



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“Inducción de forma cuadrada en tallos de *Guadua angustifolia* en etapa de
renuevo aplicando un tipo de molde en un guadual natural del Sector San
José, Parroquia Madre Tierra, Provincia de Pastaza”**

Tesis previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

AUTOR

HUGO DANIEL MOSQUERA PAREDES

DIRECTORA

ING. KARINA MARÍA ELENA CARRERA SANCHEZ

MADRE TIERRA – PASTAZA – ECUADOR

OCTUBRE, 2012

ÉSTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE
TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Edison Samaniego, M.Sc.

Ing. Bolier Torres Navarrete, M.Sc.

M.Sc. Mercedes Asanza Novillo

2012

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a las autoridades y docentes de la Universidad Estatal Amazónica quienes oportunamente me apoyaron en el desarrollo de la Tesis.

Un agradecimiento especial a la Ing. Karina Carrera por la dirección técnica en el desarrollo de la investigación.

A mis padres y familiares por motivarme constantemente para alcanzar con éxito la finalización de este trabajo.

A todos los profesores quienes revisaron y dieron sugerencias para mejorar el documento de Tesis, Dr. Pablo Lozano, M.Sc. Bolier Torres, M.Sc. Mercedes Asanza e Ing. Ricardo Abril.

A mis amigos que con palabras acertadas supieron alentarme en el desarrollo de la Tesis.

DEDICATORIA

A Dios, por ser el amigo incondicional que me acompaña siempre brindándome salud y vida.

A mis padres, esposa y familiares, quienes diariamente supieron darme una voz de aliento, consejos, mucha comprensión y orientación para culminar con éxito este trabajo.

A mi madre en especial, por acompañarme siempre motivándome a que mis actos reflejen los valores que me enseñó.

A toda la comunidad Universitaria, por complementar mi formación profesional y personal.

RESPONSABILIDAD

Yo Hugo Daniel Mosquera Paredes, declaro que el contenido de la presente Tesis de Grado es de mi responsabilidad exclusiva.

Hugo Daniel Mosquera Paredes

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA	4
RESPONSABILIDAD.....	5
Capítulo I	11
1 Introducción.....	11
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Hipótesis	15
Capítulo II	16
2 Revisión de literatura	16
2.1 Características generales de la guadua	16
2.2 Características botánicas	18
2.3 Características de los individuos componentes del guadua.....	20
2.4 Importancia ambiental de la guadua.....	24
2.5 Pérdida de bosques naturales	25
2.6 Sustituto de maderas finas	27
2.7 Procesamiento industrial del bambú.....	28
Capítulo III.....	32
3 Materiales y métodos.....	32
3.1 Localización y duración del experimento	32
3.2 Condiciones meteorológicas	32
3.3 Materiales y equipos	33
3.4 Factor de estudio.....	33

3.5	Diseño experimental	34
3.6	Unidad experimental	35
3.7	Mediciones experimentales	36
3.8	Manejo del experimento	36
Capítulo IV		43
4	Resultados y discusión.....	43
4.1	Porcentaje del lado conformado por los arcos.....	43
4.2	Número de nudos inducidos por tallo	49
4.3	Distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada	51
4.4	Altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada	54
Capítulo V		57
5	Conclusiones y recomendaciones	57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones	58
6	Resumen	60
7	Summary	61
8	Bibliografía.....	62
9	Anexos.....	66

Índice de figuras

Figura 1. Distribución natural del género <i>Guadua</i>	16
Figura 2. Partes del rizoma a) cuello de rizoma; b) primordio de raíces; c) raíces adventicias; d) cuello; e) yema.	18
Figura 3. Planta de guadua.	20
Figura 4. Limpieza del perímetro del guadua.	36
Figura 5. Partes de la tapa del molde empleado en la inducción de forma.	37
Figura 6. Molde armado utilizado para la inducción de forma.	37
Figura 7. Colocación del molde en un renuevo de guadua.	38
Figura 8. Izquierda: Ubicación de la yema lateral con respecto a la hoja caulinar; Derecha: Yema lateral.....	39
Figura 9. Renuevo con el molde colocado.	39
Figura 10. Retiro del molde a un tallo con tratamiento.	40
Figura 11. Izquierda: Registro del lado total; Derecha: Registro del lado comprendido entre los arcos.....	40
Figura 12. Retiro de las hojas caulinares a un tallo de guadua cuadrada.	41
Figura 13. Conteo de nudos inducidos en un tallo cuadrado de guadua.	42
Figura 14. Medición de la altura con forma inducida.....	42
Figura 15. Tallo cuadrado de guadua desarrollándose con normalidad.	46
Figura 16. Sección aumentada de un haz mostrando la gran cantidad de tejido esclerenquimático y parenquimático.	47
Figura 17. Engrosamiento de la pared de las fibras en relación con la edad: a) fibras de pared delgada en culmos menores de 6 meses; b)paredes celulares engrosadas en culmos de 3 años; c) culmos mayores a 8 años, con signos de degradación por hongos. Micrografía óptica de transmisión y fluorescencia.....	47
Figura 18. Corte longitudinal de un renuevo de <i>G. angustifolia</i> de 50 cm de altura.....	50
Figura 19. Tallo de guadua inducido con forma cuadrada a los 45 días de retirado el molde	53

Índice de gráficos

Gráfico 1. Porcentaje del lado conformado por los arcos empleado en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	41
Gráfico 2. Porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	45
Gráfico 3. Número de nudos inducidos por tallo en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	49
Gráfico 4. Distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	52
Gráfico 5. Altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	55

Índice de cuadros

Cuadro 1. Factor y tratamientos planificados en el experimento.	34
Cuadro 2. Análisis de varianza del Diseño Completamente al Azar.	35
Cuadro 3. Días de haber el renuevo alcanzado los 50 cm de altura para retirar el molde.	40
Cuadro 4. Lado total en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	43
Cuadro 5. Lado comprendido entre los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	43
Cuadro 6. Porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	44
Cuadro 7. Promedio por unidad experimental del porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	44
Cuadro 8. Análisis de varianza para el porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	45

Cuadro 9. Número de nudos inducidos por tallo en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	49
Cuadro 10. Análisis de varianza para el número de nudos inducidos por tallo en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de <i>G. angustifolia</i>	50
Cuadro 11. Distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	51
Cuadro 12. Análisis de varianza para la distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	52
Cuadro 13. Prueba de Tukey para la distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	53
Cuadro 14. Altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	54
Cuadro 15. Análisis de varianza para la altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	55
Cuadro 16. Prueba de Tukey para la altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en <i>G. angustifolia</i>	56

Capítulo I

1 Introducción

Se considera a los bambúes como las plantas de mayor uso por el hombre, los hallazgos arqueológicos más antiguos de artículos de bambú en China fueron desenterrados de las ruinas de una sociedad primitiva de la dinastía Shang (16 al siglo 11 antes de Cristo), donde se encontró artículos para el hogar, armas como arcos, flechas y tiras de bambú como instrumento de escritura antes de que se inventara el papel (JMX Bamboo, 2012).

Se reconocen más de 1300 especies diferentes de bambúes en el mundo, tan solo en China se han reportado más de 500 especies nativas. En América existen 435 especies nativas de las cuales 3 están presentes en el sureste de Estados Unidos, 42 en Ecuador, 70 en Colombia y más de 150 en Brasil (Londoño, 2006).

Debido a su adaptabilidad, los bambúes exhiben una amplia distribución geográfica en América que abarca desde los 40° Norte, con el género *Arundinaria* en los Estados Unidos, hasta los 47° Sur, con el género *Chusquea* en Chile, y desde el nivel del mar hasta los 4300 m de altura (Londoño, 2006).

Los bambúes dentro de la familia Poaceae forman la subfamilia Bambusoideae, donde los géneros se distribuyen en dos grandes grupos reconocidos como tribus: la tribu Bambuseae o de los bambúes leñosos, y la tribu Olyreae o de los bambúes herbáceos (Grupo para el Estudio Filogenético del Bambú, 2006).

En Sudamérica la especie *Guadua angustifolia* Kunth perteneciente a los bambúes leñosos es la de mayor aplicación por su resistencia y flexibilidad, su utilización especialmente se ha dado en la construcción donde los protagonistas

de esta arquitectura se han desarrollado en Colombia, edificando grandes obras como puentes, iglesias, edificios y viviendas populares con características sísmo resistentes por lo cual se ha ganado la denominación de acero vegetal.

La guadua es un producto forestal no maderable (PFNM) con potencialidades únicas, en la provincia de Pastaza encontramos este recurso en forma natural en orillas de ríos y montañas, los principales usos son la construcción y artesanías.

La guadua es uno de los bambúes leñosos que registra mayores tasas de crecimiento, capaz de alcanzar su altura máxima (18 a 30 metros) a los 6 meses de brotado (Salas Delgado, 2006), su poder de regenerarse le sitúan como materia prima en varias industrias entre la más destacada los laminados.

Los laminados de bambúes con características similares de resistencia y textura a los productos de maderas duras se consideran como una alternativa ecológica para enfrentar la tala indiscriminada de bosques.

Estos se producen a partir de tablillas obtenidas al realizar cortes paralelos a las fibras del tallo, estas tablillas se cepillan en sus cuatro caras uniformizando las superficies, con el uso de adhesivos y prensas se unen para formar diferentes piezas.

