecánico

Se calificó de forma visual, la evaluación se realizó de la siguiente forma:

- 1 = cañas sin afectación visible que pueda disminuir su valor económico.
- 2 = cañas con alguna afectación visible originada por ingreso de ganado, heridas ocasionadas en el manejo de plantación, otros.

5.6.4 Presencia de espinas

Se calificó solamente en *G. angustifolia* (*D. asper* no presenta espinas)

1 Presencia de espinas

2 Ausencia de espinas



Figura 6. Presencia (A) y ausencia (B) de espinas en cañas de *G. angustifolia*, en la Región Brunca, Costa Rica.

5.6.5 Inclínación

Se determina visualmente el ángulo que forma la caña respecto al suelo. Esta variable se califica en la caña antes de ser cortada (Figura 7)

- 1 Recto
- 2 Inclínado

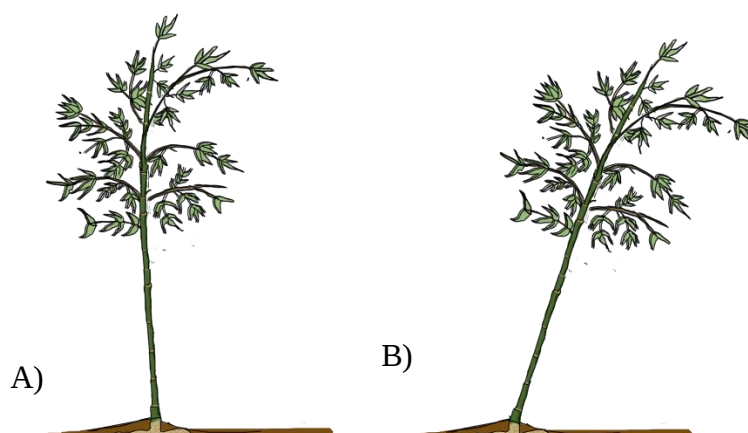


Figura 7. Evaluación de la inclinación de cañas de bambú plantaciones de *G. angustifolia*, en la Región Brunca, Costa Rica.

5.6.6 Estado fitosanitario

Se calificó si la caña presenta alguna lesión por enfermedad, que disminuya su valor económico:

- 1 = caña totalmente sana, no hay síntomas visibles de plaga o enfermedad.
- 2 = caña levemente enferma, con síntomas visibles de enfermedad o plaga. Más del 50% del follaje se presenta de coloración amarillenta o con perforaciones visibles en los primeros 6 m de la caña.

- 3= Caña severamente enferma, derribada o atacada por taltuza (*Orthogeomys grandis*). Presenta más del 75% del follaje amarillo o con perforaciones visibles en los primeros 6 metros de altura.

5.6.7 Número de nudos

Esta variable no había sido considerada inicialmente. Fue incluida durante los procesos de muestreo, donde se determinó su potencial para predecir la calidad de la caña para uso estructural. Se cuantificó el número total de nudos hasta una altura de 2 metros en una muestra importante de cañas. Se generó un ámbito entre el valor máximo – valor mínimo y luego, se dividió en tres para obtener las categorías bajo, medio y alto número de nudos (1, 2 y 3 respectivamente). Se partió de la premisa de que, a mayor cantidad de nudos las cañas son de mejor calidad para su uso en la (ISO, 2004).

5.6.8 Calidad general

El objetivo de esta variable fue darle una calificación final a la calidad de la caña, mediante la valoración de las demás variables. Se utilizan los siguientes criterios:

- 1 = Excelente: Se califica como 1 la caña que recibió un puntaje de 1 en todas las demás variables.
- 2 = Buena: Aquella caña que ha recibido al menos una calificación de “2” en alguna de las variables individuales.
- 3 = No comercial o de desecho: caña con limitaciones para su aprovechamiento comercial o uso estructural. Es aquella caña que ha recibido una calificación de “2 o 3” en alguna variable. Si una caña se califica como sobremadura, automáticamente ingresa a una categoría de calidad de 3.

5.6.9 Sobremadurez

En una plantación de bambú es muy común que existan cañas maduras con edades de 3,5 hasta 6 años. Cuando la caña inicia el proceso de degradación fisiológica su estado de madurez cambia y se conoce como “caña sobremadura”. La caña en este estado disminuye sus propiedades físicas y mecánicas, que limitan su uso para fines estructurales, esta variable se calificó de la siguiente manera:

1 = caña madura y puede ser aprovechada

2 = caña sobremadura, los hongos y líquenes comienzan a desaparecer del tallo, sustituidos por hongos de color rojizo. Es evidente la coloración amarillenta del tallo.

5.6.10 Validación del modelo de calidad

El modelo propuesto se utilizó en las plantaciones de *G. angustifolia* en la localidad de Río Claro, Golfito. Se utilizó en las 18 parcelas del inventario. Para esta validación se consideraron únicamente cañas con diámetros mayores a 7,5 cm.

Para cada una de las variables del modelo fueron evaluadas las siguientes condiciones para determinar su pertinencia:

- Facilidad y grado de certeza en su utilización (veracidad) en campo y poca ambigüedad a la hora de calificar la caña.
- Existencia de variación o ambigüedad en la calificación de la variable en la población de cañas. Es decir, son aquellas variables que generan duda, criterio diferente o subjetividad a la hora de calificar. existencia de diferencias entre individuos para cada variable (pertinencia de la variable).

5.6.11 Índice de calidad de la plantación (ICP)

El índice de calidad de la plantación es una herramienta para obtener el parámetro general de la calidad de la plantación y que posteriormente se utilice para realizar comparaciones con otras plantaciones de bambú a nivel nacional. La ecuación utilizada para el cálculo de este índice es la siguiente.

$$ICP = \frac{(N1 * 1 + N2 * 2 + N3 * 3)}{N1 + N2 + N3}$$

(Ecuación 9)

Donde:

ICP = Índice de calidad de la plantación

El índice de calidad de la plantación genera valores en un rango de 1 a 4, los valores más cercanos a 1 se considerarán plantaciones de mejor calidad.

5.7 Selección de modelos de regresión

Se generaron 5 modelos para determinar el volumen comercial y otros 5 para el volumen total de las cañas maduras, para cada especie, para un total de 20 modelos. De todos estos, se eligió el mejor modelo para estimar el volumen total y otro para estimar el volumen comercial para cada especie. Los modelos se ajustaron mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios con el programa estadístico R, donde se utilizó como única variable dependiente al diámetro a la altura del pecho (DAP), es decir, modelos de una entrada (FAO, 2012).

La ecuación de mejor ajuste se seleccionó con base en los siguientes criterios:

- Comprobación de los supuestos del análisis de regresión (normalidad de los residuos, y homogeneidad de varianzas)
- Valor del coeficiente de determinación (R^2).
- Coeficiente de sesgo (CS)
- Coeficiente de variación (CV)

El modelo seleccionado fue aquel con mejor distribución de residuos y con mejor puntaje en los indicadores R^2 , CV y CS. Adicionalmente, se graficó los valores estimados contra los observados, con el propósito de determinar si los modelos sobreestiman o subestiman la variable dependiente.

5.7.1 Validación de los modelos

Se separó de forma aleatoria una subpoblación con el 12% de las cañas cortadas por especie, con el fin de utilizarlas en la validación de los modelos. Con esta muestra se determinó el coeficiente de sesgo mediante el siguiente procedimiento:

$$S\% = \frac{\sum (y_{obs} - y_{est})}{\sum (y_{obs})} \times 100$$

(Ecuación 10)

Donde:

Yobs: variable dependiente "y" observada (DAP)

Yest: variable dependiente "y" estimada con el modelo

6. RESULTADOS

6.1 Evaluación de la productividad, crecimiento y distribución de estados de desarrollo en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper*

6.1.1 Productividad

En el Cuadro 3 se muestra la distribución del volumen total, volumen comercial, altura total y altura comercial por clase diamétrica para cada especie.

