

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEL DIÁMETRO Y
ALTURA DE CAÑAS DE *Guadua angustifolia* EN EL FUNDO AGRÍCOLA DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, REGIÓN HUÁNUCO**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO FORESTAL

Presentado por:

PERCY BOVIS RICALDI

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 010-2020-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 29 de junio de 2020, a horas 16:00 p.m. en la Sala virtual en la plataforma Ms Teams, se instalaron remotamente para presenciar y evaluar la sustentación de la tesis titulada:

**“MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEL
DIÁMETRO Y ALTURA DE CAÑAS DE *Guadua angustifolia* EN EL
FUNDO AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE
LA SELVA, REGIÓN HUÁNUCO”**

Presentado por el Bachiller, **BOVIS RICARDI, Percy**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO FORESTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 14 de Julio de 2020

Dr. **LADISLAO RUIZ RENGIFO**
PRESIDENTE

Ing. **JORGE LUIS VERGARA PALOMINO**
MIEMBRO

Ing. M.Sc. **DAVID P. QUISPE JANAMPA**
MIEMBRO

Ing. M.Sc. **ROBERT GILBERT PECHO DE LA CRUZ**
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



Modelización matemática del crecimiento del diámetro y altura de cañas de
***Guadua angustifolia* en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional**
Agraria de la Selva, región Huánuco

Autor	: Bovis Ricaldi Percy
Asesor	: M Sc. Pecho de la Cruz Robert H.
Escuela profesional	: Escuela Profesional de Ingeniería Forestal
Programa	: Gestión de Bosques y Plantaciones forestales
Línea	: Biodiversidad en Sistemas forestales
Eje temático	: Ecología y restauración forestal
Lugar de ejecución	: Fundo Agrícola de la UNAS
Duración	: Fecha de inicio : Setiembre 2018 Fecha de término : junio 2019
Financiamiento	: Propio.

Tingo María – Perú

2020

DEDICATORIA

Hoy que esta meta y sueño se ha hecho realidad, me siento orgulloso de lo que he logrado realizar, por eso quiero dedicar este trabajo en primer lugar a Dios, porque es a Él a quien debo la vida y la salud, la sabiduría y la inteligencia y quien creó la naturaleza y me ha permitido trabajar con ella, guiándome e iluminándome el camino del éxito para poder culminar una pequeña etapa de mi vida.

Este logro también significa mucho orgullo a mi familia, por eso también lo dedico a mis padres Vidal Povis Canchihuaman y Efigenia Ricaldi Espinoza, por haberme brindado su apoyo todos estos años durante el curso de la carrera universitaria y por instarme a seguir luchando.

A mis hermanos Deny Fiorella Povis Ricaldi, Deyvis Huber Povis Ricaldi, Maryhori Povis Ricaldi y Gean Marcos Povis Ricaldi, por su constante apoyo en mis estudios, este logro es también de ustedes.

A mis amigos, a esos buenos amigos que incondicionalmente siempre estuvieron dispuestos para ayudarme y brindarme ánimo necesario para terminar con éxito este pequeño logro alcanzado.

AGRADECIMIENTOS

En medio de este proceso formativo y personal que ha traído consigo cambios, retos y victorias quiero agradecer a: Dios por regalarme la vida, permitirme tener una familia incondicional y darme esta hermosa oportunidad para mi crecimiento personal y profesional.

A mis padres y hermanos quienes cada día en mi aventura profesional me acompañaron y animaron a seguir adelante en este proceso.

A los Docentes de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables y en especial a los de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, por su esfuerzo y despliegue en mi formación académica y profesional.

De manera muy especial y para toda la vida a mis asesores el ing. Robert Gilbert Pecho De la Cruz y Palomino Vera Frits, que con sus valiosos aportes técnicos y dirección del trabajo han hecho posible nuestra profesionalización.

A los miembros del jurado por tomarse el tiempo de leer el presente trabajo y por los comentarios hechos al respecto: Dr. Ladislao Ruiz Rengifo, Ing. Jorge Luis Vergara Palomino, Ing. M.Sc. David Quispe Janampa y al Ing. M.Sc. Ricardo Ochoa Cuya

A mis amigos por brindarme su amistad incondicional durante nuestra vida universitaria y por colaborar en la instalación, evaluación del trabajo de investigación:

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Internacional	4
2.1.2. Nacional.....	5
2.1.3. Local	8
2.2. Modelización	8
2.2.1. Simulación y modelo matemático.....	9
2.2.2. Modelos de crecimiento	10
2.2.3. Modelos de masa	12
2.2.4. Modelos de árbol individual.....	12
2.2.5. Modelos de clases diamétricas	13
2.2.6. Modelos de proceso.....	13
2.3. Crecimiento de las plantas	14
2.4. Guadua	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1. Lugar de ejecución	20
3.2. Materiales y equipos	21

3.2.1. Material biológico o unidad de estudio	21
3.2.2. Materiales	22
3.2.3. Equipos.....	22
3.3. Generalidades de la investigación.....	22
3.3.1. Tipo de estudio	22
3.3.2. Diseño de estudio	22
3.3.3. Población.....	23
3.3.4. Muestra.....	23
3.3.5. Muestreo.....	23
3.4. Metodología	24
3.4.1. Tiempo de crecimiento máximo para las cañas de bambúes (<i>Guadua angustifolia</i>)	24
3.4.2. Correlación del diámetro de las cañas de bambúes (<i>Guadua angustifolia</i>) con el tiempo.....	28
3.4.3. Correlacionar altura total de las cañas de bambúes (<i>Guadua angustifolia</i>) con el tiempo.....	28
IV. RESULTADOS	32
4.1. Tiempo de crecimiento máximo para las cañas de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco	32

4.2. Correlación del diámetro de las cañas de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco.....	33
4.3. Correlación de la altura de las cañas de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco.....	34
V. DISCUSIÓN	39
5.1. Determinación del tiempo de crecimiento máximo para las cañas de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco.....	39
5.2. De la correlación entre el diámetro de las cañas de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco.....	40
5.3. De la correlación entre la altura de las cañas de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco.....	41
VI. CONCLUSIONES	43
VII. RECOMENDACIONES.....	44
VIII. ABSTRACT	45
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXO	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Estadísticos descriptivos del tiempo de crecimiento máximo en cañas de guadua.	32
2. Estadísticos descriptivos del diámetro en cañas de guadua.	33
3. Correlación entre el tiempo de emergencia del brote y el diámetro de las cañas de guadua.	34
4. Estadísticos descriptivos de la altura total en cañas de guadua.	35
5. Correlación entre el tiempo de emergencia del brote y la altura total de las cañas de guadua.	35
6. Resumen del modelo de crecimiento de las cañas de guadua.	36
7. ANVA para el modelo de crecimiento de las cañas de guadua.	36
8. Coeficientes del modelo de crecimiento de las cañas de guadua.	37
9. Operacionalización de las variables.	55
10. Datos registrados de campo (parte 1).	56
11. Datos registrados de campo (parte 2).	60
12. Datos registrados de campo (parte 3).	64
13. Estadísticos descriptivos de la altura total en plantas de guadua.	68
14. Incremento semanal y diario de la altura total de los brotes nuevos.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema de la función de las auxinas.	16
2. Esquema para la selección de cañas emergente para la elaboración del modelo matemático de crecimiento.	24
3. Uniformización de datos en la tabulación.	26
4. Esquema de la técnica de observación en una caña de bambú.	29
5. Diámetros de cañas de la guadua.	34
6. Modelo de crecimiento en altura total para las cañas de guadua.	38
7. Incremento medio diario de la altura respecto al tiempo de emergencia del brote.	38
8. Banner informativo del proyecto de tesis.	71
9. Codificación de los rebrotes de guadua.	72
10. Medición de la altura con wincha de 05 m.	72
11. Medición de la altura con mira topográfica.	73
12. Estimación de la altura con Trupulse.	73
13. Medición del diámetro de la caña de guadua.	74
14. Constancia de identificación de la especie en estudio.	75
15. Resultado del análisis de suelos.	76