En la técnica para laminar el problema es la generación de residuos, se considera que aproximadamente el 50 % del tallo es desperdiciado al cepillar las tablillas.

En búsqueda de disminuir esta generación de residuos e incrementar la productividad se planteó modificar la forma cilíndrica del tallo, basándonos que la especie al presentar características únicas de crecimiento podría permitirnos

en la fase de renuevo moldearla de forma cuadrada, lo que mejoraría considerablemente el aprovechamiento de los tallos.

La especie *G. angustifolia* se caracteriza por emerger con diámetro definido en la etapa de renuevo, al no poseer células de cambium o procambium; las células del esclerénquima y parte del parénquima en esta fase no se lignifican completamente permitiendo inducir la forma del tallo con la utilización de un molde.

Para asegurar que la inducción de forma tenga lugar se planteó colocar un molde metálico regulable de 50 cm de altura, el tiempo de permanencia es la fuente de variabilidad en la investigación.

Al conocer las altas tasas de crecimiento de la especie entendemos que a pocos días de brotados, las fibras inician a lignificarse brindándole rigidez al tallo para que siga el incremento de su altura.

Por esta característica se planteó el primer tratamiento con un tiempo de permanencia igual a 15 días, un segundo tratamiento con 30 días y un tercer tratamiento con un tiempo de permanencia de 45 días, para comparar e identificar con cuál de los tres tratamientos se obtienen mejores resultados de inducción ya que el molde al ser metálico representa una inversión considerable y mientras que en menor tiempo se dé la inducción podremos obtener mayor cantidad de tallos de guadua inducidos en un periodo de tiempo determinado.

Además para conocer si la aplicación del molde afecta al desarrollo del crecimiento se añadió al análisis estadístico tallos testigos a los cuales no se aplicó el molde para inducir la forma.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Inducir la forma cuadrada a tallos de *Guadua angustifolia* Kunth en etapa de renuevo aplicando un tipo de molde con diferentes tiempos de permanencia (15, 30 y 45 días) en un guadual del sector San José, parroquia Madre Tierra, provincia de Pastaza, 2012.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar la efectividad de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia* al aplicar un tipo de molde con diferentes tiempos de permanencia (15, 30 y 45 días).
- Establecer la distancia entrenudos de las secciones del tallo de *G. angustifolia* con forma inducida al aplicar un tipo de molde en diferentes tiempos de permanencia (15, 30 y 45 días) y tallos sin inducción de forma.
- Determinar la altura con forma inducida en los tallos de *G. angustifolia* en los diferentes tratamientos.

1.2 Hipótesis

1.2.1 Hipótesis General

La inducción de forma cuadrada en tallos de *Guadua angustifolia* Kunth en etapa de renuevo es posible con moldes metálicos regulables.

1.2.2 Hipótesis Específicas

- Existen diferencias significativas en la efectividad al inducir la forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia* utilizando un tipo de molde en diferentes tiempos de permanencia (15, 30 y 45 días).
- No existen diferencias significativas entre la distancia de entrenudos de las secciones del tallo de *G. angustifolia* con forma inducida al aplicar un tipo de molde en diferentes tiempos de permanencia (15, 30 y 45 días) y tallos sin inducción de forma.
- Entre tratamientos existen diferencias significativas en la altura con forma inducida en los tallos de *G. angustifolia*.

Capítulo II

2 Revisión de literatura

2.1 Características generales de la guadua

El género *Guadua* se distribuye desde el sur de México hasta el norte de Argentina con grandes vacíos en su distribución, actualmente no es muy común en América Central debido a la extracción masiva de culmos utilizados en la elaboración de varas para apuntalar banano en grandes plantaciones (Madriz & Orozco, 2004).



Figura 1. Distribución natural del género *Guadua* (Judziewicz *et al.*, 1999).

La guadua es una Poaceae gigante que puede alcanzar 30 metros de altura o más y cuyo diámetro puede variar de 1 a 22 centímetros, fue identificada primero por los botánicos Humboldt y Bonpland como *Bambusa guadua*, posteriormente en 1822 el botánico alemán Karl S. Kunth identifica el género *Guadua*, haciendo uso del vocablo indígena “guadua”, con el que lo identificaban las comunidades indígenas de Ecuador y Colombia (Gutierrez Aliaga, 2010).

Según el sistema de clasificación botánica APG (Angiosperm Phylogeny Group; Judd *et al.*, 1999). La guadua se ubica taxonómicamente en:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Bambusoideae
Supetribu:	Bambusodae
Tribu:	Bambuseae
Subtribu:	Guaduinae
Género:	<i>Guadua</i>
Especie:	<i>G. angustifolia</i> Kunth

La subfamilia Bambusoideae se encuentra dividida en dos grandes grupos llamados tribus; tribu Bambuseae compuesta por los bambúes de tallos leñosos con aproximadamente 1290 especies presentes en muchas regiones del mundo, y tribu Olyreae donde se agrupan los bambúes de tallos herbáceos con aproximadamente 115 especies restringidas a lo largo del continente americano. Se cree que todos los bambúes leñosos tienen un ancestro común en base a la presencia de varios caracteres morfológicos, donde se incluyen las hojas caulinares (modificadas para la protección y soporte de los brotes tiernos) que son bien diferenciadas de las hojas verdes de las ramas. La evidencia de ADN para demostrar un único origen de los bambúes leñosos no está aún bien establecida. Por otro lado, los estudios de ADN indican fuertemente que los

bambúes herbáceos tienen un solo ancestro en común, pero no han sido identificados caracteres morfológicos únicos para demostrar esta conclusión (Grupo para el Estudio Filogenético del Bambú, 2006).

2.2 Características botánicas

Morfológicamente se pueden distinguir las siguientes partes: raíz, tallo o culmo, hojas, flores y frutos.

La especie posee rizomas paquimorfos compuestos por dos partes: el cuello que es una porción estrecha entrenodal que no posee yemas y propiamente el rizoma donde las yemas están presentes en los nudos (Madriz & Orozco, 2004).

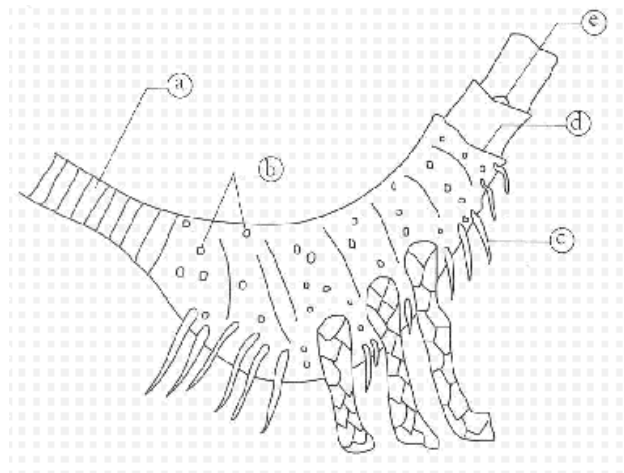


Figura 2. Partes del rizoma a) cuello de rizoma; b) primordio de raíces; c) raíces adventicias; d) nudo; e) yema. Tomado de Giraldo & Sabogal (1999).

En el caso de los bambúes se debe utilizar la palabra -culmo- para designar al tallo principal de la planta, ya que la palabra -caña- se asigna a la planta conocida como caña de azúcar (Aguilar Amar, 2005).

El culmo se origina en el ápice del rizoma, y una vez que brota del suelo lo hace cubierto de hojas caulinares con el diámetro máximo que tendrá de por vida (Mercedes, 2006).

Dependiendo de las condiciones climáticas, edáficas y de la época de brotamiento, demora entre 4 a 6 meses para desarrollar su altura definitiva.

El culmo de esta especie es un cilindro hueco y adelgazado dividido en segmentos o entrenudos separados por diafragmas (nudos), que en conjunto con una pared maciza dan al tallo una increíble resistencia mecánica (Stamm, 2002).

En el culmo se distinguen tres partes: basal, medio y apical. La sección transversal del culmo presenta tres componentes típicos muy bien diferenciados en cuanto a la anatomía: la epidermis o corteza exterior, la capa interior de la pared del tallo y el área fibro-vascular, esta última está localizada entre las dos anteriores, y allí aparecen células parenquimáticas que constituyen el tejido del tallo, los haces vasculares como tejido conductivo y las fibras (Aguilar Amar, 2005).

En los bambusoides, las hojas verdes fotosintéticas de las ramas llevan un falso pecíolo conocido como – pseudopeciolo – que une a vaina y lámina. La lámina casi siempre tiene forma lanceolada o lineal-lanceolada, generalmente las hojas fotosintéticas se agrupan en las puntas de las ramas, a este conglomerado de hojas se le llama complemento de hojas (Aguilar Amar, 2005).

Las flores representan a la fase de reproducción sexual de las plantas; en los bambúes es una condición muchas veces difícil de observar. Las flores son hermafroditas y llevan juntos al pistilo (femenino) y los estambres (masculino); ambas estructuras están protegidas por pequeñas bracteadas de protección llamadas - palea y lemas -, que junto con las estructuras sexuales conforman una Espiguilla (Aguilar Amar, 2005).