Cuadro 3. Variables e indicadores dasométricos para cañas cubicadas de *G. angustifolia* y *D. asper* en la Región Brunca, Costa Rica.

Especie	Clase diamétrica	DAP (cm)	Volumen (comercial) (m ³ / caña)	Volumen (total) (m ³ / caña)	Altura comercial (metros)	Altura total (metros)
<i>G. angustifolia</i>	7,5-9,9	8,5	0,0130	0,0211	4,4	15,1
	10-12,4	11,2	0,0296	0,0387	8,4	18,2
	12,5-14,9	13,7	0,0534	0,0600	12,4	19,8
	Mayor a 15	17,2	0,0682	0,0745	16	23,5
<i>D. asper</i>	7,5-9,9	9,0	0,0166	0,0281	4,9	14,9
	10-12,4	11,4	0,0387	0,0482	9,6	17
	12,5-14,9	13,9	0,0667	0,0754	14,7	22,6
	Mayor a 15	16,2	0,0944	0,1011	18,7	24,5

Para las plantaciones de *G. angustifolia* evaluadas se determinó que el volumen comercial fue de 14,5 m³/ha⁻¹ y 152,2 m³ para toda el área de plantación (1,6 ha). Se obtuvo un error de muestreo de 22,7 % (Cuadro 4). Un 60% del volumen comercial lo aportó la clase diamétrica de 7,5-10 cm mientras que el 40% se encuentra en diámetros mayores a 10.

Para la especie *D. asper* se estimó un total de 1,06 m³ de volumen comercial por cepa, para un total de 166,3 m³ para el total de las 156 cepas de la plantación. Un 64% del volumen comercial se encuentra concentrado en cañas con un diámetro entre 10 y 15 cm, mientras que el 36%

restante, en cañas con diámetro entre 7,5 y 15 cm. El diámetro máximo encontrado fue de 19,6 cm.

Cuadro 4. Parámetros estadísticos para la estimación del volumen comercial (m^3) por hectárea en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper*, Región Brunca, Costa Rica.

Estadístico	<i>G. angustifolia</i>		<i>D. asper</i>	
	Estrato 1	Estrato 2	Estadístico	
Promedio estratificado (m^3)		14,5	X	106,3
Área de estrato	8,49	2,08		
Tamaño de la muestra (n)	15	3	n	20
desviación estándar (σ)	6,6	11,4	σ	66,2
E% estratificado		22,7 %	Error	23,7 %

Todos los estadísticos se calcularon a un 95% de probabilidad.

6.1.2 Crecimiento

En el Cuadro 5 se presenta el error de muestreo para el inventario de renuevos. La altura de los renuevos en *G. angustifolia* osciló entre 0,17 m y 20 m, los diámetros entre 2,5 cm y 15 cm. Para la especie *D. asper* osciló entre 0,20 m y 23 m de altura y los diámetros entre 8,8 y 23,5 cm. A nivel general los renuevos presentan diámetros 2 cm superiores que las cañas maduras. Esto se debe a que en este estado de madurez las cañas se encuentran recubiertas por varias capas de hojas caulinares. No obstante, para fines de la presente evaluación del crecimiento se consideró solamente el número de renuevos.

Cuadro 5. Parámetros estadísticos para la estimación de la cantidad de renuevos por hectárea en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper*, Río Claro, Región Brunca, Costa Rica.

Estadístico	<i>G. angustifolia</i>	<i>D. asper</i>
Promedio (X)	709	858
Tamaño de la muestra (n)	18	20
Desviación estándar (σ)	355,7	527
Error de muestreo (%)	20	25,3

Todos los estadísticos se calcularon a un 95% de probabilidad.

6.1.3 Distribución de estados de desarrollo (DED)

En el Cuadro se 6 muestra los resultados del error de muestreo del inventario (para todos los estados de desarrollo).

Cuadro 6. Parámetros estadísticos para el conteo de número de cañas totales por hectárea en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper*, Río Claro, Región Brunca, Costa Rica.

Estadístico	<i>G. angustifolia</i>	<i>D. asper</i>
Promedio (X)	5101	4687
Tamaño de la muestra (n)	18	20
Desviación estándar (σ)	990	1498
Error de muestreo (%)	9,6	12,3

Todos los estadísticos se calcularon a un 95% de probabilidad

En el Cuadro 7 se muestra la distribución del número de cañas de las plantaciones para cada estado de madurez. Puede observarse que los renuevos y cañas juveniles representan poco más del 40% en ambas especies.

Cuadro 7. Distribución porcentual de cantidad de cañas por estado de desarrollo en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* en la Región Brunca, Costa Rica.

Estado de desarrollo	<i>G. angustifolia</i>			<i>D. asper</i>		
	Cañas por unidad de muestreo	Cañas por hectárea	Porcentaje (%)	Cañas por unidad de muestreo	Cañas por hectárea	Porcentaje (%)
Renuevo	7,1	711	13,9	6	858	20,1
Juvenil	16,3	1630	31,9	5,2	928	18,1
Maduro	17,2	1720	33,7	17,	2901	61,8
Muerto	10,4	1040	20,3	-	-	-
Total	51	5101	100		4687	100

6.2 Modelos para la evaluación de la calidad en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper*

A continuación, se muestra el uso e interpretación de cada una de las variables del modelo de calidad de la caña. Se revisa la forma de calificación y los resultados de su utilización.

6.2.1 Variables incluidas en el modelo

El modelo para la evaluación de la calidad fue construido con base en variables cualitativas y cuantitativas. Después de un proceso de utilización y validación en campo, se eligieron las siguientes 6 variables:

6.2.2 Categoría diamétrica y número asociado de piezas comerciales

En plantaciones de bambú la caña nace con el diámetro que tendrá toda la vida, independientemente de su estado de madurez. Por lo que el diámetro se considera una variable determinante en el valor comercial de una plantación. Cañas con diámetros mayores tendrán un mayor potencial de venta en el mercado y tendrán una mayor cantidad de piezas comerciales. Esta variable se califica como se indica el Cuadro 8.

Dado que se encontró una correlación positiva entre el DAP y el número de piezas comerciales, el número de piezas se determinará según se muestra en el Cuadro 8. En síntesis, cuando se aplica el modelo para la variable “piezas comerciales”, se debe anotar para cada caña evaluada la cantidad según lo indique su categoría diamétrica.

Cuadro 8. Calificación de la variable calidad del diámetro para cañas en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper*, Región Brunca, Costa Rica.

Especie	Rango de DAP	Calificación	Piezas comerciales
<i>G. angustifolia</i>	7,5 -7,9	3	0,5
	8 -10,4	2	1,5
	10,5 -15,1	1	2,5
<i>D. asper</i>	7,5 - 9,9	3	1
	8 -10,4	2	2
	10,5 -15,1	1	3

6.2.3 Presencia de espinas

De todas las cañas evaluadas en campo, solamente un 3% presentaron espinas en *G. angustifolia*. Mientras que en *D. asper* fisiológicamente el género *Dendocalamus* no posee espinas. Esta variable se califica de la siguiente manera:

- **1** = se califica con 1 la caña en la cual se nota que visiblemente se le aplicó la eliminación temprana de la espina, donde es posible observar la cicatriz de la espina.
- **2** = se califica con 2 la caña que se nota que no se le eliminó la espina

6.2.4 Estado fitosanitario

De las cañas evaluadas solamente un 5% presentó problemas fitosanitarios. La propuesta inicial para la evaluación de esta variable se probó en campo y no fue práctica su aplicación, por lo que se definió a siguiente evaluación para esta variable.