RESUMEN

Con el objetivo de elaborar un modelo matemático del crecimiento del diámetro y la altura de cañas de *Guadua angustifolia* en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en la región Huánuco, se midió la altura total, considerando periodos de cada siete días a 105 cañas que emergieron durante el periodo de la tesis, luego se analizó utilizando la herramienta estadística correlación de Spearman con la finalidad de corroborar alguna correlación y posteriormente se elaboró un modelo curvilíneo que exprese el comportamiento de la guadua. En los resultados se encontró que la guadua para que alcance su altura total necesita en promedio 7.45 meses, no se muestra correlación alguna del tiempo con el diámetro de las cañas, mientras que con respecto a la altura total se encontró correlación significativa que posteriormente se tradujo en un modelo polinómico de tercer grado de la forma $Y = -3.E-06*(días)^3 + 0.0014*(días)^2 - 0.0496*(días) + 0.8023$. Se concluye que el modelo del tiempo desde la emergencia del brote con la altura total en las cañas de guadua es muy práctico para su uso en futuros estudios bajo condiciones de Tingo María.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*, modelo, altura, diámetro, correlación.

I. INTRODUCCIÓN

Los modelos matemáticos de crecimiento determinan el conocimiento de la evolución o del crecimiento de cualquiera de las variables de alguna especie vegetal en estudio, tales como diámetro, altura total, volumen, etc. En Latinoamérica y en el país existe limitada información publicada referente el manejo silvicultural de los bambúes plantados; a pesar de ello, se cuentan con recomendaciones genéricos sobre el espaciamiento, crecimiento y su manejo más favorable (GIRALDO y SABOGAL, 1999; CRUZ, 1994; VENEGAS, 1993).

Cuando se refiere al crecimiento del bambú, es una pregunta con abundantes interrogantes debido que en muchos casos se generalizan los antecedentes o se tergiversan los comentarios sin sostener una base científica que lo respalda, ya que no se puede ofrecer una respuesta adecuada debido a que existen muchas especies y cada una con su particularidad.

En la provincia de Leoncio Prado se viene fomentando la propagación de bambúes a pequeña escala y una de la especie con mayor acogida es la *Guadua angustifolia*, con el cual se tiene falencias en el conocimiento de su comportamiento del crecimiento de las cañas, las cuales generan preguntas como ¿Cuál será el modelo matemático de crecimiento del diámetro y altura de cañas de *Guadua angustifolia* en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en la región Huánuco?

Los estudios de crecimiento son importantes para los encargados de planificar un aprovechamiento de la especie en estudio. La modelación del crecimiento de la caña permite la estimación de los momentos donde las cañas alcanzan el máximo crecimiento medio, información de utilidad para la planificación de un apropiado manejo de la plantación (PERPIÑAL *et al.*, 1993).

Los modelos referentes al crecimiento vegetal se diseñan siempre con un propósito y pueden emplearse como herramientas de investigación para ayudarnos a estructurar y comprender fenómenos o procesos complicados. Por otro lado, los modelos se pueden aplicar directamente en la práctica, como herramientas para la toma de decisiones. Para efectos prácticos de planificación del manejo de la especie en estudio, los modelos estadísticos de crecimiento y rendimiento han resultado muy útiles y de uso generalizado (HYNYNEN, 2005). De acuerdo a BURKHART (1992), los tipos más comunes de información proporcionada por los modelos de crecimiento son la actualización de inventarios, la evaluación de prácticas silviculturales, la planificación del manejo y la programación de la cosecha.

Se rechaza la hipótesis considerada en el estudio correspondiente a que “el modelo matemático de crecimiento del diámetro y la altura de cañas de *Guadua angustifolia* en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva estará expresado por la forma exponencial, debido a que se encontró que el modelo encontrado para la altura total fue un polinómico de tercer grado, mientras que en caso del diámetro no se reporta correlación alguna siendo carente de modelo matemático.

Teniendo en consideración lo expresado en los párrafos anteriores, los objetivos planteados para el presente estudio radicaron en:

Objetivo general

- Generar un modelo matemático del crecimiento del diámetro y la altura de cañas de *Guadua angustifolia* en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en la región Huánuco.

Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de crecimiento máximo para las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en la región Huánuco.
- Correlacionar el diámetro de las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en la región Huánuco.
- Correlacionar altura de las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en la región Huánuco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

BENEDETTO y TOGNETT (2016) en el artículo titulado “Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos” concluye que el contenido porcentual de materia seca es afectado por condiciones ambientales o de manejo; además las técnicas de análisis de crecimiento brindan la posibilidad de comparar las respuestas frente a modificaciones del ambiente aéreo y radical, y facilitan cambios en las rutinas de manejo y conducción de cultivos a través de los efectos que estos generan sobre los procesos fisiológicos asociados con la productividad a nivel de planta y cultivo. Constituyen, además, una herramienta que amplía nuestro horizonte de conocimiento agronómico y facilita su difusión.

RODRÍGUEZ-SHADE *et al.* (2010) predijeron el comportamiento del diámetro medio y la altura media en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse de la unidad silvícola Guisa, Empresa Forestal Integral Bayamo, evaluaron 11 modelos de regresión lineal y no lineal, donde el modelo que mejor bondad de ajuste presentó para el diámetro medio fue el de Gompertz, logrando explicar una alta variabilidad con un coeficiente de determinación del 94.3% y parámetros

de alta significación ($p < 0.001$), y para la altura media el modelo de Hossfeld I (modificado), con un coeficiente de determinación del 95.9% y parámetros de alta significación ($p < 0.001$). Se presentan las curvas que describen la evolución en el tiempo del incremento medio anual (IMA) y el incremento corriente anual (ICA) de esa variable.