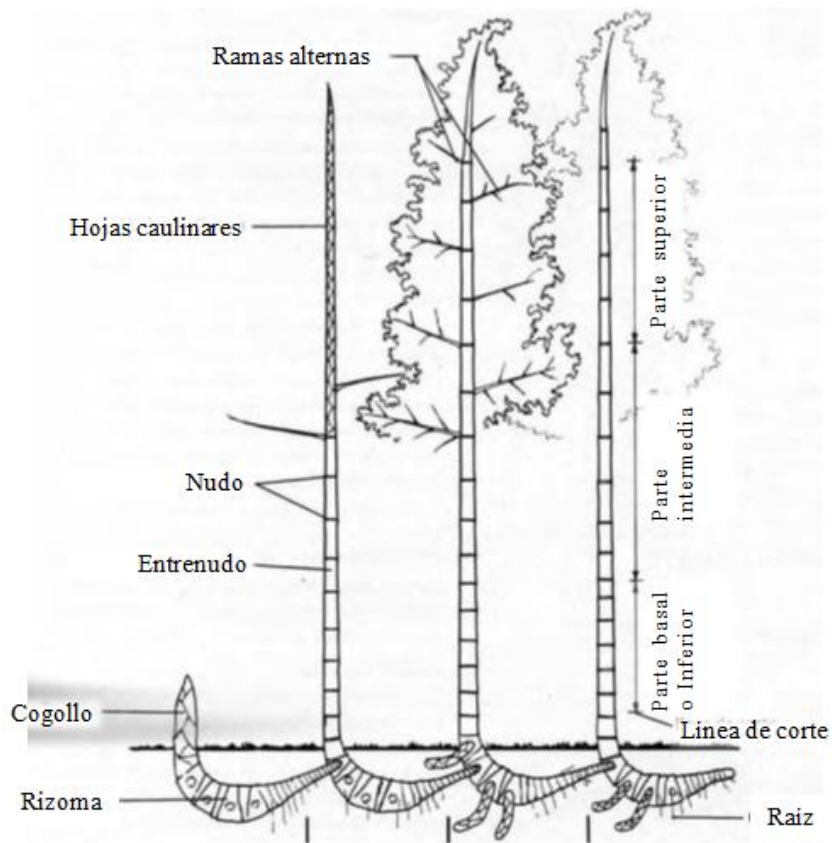


Figura 3. Planta de guadua (Salas Delgado, 2006)

2.3 Características de los individuos componentes del guadual

Un guadual ideal es aquel que se regenera o multiplica bajo los criterios de la sostenibilidad, máxima productividad y la rentabilidad equilibrada, debe contener en su estructura horizontal como mínimo entre el 65 y 70 % de guaduas maduras, 20 a 25 % de “guaduas viches”, del 5 al 10 % de renuevos y entre el 2 y el 5 % de guadua secas (Salas Delgado, 2006).

2.3.1 Renuevo

Es el primer individuo de la fase de desarrollo, caracterizado porque independiente del sistema de multiplicación del cual provenga, este siempre emerge con su diámetro definido, debido a que no posee células de cambium o

procambium que diferencian sus tejidos hacia fuera, haciéndolo engrosar; durante los primeros 30 días el crecimiento alcanza alturas de 4 a 6 cm en 24 horas y el 60 % de este, se realiza en horas nocturnas, condición que obedece a la presencia de auxinas.

Después de los 90 cm de altura el renuevo se estabiliza en un promedio de 9 a 11 cm de crecimiento en 24 horas; está recubierto totalmente de hojas caulinares (Salas Delgado, 2006).

Una vez formado el rizoma se inicia la fase de renuevo, cuando la parte apical del rizoma emerge se presenta la iniciación del culmo o tallo aéreo con su diámetro definido (Mercedes, 2006).

El crecimiento longitudinal de los tallos empieza a manifestarse por la elongación completa y sucesiva de los entrenudos comenzando por el inferior y finalizando por el más apical. Solo se inicia la formación de un nuevo entrenudo, cuando el inmediatamente anterior está definido (Salas Delgado, 2006).

En términos generales en la fase de renuevo o rebrote, desde que emerge del suelo hasta que llega a su máxima altura, tarda entre 150 y 190 días (6 meses), variabilidad que depende de las condiciones de distribución de las lluvias y de la temperatura; posteriormente el tallo detiene su crecimiento, comienza el desprendimiento de las hojas caulinares y da paso a la formación de ramas basales y apicales, por activación de las yemas nodales (Mercedes, 2006).

En la fase de renuevo normalmente hay ausencia de ramas basales y apicales pero si presencia de hojas caulinares que bordean o recubren los nudos de

manera superpuesta y localizadas desde la parte basal a la apical; en esta fase la resistencia del tallo es mínima.

2.3.2 Guadua joven “viche”

Esta fase se inicia cuando las hojas caulinares de la parte apical del culmo comienzan a desprenderse, una a una dándole paso a las ramas primarias, que a su vez están cubiertas por hojas caulinares pequeñas, que en forma similar comienzan a caer para dar salida a las ramas secundarias (Uribe Vallejo & Durán Contreras, 2002).

Caracterizada por tener entrenudos de coloración verde intenso, nudos con bandas nodales de color blanquecino, anchos de 2 a 3 cm, pubescencia de color café claro visibles en la parte superior del nudo o banda nodal, donde se encuentran además las yemas nodales sobresalientes que pueden o no activarse y dar origen a ramas inferiores o superiores.

Los entrenudos son limpios e inicialmente blandos por carecer de lignificación completa, las paredes presentan grosor que varía de acuerdo al biotipo entre 1 y 2.5 cm, en este estado la guadua está cargada de humedad, siendo visible su conformación fibrosa (Aguilar Amar, 2005).

En un gradual natural el individuo joven o viche tiene una transitoriedad de 6 a 24 meses y no ha logrado el grado de resistencia ideal para ser utilizado debido al alto contenido de humedad. Su cubierta externa o cutícula no se ha lignificado completamente; la parte inferior del tallo generalmente presenta coloración amarillenta (Uribe Vallejo & Durán Contreras, 2002).

2.3.3 Guadua madura “hecha”

Caracterizada por la desaparición en el tallo, del lustre del entrenudo, coloración más clara y se hace evidente la aparición de manchas de hongos color gris-claro, de forma redondeada a oblonga, con diámetros de hasta 3 cm; cuando ha adquirido la configuración enunciada se puede decir que es apta para ser aprovechada ya que el tallo está en el óptimo grado de resistencia y normalmente tiene edad superior a los dos años y medio (Aguilar Amar, 2005). Es la única fase apta para el aprovechamiento de los tallos; comúnmente se les llama “Hecha o gecha”. Por la evolución intrínseca del guadual, este tipo de tallo se encuentra en mayor proporción en el interior y menor en su periferia (Uribe Vallejo & Durán Contreras, 2002).

2.3.4 Guadua sobre madura

Los hongos y líquenes comienzan a desaparecer del tallo, hasta cuando empieza a observarse hongos en forma de plaquetas alargadas y de color rojizo. En este momento se inicia la decoloración y el tallo se va tornando amarillento, indicativo del inicio de la finalización del ciclo vegetativo.

2.3.5 Guadua seca

Las guaduas adultas no aprovechadas están completamente degradadas, debido a la pérdida de humedad y por consiguiente escasa o nula actividad fisiológica, el tallo se torna amarillento, presenta manchas rojizas en toda su longitud y disminuye hasta el 80 % de la resistencia. En esta fase los tallos se hacen propicios para ser refugio o lugar de anidación de aves como los carpinteros

(*Melanerpes* sp.), que construyen orificios circulares en los entrenudos de la parte superior y emplean para ovopositar (Gutierrez Aliaga, 2010).

El follaje se torna amarillento y hay defoliación de las ramas, es la fase final de los tallos y sus posibilidades de sostenibilidad o perpetuidad se acaban; termina el ciclo de vida y es conveniente retirarlas del guadual; su único uso es como leña o carbón (Barbaro, 2007).

2.4 Importancia ambiental de la guadua

Algunas de las ventajas comparativas que tiene el bambú especialmente en la prestación de importantes servicios ecológicos son bien conocidos, tales como la rehabilitación de tierras degradadas y frenar la erosión del suelo, otros necesitan más investigaciones (por ejemplo, la purificación del agua y el secuestro de carbono), y, sin duda, más aún se desconocen (International network for bamboo and rattan (IMBAR), 2012).

La guadua es un recurso no forestal renovable que aporta múltiples beneficios para el ambiente; el rápido crecimiento y desarrollo le permite, aportar al suelo entre 2 y 4 ton /ha/año de biomasa, que constituye entre el 10 y el 14 % de la totalidad de material vegetal que se genera en un guadual y que es importante, ya que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo (Herrera, 2012).

Los rizomas y las hojas en descomposición se comportan en el suelo similar a las esponjas, evitando que el agua fluya de manera rápida y continua, con lo cual se propicia la regulación de los caudales.

El sistema entretelado de rizomas y raicillas originan una malla de grandes dimensiones que le permite comportarse como eficientes muros biológicos de contención que controlan la erosión amarrando fuertemente el suelo, y haciendo de la guadua una especie protectora, especial para ser usada en suelos de ladera de cuencas (Madriz & Orozco, 2004).

De los aportes más valiosos de la especie se menciona su comportamiento como una bomba de almacenamiento de agua cuyo funcionamiento es el principio de vasos comunicantes, absorbiendo importantes volúmenes de agua que almacena tanto en su sistema rizomático como en el tallo hasta que el suelo lo requiera (Herrera, 2012).