- **1** = caña totalmente sana, no hay síntomas de plagas o enfermedades
- **2** = caña que muestra más del 75% del follaje de color amarillo, perforaciones visibles en los primeros 6 metros de caña.

6.2.5 Cantidad de nudos

La cantidad o densidad de nudos es una variable que define la calidad de la caña. A mayor cantidad de nudos mejoran las propiedades estructurales de la caña, ya que todas las cargas o fuerzas que soportan una estructura de bambú actúan cerca de los nudos (ISO, 2004). Para determinar esta variable se contabilizó la cantidad de nudos en los primeros 2 metros de altura. En el Cuadro 9 se muestra el resultado de la categorización de esta variable.

Cuadro 9. Calificación de la caña según la cantidad de nudos en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* en la Región Brunca, Costa Rica.

Especie			
<i>G. angustifolia</i>		<i>D. asper</i>	
Cantidad de nudos	Calificación	Cantidad de nudos	Calificación
Menor 10	3	4 a 6	3
11 a 12	2	7 a 9	2
13 a 16	1	Mayor o igual a 10	1

6.2.6 Validación del modelo

El ICP de la plantación evaluada fue de 1,28. En el Cuadro 10 se presentan los estadísticos asociados a este valor. La proporción de cañas según la calidad obtenida fue de 83,0 %, 14,2 % y 2,2 % para las calidades 1, 2 y 3 respectivamente (Anexo 4).

Cuadro 10. Error de muestreo para el Índice de calidad general en plantaciones de *G. angustifolia* en la Región Brunca, Costa Rica.

Estadístico	<i>G. angustifolia</i>
Promedio (X)	1,28
Unidades muestrales (n)	18
Desviación estándar (σ)	0,33
Error de muestreo (%)	12,7

Todos los estadísticos se calcularon a un 95% de probabilidad.

6.2.7 Variables excluidas del modelo

Las siguientes variables fueron excluidas del modelo:

- **Daño mecánico:** Esta variable se excluyó debido a que del total de las cañas muestreadas, ninguna presentó daño mecánico. Por lo que se concluye que es poco probable que las cañas presenten estas características, al menos que bajo una condición especial se tenga ganado u otros animales dentro de la plantación.
- **Inclinación:** Esta variable se excluyó del modelo dado que no se encontró más de un 5% de cañas inclinadas y porque la condición de inclinación no influye en la calidad de la caña para la construcción.

6.3 Modelos para la estimación de volumen comercial y total

En el Cuadro 11 se muestran los modelos seleccionados para cada especie, tanto para volumen comercial como para volumen total de la caña. Todos los modelos seleccionados presentaron un R^2 superior a 86%, donde todos los parámetros fueron siempre significativos con $P < 0,05$.

Cuadro 11. Modelos de regresión para volumen comercial y total para plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* en la Región Brunca, Costa Rica.

Especie	Modelo	Estadísticos			
		n	R^2	CV%	CS%
<i>G. angustifolia</i>	$\text{Vol_com} = 0,0519 - 0,0174 X + 0,00186 X^2 + 0,000038 X^3$	50	86,8	19,5	8,8
	$\text{Vol_tot} = -0,00374 + 0,000248 X + 0,000387 X^2$	50	86,4	22,5	10,8
<i>D. asper</i>	$\text{Vol_com} = -0,049 + 0,0074 X - 0,0000137 X^2$	45	89,5	13,1	5,1
	$\text{Vol_tot} = 0,0159 - 0,00614 X + 0,00108 X^2 - 0,0000298 X^3$	45	89,8	15,9	4,5

Volumen total (vol_tot) y volumen comercial (vol_com) m³/caña; DAP (cm); R^2_{aj} = coeficiente de determinación ajustado; CV% = coeficiente de variación del modelo; n = tamaño de la muestra; CS: coeficiente de sesgo. Nota: todos los modelos tienen $P < 0,05$ y la prueba de bondad de ajuste fue significativa al 95%.

Los residuos de los modelos ajustados presentaron una distribución normal. En el proceso de validación en donde se utilizó el coeficiente de sesgo, la especie *D. asper* presentó mejores

coeficientes de sesgo que la especie *G. angustifolia*. La figura 8 muestra la representación gráfica de los modelos de regresión, así como los intervalos de confianza de cada uno de los modelos seleccionados.

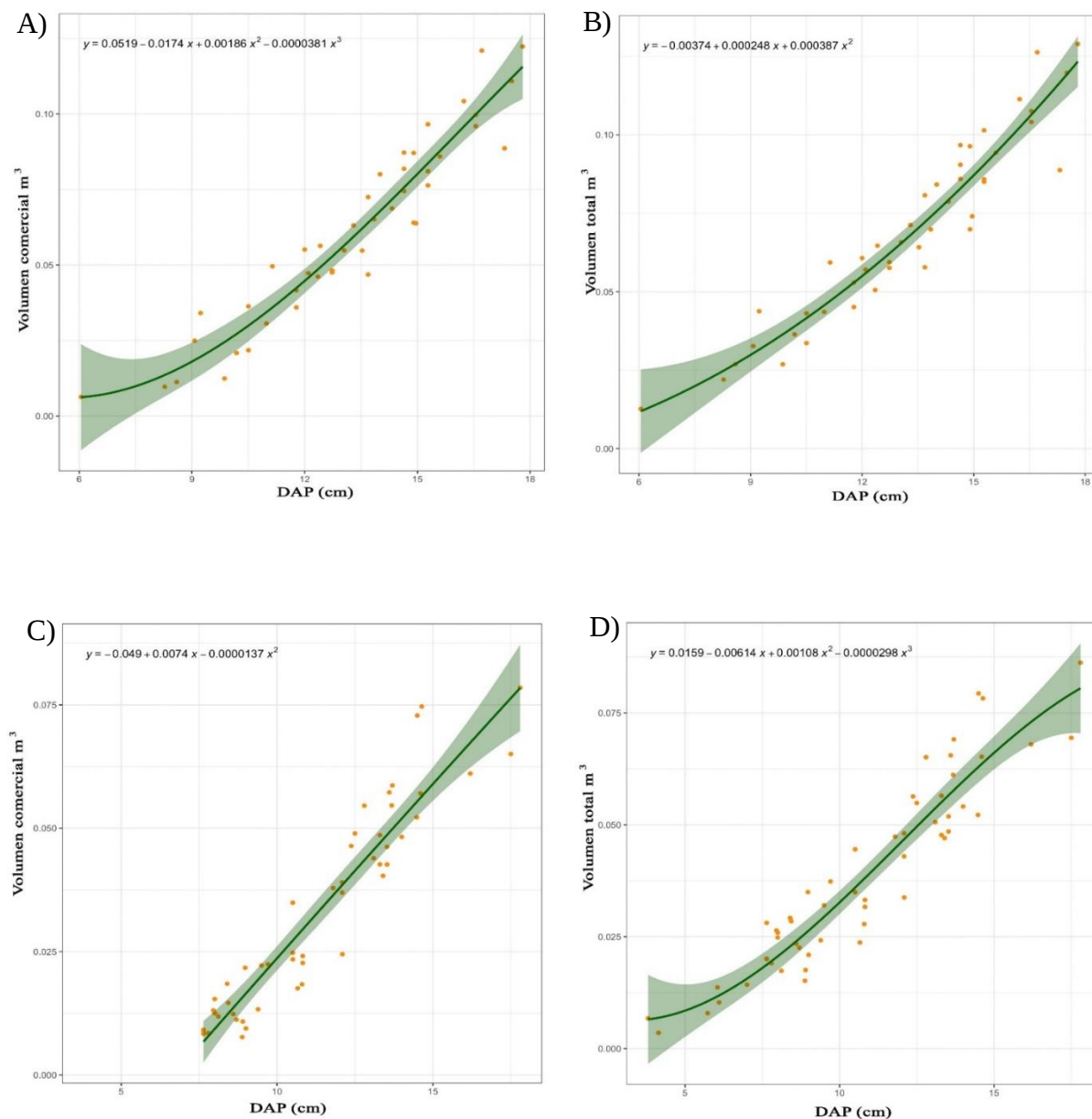


Figura 8. Modelos de regresión A) modelo para volumen comercial en m³ para *G. angustifolia*, B) modelo para volumen total en m³ para *G. angustifolia*, C) modelo para volumen comercial en m³ para *D. asper*, D) modelo para volumen total en m³ para *D. asper*, en la Región Brunca, Costa Rica.