2.1.2. Nacional

Durante los últimos años, en la Universidad Nacional Agraria La Molina, por medio de LLERENA *et al.* (2008) se propuso a la Dirección Nacional Forestal y Fauna del Ministerio de Agricultura el uso del *modelo Zelig* para el seguimiento y monitoreo de parcelas permanentes de muestreo de 12 años ubicadas en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt; el procesamiento de estos datos y la generación de los modelos de crecimiento debe servir para afinar los planes de manejo en las concesiones forestales del Bosque Nacional Alexander von Humboldt.

Hay aproximadamente 1.200 tipos de bambú que ofrecen una amplia variedad de tonos, desde el verde hasta el dorado, el borgoña, azul e incluso negro. Ciertos tipos de bambú pueden crecer hasta 30.5 cm por día (FIGUEROA y SARDIÑA, 2009).

Así como cualquier monocotiledónea los bambúes carecen de cambium vascular (anillos de crecimiento en diámetro en los árboles), por lo que cada caña emerge con un diámetro prefijado, por lo tanto, el desarrollo de cada

culmo o caña es cuestión de altura y maduración posterior para cada especie y ambiente (FIGUEROA y SARDIÑA, 2009).

Se reconocen cuatro fases:

- Fase de emergencia del brote, a partir del rizoma hasta lograr su altura definitiva, y se caracteriza por su cobertura de vainas del tallo, sin alguna ramificación lateral. Duración: Seis meses a un año.
- Fase juvenil, caracterizada por la pérdida de las vainas, pérdida de cerosidad y color verde oscuro, con ramificaciones y desarrollo de hojas verdaderas. Dura más de un año.
- Fase de maduración con cambio de color, de verde oscuro y brillante a más opaco, generalmente cubriéndose de algas, líquenes y musgos. Esta etapa dura entre un año y medio a 2 años y es la más apropiada para la cosecha de cañas maduras.
- Fase de sobre-maduración o senescencia. Las cañas varían a amarillo o castaño y se secan las ramificaciones, con caída de follaje a partir del quinto o sexto año.

CARO (2017) añade que el crecimiento del bambú es una pregunta difícil, ya que es muy complicado generalizar debido a que hay tantos tipos diferentes de bambúes, sumado a que estos se comportan de manera diferente según las condiciones climáticas y de suelo en las cuales se encuentran, que dar una dimensión sería incurrir indefectiblemente en un error.

A parte de las condiciones climáticas, existen otras variables como si son corredores o de mata, el estado de maduración, edad, y por supuesto, de que especie estamos hablando, recordemos que existen más de 1500 especies, con tamaños de 5 cm a 30 m de altura (CARO, 2017).

Asimismo, la tasa de crecimiento de una caña que brota de una planta adulta y se indica que el bambú puede crecer hasta 1.0 m por día y solo corresponde a la especie *Phyllostachys bambusoides*, en características edafo-climáticas ideales, en condiciones ideales. En este caso, las especies gigantes, que alcanzan los 20 a 30 metros, las cañas que brotan anualmente, alcanzan esta altura en periodos de 2 a 3 meses (CARO, 2017).

GASPARRI y GOYA (2006) exploraron la relación de distintas variables sobre el crecimiento de individuos de *Cedrela lilloi* y ajustaron una función de crecimiento individual. Para caracterizar la estructura del bosque, se instalaron 14 parcelas circulares concéntricas de 500 y 1,000 m², de los individuos incluidos en las parcelas, se obtuvieron muestras de barreno para estudiar el crecimiento. Además, se tomaron medidas de tamaño (altura y diámetro a la altura del pecho), iluminación de copa y competencia. Se realizaron pruebas de correlación para evaluar la relación de las distintas variables sobre el crecimiento. El diámetro a la altura del pecho y el índice de iluminación de la copa resultaron ser las variables con mayor relación. Con estas dos variables se ajustó una función derivada del modelo de Chapmand y Richards para predecir el incremento en área basal. La función seleccionada utiliza como variable independiente a las mediciones rutinarias en los inventarios forestales y puede

ser aplicada de manera sencilla para la estimación del crecimiento de *Cedrela lilloi*.

2.1.3. Local

No se cuenta con reportes sobre la tasa de crecimiento de la guadua, el cual le hace carente de información de esta índole en las especies de bambúes.

2.2. Modelización

Para SANQUETTA (1996), un modelo es una representación física o abstracta de la forma o función de entidades u objetos reales. VANCLAY (1994) y GARCÍA (1994) añaden que, el modelo es una abstracción, o una representación simplificada, de algunos aspectos de la realidad.

Los modelos elaborados en el modelado prueban hipótesis que son una explicación explícita de las presuposiciones del modelo. De este modo, los modelos son usados para observar las consecuencias de las predicciones que, de ser hechas naturalmente, serían muy complicadas, tomarían demasiado tiempo, o no podrían realizarse por razones prácticas o éticas (GARCÍA, 1994).

Inicialmente cualquier modelo es una representación imperfecta, no obstante, este puede ser mejorado poco a poco. Algunos llegan a la perfección, tornándose la propia realidad (caso de objetos artificiales como el aeromodelo), otros nunca llegan a esa situación. Por esto, un modelo de procesos biológicos

no puede ser perfecto (cierto o errado), sino que puede apenas ser una representación bien hecha o no de la realidad (SANQUETTA, 1996).

2.2.1. Simulación y modelo matemático

SANQUETTA (1996) menciona que, la simulación difiere del término modelado, pues no es simplemente la reproducción de resultados de un modelo matemático. Es, en verdad, una técnica para probar las características teóricas y prácticas de modelos a través de la validación de condicionantes. Esto es, la técnica que permite probar las consecuencias de alteraciones en las condiciones originales en que un modelo dado fue concebido.

Autores como DAELLENBACH *et al.* (1983), consideran un sistema como un conjunto agregado de componentes que se complementan de alguna forma y que son naturalmente dependientes, siendo fundamentales para el desarrollo de estudios de modelado.

Según MOSCOVICH (2004), un modelo matemático es una ecuación algebraica que expresa la relación lógica esperada entre dos o más variables. Así, un modelo es una expresión matemática de las hipótesis, según el cual, los datos observados serán examinados para verificar si los hechos soportan o no las hipótesis, y para determinar los valores de las estadísticas.

Para HYNENEN (2005), un modelo es una o más ecuaciones que predicen una propiedad, estado o desarrollo de una característica o evento (p.e.,

volumen del árbol o crecimiento en altura). Con el fin de predecir el desarrollo del rodal, muchos modelos deben ser aplicados de forma simultánea.

HYNEN (2005) añade que, un simulador es una plataforma en la que los modelos se aplican como un sistema de predicción que produce predicciones de crecimiento y rendimiento. Los simuladores de crecimiento y rendimiento son el núcleo de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones diseñados para el manejo forestal.

2.2.2. Modelos de crecimiento

Para GADOW *et al.* (2001), “la modelización forestal se rige por dos principios fundamentales: un conocimiento exhaustivo del sistema que se pretende modelizar y un establecimiento a priori, y con la mayor exactitud posible, de los objetivos concretos que se intentan alcanzar. En el ámbito forestal, el sistema es el árbol individual o la masa forestal, y el objetivo de la modelización es determinar la evolución en el tiempo de una o más variables dendrométricas o dasométricas que se definen en ese sistema.”