2.5 Pérdida de bosques naturales

Según el WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza) el comercio de madera es la causa principal de la pérdida de bosques, se considera que en estos 50 años pasados los bosques tropicales se han reducido en un 17 % y seguirá disminuyendo con el crecimiento demográfico.

Las maderas se puede dividir en dos grupos: Las maderas finas o duras que son extraídas de bosques naturales y las maderas blandas utilizadas para la producción de celulosa extraída en su mayoría de bosques artificiales.

Los árboles de los bosques naturales se tardan más de ochenta años para ser aprovechados y generar maderas finas (Cruz Ríos, 2010).

Este tipo de maderas son la comparación con los productos laminados elaborados con bambúes, su poder de regenerarse y la potencialidad de adaptarse en terrenos aparentemente improductivo convierten a los bambúes en

fuerza inagotable de materias primas para introducir al mercado un sustituto económicamente viable de los productos extraídos de bosques tropicales.

Las maderas presentadas a nivel comercial como lo son trozas, madera aserrada, chapas y contrachapados, a medida que pasan los años presentan más problemas de oferta, especialmente la madera fina, ya que proviene en un 90 % de los bosques naturales que actualmente por su conservación poseen restricciones legales para su aprovechamiento, siendo esto la principal causa de su agotamiento en el mercado (Cruz Ríos, 2010), además en estudios realizados por (Mostacedo & Fredericksen, 2001) en bosques tropicales de Bolivia se han detectado problemas de regeneración natural de las especies forestales; los problemas son la falta de árboles semilleros, producción irregular de semillas, altas tasas de depredación de semillas, bajas tasas de germinación, falta de suficiente luz, y/o la excesiva competencia de lianas.

Las anteriores situaciones han conllevado a que el valor de la madera se haya incrementado por la baja en la oferta, incrementando la rentabilidad para quienes aprovechan ilegalmente los bosques.

Actualmente las tendencias gubernamentales a nivel mundial son generar políticas de ordenamiento forestal más agresivas que generen aprovechamientos sostenibles y reduzcan la tala ilegal.

Un caso típico es la caoba sudamericana, *Swietenia macrophylla* King, la cual presenta veda en muchos países y además se ha incluido en el apéndice II del CITES (Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (CITES), 2012), considerándola como una especie con peligro de extinción, lo cual ha limitado la oferta y en consecuencia los precios

se han elevado hasta niveles que pierde competitividad para los compradores (Cruz Ríos, 2010).

La oferta de la madera fina o dura seguirá disminuyendo a nivel mundial debido a que su obtención se basa en la explotación de bosques naturales presentes en todo el mundo, convirtiéndose esto en un acelerador de la deforestación y por ende contribuyente de una de las causas principales del calentamiento global. Ante tal panorama se requiere presentar productos sustitutos y uno de ellos es la madera laminada a partir del Bambú – Guadua (Barbaro, 2007).

2.6 Sustituto de maderas finas

La especie *G. angustifolia* se presenta como una alternativa económicamente rentable para varios productores, su capacidad para adaptarse en terrenos inadecuados a actividades agrícolas, su resistencia a plagas y enfermedades, su productividad de tallos con posibilidades reales de generar varios productos de alto valor agregado como contrachapados y laminados, entre otros ubican a la especie como una alternativa ecológica potencial capaz de sustituir a los productos maderables (Beton *et al.*, 2011).

Según datos de la página web de IMBAR los tableros elaborados a partir de bambúes tienen un mercado importante, considerando que actualmente en EE.UU. y Canadá el 95 % de las viviendas son construidas con tableros contrachapados y OSB¹. Además económicamente los tableros de bambúes son productos competitivos con un costo aproximado del 50 % del tablero de madera con igual espesor.

¹ Tablero de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board), producto derivado de la madera, elaborado a partir de virutas de madera unidas con adhesivos sintéticos.

La madera ingenierizada a partir de *G. angustifolia*, debido a sus características físicas, al proceso productivo y de su aprovechamiento que es amigable con el medio ambiente, permite establecer negocios sostenibles ambientalmente porque para su producción se seleccionan tallos maduros y se cortan solo los necesitados, sin necesidad de cortar todo el bosque como si ocurre con los bosques tradicionales productores de maderas duras (Botero Cortés, 2004).

Todas estas consideraciones generan nuevas oportunidades de negocio a mediano y largo plazo empleando la guadua como producto sustituto de las maderas aprovechadas en los bosques tropicales.

2.7 Procesamiento industrial del bambú

Los laminados de bambú se producen realizando las siguientes actividades a partir de culmos o tallos debidamente seleccionados:

- Corte de culmos en la plantación, seleccionando los maduros y rectos.
- Corte en secciones longitudinales homogéneas (ejemplo 1.2 metros para pisos)
- Corte (latillado) en secciones longitudinales (tablillas o latillas)
- Preservación y blanqueo
- Secado
- Lijado calibrado
- Aplicación de resinas o adhesivos y prensado
- Moldurado - lijado final
- Acabado, pintado y empaque

2.7.1 Aserrado inicial, cortes longitudinales, latillado

Consiste inicialmente en cortar las secciones de tallos en piezas útiles para los procesos requeridos (normalmente 1.2 o 1.4 metros) y luego sacar las piezas longitudinalmente (latillas) utilizando sierras paralelas cortando o cuchillas estrellas rajando el tallo.

A cada tallo se le efectúan los cortes del ancho y del espesor deseado y según el diámetro del mismo puede obtenerse de 5 a 10 latillas (Stamm, 2002).

Después de obtener estas latillas con ancho uniforme, se pasan por un cepillo que uniformice el grosor de las mismas eliminando restos de los entrenudos, tabiques y protuberancias propias del bambú.

2.7.2 Blanqueado y preservado

El mercado de los pisos de bambú tiene como especial apreciación el color “beige claro”, que no ofrece ninguna otra madera tropical dura. Este color se homogeniza con un proceso de blanqueamiento con peróxido de hidrógeno (Agua con 2 % a 4 % de concentración de H_2O_2 o “bisulfato”), cocinándolo en un tanque de una a dos horas (Botero Cortés, 2004).

Este tratamiento también ablanda las fibras y libera tensiones dentro de las tablillas, que permiten una mayor densidad en el prensado final y descompone el almidón.

Luego de estos procesos las latillas deben someterse a procesos de secado.

2.7.3 Secado

La necesidad de bajar la humedad relativa de las latillas rápidamente a niveles inferiores al 15 %, para evitar la infestación con hongos y xilófagos, se requiere un secado para estabilizar sus dimensiones y mejorar la trabajabilidad y acción de los adhesivos.

Los parámetros que se deben controlar en el secado son: energía, temperatura, humedad y circulación de aire.

Normalmente se someten a proceso de secado las latillas en cámaras que permiten bajar su contenido de humedad en aproximadamente 5 días a temperaturas promedio de entre 80 y 100 grados centígrados (Botero Cortés, 2004).

2.7.4 Procesos: cepillado, calibrado, prensado, acabado

Una vez que se tienen las latillas secas, se someten a un proceso de cepillado y lijado por las cuatro caras dejándolas con sus dimensiones definitivas.

Las piezas obtenidas después de este proceso se denominan tablillas y son la verdadera materia prima para el proceso de laminado. Desde este momento las tablillas son manejadas igual que con tablillas de madera y sus procesos son similares.

Para armar las piezas de laminados se pueden utilizar por ejemplo 3 capas de tablillas que pueden estar dispuestas paralelamente o compensadas mediante el cruce perpendicular entre ellas formando tableros de diferentes medidas.

Normalmente los adhesivos utilizados para unir las tablillas pasan desde los Polivinil Acetatos (PVA) hasta Úreas Formaldehídos (UF), pasando por una

serie de nuevos componentes con especiales características (Botero Cortés, 2004).

Se aplican los adhesivos de forma manual utilizando brochas o rodillos, o de forma mecanizada en máquinas que poseen dos rodillos paralelos en contacto con el adhesivo que lo aplica al paso de las tablillas. Luego se arma la pieza y se lleva a la prensa.

Se presiona las tablillas por varios lados con una fuerza de presión constante que se ejerce sobre la pieza durante el tiempo que se está trabajando. Sea cual sea el tipo, en efecto, las tablillas quedan totalmente aprisionada, pierde por completo su movimiento y así pueda ser trabajada.

Para el caso de laminados de bambú normalmente se utilizan prensas calientes donde se aplica presión (1.5 a 2 Mpa²) y temperatura (100 a 110 grados centígrados) durante unos 5 a 8 minutos (Botero Cortés, 2004).

Paso posterior al prensado es dimensionar el tablero o la viga longitudinal y transversalmente y lijarlos para preparar el material para el acabado final que usualmente se realiza con lacas o pinturas con filtros UV y curados especiales.

² Unidad de medida de presión del Sistema Internacional de Unidades Nombre: Mega pascal, Valor 10⁶ Pascal

Capítulo III

3 Materiales y métodos

3.1 Localización y duración del experimento

El trabajo experimental se realizó en un guadual natural de aproximadamente 1 500 m² ubicado en el sector San José, cantón Mera, parroquia Madre Tierra, provincia de Pastaza.

La ubicación geográfica fue levantada directamente con un GPS.

Coordenadas geográficas. S 01° 33' 21.3"
O 078° 01' 53.6"

Altitud 958 msnm

El experimento tuvo una duración de 120 días de trabajo en campo y análisis e interpretación de datos.

3.2 Condiciones meteorológicas

El área de estudio según la clasificación de zonas de vida de Holdrige corresponde al piso altitudinal pre montano, zona de vida Bosque pluvial sub-tropical.