En el Anexo 5 se presenta la comparación de los 5 mejores modelos para cada especie.

7. DISCUSIÓN

7.1 Productividad, rendimiento y distribución de estados de desarrollo en plantaciones de bambú

7.1.1 Productividad

Pocos estudios hasta la fecha detallan información sobre inventarios en plantaciones y tablas de volumen en bambú, en *D. asper* los estudios son aún más limitados. Comparado con los datos reportados por ICOTEC (2009) los resultados de este estudio estiman para *G. angustifolia* un 40% menos en volumen total por caña, en todas las clases diamétricas. Esta diferencia se puede atribuir a la altura total de las cañas, que es reportada con 2 m más en promedio a los estimados en este estudio. Con respecto a la estimación del volumen comercial, las diferencias en este estudio con relación a otros trabajos son de un 30% menos para ambas especies.

Uno de los principales resultados de esta investigación es el desarrollo de una tabla de despiece comercial de las cañas según su DAP. Esta información permite estimar el volumen comercial de la caña en función de sus potenciales usos. La tabla de despiece se realizó para los usos: construcción, mueblería y artesanía, por su mercado actual de usos y productos. Es necesario que estas tablas de despiece se continúen optimizando con la inclusión de nuevos usos y productos del mercado; cabe mencionar que hasta el momento no se encontró información comparable para estas especies.

El error de muestreo para la estimación del volumen comercial en las plantaciones comerciales de las dos especies, registró valores aceptables (MackDicken, 1997). En el caso de *G. angustifolia* se logró realizar una estratificación de la finca con el fin de reducir el error de muestreo a un 19,6%. Mientras que para la especie *D. asper*, no fue posible realizar estratificación de la finca, ya que la variabilidad estaba distribuida por todo el sitio, el error de muestreo no se logró reducir de un 25%. En *G. angustifolia* hay una tendencia clara de que el estrato dos presenta una mayor cantidad de volumen por unidad de área (Figura 2).

7.1.2 Crecimiento (ingreso de nuevos renuevos)

Como se ha mencionado el crecimiento en plantaciones de bambú se determina por la cantidad de renuevos que ingresan a la población cada año. Esto se explica porque el renuevo de bambú desde que emerge, no incrementa su diámetro, sino que continúa con ese diámetro durante toda su vida. A nivel conceptual, cuando se hace referencia a un bosque natural de bambú, a estos individuos o ingresos se les denomina como rebrotes. Mientras que en una plantación establecida se debe de utilizar el concepto de renuevo (Cruz, 2009). En las plantaciones de *G. angustifolia* se estimó 709 (± 143) renuevos por hectárea, con Mientras que en *D. asper*, se obtuvo 858 renuevos (± 197). Estos errores de muestreo se encuentran de un rango aceptable para inventarios en plantaciones de bambú, las cuales son naturalmente mucho más variables que plantaciones forestales de especies arbóreas (Camargo, 2012).

Otros estudios realizados en plantaciones de *G. angustifolia* en Costa Rica, reportan 488 y 474 renuevos/ha (Fonseca y Rojas 2016; Alegría, 2013) respectivamente. Ambos resultados fueron similares debido a que las plantaciones donde se realizaron los estudios, no se les extrajeron cañas desde hace más de 15 años. En otro inventario realizado por Arguedas (2015) se estimó un total de 987 renuevos/ha⁻¹, para pequeños bloques de plantaciones bajo manejo en la Región Brunca de Costa Rica. Estos datos se asemejan un poco más a los obtenidos en este estudio, debido a que tuvieron manejo y cosecha.

Basado en la evidencia registrada y comparada con otros estudios, podría decirse que existe una correlación positiva entre el efecto del manejo y cosecha con el nuevo ingreso de renuevos a la plantación. Entendiendo este como el número de renuevos que ingresan cada año. Lo anterior tendría concordancia con lo mencionado por Salas (2006), quien indica que el surgimiento de renuevos está estrechamente relacionado con las actividades de manejo. Donde aspectos como el aprovechamiento con índices de corta muy altos, o la nula ejecución de actividades de manejo y aprovechamiento, pueden incidir de manera negativa en el ingreso de renuevos, lo cual comprometería el sostenimiento de la productividad futura de la plantación.

Las comparaciones realizadas en Costa Rica entre plantaciones no manejadas y las evaluadas en este estudio, determinan un mayor crecimiento en términos de número de renuevos por

hectárea donde hubo buenas prácticas de manejo. De donde se puede inferir, que la disponibilidad de cañas a futuro será mayor. Por tanto, la cantidad de renuevos emergentes por año podría convertirse en un indicador de la dinámica de la plantación y su capacidad de perpetuidad o sostenibilidad. Esta información, complementada con otros datos como distribución diamétrica, distribución de estados de desarrollo, entre otros, podrían ser utilizados para estimar la productividad futura, los índices de corta adecuados y evaluar la respuesta a las actividades de manejo realizadas.

No obstante, para poder determinar de manera idónea la dinámica de crecimiento de la plantación, su sostenibilidad y capacidad de producción futura, los datos de crecimiento deben complementarse con el análisis de la distribución de estados de desarrollo (Cruz, 2009). De modo que se indique la abundancia de cañas para cada estado de desarrollo, información esencial para determinar si el crecimiento está en equilibrio. Cruz (2009) propone una distribución proporcional idónea para cada estado de desarrollo, que garanticen una producción sostenible en el tiempo.

7.1.3 Distribución de estados de desarrollo

En cuanto al balance en la distribución de la población en sus estados de desarrollo, ambas especies se encuentran en la categoría promedio, está se caracteriza por tener 50% de cañas maduras, 8% renuevos y jóvenes y 2% cañas muertas (Anexo 1). En el caso de *G. angustifolia* se reporta para las plantaciones inventariadas, una proporción alta de cañas muertas (20,3%), valor muy superior a lo recomendado (Cruz, 2009). Quien hace mención de un valor de un 5% como recomendado o aceptable. Este resultado influyó en la clasificación de esta plantación como categoría promedio, a pesar de que existe un balance casi óptimo de las cañas sazonas (31,9%) y maduras (33,7%). Sin embargo, esta proporcionalidad podría a la vez estar influyendo en la baja proporción de renuevos (13,9%). Para el caso de *D. asper* no se encontraron cañas muertas, debido a que son extraídas constantemente. Por lo que la clasificación se basó como aspecto determinante, en la alta concentración de cañas maduras (61,8%).

A pesar de esta situación presentada en *D. asper*, las cepas registraron una cantidad de renuevos importante (20,1%), indicador de que a pesar de estar subutilizadas, el manejo que han tenido

permite la aparición constante de renuevos. Estos resultados indican un crecimiento cercano a lo adecuado. Debe mencionarse que, este es el único inventario reportado para la especie en Costa Rica. El balance de cañas en una plantación de bambú es determinante para asegurar su sostenibilidad en producción en el tiempo. Una condición ideal es que no existan cañas secas o muertas, que impiden la emergencia de renuevos. Para las plantaciones inventariadas, más del 95% de las cañas secas no superaron los 7 cm de diámetro, con lo cual, no representan ningún valor comercial.