Respecto a la metodología más adecuada para la obtención de un modelo, ésta viene determinada por los objetivos que se pretenden alcanzar, que a su vez determinan el tipo de datos necesarios y la precisión de las estimaciones dadas (GADOW *et al.*, 2001).

Los modelos de crecimiento tienen múltiples aplicaciones dentro del ámbito forestal, entre las que destacan: conocimiento de la evolución o del crecimiento de cualquiera de las variables del árbol o de masa, tales como

diámetro, área basal, altura, volumen, etc.; y los modelos de crecimiento y sus primeras derivadas se pueden utilizar para caracterizar las funciones de distribución y de densidad de probabilidad de variables dendrométricas como diámetros, alturas, secciones o volúmenes, tanto en masas regulares como en irregulares (KIVISTE *et al.*, 2002).

Para el desarrollo de un modelo (HYNYNEN, 2005) se requieren distintas condiciones:

- Un adecuado conocimiento biológico y ecológico, así como la comprensión de los factores que afectan el crecimiento y la dinámica de los rodales de las especies de árboles considerados a modelar;
- Un conjunto de datos de mediciones empíricas que cubran las condiciones de crecimiento y variedad de las prácticas de manejo aplicadas, es decir, el área prevista de aplicación del modelo matemático;
- Métodos estadísticos adecuados para ser aplicados en el ajuste del modelo;
- La discusión crítica y sin ambigüedades e información del rendimiento esperado del modelo, incluyendo la recomendación de la zona de aplicación, restricciones e información sobre las condiciones en las que el modelo no debe ser utilizado.

2.2.3. Modelos de masa

Para GADOW *et al.* (2001), los modelos de masa se caracterizan por mostrar, para unas condiciones ambientales específicas, información sobre el desarrollo conjunto de todos los árboles que la constituyen, pero permitiendo modificaciones de sus variables debidas a alteraciones humanas, fundamentalmente claras.

Una de las principales ventajas de los modelos de masa es que necesitan de poca información para simular el crecimiento y estimar el volumen futuro (CASTEDO, 2004).

2.2.4. Modelos de árbol individual

CASTEDO (2004) señala que, son modelos mucho más precisos que los de masa, ya que se apoyan en los fenómenos que condicionan el crecimiento a un nivel más detallado que el de masa (el árbol es la unidad primaria de modelización); sin embargo, aunque la unidad primaria de modelización es el árbol, de ellos se puede derivar el crecimiento de variables de masa mediante metodologías de agregación.

Para MUNRO (1974), los modelos de árbol individual se pueden clasificar a su vez en dependientes e independientes de la distancia, siendo su característica común la introducción de un factor de competencia dependiente del individuo en las ecuaciones de crecimiento de cada árbol. Estas ecuaciones suelen ser una función de crecimiento en altura total o comercial, una función de

crecimiento en grosor (en diámetro o sección) y una función que estima la mortalidad natural.

CASTEDO (2004) añade que, una ventaja que presentan frente a otros tipos de modelos es que ofrecen la posibilidad de estimar el crecimiento de masas mixtas; sin embargo, poseen el inconveniente de requerir un gran volumen de datos, algunos de ellos muy costosos, y de exigir una elaboración metodológicamente más compleja que los modelos de masa.

2.2.5. Modelos de clases diamétricas

Para GADOW *et al.* (2001), son también denominados de clases de dimensión, se encuentran en el medio entre los modelos de masa y los de árbol individual. Son modelos que estiman las variables de masa y la estructura de la misma mediante una función de densidad o distribución que se ajusta las distribuciones diamétricas (Normal, Weibull, Beta, etc.). La unidad básica de simulación es, por tanto, el árbol ideal que representa un cierto número de árboles de la masa caracterizados por pertenecer a una misma clase diamétrica.

2.2.6. Modelos de proceso

Surgen en la búsqueda de una base fisiológica para las técnicas de modelización donde se incorpore a la simulación una interpretación de la dinámica interna del rodal fisiológica y ecológicamente fundamentada. El principio de este tipo de modelos es explicar los determinantes del crecimiento de los árboles mediante procesos ecológicos y fisiológicos, con el objetivo de

poder estimar la producción en el supuesto de que cambien estos determinantes. Los factores eco-fisiológicos que suelen incluir estos modelos son la luz, el ciclo de nutrientes, el balance de carbono, el índice de área foliar, etc. (ERVITI, 1991).

2.3. Crecimiento de las plantas

El crecimiento es el aumento irreversible de volumen de una célula, tejido, órgano o individuo, generalmente acompañado de un aumento de masa. Para que haya crecimiento no basta con que se produzca la división celular, dado que la simple división de una célula no constituye un aumento de volumen o masa. Durante el crecimiento la división celular es seguida por la expansión celular, en forma tal que, muy rápidamente las células hijas alcanzan el tamaño de la célula madre y pueden llegar a superarlo, como es en el caso de las células altamente vacuoladas, producto de la división de células meristemáticas (COURTIS, 2014).

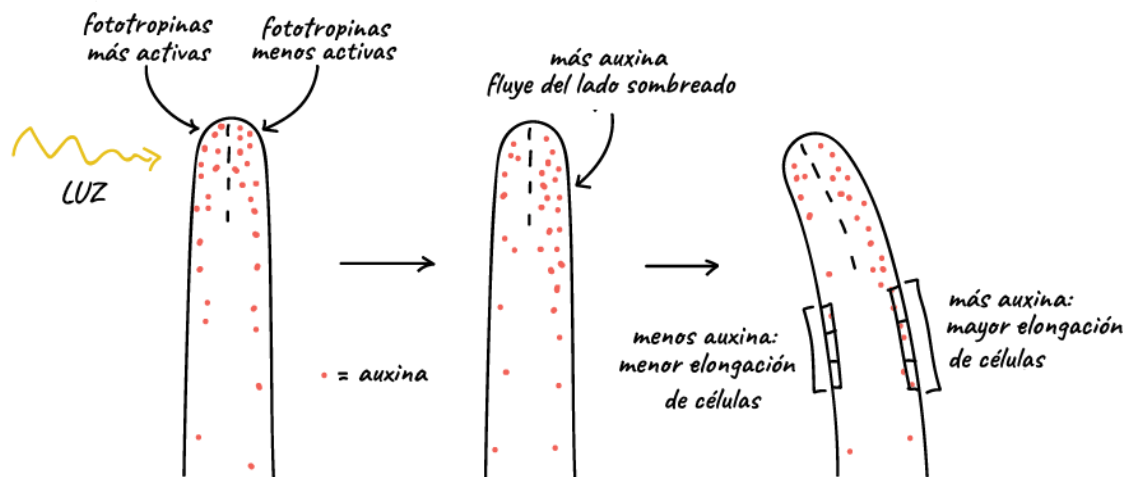
En la parte del crecimiento se consideran a las auxinas que son un grupo de hormonas vegetales naturales que regulan muchos aspectos del desarrollo y crecimiento de plantas. La forma predominante en las plantas es el ácido indolacético (IAA), además se encuentran el ácido 4-cloro-indolacético (4-ClIAA), ácido fenilacético (PAA), ácido indol butírico (IBA) y el ácido indol propiónico – IPA (LUDWIG-MÜLLER y COHEN, 2002).