Según (Merino, 2010) se registran las siguiente condiciones meteorológicas.

Temperatura media anual:	21.5 ⁰ C
Precipitación media anual:	4. 321, 8 mm
Humedad relativa media anual:	87.83 %

3.3 Materiales y equipos

3.3.1 Físicos

Estacas, piola, machete, pala, tijeras de podar, moldes de metal, cinta métrica, flexómetro de tres metros, escuadra de cuarenta y cinco grados, calibrador tipo pie de rey, vehículo y suministros de oficina.

3.3.2 Biológicos (Material experimental)

Tallos de *G. angustifolia* en etapa de renuevo.

3.3.3 Equipos

Equipo informático, GPS, medidor electrónico de distancias, moto guadaña, moto sierra, cámara fotográfica y calculadora científica.

3.3.4 Software estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software estadístico InfoStat versión 2008.

3.4 Factor de estudio

El factor en estudio considerado para la investigación fue tres diferentes tiempos de permanencia del molde en los tallos de *Guadua angustifolia* Kunth para inducir la forma cuadrada (Cuadro 1), además para comparar en ciertas variables si la aplicación del molde afecta la elongación de los entrenudos u otros aspectos del normal desarrollo del tallo, se compararon los resultados de

los tratamientos con tallos testigos a los cuales no se aplicó el molde y brotaron en el mismo tiempo que los utilizados en los tratamientos.

Cuadro 1. Factor y tratamientos planificados en el experimento.

Factor Días de permanecía del molde	Tratamientos
15 Días	T1
30 Días	T2
45 Días	T3
Sin aplicación de molde	Testigo

3.5 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para el análisis y comparación de los datos fue el Diseño Completamente al Azar (DCA) con el modelo matemático.

$$x_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

X_{ij} = Efecto verificado en una observación.

μ = Valor medio del material experimental para variable evaluada.

T_i = Efecto ocasionado por un tratamiento.

E_{ij} = Efecto del error experimental.

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

Análisis de varianza, fue calculado en el programa InfoStat con los criterios del Cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis de varianza del Diseño Completamente al Azar.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F (calculado)
Total	$n - 1$	$\sum(T_j O_k)^2 - FC$		
Tratamientos	$n \text{ tratamientos} - 1$	$\sum(\sum T_j^2 / n_{oi}) - FC$	$SC_{\text{Total}} - G.L. \cdot \text{Trat.}$	$CM_{\text{Trat.}} - CM_{EE}$
Error Exper.	$g.l. \text{ total} - g.l. \text{ tratamientos}$	$SC_{\text{Total}} - SC_{\text{Trat.}}$	$SC_{EE} - G.L. \cdot EE$	

En la investigación se analizó las variables porcentaje del lado conformado por los arcos y número de nudos inducidos por tallo sin comparación con un testigo ya que son datos registrados a partir de la forma inducida.

Mientras que se analizó las variables altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada y distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada comparándolas con tallos testigos para conocer si la aplicación del molde afecta de alguna manera la elongación de nudos u otros aspectos del desarrollo normal de los tallos.

Prueba de medias

Se utilizó la prueba de Tukey con un 95 % de significancia.

Fórmula matemática

$$Tukey = (Sx)(q_n)$$

$$\overline{Sx} = \sqrt{\frac{CM_E}{n}}$$

3.6 Unidad experimental

Las unidades experimentales se conformaron con dos tallos de *G. angustifolia* en etapa de renuevo.

3.7 Mediciones experimentales

- **Porcentaje del lado conformado por los arcos.** Unidad: Porcentaje
- **Número de nudos inducidos por tallo.** Unidad: Nudos inducidos.
- **Altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada.** Unidad: Centímetros.
- **Distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma.** Unidad: Centímetros.

3.8 Manejo del experimento

El trabajo de campo se inició con un control de arvenses en el guadual a un perímetro de 5 m, se podaron ramas laterales y retiraron los tallos completamente secos que pudieron afectar al material experimental.



Figura 4. Limpieza del perímetro del guadual.

Para la construcción de los moldes se analizó que un tallo con perímetro de 36 cm tendría un diámetro de 11.5 cm, superior en 2.5 cm a cada lado del molde ya que para regular el mismo el perímetro es dividido para 4, siendo en este caso 9 cm.

Por nesesitar ejercer una presión considerable para formar este vértice del molde para cambiar la forma redonda del tallo a una cuadrada y por encontrarse en el campo a la interperie se construyeron metálicos los moldes, el material utilizado para la construcción fue canales U de 150 mm x 50 mm x 3 mm.

La altura del molde de 50 cm se consideró ya que la etapa de renuevo consta de dos fases, la formacion de los nudos y la elongación de los mismos, la colocación de los moldes debería ser una vez que todos los nudos estén ya formados iniciando la elongación, y se consideró pertinente para la investigación cuando el renuevo tuvo una altura de 50 cm.

El molde tiene una altura de 50 cm, consta de 4 tapas con dos regulaciones por tapa, inferior y superior para perímetros de 28 a 41 cm, en el filo inferior de la tapa se construyó un bisel con el afan de que el molde no se incruste en el renuevo al momento de colocarlo.

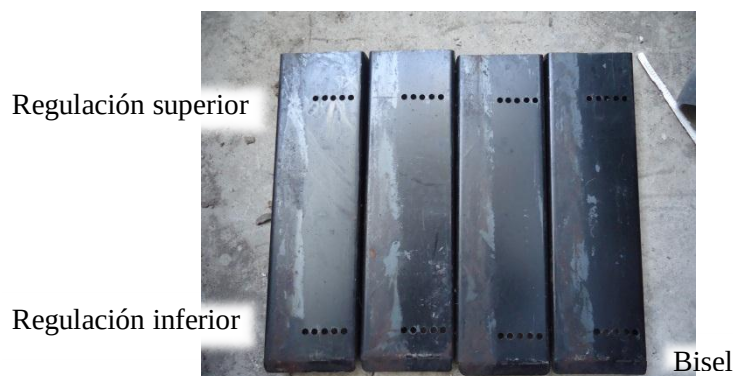


Figura 5. Partes de la tapa del molde empleado en la inducción de forma.



Figura 6. Molde armado utilizado para la inducción de forma.

Con los moldes listos, en el guadua se identificaron los renuevos con alturas inferiores a 20 cm, se seleccionaron considerando que estén rectos y con los perímetros en los rangos de las regulaciones de los moldes para ubicarlos en los tratamientos.

Para asignar los renuevos aleatoriamente en los tratamientos y repeticiones se utilizó una calculadora científica aplicando la fórmula $Ran \# (Trat. \times Rep.)$.

Por cada tratamiento se indujo 2 renuevos con tres repeticiones siendo un total de 18 renuevos a los cuales se aplicó los moldes en tiempos diferentes según brotaban y se identificaban.



Figura 7. Colocación del molde en un renuevo de guadua.

Cuando los renuevos alcanzaron la altura de 50 cm se colocaron los moldes considerando los siguientes aspectos:

- Para la calibración inferior del molde: Se midió el perímetro de la base, se dividió para 4 y se calibró cada tapa del molde con este resultado, cabe resaltar que si la respuesta era con números decimales se aplicó la regla del inmediato superior.
- Para la calibración superior del molde: Por ser los tallos con diámetros inferiores a medida que incrementa su altura, en la parte superior se

calibró en cada tapa una regulación menos con la intención de inducir mayor cantidad de nudos ya que la forma del tallo de guadua es cónica.

- Ubicación de los vértices del molde: Con el previo conocimiento de que por cada nudo hay una hoja caulinar y que cada punta de hoja caulinar es la referencia de la ubicación para una yema de rama lateral, se ubicó los vértices del molde en las puntas de las hojas caulinares.



Figura 8. Izquierda: Ubicación de la yema lateral con respecto a la hoja caulinar; Derecha: Yema lateral.



Figura 9. Renuevo con el molde colocado.

Los moldes fueron retirados en los tiempos indicados en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Días de haber el renuevo alcanzado los 50 cm de altura para retirar el molde.

Tratamientos	Días después de haber el renuevo alcanzado los 50 cm de altura
T1	15 días
T2	30 días
T3	45 días



Figura 10. Retiro del molde a un tallo con tratamiento.

Al momento de retirar los moldes se midió la calidad de forma inducida del tallo a la altura de 50 cm desde el suelo, para esto se utilizó un calibrador tipo pie de rey donde se registró la medida total de un lado y la medida comprendida entre el inicio de los arcos.



Figura 11. Izquierda: Registro del lado total; Derecha: Registro del lado comprendido entre los arcos.

Para determinar la calidad de forma inducida se cuantificó calculando el porcentaje del lado conformado por los arcos, esta variable indica el porciento del perímetro que no es plano.

Se aplicó la siguiente fórmula

$$\% \text{ del lado conformado por los arcos} = \frac{\text{lado total} - \text{lado comprendido entre los arcos}}{\text{lado total}} \times 100$$

Donde

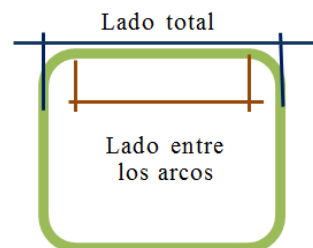


Gráfico 1. Porcentaje del lado conformado por los arcos empleado en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Esta medición se repitió 3 veces con frecuencias de 15 días con el afán de determinar si el tallo regresa a su forma original (redonda).