Los inventarios realizados en Costa Rica por Alegría (2013), Fonseca y Rojas (2016) y Arguedas (2015), califican a las plantaciones como deficientes dado que registran más de un 20% de cañas secas. Mientras que el porcentaje de cañas maduras en todos los casos, superó el 45% y las zonas < 20%. Estos resultados explican el menor crecimiento en estas plantaciones en comparación con lo encontrado en el presente estudio, lo que ratifica el principio del buen manejo para asegurar la producción sostenible en una plantación de bambú.

El conteo general de cañas presentó errores de muestreo bajos para las dos especies, que permiten obtener resultados precisos y confiables. Para *G. angustifolia* se determinó un total de 5 101 cañas/ha⁻¹ con un error de muestreo de 9,6%. Estos datos son 18% inferiores a las 6 284 cañas/ha reportadas por Camargo *et al.*, (2007). En Costa Rica, Alegría (2013) encontró 7 380 cañas/ha⁻¹ y Fonseca y Rojas (2016) 6 471 cañas/ha. Arguedas (2015) estimó 9 696 cañas/ha, como el registro más alto de todos los reportados. Puede por tanto observarse, que el procedimiento riguroso de muestreo seguido en este estudio, pudo ser la causa que explique la obtención del menor registro de todos los reportados.

7.2 Modelos para la evaluación de la calidad en plantaciones de bambú

El presente estudio tomó como base, los trabajos de Murillo y Badilla (2004) para generar un modelo de calidad de la plantación, dada su similitud en aspectos metodológicos con los objetivos de este estudio. Para su realización se trató de adaptar algunos de los conceptos aplicados con éxito en plantaciones forestales. Sin embargo, las plantaciones de bambú

presentan características diferentes y fue necesario, luego de la verificación en campo, la propuesta de nuevos criterios e indicadores.

Los conceptos y criterios de cómo evaluar la calidad de la plantación en Costa Rica se originaron a finales de los años 80 (Murillo y Badilla, 2004), para posteriormente ser descritos y empleados por Murillo (1991). Actualmente estos conceptos son ampliamente utilizados en el sector forestal en Costa Rica. Según el autor la calidad de la plantación forestal es el resultado de dos grandes causas: 1) la calidad del manejo y 2) la calidad genética del material original. La evaluación correcta de la calidad puede además brindar información sobre actividades como: calidad de la siembra, calidad del mantenimiento y calidad de las podas y raleos (Murillo y Badilla 2016)

Camargo *et al.* (2007) han realizado esfuerzos por definir y describir las variables que influyen en la calidad de plantaciones de bambú, principalmente de la especie *G. angustifolia*. Los autores mencionan que existen 14 variables de las cuales finalmente definen 9, como las principales para valorar la calidad de las cañas para uso en construcción. Entre ellas destacan el diámetro, humedad (%), rectitud, distancia de entrenudos (relacionada al número de nudos), espesor de pared y resistencia a la compresión.

Estas variables se relacionan principalmente, con la calidad del sitio y la calidad asociada a los diferentes mercados. No obstante, a diferencia de las variables definidas en el presente estudio, estas variables en su mayoría requieren de aplicación de métodos destructivos; y en algunos casos, análisis de laboratorio. Por lo que no cumplen con la condición planteada de poderse realizar en campo. En este estudio se propuso revisar si los criterios son variables de fácil medición y aplicables en el manejo de plantaciones. Por lo cual solo las variables de calidad del DAP y número de nudos, coinciden con las definidas por Camargo *et al.* (2007).

Las variables elegidas en esta investigación son de rápida medición, de baja o nula subjetividad (variables categóricas), y fueron propuestas de manera que su análisis permita directamente determinar la calidad del manejo y la productividad del rodal. Entre las variables elegidas y validadas hay cualitativas y cuantitativas (Figura 9). Al final todas se combinan para poder obtener el Índice de Calidad de la Plantación (IPC).



Figura 9. Modelo de calidad para plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* en la Región Brunca, Costa Rica.

La variable calidad del DAP está altamente relacionada con los distanciamientos iniciales de siembra y fertilización adecuada. Según Cruz (2009), a mayor distanciamiento de siembra y uso de un programa adecuado de fertilización (manejo), las cañas tienden a crecer con un mayor diámetro. Por tanto, son cañas de mejor diámetro y mayor cantidad de piezas comerciales para uso en construcción. Este aspecto resulta determinante, ya que cañas de mayor diámetro poseen mayores posibilidades de comercialización y alto potencial de industrialización (Cruz, 2009).

Las variables calidad de DAP, cantidad de piezas comerciales por caña, junto con el número de nudos en los primeros metros de altura, son importantes indicadores de la calidad del sitio. Con base en estos criterios se puede decir, que este grupo de variables efectivamente son la expresión de la calidad del manejo, la calidad del sitio y la calidad genética, este último aspecto mayormente expresado en la cantidad de nudos.

Las variables estado fitosanitario, presencia de espinas y sobremadurez, son indicadores de la calidad del manejo de la plantación. La sobremadurez es una variable determinante en las características deseables para comercializar la caña. Según Salas (2006), al alcanzar cerca de los seis años de vida, se inicia el proceso de degradación y pérdida de la actividad fisiológica de

la caña. En este proceso se pierde hasta el 80% de la resistencia y capacidad estructural, con lo que se reduce su uso comercial a carbón o leña.

La presencia de espinas es una variable válida únicamente para *G. angustifolia*, que resulta determinante en la calidad de la caña. Su expresión está directamente relacionada con buenas prácticas de manejo del bambú. Según Villanueva *et al.* (2014) un adecuado manejo de espinas en la plantación facilita hasta en un 30% las actividades de monitoreo, corta, traslado y movilización en la plantación. Que se refleja en el rendimiento de las actividades y el costo asociado. Capera y Erazo (2012) indican que el manejo de espinas mejora las cualidades físicas de los productos a comercializar. Por tanto, el manejo de la espina es un criterio indispensable en una metodología de evaluación de la calidad de la plantación de bambú.

La principal causa de presencia de plagas o enfermedades, está asociada con malas prácticas de manejo y aprovechamiento. Por ejemplo, cortes mal realizados que provocan encharcamiento en el rizoma, que posteriormente ocasionan su pudrición y proliferación de hongos. Según Briceño (2017) la falta de raleo o raleos con índices de corta muy altos, son también aspectos que pueden generar plagas y enfermedades que afecten al rizoma. Aspecto determinante ya que del rizoma depende la generación de renuevos de cañas. El daño en la caña joven por actividades de aprovechamiento, es otro de los aspectos que pueden repercutir en el estado fitosanitario de la plantación. Por tanto, puede asegurarse que la variable estado fitosanitario, refleja la calidad de las actividades de aprovechamiento y el manejo en general, que directamente impactan la calidad de la plantación.

El índice de calidad de la plantación es una manera rápida de generar un indicador, o una calificación de la calidad general de la plantación. Este índice podría ser empleado para registrar la calidad de plantación, bajo un paquete tecnológico promedio. Su principal ventaja es la utilidad para comparar objetivamente entre plantaciones en una misma región, o también, obtener un valor regional. Esta información podría ser utilizada luego para la asignación de incentivos forestales en función de la calidad y proyecciones de la productividad, lo que permitiría que los productores se incentiven a darle el mejor manejo posible a su plantación.

7.3 Modelos de regresión

Existe en la literatura muy pocos modelos de regresión para estimar volumen en plantaciones de *G. angustifolia* y, del todo ausentes para *D. asper* (Camargo 2006, Reid *et al.*, 2004). Los modelos de regresión de volumen facilitan el proceso para la estimación del volumen por unidad de área. En general, los modelos generados presentan buenos ajustes (R^2 aj superior al 89%, con un $P < 0,05$) para el volumen comercial y total. Estos modelos son de fácil utilidad, ya que relacionan el volumen con el diámetro, que es una variable fácil de medir en campo. Al ser la única variable dependiente en el modelo de regresión, se facilita su utilización. Además es una variable que siempre se registra en inventarios de bambú con fines de aprovechamiento. En otros estudios Fonseca y Rojas (2016) utilizaron como variable independiente el área basal y Cruz (2009) propuso el uso del diámetro y la altura total de la caña.