Aunque las auxinas se encuentran en todos los tejidos de la planta, una mayor concentración ocurre en las regiones que están en crecimiento activo (JORDÁN y CASARETTO, 2006), y la auxina se distribuye en gradiente desde

el ápice primario hacia la base de la planta reprimiendo el desarrollo de brotes axilares laterales a lo largo del tallo - dominancia apical (THIMANN, 1977).

Las auxinas originan el crecimiento de los vegetales principalmente por un aumento de la expansión (elongación) celular, debido a la probable intervención de las proteínas de pared denominadas expansinas, que favorecerían inicialmente a la plasticidad de la célula, luego actuaría las enzimas hidrolíticas y la célula crecería como resultado de la presión de turgor originada por la vacuola y debido al depósito de nuevos materiales, cuya síntesis y transporte también parecieran ser regulados por las auxinas (HAGER 2003).

Se tiene reportes de experimento para identificar las funciones de las auxinas en la actividad de fototropismo, en ello, las proteínas fototropinas son los principales fotorreceptores responsables de detectar la luz durante el fototropismo; cuando un coleóptilo se expone a una fuente de luz, las moléculas de fototropina en el lado iluminado absorben una gran cantidad de luz, mientras que las moléculas en el lado sombreado absorben mucha menos. Mediante mecanismos que todavía no son completamente claros, estos diferentes niveles de activación de fototropinas causan que una hormona vegetal llamada auxina se transporte de forma desigual por los dos lados del coleoptilo (Figura 1). Es por esto que, se transporta más auxina por el lado sombreado y menos auxina por el lado iluminado. La auxina promueve la elongación celular y, en consecuencia, la planta crece más en el lado sombreado y se inclina en dirección de la fuente de luz (KHAN ACADEMY, 2016).



Fuente: KHAN ACADEMY (2016)

Figura 1. Esquema de la función de las auxinas.

Por otra parte, las auxinas también inducen la síntesis de giberelinas, hormonas que promueven el crecimiento del tallo, por lo que las auxinas también estimularían el crecimiento en forma indirecta (JORDÁN y CASARETTO, 2006), las giberelinas estimulan fuertemente la división y elongación celular en la porción sub-apical de los tallos y también en el meristema intercalar. Los mecanismos de división y elongación de la pared no están bien aclarados a nivel celular, pero se asume que el efecto de *soltura* de la pared celular sería diferente a la ejercida por las auxinas, aunque sería un efecto complementario (JAN *et al.*, 2004).

2.4. Guadua

BOTERO (2012) reporta que, la guadua pertenece a la familia Poaceae, a la subfamilia Bambusoideae y al género Guadua. Las especies de éste género se pueden distinguir de los demás bambúes principalmente por los culmos largos, las bandas de pelos blancos a lado y lado de la región del nudo,

hojas caulinares en forma triangular con sus bordes continuos. En caso de MORENO *et al.* (2006), la *Guadua angustifolia* Kunth, es una especie que alcanza alturas entre los 17 y 23 m, diámetros del tallo de 10 a 14 cm y demora de 4 a 6 meses para desarrollar su altura definitiva.

Esta especie se desarrolla hasta los 700 msnm, sus características son: caña verde, crece hasta 25 m, con diámetro de 15 cm, paredes gruesas, entrenudos de 13 a 35 cm, rizoma leptomorfo. Usos; construcción de remos, reforestación, cortinas rompe vientos, pulpa de papel, construcciones, artesanías, tejidos, tutores y muebles (MERCEDES, 2006).

Las especies correspondientes al género *Guadua* presentan características principales como:

- La hoja caulinar es de forma triangular con los bordes continuos de la vaina y de la lámina;
- Banda de pelos blancos y cortos arriba y abajo de la línea nodal;
- Hay presencia de estomas por el haz y por el envés;
- Palea de textura firme con las quillas aladas;
- Existe tres estigmas plumosos y seis estambres en la flor.

Se tiene conocimiento que, sus miembros son bambúes de porte mediano o grande, con culmos que pueden medir hasta 30 metros de altura y 23 cm de diámetro, de hábito escandente o recto, con rizomas paquimorfos de cuellos alargados o cortos (LONDOÑO, 2004).

BOTERO (2012) añade que, la guadua se presenta una limitación en el sentido de ser una especie de floración esporádica es decir solo algunos individuos de la misma mancha florecen en periodos irregulares que generalmente coinciden con las épocas de lluvia. Además de esto, las semillas tienen un periodo de viabilidad o capacidad de germinación muy corto.

La especie en estudio *Guadua angustifolia* Kunth sobresale por sus propiedades físico – mecánicas. Es muy resistente, flexible y por el tamaño de sus culmos, que alcanzan hasta 30 metros de altura y 25 centímetros de diámetro (CASTAÑO y MORENO, 2004).

Una vez establecida la guadua y con una edad entre 3 hasta los 6 años se observa que la mata de guadua está en desarrollo vertiginoso, alcanza alturas desde 12 a 15 m, el diámetro fluctúa desde 9 a 11 cm, disminuyendo la cantidad de renuevos con valores de 12 a 14 por mata, luego de esa edad, las matas estabilizan su desarrollo en donde las cañas alcanzan alturas de 15 a 18 m con diámetros de 10 a 12 cm. Una mata de guadua que se considere como ideal posee las características de se regenera o multiplica en base a los principios de sostenibilidad, máxima productividad y rentabilidad equilibrada, por ello tiene que presentar en su estructura horizontal como mínimo entre un 65% a 70% de cañas maduras, 20% a 25% de cañas jóvenes, entre el 5% a 10% de renuevos y entre el 2 al 5% de cañas secas (SALAS, 2006).

Los brotes nuevos siempre emergen teniendo su diámetro definido, esto ocurre porque no posee células de cambium o procambium que diferencian

sus tejidos hacia fuera, haciéndolo engrosar; en el primer mes de los nuevos brotes se registran crecimientos entre 4 a 6 cm diarios y más de la mitad (60%) de dicho crecimiento se realizan en horas nocturnas, condición que obedece a la presencia de auxinas. Pasado los 90 cm de altura en los nuevos brotes, el crecimiento en altura se encuentra entre 9 a 11 cm por día, aunque existen variaciones debido al sitio y el clima donde se desarrolla el renuevo. Una vez formado el rizoma y adquirida la característica de tipo paquimorfo es decir con cuellos cortos y altamente entrelazados (crecimiento plagiotropico - crece en forma paralela al suelo) se inicia la fase de renuevo, cuando la parte apical del rizoma emerge (crecimiento ortotropico - crecimiento es perpendicular al suelo) se presenta la iniciación del culmo o tallo aéreo con su diámetro definido (SALAS, 2006).