Aparentemente el tallo había engrosado al registrar la segunda medición pero se descartó al verificar que las hojas caulinares se desprendían, por lo que se decidió retirarlas cuidadosamente con la ayuda de un estilete.

Por lo que se vio necesario retirarlas a los siguientes tallos inducidos al momento de retirar los moldes para registrar los datos correctamente.



Figura 12. Retiro de las hojas caulinares a un tallo de guadua cuadrada.

Al retirar el molde también se contabilizaron los nudos que fueron inducidos la forma cuadrada para compararlos entre los tratamientos y determinar cuál de ellos permitía una mayor cantidad de nudos inducidos.



Figura 13. Conteo de nudos inducidos en un tallo cuadrado de guadua.

Para determinar si la colocación del molde afecta la elongación de nudos se registró la distancia entre nudos inducidos al retirar el molde y tres registros más con frecuencia de 15 días, estos promedios se compararon con el promedio de la misma cantidad de nudos en tallos que no fueron sometidos a tratamiento, considerados como testigos determinando así el efecto del molde en la elongación de los nudos.

De igual manera se registró la altura del tallo con forma inducida al momento de retirar los moldes y 3 registros más cada 15 días, este promedio se comparó con el promedio de la altura alcanzada con la misma cantidad de nudos en tallos sin inducción de forma.

La investigación finalizó con la tabulación e interpretación de datos.



Figura 14. Medición de la altura con forma inducida.

Capítulo IV

4 Resultados y discusión

4.1 Porcentaje del lado conformado por los arcos

Esta variable fue calculada con la fórmula descrita en la metodología con los siguientes resultados.

En los Cuadros 4, 5 y 6 se presentan los datos tomados para el cálculo de la variable porcentaje del lado conformado por los arcos utilizada para cuantificar la efectividad de la forma inducida.

Cuadro 4. Lado total en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Unidad: Centímetros						
Repeticiones	Tratamientos					
	T1		T2		T3	
R1	9,30	8,60	8	8,2	9,40	10,10
R2	9	8,4	7,9	8,2	8,7	9
R3	9,3	8,7	8,7	9,5	9,5	9,3

Cuadro 5. Lado comprendido entre los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Unidad: Centímetros						
Repeticiones	Tratamientos					
	T1		T2		T3	
R1	5,80	5,00	5,3	4,6	5,80	5,90
R2	5,4	5,7	5	5,3	5,5	5,3
R3	5,6	4,9	5,7	5,3	5,6	5,5

Cuadro 6. Porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Unidad: Porcentaje						
Repeticiones	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	37,63	41,86	33,75	43,90	38,30	41,58
R2	40,00	32,14	36,71	35,37	36,78	41,11
R3	39,78	43,68	34,48	44,21	41,05	40,86

Cuadro 7. Promedio por unidad experimental del porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Unidad: Porcentaje				
Repeticiones	Tratamientos			
	T1	T2	T3	Sumatoria
R1	39,75	38,83	39,94	118,51
R2	36,07	36,04	38,95	111,06
R3	41,73	39,35	40,96	122,03
Sumatoria	117,55	114,21	119,84	Promedio
Promedio	39,18	38,07	39,95	39,07
Coeficiente de variación				5,21 %

Con los resultados del Cuadro 7 se comparó la calidad de forma inducida entre los tratamientos, determinando que la inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia* en etapa de renuevo es posible con la aplicación de un molde metálico regulable.

Consideramos que un tallo de *G. angustifolia* normal es cilíndrico por lo que el 100 % de su perímetro se conforma por un arco, mientras que al aplicar el molde metálico regulable en etapa de renuevo se redujo este porcentaje al 39.07 %, siendo el 60.93 % del perímetro con superficie plana.

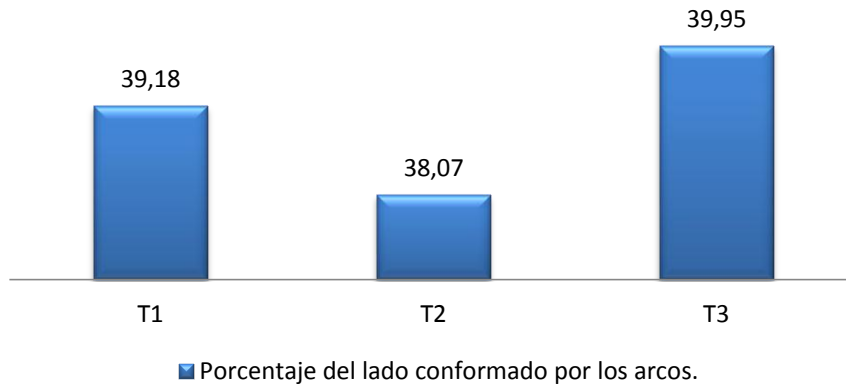


Gráfico 2. Porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Al comparar gráficamente los promedios de los tratamientos en la variable evaluada se observan ligeras diferencias que se afirman estadísticamente con un Diseño Experimental Completamente al Azar calculado en el software estadístico InfoStat.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el porcentaje del lado conformado por los arcos en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,34	2,00	2,67	0,64	0,56
Tratamientos	5,34	2,00	2,67	0,64	0,56
Error	24,86	6,00	4,14		
Total	30,20	8,00			

En el Cuadro 8 se presentan los resultados del análisis de varianza aplicado para la comparación del porcentaje del lado conformado por los arcos, indicando que entre los tratamientos no existen diferencias significativas en la variable evaluada, manejándose un 5.21 % de coeficiente de variación considerado bueno para el tipo de investigación.

Estos resultados indican que la especie *G. angustifolia* puede ser inducida la forma del tallo en etapa de renuevo aplicando un molde metálico regulable ya sea por 15, 30 o 45 días siendo la misma calidad de inducción en los diferentes tiempos.

Al retirar el molde la forma cuadrada adoptada no cambia con el tiempo ni se afecta el desarrollo de las ramas laterales.



Figura 15. Tallo cuadrado de guadua desarrollándose con normalidad.

Los bambúes al ser especies monocotiledóneas no tienen cambium vascular por lo que no presentan crecimiento secundario (en grosor), esta característica permitió que no se afecten los haces vasculares al colocar el molde y que este no afecte en su totalidad el normal desarrollo de los renuevos evaluados.

Otro de los aspectos es que la especie *G. angustifolia* se ubica en la tribu Bambuseae con su tallo leñoso, característica otorgada por los tejidos esclerenquimático y parte del parenquimático.



Figura 16. Sección aumentada de un haz mostrando la gran cantidad de tejido esclerenquimático y parenquimático.
Micrografía electrónica de barrido (Montiel, 2004)

Este tejido esclerenquimático al igual que algunas células del parénquima se lignifican tempranamente durante el crecimiento del renuevo, explicando así que al colocar el molde con el tiempo de permanencia de 15, 30 o 45 días es suficiente para que estos tejidos que permanecen dentro del molde inicien su lignificación endureciendo las paredes celulares y adoptando la forma cuadrada del tallo.

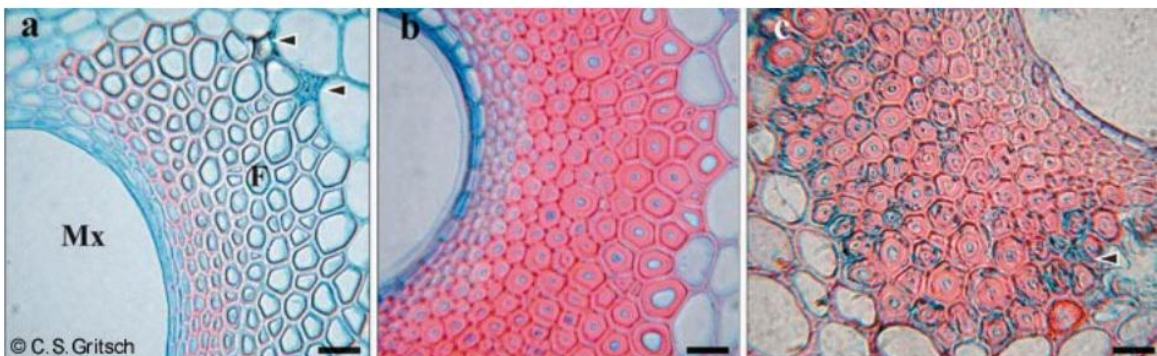


Figura 17. Engrosamiento de la pared de las fibras en relación con la edad: a) fibras de pared delgada en culmos menores de 6 meses; b) paredes celulares engrosadas en culmos de 3 años; c) culmos mayores a 8 años, con signos de degradación por hongos.
Micrografía óptica de transmisión y fluorescencia. Fotos de Gritsch y Murphy 2004.

Como se muestra en la Figura 17 la pared celular de las fibras se engrosan rápidamente en el tiempo proporcionando la dureza al culmo para seguir incrementando su altura sin problema alguno.

Haciendo referencia según Salas Delgado (2006) “Solo se inicia la formación de un nuevo entrenudo, cuando el inmediatamente anterior está definido”. Por lo que al colocar los moldes los entrenudos basales estaban bien definidos y se encontraban en la fase de elongación, basándonos en lo mencionado por Salas Delgado (2006) “el crecimiento longitudinal de los tallos empieza a manifestarse por la elongación completa y sucesiva de los entrenudos comenzando por el inferior y finalizando por el más apical”. Entendiendo que los nudos inducidos iniciaban su lignificación posibilitando que al retirar el molde esta forma adoptada se mantenga, como se registró en las mediciones posteriores realizadas cada 15 días después de haber retirado el molde.