El coeficiente de sesgo para los dos modelos fue menor en *D. asper*, lo que sugiere que en esta especie los modelos tienen mayor capacidad de predicción. No se encontró en la literatura modelos de regresión para bambú en los cuales se estime la capacidad de predicción del modelo, con una base de datos independiente a la cual fue construido. Sin embargo, Camargo y Kleinn (2010) ajustó modelos de volumen para *G. angustifolia* en rodales naturales, donde para evaluar el sesgo, llevó a cabo una validación cruzada, estimando los coeficientes de regresión de un subconjunto aleatorio de los datos.

Torezan y Silveira (2000) obtuvieron un R^2 de 0,76 para predicción de la biomasa en plantaciones de bambú de *G. weberbaueri*. Castañeda *et.al.* (2005) reportaron un R^2 de 0,95 para plantaciones de *Bambusa oldhamii*. Mientras que en Costa Rica Fonseca y Rojas (2016) obtuvieron un R^2 de 0,796 y 0,815 para estimaciones de biomasa y carbono respectivamente, con *G. angustifolia* y *Dendrocalamus latiflorus*. A pesar de que estos autores no utilizaron el volumen como variable independiente, los ajustes son similares a los obtenidos en este estudio.

En cuanto al tamaño de muestra para generar los modelos, Segura y Andrade (2008) recomiendan construir modelos de volumen, biomasa o carbono para especies leñosas perennes, con una muestra de al menos 30 individuos. En este estudio se utilizó una muestra de alrededor de 50 cañas, lo cual supera este criterio. Además de la cantidad de datos, es importante que la

muestra provenga de todas las categorías diamétricas, como en este estudio, con lo que se logró representar toda la amplitud diamétrica reportada para ambas especies en Costa Rica.

Uno de los principales aportes de estos resultados fue la precisión con la que se determinó el volumen en cada una de las cañas muestreadas. En cada uno de los cortes de la caña se midió el grosor de pared, lo que brinda más precisión en los datos. Además de ser los primeros modelos de volumen ajustados para ambas especies en Costa Rica.

8. CONCLUSIONES

El error estándar en la estimación del volumen comercial para las dos especies, registró valores aceptables dentro de los parámetros utilizados dentro del sector forestal.

La calidad de la plantación se ve influenciada significativamente por la forma en que se distribuyen los estados vegetativos de las cañas, lo cual está directamente relacionado con la producción de nuevos renuevos anualmente.

El índice de calidad de la plantación permite realizar comparaciones a nivel regional y concluir en tres aspectos: manejo de la plantación, calidad de sitio y calidad genética.

El diámetro normal predice eficientemente el volumen comercial y total para las dos especies. Se corrobora que las ecuaciones ajustadas son una herramienta fundamental para estimar el volumen, así como, determinar el potencial productivo para proyectos que utilicen estas especies de bambú.

Los modelos elegidos, además de su sencillez y practicidad por usar solo el diámetro con variable independiente, presentaron muy buena bondad de ajuste y de precisión, y los convierte en una herramienta adecuada y confiable para estimar los valores de volumen en plantaciones *G. angustifolia* y *D. asper*

El uso del DAP como variable independiente es una ventaja importante, debido a su fácil y rápida medición en campo, bajo costo de medición, y excelente relación con la predicción del volumen comercial o total.

9. RECOMENDACIONES

Los datos de este estudio demuestran que es necesario realizar una extracción constante y sostenible de cañas maduras en plantaciones de bambú y el monitoreo del ingreso de renuevos anualmente.

Es necesario profundizar en realizar ensayos de manejo de densidad en plantaciones de *G. angustifolia* y *D. asper* con el objetivo de la creación de parámetros para la evaluación de plantaciones a nivel nacional.

Es necesario incluir la evaluación de la calidad de plantaciones de bambú dentro del sector emergente en Costa Rica, tanto para el estado como para el productor. Esta propuesta es un primer paso para iniciar esta línea de acción, no obstante es necesario profundizar con investigación en este tema y procurar vincularlo con metodologías con sistemas de información geográfica y software especializado.

Se recomienda para futuros estudios ampliar el número de cañas para el ajuste de modelos de regresión y distribuir la muestra en diferentes regiones del país.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J., Ramírez, B., Cadena, J., Juárez, J., Caso, L., Martínez, D. (2018). Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. *Biología Tropical*, 66(4), 1701-1706.
- Alegría, A. (2013). Manejo sostenible del recurso *Guadua angustifolia* en Costa Rica y su potencial para la mitigación del cambio climático. Estudio de caso: Plantación de *Guadua angustifolia* variedad Atlántica en la Estación Experimental Los Diamantes, Guápiles [Tesis de maestría]. Recuperado de repositoriotec.tec.ac.cr.
- Arango, A.M.(2011). Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático. Caso eje cafetero Colombiano. [Tesis de grado]. Facultad de ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. 113 p.
- Arguedas, A. (2015). *Guadua angustifolia* Kunth: opción de diversificación productiva para productores en la Península de Osa, Costa Rica (Tesis de licenciatura). Recuperado de repositoriotec.tec.ac.cr.
- Bali, F., Araque, O., Jaimez, R. (2016). *Growth and ecophysiological response in juvenile clones of Guadua (Guaduinae: Bambusoideae) cultivated in an altered lowland tropical region*. PHOTOSYNTHETICA 54.
- Becker, M., (2004). *Bamboo markets in western Europe: perspectives for guadua products*. Pp 320–330 in *Proceedings of the International Guadua Symposium 2004*. 27 September–2 October 2004, Pereira.
- Belcher B., Schreckenber K. (2007) *Commercialization of non-timber forest products: a reality check*. *Dev Policy Rev* 25:355–377 ORIGINAL PAPER
- Bonilla, J. (2020, 8 de setiembre). *Curso virtual Construcción con bambú* [Simposio internacional del bambú en Costa Rica]
- Briseño, E., Villalobos M., Vargas, L. (2017). *Desarrollo de un modelo de producción de bambú guadua mediante la aplicación de técnicas silviculturales para la cuantificación del crecimiento y la capacidad de almacenamiento de carbono en plantaciones (Guadua angustifolia) en la zona sur de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica. Informe Técnico final
- Castañeda A., Vargas, J., Gómez, A., Valdez, J., Vaquera, H. (2005) Acumulación de Carbono en la Biomasa de una plantación de *Bambusa oldhamii*. *Agrociencia*. 39, 107-116.
- Camargo, J. (2006) *Growth and productivity of the bamboo species Guadua ngustifolia Kunth in the coffee region of Colombia*. [PhD thesis]. Go'ttingen, Universitat. Cuvillier Verlag, Gottingen, Germany, p 205.