Generalmente en la fase de 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 (SALAS, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en cañas de bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth que se encuentran ubicadas en el área de la Facultad de Agronomía, área perteneciente a la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), que se ubica políticamente en el distrito Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado en la región Huánuco; y geográficamente presenta las siguientes coordenadas UTM:

Este	:	390421 m
Norte	:	8969995 m
Altitud	:	662 m.s.n.m

Respecto al clima correspondiente al área en estudio, es resaltante la alta pluviosidad con una precipitación anual promedio de 3,328.9 mm. Las mayores precipitaciones se producen entre los meses de septiembre a abril y alcanza un máximo extremo en el mes de febrero con un promedio mensual de 608.4 mm (ESTACIÓN METEOROLÓGICA JOSÉ ABELARDO QUIÑONES, 2014). La humedad relativa de 85% y una temperatura media anual de 24.9 °C.

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida y el diagrama bioclimático de Holdridge (INRENA, 1995), Leoncio Prado se encuentra en la

formación vegetal bosque muy húmedo Pre-montano Tropical bmh-PT, y de acuerdo a las regiones naturales del Perú corresponde a Selva Alta.

El suelo donde se encuentra las matas de la guadua presentaba una textura Franco Arcilloso, con pH de 6.17 (ligeramente ácido), materia orgánica de 2.20% (media), nitrógeno con 0.11% (medio), fósforo en 8.25 ppm (bajo) y el potasio en 60.97 ppm considerada de nivel bajo (Figura 15 del Anexo), categorización realizado de acuerdo a lo indicado por la empresa AGROECOLOGÍA TORNOS (2018).

Las matas fueron establecidas cuando dichos terrenos pertenecían a la Estación Experimental Agrícola de Tingo María, los cuales fueron transferidos por el Ministerio de Agricultura a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que fue creada el 17-02-1964, mediante Ley N° 14912. Su organización estuvo a cargo de las Universidades Nacionales Mayor de San Marcos y Agraria La Molina. La comisión organizadora concluyó la inauguración de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, el 03-04-1965, dando así inicio a las labores académicas. Empezaron a funcionar como organismos académicos las facultades de Agronomía y Zootecnia (UNAS, s.d.).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico o unidad de estudio

Se consideró como unidad de estudio a las cañas emergentes de la especie de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) todos demarcados en el área de estudio.

3.2.2. Materiales

Se utilizaron los siguientes materiales: Tijera telescópica, formatos de evaluación, vara graduada (mira topográfica), pintura esmalte, cinta métrica, wincha de 5.0 m y prensa botánica.

3.2.3. Equipos

Entre los equipos que se utilizaron para la ejecución de la investigación, fueron: Trupulse 200, receptor GPS, cámara fotográfica y computador portátil.

3.3. Generalidades de la investigación

3.3.1. Tipo de estudio

En base a la clasificación operativa de los estudios reportado por SUPO (2014) y teniendo en consideración los criterios de que las clasificaciones de los estudios deben priorizar lo exhaustivo y excluyente, el estudio corresponde al tipo “prospectivo”, debido a que los datos procedieron de mediciones realizadas por el propio tesista, que presentaron como característica una secuencia de cada siete días entre una y otra observación.

3.3.2. Diseño de estudio

Debido a que en el estudio hubo ausencia de manipulación deliberada de la variable independiente, el diseño que se prosiguió corresponde a la clasificación “no experimental”, específicamente pertenece al tipo

correlacional (HERNÁNDEZ *et al.*, 2014), por que buscó realizar un tipo de asociación entre los factores como el tiempo con el incremento de altura y diámetro de las cañas de la guadua.

3.3.3. Población

Teniendo en consideración lo expresado por VARGAS (2007), respecto a que la población debía estar determinada por condiciones ambientales, de tiempo y espacio. La población en estudio fue la totalidad de unidades de estudio que tuvieron características similares y sobre los cuales se realizó las inferencias o generalizaciones. En este caso, se le denomina población a todos los brotes que emergen de las matas encontradas en el Fundo Agrícola de la UNAS.

3.3.4. Muestra

Las muestras estuvieron constituidas por 105 cañas emergentes de *Guadua angustifolia* Kunth (CAMARGO *et al.*, 2010), dicho tamaño muestral se enmarcó a los dos meses de emergencia de brotes (diciembre y enero) los cuáles fueron tomados para evaluación de acuerdo a como se indica en la Figura 3; se recalca que no se consideró mayor cantidad de brotes debido a que hubo afectación de fauna silvestre.

3.3.5. Muestreo

Debido a que las cañas que se evaluaron tuvieron que ser tiernas y el pleno crecimiento, se optó por aplicar el muestreo no probabilístico o también

llamada muestreo dirigido, de esta manera se fue eligiendo a los nuevos brotes mientras iniciaban a emerger del suelo y los que no presentaban algún daño por la fauna de la zona o en todo caso que no presentó daño mecánico por parte de algunos alumnos ocasionan al cosechar las cañas adultas.