4.2 Número de nudos inducidos por tallo

Cuadro 9. Número de nudos inducidos por tallo en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Unidades: Nudos con forma inducida				
Repeticiones	Tratamientos			Sumatoria
	T1	T2	T3	Sumatoria
R1	6,5	6	6,5	19
R2	5,5	6,5	6	18
R3	5	6	5,5	16,5
Sumatoria	17	18,5	18	Promedio
Promedio	5,7	6,2	6,0	5,94
Coeficiente de variación				9,3 %

El promedio de nudos inducidos por tallo en los diferentes tratamientos son 6 al aplicar un molde metálico de 50 cm de alto.



Gráfico 3. Número de nudos inducidos por tallo en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

Gráficamente se muestra el número de nudos inducidos por tallo en promedio en los tratamientos, observando pequeñas diferencias.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el número de nudos inducidos por tallo en la evaluación de inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia*.

F.V	SC	gl	CM	F	p - valor
Modelo	0,39	2,00	0,19	0,64	0,56
Tratamientos	0,39	2,00	0,19	0,64	0,56
Error	1,83	6,00	0,31		
Total	2,22	8,00			

Como se aprecia en el Cuadro 10 entre los tratamientos estadísticamente no existen diferencias significativas en el número de nudos inducidos por tallo, con un nivel de significancia del 0.05 % y un 9,3 % de coeficiente de variación.

Esto se explica al realizar un corte longitudinal a un renuevo de 50 cm de alto (Figura 18) y observar que los 6 nudos basales ya estaban conformados y elongándose sin lignificarse las paredes celulares que adoptarán la forma cuadrada.



Figura 18. Corte longitudinal de un renuevo de *G. angustifolia* de 50 cm de altura.

4.3 Distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada

Para determinar si la aplicación del molde para la inducción de forma afecta de alguna manera el desarrollo de los tallos, se comparó la distancia entrenudos de los 6 nudos basales inducidos con 6 nudos basales de tallos testigos para compararlos estadísticamente en un Diseño Completamente al Azar.

Cuadro 11. Distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

Unidades Centímetros					
Repeticiones	Tratamientos				Sumatoria
	T1	T2	T3	Testigo	
R1	8,54	10,08	9,02	22,78	50,42
R2	10,95	9,12	9,09	21,22	50,38
R3	11,50	9,67	10,87	21,19	53,22
Sumatoria	30,99	28,87	28,97	65,20	Promedio Total
Promedio	10,3	9,6	9,6	21,73	12,83
Promedio de T1, T2 y T3	9,9			21,73	
Coeficiente de variación 8.39 %					

En el Cuadro 11 se presenta los resultados promedio de la distancia entrenudos de los 6 primeros nudos basales de tallos con y sin inducción de forma.



Gráfico 4. Distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

Al comparar gráficamente se observan promedios similares entre los tratamientos 1, 2 y 3 mientras que el promedio del testigo supera holgadamente a los demás.

Cuadro 12. Análisis de varianza para la distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	317,37	3	105,79	91,26	1,58 E ⁻⁰⁶
Tratamientos	317,37	3	105,79	91,26	1,58 E ⁻⁰⁶
Error	9,27	8	1,16		
Total	326,65	11			

En el Cuadro 12 se muestra el análisis de varianza para la distancia entrenudos de 6 nudos basales con y sin forma cuadrada, observando que existen diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 0.05 % y un 8,39 % de coeficiente de variación considerado bueno para el tipo de investigación.

Para complementar el análisis de varianza se aplicó la prueba de Tukey al 0.05 %.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para la distancia de 6 entrenudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
30 días	9,62	3	0,62	A
45 días	9,66	3	0,62	A
15 días	10,33	3	0,62	A
Testigo	21,73	3	0,62	B

Estos resultados indican que la colocación del molde para la inducción de forma afecta la elongación de los nudos y no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos T1, T2 y T3.

Al colocar el molde los 6 nudos estaban ya conformados en la fase de elongación, estos se desarrollaron hasta presionarse en las paredes del molde deteniendo así su alargamiento.

Sin embargo el resto del tallo no se vio afectado por la aplicación del molde.



Figura 19. Tallo de guadua inducido con forma cuadrada a los 45 días de retirado el molde

4.4 Altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada

Se comparó estadísticamente la altura de los tallos cuadrados (6 nudos en promedio por tallo) con la altura de 6 nudos basales de un tallo sin aplicación de molde para determinar si el comportamiento de crecimiento se veía afectado al igual que en la distancia de entrenudo.

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar con un testigo que no fue sometido a inducción de forma.

Cuadro 14. Altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

Unidades: Centímetros					
Repeticiones	Tratamientos				Sumatoria
	T1	T2	T3	Testigo	
R1	55	60,5	58	139,00	312,5
R2	62	58,5	64	128,67	313,16
R3	57,5	58	53	130,00	298,5
Sumatoria	174,5	177	175	397,66	Promedio Total
Promedios	58,17	59,0	58,33	132,56	77,01
Promedio de T1, T2 y T3	58,5			132,56	
Coeficiente de variación			5.31 %		

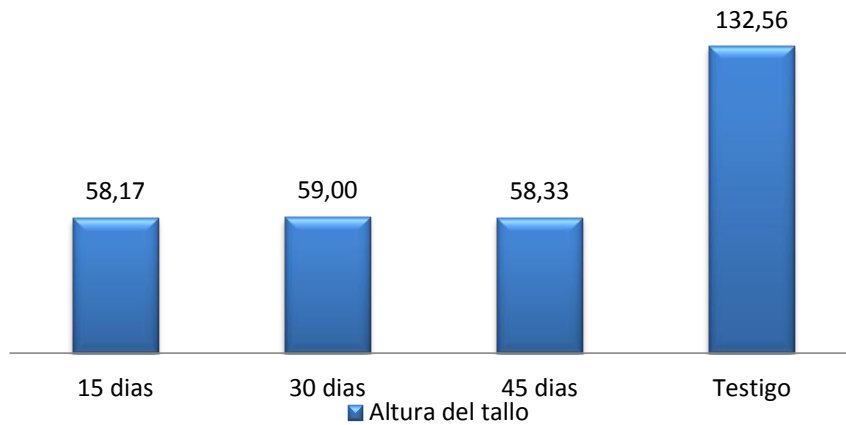


Gráfico 5. Altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

Al comparar gráficamente se observan promedios similares entre los tratamientos 1, 2 y 3 mientras que el promedio del testigo supera holgadamente a los demás.

Cuadro 15. Análisis de varianza para la altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19670,26	3	6556,75	595,96	9,67 E ⁻¹⁰
Tratamientos	19670,26	3	6556,75	595,96	9,67 E ⁻¹⁰
Error	88,02	8	11,001		
Total	19758,28	11			

Los resultados muestran diferencias estadísticas entre los tratamientos con una significancia de 0.05 % y un coeficiente de variación de 5.31 %.

Cuadro 16. Prueba de Tukey para la altura a los 6 nudos basales en tallos con y sin inducción de forma cuadrada en *G. angustifolia*.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
30 días	38,07	3	1,92	A
15 días	39,18	3	1,92	A
45 días	39,95	3	1,92	A
Testigo	132,56	3	1,92	B

Como observamos en el Cuadro 16 los tratamientos 1, 2 y 3 son iguales estadísticamente, mientras que el testigo al ubicarse en el rango B es superior en altura en comparación con los tallos cuadrados ya que este no fue sometido a inducción de forma, indicando que al detener la elongación de los nudos la altura del tallo también se detiene.

Capítulo V

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

La fisiología de crecimiento de la especie *Guadua angustifolia* Kunth permite la inducción de forma cuadrada en etapa de renuevo aplicando un molde metálico regulable de 50 cm de altura, además la colocación del molde no afecta a los haces vasculares ni a las yemas de las ramas laterales permitiendo que los tallos se desarrollen con normalidad a partir de la sección inducida.

La forma cuadrada inducida en los tallos al retirar el molde se mantiene en el tiempo, continuando el tallo en sus etapas de desarrollo con la forma inducida.

La calidad de forma cuadrada inducida en tallos de *G. angustifolia* en etapa de renuevo no se diferencia al aplicar el molde metálico regulable de 50 cm de altura durante 15, 30 o 45 días, obteniendo el perímetro inducido con una superficie plana del 61 %.

Este resultado de obtener tallos con forma cuadrada aplicando el molde durante 15 días favorece a la investigación ya que uno de los propósitos es plantear esta metodología como una técnica viable capaz de posibilitar la industria de laminados de *G. angustifolia* en la provincia de Pastaza.

La aplicación del molde metálico en los tallos *G. angustifolia* para la inducción de forma cuadrada en etapa de renuevo detiene la elongación de los nudos inducidos evitando que alcancen el 55 % de su distancia normal, sin embargo no causan ningún retraso de crecimiento al resto del tallo.

Al aplicar un molde metálico regulable de 50 cm de alto en tallos de *G. angustifolia* en etapa de renuevo se obtienen 6 nudos inducidos y una altura promedio de 58,5 cm de guadua cuadrada por tallo inducido.