- Camargo, J. (2012). *The guadua bamboo forests in the Coffee region of Colombia: beyond of carbon sequestration. In Congreso Mundial de Bambu*. Bogotá, Colombia. 10 al 15 de abril de 2012.
- Camargo, J., García, J., Morales, T. (2007). Bases para la planificación y manejo silvicultural de bosques de guadua: una aplicación a nivel de finca en la zona cafetera de Colombia. Pereira, Colombia Universidad Tecnológica de Pereira, Colciencias, Grupo en Gestión de Agroecosistemas Tropicales. *Andinos*. 86
- Camargo, J., Dossman, M. (2007). *Zonificación detallada del recurso guadua en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca Colombia*. Pereira Colombia.
- Camargo, J., Forti, L., López, J., Matos, C. (2008). Growth of populations and fungus gardens of *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera, Formicidae) Response to Foraged Substrates. *Sociobiology* 52: 1-11.
- Camargo, J., Kleinn, C. (2010). Length curves and volume functions for guadua bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) for the coffee region of Colombia. *Eur J Forest Res* 129:1213–1222
- Chacon, N. (2019). *Análisis de la dinámica productiva, comercial y de políticas públicas del sector forestal de Chile y Costa Rica y su impacto en la competitividad*. Heredia, Costa Rica. [Grado de Licenciatura, Escuela de Ciencias Ambientales Universidad Nacional] Recopilado. <https://repositorio.una.ac.cr/>
- Changtham, N. y Sharma, V. (2017). *Therapeutic Potential of Bamboo Shoots against Cancer: An Overview*. India.
- Chaowana, P. (2013). Bamboo: An Alternative Raw Material for Wood and Wood-Based Composites. *Journal of Materials Science Research* 2 (2) 90-102.
- Capera, A., y Erazo, W. (2012). Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila [proyecto de grado Universidad Sur Colombiana] Neiva, Colombia
- Cruz, H. (2009). Bambu-Guadua *Guadua angustifolia* Kunth: bosques naturales en Colombia; plantaciones comerciales en Mexico. Pereira, Colombia. 690 p.
- Darabant, A., Rai, P., Staudhammer, CL., Dorji, T. (2016). Environmental Management (2016) Designing and Evaluating Bamboo Harvesting Methods for Local Needs: Integrating Local *Ecological Knowledge and Science* 58:312–322.
- Deras, J. (2003). *Análisis de la Cadena Productiva del Bambú en Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica [Grado de *Magister Scientiae* en Socioeconomía Ambiental]

- FAO. 2012. Resumen de la manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. Roma, Italia: FAO.
- FAO. (2020). *Sistemas alimentarios y COVID-19 en América Latina y el Caribe: El rol de las medidas de protección social*. FAO.
- Fallas, L. (2016, 28 de abril). Programa Nacional de Bambú. (M. R. Vargas, Entrevistador (M. R. Vargas, Entrevistador).
- Fonseca, W. y Rojas, M. (2016). Acumulación y predicción de biomasa y carbono en plantaciones de bambú en Costa Rica. *Ambiente y Desarrollo*, 20 (38), 85-98.
<http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-38.apbdoi>: 10.11144/Javeriana.ayd20-38.apbc
- García J., Camargo J. (2004). *Memoria del simposio Internacional de Bambú y la Guadua Satisfacción de las necesidades de Calidad de los mercados de Guadua angustifolia en el eje de colombia*. Prereira. Colombia. 53-59
- Gadow, K. (2003). *Waldstruktur and Wachstum. Beilage zur. Vorlesung im Wintersemester 2003-2004*. Universitätsdrucke Göttingen. 241 p.
- Giraldo, E. (2009). *Bienes Y Servicios Ambientales De La Guadua En Colombia (Guadua angustifolia Kunth)*. Disponible en: http://www.sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/bienes_y_servicios_guadua.pdf
- Held, C. (2005). *Promotion of innovations in forest based small and medium size enterprises of developing countries. An Actor-oriented analysis of the Colombian bamboo sector*. Zugl.Freiburg, Uni, 2004. 223p.
- Higalzo, O. (2003). *Bamboo, the gift of the gods*. Ed. Hidalgo O. Bogotá Colombia. 553 p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2009). *Norma Técnica: Inventario para Rodales de para aprovechamientos con fines comerciales*. Bogotá, CO.: INCOTEC.
- Instituto Mundial del Bambú y el Ratán (INBAR). (2011). *El bambú: un recurso estratégico para que los países reduzcan los efectos del cambio Climático*.
- Instituto Mundial del Bambú y el Ratán (INBAR). (2020). *Resumen anual*. Quito, Ecuador.
- Ito, Y., Akao, Y., Shimazawa, M., Seki, N., Nozawa, Y., Hara, H. (2007). Lig-8 a Highly bioactive lignophenol derivate from bamboo lignin, exhibits multifaceted neuroprotective activity. *CNS DRUGS REVIEWS*. Vol 13(3), 296-307.
- ISO. 2004. *Bamboo - Structural Design*. Geneva: ISO.

- Kleinn C., Morales D. (2006) An inventory of *Guadua* (*Guadua angustifolia*) bamboo in the coffee region of Colombia. *Eur J For Res* 125(4): 361–368.
- Londoño, X. (2001) La guadua: un bambú importante de América. *Procana* 56:10–14.
- Londoño, X.(2011). Editorial. (En línea). Recursos Naturales y Ambiente: *Revista Ambiental*. 61: 4-5. Consultado el 22 de Julio 2015. Disponible en http://www.academia.edu/4583809/1_RRNA_61_Master .
- Londoño, X., Camayo, G., Riano, N., López Y. (2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. *Bamboo Sci Cult The J Am. Bamboo Soc* 16(1):18–31
- MacDicken K. (1997). *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest carbon Monitoring Program*. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI). Recopilado <http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html>
- Mercedes, J. (2006). *Guía técnica Cultivo del bambú. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal*, Inc. CEDAF. Santo Domingo, República Dominicana. 38 p.
- Montiel, M.(2006). Ultrastructural anatomical characterization of the “Atlantic”, “South” and “Onion” varieties of the bamboo, *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae), in Costa Rica. *Biología tropical International Journal of Tropical Biology and conservation*, vol 54(2), 1-12
- Morales, H., Deras, J., Stoian, D. (2003). *La cadena productiva del bambú en Costa Rica Potencial de desarrollo de un recurso subutilizado en América Latina. Recursos Naturales y Ambiente*. Recursos Naturales y Ambiente. 127-136.
- Muniappan, M., Sundararaj, R. (2003) Actividades antiinflamatorias y antiulcerosas de *Bambusa arundinacea*. *Revista de Etnofarmacología*. vol. (88) ,161-167.
- Murillo, O. (1991). Metodología para el control de la calidad en plantaciones forestales. *Tecnología en Marcha* 11(1): 19-30.
- Murillo, O; Badilla, Y. (2004). *Calidad y valoración de plantaciones forestales. Manual*. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 51 p.
- Murillo, O; Badilla, Y. (2016). Calidad de la plantación forestal. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 88 p.
- OMS. (2020). *Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus*. OMS.
- ONU. (2020). *Policy Brief: The Impact of COVID-19 on Food Security and Nutrition*. ONU.

- Ospina, R. (2002). Factores que determinan las características florísticas y estructurales de los gametos denominados por *Guadua angustifolia* el en eje cafetalero colombiano y su relación con el aprovechamiento de Guadua. Turrialba, Costa Rica. [Tesis Magister Scientiae de ciencias agrícolas y recursos naturales del Centro agronómico Tropical de investigación y enseñanzas(CATIE)]. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/>
- Paucar, R. (2020, 15 de octubre), *Implementación del cultivo de bambú en la innovación social*. [Simposio Internacional del bambú]
<https://www.facebook.com/sibambucr/videos/4530429080360873>
- Park, E.J., y Jhon, D. (July–August de 2009). Effects of bamboo shoot consumption on lipid profiles and bowel function in healthy young women. *ScienceDirect*, 25, 723-728.
- PNUD. (2020). *Evaluación económica inicial de los efectos COVID-19 y el alcance las opciones de política en Costa Rica*. San José.
- Poppens R., Morán J.(2005).*Living with the Guadua: A Construction Manual*. – 1st Edition. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Librería Científica. Guayaquil, Ecuador.
- Promotora de Comercio Exterior. (2019). *Evaluación de opciones de valor agregado para rambután y bambú*. San José, C.R.: PROCOMER.
- Reid, S., Díaz, I., Armesto, J., Willson. M,. (2004). *Importance of native bamboo for understory birds in Chilean temperate forest*. *Auk* 121(2):515–525.
- Riaño, N., Londoño, X., López, Y., Gómez, J. (2002). Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca – Colombia. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 16(1): 43-51
- Rodríguez, A. (2008). El Bambú como material estructural: análisis de un caso práctico, Colombia. Disponible en <http://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/1128>.
- Rojas, R. (2009). *Estimación Del Potencial De Almacenamiento de Carbono de la Guadua angustifolia En Parque Nacional Carrasco, del Departamento de Cochabamba*. [Proyecto de grado Universidad Nuestra Señora de la Paz. Facultad de Ingeniería. Carrera: Ingeniería Ambiental] . Bolivia. 89 p.
- Salas, E. (2006). *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia*. (U. P. Cataluña, Ed.) Barcelona.
- Segura, M., Andrade, H. (2008). ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. *Agroforestería en las Américas* 46: 89-96.