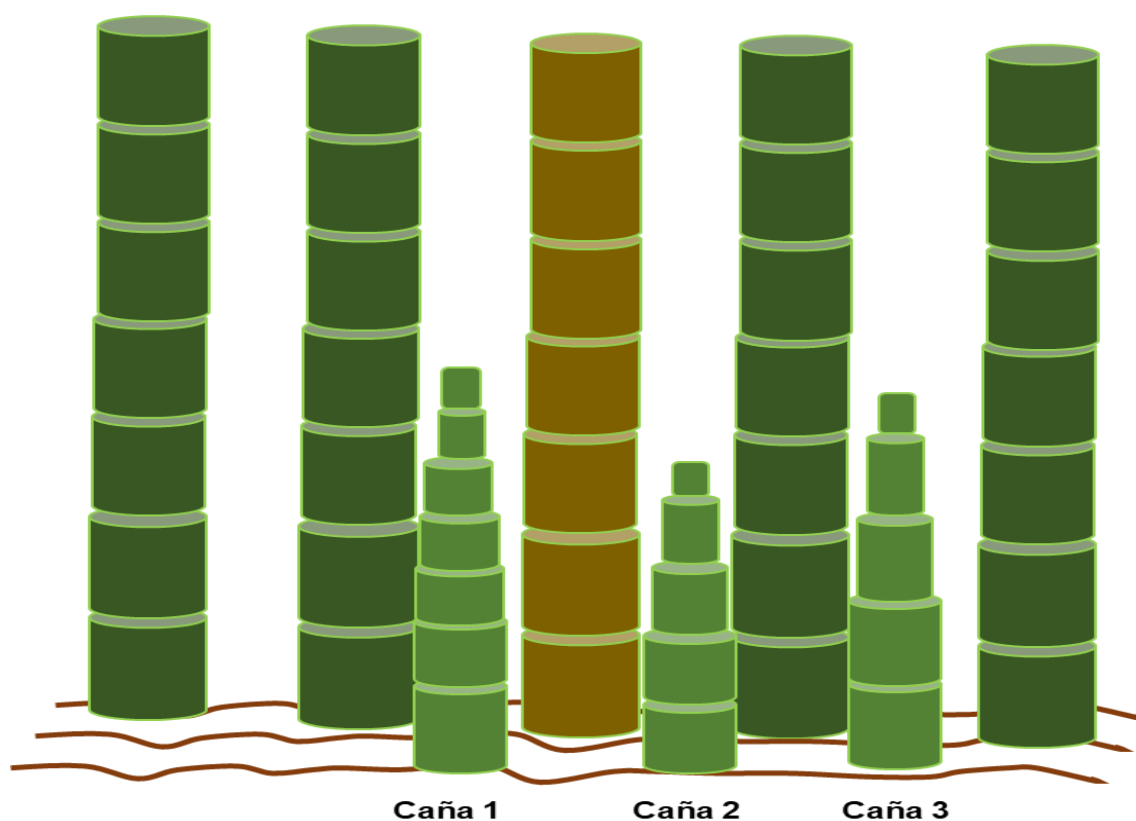


Figura 2. Esquema para la selección de cañas emergente para la elaboración del modelo matemático de crecimiento.

3.4. Metodología

3.4.1. Tiempo de crecimiento máximo para las cañas de bambúes (*Guadua angustifolia*)

Como labor inicial se solicitó la debida autorización al personal encargado del fundo agrícola de la Facultad de Agronomía, en dicha solicitud se

adjuntó el respectivo proyecto de tesis. Una vez accedida la autorización se procedió a realizar la limpieza general del área donde se encontraban las matas del bambú con fines de que se observa con mayor facilidad a los nuevos rebrotes.

Se consideró muestrear partes de las hojas y ramas de dicha mata empelando una tijera telescópica, luego se procedió al respectivo prensado de dichas muestras y se trasladó hacia la ciudad de Oxapampa en donde se encuentra el Herbario Hoxa que realizó su respectiva identificación (Figura 15 del Anexo).

Otra actividad consistió en muestrear de suelos y se juntó submuestras de las calles que se generaron entre matas debido a la limitada cantidad de tierra que se encuentra cerca de las matas por el exceso sistema radicular que presenta la especie en estudio, dichas muestras fueron secadas y trasladadas hacia el laboratorio de la Facultad de Agronomía para que se realice su respectivo análisis físico y químico de dicha muestra (Figura 15 del Anexo).

Antes de realizar las respectivas mediciones, se elaboró láminas de triplex que fueron codificadas y se les añadió un listón pequeño de madera con la finalidad de una vez encontrada un brote salía del suelo se le colocaba dicho código delante del brote (Figura 10 del Anexo) con fines de no equivocarse en las siguientes mediciones; dicho tiempo para medir los brotes nuevos fueron en periodos de cada siete días y los números asignados en cada lámina fueron correlativos hasta los 105 individuos encontrados durante el periodo de ejecución de la tesis.

El tiempo máximo de crecimiento fue determinado entre los valores desde que inició la brotación hasta que dicha caña se estabilizara su crecimiento en altura. Debido a que el tiempo de inicio no se tenía bien definido en los brotes a consecuencia que cuando inició la recolección de datos no se contaba con todos los brotes emergiendo y que mientras transcurría el tiempo aparecían otros brotes, se consideró acomodar los datos obtenidos de campo, para esto se uniformizó con los brotes nuevos que medían cerca a los 50 ± 10 cm, en donde los valores que se encontraban en este rango (desde 40 hasta los 60 cm) se proyectaron que presentaban una edad de 28 días (Figura 4) debido a que la mayoría de brotes con dicho tiempo de emergencia alcanzaron similar dimensión.

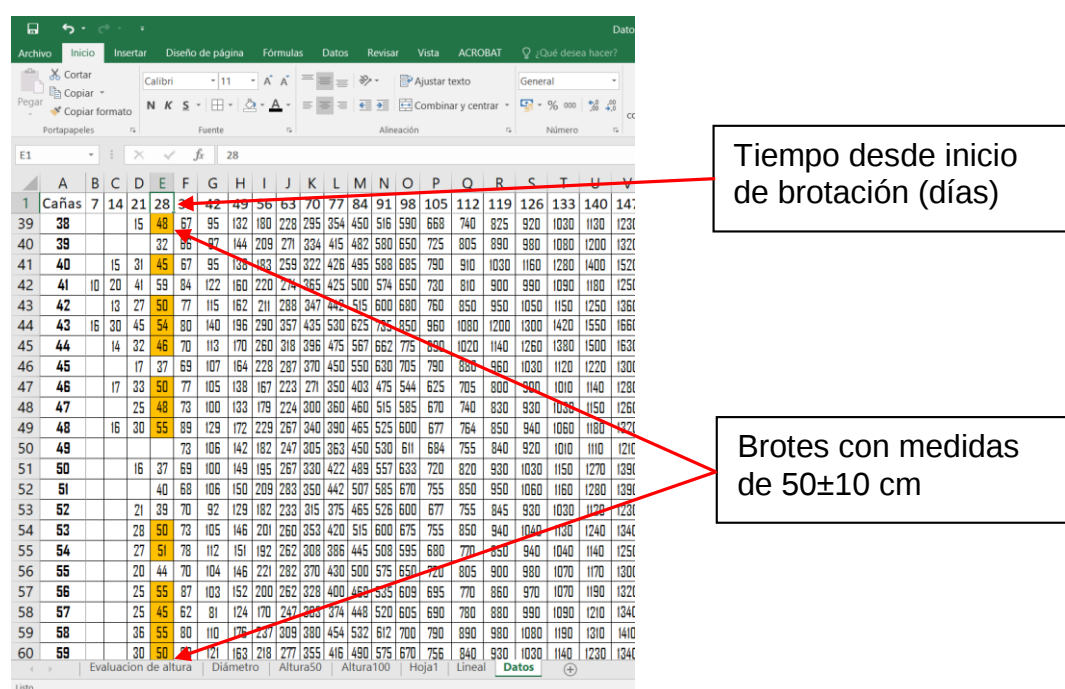


Figura 3. Uniformización de datos en la tabulación.

Una vez tabulados los datos, se determinó el tiempo en que cada brote alcanzó su altura máxima, este valor se utilizó para su respectivo análisis

debido a que representó el tiempo de crecimiento máximo de las cañas de bambú, para su análisis se consideró utilizar la estadística descriptiva donde se calculó valores de los siguientes parámetros: mínimo, máximo, promedio aritmético y su respectivo coeficiente de variación.

Las fórmulas empleadas para el promedio aritmético fue el siguiente:

$$Media = \frac{Suma\ de\ los\ datos}{Cantidad\ de\ datos}$$

Para determinar el coeficiente de variación de las observaciones, se utilizó la siguiente fórmula:

$$CV\% = \frac{DE}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

CV: Coeficiente de variación

DE: Desviación estándar

X: Media muestral

Las escalas para calificar la variabilidad de la caracterización de las cañas de bambú, se consideró según el criterio reportado por CALZADA (1970), siendo estos los siguientes:

- Entre 5% y 10%: excelente dispersión de los datos.
- Entre 11% y 15%: muy buena dispersión de los datos.
- Entre 16% y 20%: buena dispersión de los datos.