A partir de los tallos cuadrados de guadua obtenidos con la aplicación del molde metálico regulable, se proyecta una alternativa económica viable ya que a partir de esta forma se puede desarrollar varias artesanías con valores agregados, similares a los realizados en los países asiáticos en los que se destacan los platos de bambú para comidas gourmet.

5.2 Recomendaciones

Se realicen investigaciones con diferentes alturas de molde y diferentes edades de aplicación en los tallos de *G. angustifolia* para incrementar la altura del tallo con forma inducida.

Se planteen nuevas investigaciones para aplicar el molde en el género *Dendrocalamus* (encontrado en el CIPCA) que presenta diámetros y espesor de la pared de los tallos superiores a los de *G. angustifolia* como propuesta industrial para contrarrestar la tala de bosques naturales.

Se analice la posibilidad de utilizar este sistema para la producción de artesanías en la región impulsando a las comunidades la conservación de la especie *G. angustifolia* y en general a los bambúes.

Se divulguen los resultados de la investigación a través de revistas técnicas para dar a conocer las bondades de los bambúes y sus potencialidades como sustituto de los productos madereros.

Se plantee una investigación complementaria que estudie la hipótesis (los tallos con forma cuadrada disminuyen considerablemente la generación de residuos al ser industrializados a laminados en relación con tallos de forma redonda).

Se investigue cuáles son los costos de producción y la rentabilidad al laminar tallos de guadua en la provincia de Pastaza, proyectando la eficiencia de la forma cuadrada de los tallos para la industria.

Los bambúes son especies con extraordinarias bondades económicas y ecológicas que en la actualidad van tomando su importancia y necesariamente la Universidad Estatal Amazónica como referente académico de la Amazonía ecuatoriana debería dirigir esfuerzos académicos para potencializar estas especies muy propias de nuestro ecosistema.

6 Resumen

En el sector San José, cantón Mera, provincia de Pastaza se estudió la inducción de forma cuadrada en tallos de *Guadua angustifolia* empleando un molde metálico regulable, la fuente de variabilidad fue tres tiempos de permanencia del molde 15, 30 y 45 días.

Para comparar estadísticamente los resultados de la investigación se aplicó el **Diseño Completamente al Azar (DCA)**, para complementar el análisis de varianza, se aplicó la prueba de Tukey.

La inducción de forma cuadrada en tallos de *G. angustifolia* fue posible con la aplicación del molde metálico cuando el tallo se encuentra en etapa de renuevo con una altura de 50 cm. Estadísticamente entre los tratamientos (T1, T2 y T3) no existen diferencias en ninguna de las variables planteadas obteniéndose como resultado un 60,93 % del perímetro del tallo con superficie plana, una altura de 58,5 cm de tallo con forma cuadrada y 6 nudos inducidos.

Además se determinó que la aplicación del molde afecta la elongación de los nudos inducidos evitando que alcance el 55 % de su distancia normal.

7 Summary

The development of a procedure for the induction of a squared cross-section in culms of the Amazonian bamboo species, *Guadua angustifolia*, was studied in a natural population of the bamboo at San José, in Mera canton, Pastaza province, Ecuador. An adjustable metal mold was employed for this experiment, with the time variable of 15, 30 and 45 days with the mold in place to produce the squared cross-section of the bamboo culms.

A statistical analysis of the results was carried out using a completely randomized design. For the analysis of variance, the Tukey test was applied.

The induction of the squared cross-section of *G. angustifolia* culms was achieved with an adjustable metal mold when the immature culm achieves a height of 50 cm. The results of the three treatments, 15, 30 and 45 days with the application of the mold, were not significantly different according to the statistical analysis. The results obtained were 60.93% of the perimeter of the culm with a plane surface, at a height of 58.5 cm and 6 nodes induced with the squared form. Additionally, the study determined that the application of the mold reduces the elongation of the internodes to 55% of the normal internode length.

8 Bibliografía

Aguilar Amar, R. I. 2005. Morfología: El Rizoma del bambú. Revista Electrónica Biobambú, No.1. www.bambumex.org/paginas/RIZOMA.pdf

Aguilar Amar, R. I. 2005. Morfología: Tallos o culmos. Revista Electrónica Biobambú, No.1. www.bambumex.org/paginas/RIZOMA.pdf

Barbaro, G. 2007. Transformación e industrialización del bambú. (150ª ed). Arquitectura del paisaje. Colombia.

Beton, A., C. Tim, O. Frith, J. Jonkhart & J. Wu. 2011. Market potential of bamboo and rattan products. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). P. R. China.

Botero Cortés, L. F. 2004. Manual de bambú. Argentina. Proyecto: Apoyo a la mejora de la competitividad de las PYMES del sector forestal industrial de Argentina cofinanciado por la Union Europea.

Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (CITES). 2012. Grupo de trabajo sobre la caoba. Recuperado el 25 de Agosto de 2012. de <http://www.cites.org/esp/prog/mwg.php>

Cruz Ríos, H. 2010. Producción de madera ingenierizada a nivel industrial utilizando como materia prima el bambú. Bambú guadua premier. Recuperado el 11 de Agosto de 2012 de <http://bambuguaduapremier.com/WebEng/maderaingenierizada.php>

Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). 2012. Fondo Mundial para la Naturaleza. Recuperado el 2 de Septiembre de 2012. de <http://www.wwf.es/colabora/colabora/>

- Gritsch, C. y R. Murphy. 2004. Anatomical changes in *Guadua angustifolia* culms in relation to age, site, and physico-mechanical properties. Imperial College London. England.
- Grupo para el Estudio Filogenético del Bambú. 2006. El proyecto de la filogenia del bambú. Vol. 27. Revista Electrónica Biobambú.
[http://www.bambumex.org/paginas/EL PROYECTO DE FILOGENIA DEL BAMBU.pdf](http://www.bambumex.org/paginas/EL_PROYECTO_DE_FILOGENIA_DEL_BAMBU.pdf)
- Giraldo, E. y A. Sabogal. 1999. Una alternativa sostenible: La guadua. Técnicas de cultivo y manejo. Ed. Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q. Colombia. 192 p.
- Gutierrez Aliaga, S. C. 2010. Uniones estructurales con Bambú (*Guadua angustifolia*). Tesis de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. Pp. 1-110.
- Herrera, E. G. 2012. La guadua y su aporte al ambiente. Sistema de Información geográfica para la guadua (SIG GUADUA). Recuperado el 28 de Septiembre de 2012. de: <http://www.sigguadua.gov.co>
- Holdrige, L. (s.f.). Ecología de acuerdo a zonas de vida. Recuperado el 23 de Septiembre de 2012. de <http://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/ch14.htm>
- JMX Bamboo. 2012. Historia del bambú. JMX Bamboo. Recuperado el 29 de Septiembre de 2012, de <http://www.jmxbamboo.com/AboutUs.aspx>
- Judd, W. S., C. S. Campbell, E. A. Kellogg & P. F. Stevens. 1999. Plant Systematics: A Phylogenetic Approach. Sinauer Associates. USA.

- Judziwicz, E. J., L. G. Clark, X. Londoño & M. J. Stern. 1999. American bamboos. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C.
- Londoño, X. 2006. Aspectos generales de los bambúes americanos. Revista Electrónica Biobambú.
<http://www.bambumex.org/paginas/ASPECTOSGENERALES.pdf>
- Madriz, P., & L. Orozco. 2004. El proyecto guadua bamboo. CATIE. Recuperado el 25 de Agosto de 2012, de: <http://web.catie.ac.cr/guadua/>
- Mercedes, J. R. 2006. Guía técnica cultivo del bambú. CEDAF. Santo Domingo, República Dominicana.
- Merino, J. P. 2010. Estudio económico de dos formas de aprovechamiento forestal del pigue. Tesis de Ingeniero Forestal. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH. Riobamba, Ecuador. Pp. 1-67.
- Montiel, M. 2004. Descripción morfológica ultra estructural comparativa de *Guadua angustifolia* Kunth, *Guadua angustifolia* "forma cebolla", *Guadua angustifolia* "sur" y *Guadua angustifolia* (ex *chacoensis*). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Informe.
- Mostacedo, B., & T. S. Fredericksen. 2001. Regeneración y silvicultura de bosques tropicales de Bolivia. Santa Cruz, Bolivia.
- Salas Delgado, E. 2006. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Tesis de Doctorado en Construcción - Restauracion y Rehabilitación Arquitectonica. Universidad Politecnica de Cataluña. Barcelona, España. Pp. 1-410
- Stamm, J. 2002. Laminados de guadua. Conferencia de Jörg Stamm en la Universidad Tecnológica de Pereira del 16 abril 2002. Pereira, Colombia.

Uribe Vallejo, M., & A. Durán Contreras. 2002. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Tesis de Ingenierio civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pp. 1-125

9 Anexos

Anexo 1. Ubicación del sector San José, margen izquierdo del río Pastaza



Anexo 2. Río Pastaza, sector San José



Anexo 3. Guadual natural donde se realizó la investigación



Anexo 4. Tomando la ubicación geográfica del guadual con GPS



Anexo 5. Tallo de *G. angustifolia* en etapa de renuevo



Anexo 6. Parte del juego de moldes utilizado en la investigación



Anexo 7. Guadua cuadrada tratamiento 1



Anexo 8. Guadua cuadrada tratamiento 2



Anexo 9. Guadua cuadrada tratamiento 3



Anexo 10. Guadua cuadrada tratamiento 3