- Sunderlin WD, Dewi S, Puntodewo A, Muller D, Angelsen A, Epprecht M (2008) Why forests are important for global poverty alleviation: a spatial explanation. *Ecol Soc* 13:24.
- Torezan, M. y Silveira, M. (2000). The biomass of bamboo (*Guadua weberbaueri*) in open forest of the southwestern amazon. *Ecotrópica*, (6), 71-76.
- UNESCO. (2020, 20 de mayo). *Saneamiento, gestión y gobernanza del agua durante y post COVID-19*. Obtenido de <https://es.unesco.org/news/saneamiento-gestion-y-gobernanza-del-agua-durante-y-post-covid-19>
- Universidad Nacional. (2019). *I Simposio Internacional del Bambú en Costa Rica, Heredia*,
- Villanueva, F., Panayfo, J., Mendez, A. (2014) Experiencias sobre la Silvicultura y uso de los Bambues. *Xilema*, (27), 17-23.
- Youming, X. Peiying, H. (2004). *Cambio dinámico de la estructura anatómica y química de los brotes de bambú para la pubescencia de Phyllostachys en la etapa de desarrollo*. Wuhan, República Popular de China. Recopilado https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotals-DBLY200804004.htm
- Zhang, Q., Jiang, S., Tang, Y. (2002). *Industrial utilization on bamboo: Technical report No. 26*. The International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), People's Republic of China.

11. ANEXOS

Anexo 1. Plantación de *G. angustifolia* (izquierda) y *D. asper* (derecha) en el Región Brunca de Costa Rica.



Anexo 2. Volumen en las parcelas de muestreo de *G. angustifolia* y *D. asper*, Región Brunca, Costa Rica.

<i>G. angustifolia</i>			<i>D. asper</i>	
Parcela	Volumen (m ³ / parcela)	Volumen (m ³ /ha ⁻¹)	Cepa	Volumen (m ³ / ha ⁻¹)
1	0,2572	25,7	1	156
2	0,0778	7,8	2	312
3	0,0519	5,2	3	468
4	0,4276	42,8	4	624
5	0,2603	26,0	5	780
6	0,1426	14,3	6	936
7	0,1297	13,0	7	1092
8	0,0685	6,8	8	1248
9	0,0908	9,1	9	1404
10	0,0648	6,5	10	1560
11	0,0130	1,3	11	1716
12	0,0130	1,3	12	1872
13	0,1074	10,7	13	2028
14	0,0389	3,9	14	2184
15	0,0259	2,6	15	2340
16	0,1592	15,9	16	2496
17	0,0389	3,9	17	2652
18	0,4780	47,8	18	2808
			19	2964
			20	3120
Valor Promedio				

Anexo 3. Despiece comercial por clase diamétrica para cañas de *G. angustifolia* y *D. asper*.

Especie	Clase diamétrica (cm)	Producto	Porcentaje (%)
<i>G.angustifolia</i>	3-6,9	Construcción	0,0
		Mueblería	71,5
		Artesanía	28,5
	7-9,9	Construcción	0,0
		Mueblería	91,5
		Artesanía	8,5
	10-14,9	Construcción	71,9
		Mueblería	23,9
		Artesanía	4,0
	Mayor a 15	Construcción	86,6
		Mueblería	9,1
		Artesanía	3,3
<i>D. asper</i>	3-6,9	Construcción	0,0
		Mueblería	59,6
		Artesanía	40,4
	7-9,9	Construcción	25,1
		Mueblería	63,4
		Artesanía	11,5
	10-14,9	Construcción	65,0
		Mueblería	30,0
		Artesanía	5,8
	Mayor a 15	Construcción	81,3
		Mueblería	15,2
		Artesanía	3,5

Anexo 4. Distribución de número de renuevos por estado de desarrollo, en cada una de las unidades de muestre para *G. angustifolia* y *D. asper*.

<i>G. angustifolia</i>						<i>D. asper</i>				
Parcela	Renuevos	Juvenil	Maduro	Muerto	Total	Cepa	Renuevos	Juvenil	Maduro	Total
1	7	5	23	7	42	1	6	1	18	25
2	6	15	14	6	41	2	6	1	11	18
3	6	8	16	3	33	3	9	4	16	29
4	6	19	33	0	58	4	7	5	7	19
5	8	14	20	4	46	5	6	2	13	21
6	6	18	29	10	63	6	15	2	9	26
7	6	7	26	5	44	7	5	17	19	41
8	12	28	11	6	57	8	2	6	35	43
9	6	19	16	9	50	9	5	5	16	26
10	15	3	16	5	39	10	1	2	35	38
11	6	30	14	11	61	11	2	0	25	27
12	2	31	7	15	55	12	11	8	35	54
13	5	12	30	18	65	13	4	0	17	21
14	17	22	9	15	63	14	4	2	16	22
15	4	20	5	8	37	15	7	23	16	46
16	5	13	18	16	52	16	4	14	12	30
17	5	26	7	18	56	17	5	10	13	28
18	6	5	25	21	57	18	2	5	21	28
						19	2	3	24	29
						20	7	9	14	30
Promedio	7	16	18	10	51		6	6	19	30

Anexo 5. Matriz de evaluación de modelos de regresión.

G. angustifolia	Modelo	Volumen total (m³/caña)				Volumen comercial (m³/caña)			
		Criterios							
		R²	CV%	Sesgo	Calif	R²	CV%	Sesgo %	Calif
	DAP	85,9	19,8	8	86,6	87,8	21,4	12,9	80,5
	DAP2	85,2	20,3	9,5	85,7	86,4	22,5	10,8	81,8
	DAP+DAP2	86,3	19,7	8,5	86,6	87,8	21,6	12,9	81,9
	DAP+DAP2+DAP3	86,8	19,5	8,8	86,7	89,7	20	19,3	82,0
	(DAP+DAP2)	85,3	20,2	9,4	85,8	86,5	22,4	10,8	81,9
D. asper	DAP	88,2	14	6,4	89,7	88	16,7	6,5	84,8
	DAP2	89,5	13,1	5,1	90,9	88,7	15,5	4,4	84,9
	DAP+DAP2	89,5	13,3	5,2	90,8	89,7	15,7	4,8	84,7
	DAP+DAP2+DAP3	89,5	13,4	5,1	90,8	89,8	15,8	4,5	83,2
	(DAP+DAP2)	89,5	13,1	5,2	90,8	89,7	15,5	4,9	84,9

Anexo 6. Clasificación y distribución óptima de estado de desarrollo de cañas de bambú (Cruz 2009)

Categoría de madurez	Óptimo	Promedio	Deficiente
Renuevos	33%	19%	5%
Joven	33%	29%	25%
Adulta	33%	50%	65%
Seca	0%	2%	5%