- Entre 21% y 25%: regular dispersión de los datos.
- Entre 26% y 31%: mala dispersión de los datos.

3.4.2. Correlación del diámetro de las cañas de bambúes (*Guadua angustifolia*) con el tiempo

Se tuvo en consideración las mismas actividades referidas en el objetivo anterior, pero se midió otras variables como es el caso del diámetro de la caña ejecutado a 1.00 m sobre el suelo y se le midió en cuatro momentos con intervalos de cada 30 días, criterio considerado debido a la carencia de variación, a pesar de esto se encontró ligera variación de dichos resultados, es por esto que su análisis se realizó mediante el uso de la sustracción y la elaboración de una figura en histogramas.

3.4.3. Correlacionar altura total de las cañas de bambúes (*Guadua angustifolia*) con el tiempo

Con la finalidad de determinar la correlación posterior entre variables (altura y tiempo), para las cañas seleccionadas del bambú (*Guadua angustifolia*), se midió el crecimiento de las cañas de bambú desde el momento que estas emergen del suelo. En caso de algunas mediciones iniciales ya se había encontrado algunos brotes que emergieron del suelo, a ellos se les midió la longitud que presentaban y con los datos de los brotes nuevos se acomodaron (Figura 5) a una edad aproximada para su posterior análisis; las mediciones se iniciaron con una wincha de 05 m, luego cuando ya se encontraban un poco más

altos se utilizó la mira topográfica y en caso de que ya presentaban individuos con alturas muy limitadas para medir, se estimó empleando el uso de un Trupulse. Las mediciones se realizaron en periodos de cada siete días.

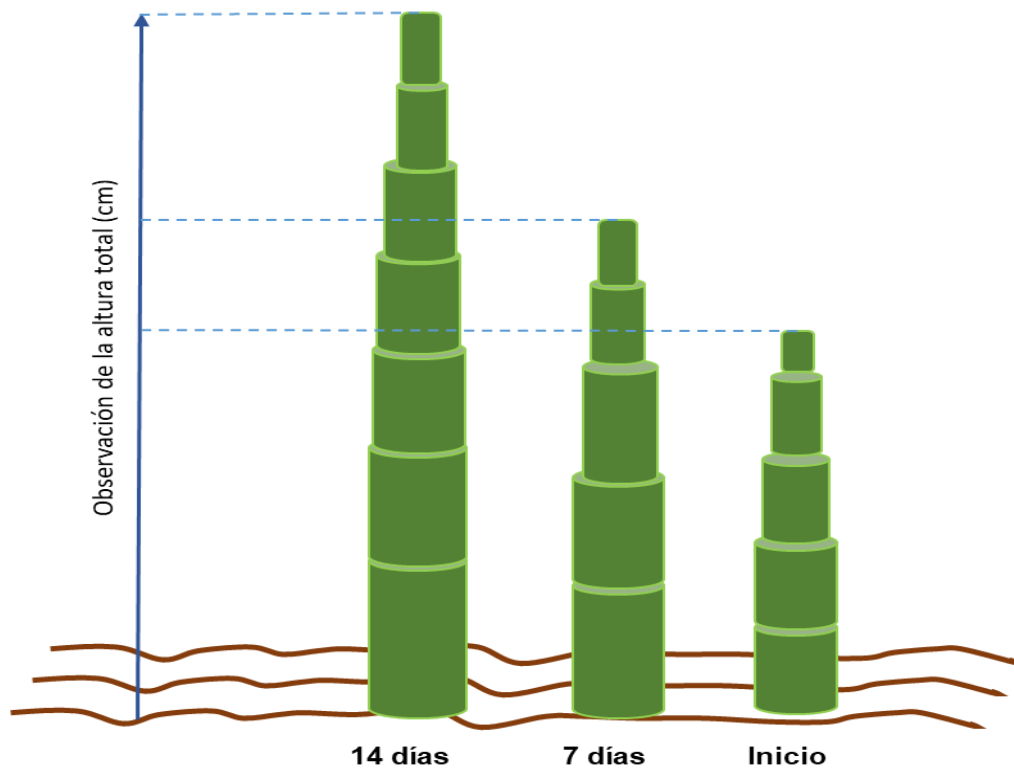


Figura 4. Esquema de la técnica de observación en una caña de bambú.

En el análisis se encontró que para el caso de los incrementos de la altura fueron eliminados los datos correspondientes a los días 182 al 189 y entre los días 238 al 245 días debido a que fueron atípicos (outliers) y autores como OCAÑA (2019) señalan que es una alternativa para seguir con el análisis, además en caso de querer conocer el incremento de la altura total de manera diaria se eliminó datos entre los días 252 al 259 debido a que salieron negativos a causa de la poca repetición que se originó ya que son muy raros que presentaran dichos valores.

Debido a que los datos no presentaban distribución normal y se tenía preferencias para elaborar modelos curvilíneos, se realizó correlación la correlación Rho de Spearman, luego se prosiguió con el ANVA para la regresión curvilínea de tercer grado.

Con la finalidad de elaborar el modelo de crecimiento, se procedió como primera actividad a contrastar la hipótesis respecto a la presencia o ausencia de correlación entre la altura de la caña con el tiempo transcurrido de la evaluación, para ello se utilizó el paquete estadístico SPSS v 25, en donde se hizo uso del estadístico de prueba denominado correlación de Spearman (Rho), a un nivel de confianza de 95% en que la correlación sea verdadera y un 5% de probabilidad de error, en dicha contrastación se analizó el p-valor o significancia para aceptar ($p \geq 0.05$) o rechazar la hipótesis nula ($p < 0.05$).

Para el caso de la interpretación del coeficiente de Rho de Spearman, se va considerar lo indicado por HERNÁNDEZ *et al.* (2014), en donde los valores de dicho coeficiente tendrán valores de:

- 1.00= Correlación negativa fuerte.
- 0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
- 0.75 = Correlación negativa considerable.
- 0.50 = Correlación negativa media.
- 0.25 = Correlación negativa débil.
- 0.10 = Correlación negativa muy débil.
- 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0.10 = Correlación positiva muy débil.

+0.25 = Correlación positiva débil.

+0.50 = Correlación positiva media.

+0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta.

Una vez aceptada la hipótesis de la existencia de correlación entre las variables en estudio, se procedió a la elaboración del modelo de crecimiento en donde se inició mediante la aplicación de modelos lineales (regresión lineal simple) y posteriormente se realizó pruebas de modelos curvilíneos (exponencial, parabólica, etc.). La razón de escoger un modelo del otro dependía del coeficiente de determinación (R^2), el cual debió ser lo más cercano a la unidad. Con los datos analizados e interpretados, se procedió a redactar el informe final de la tesis.

IV. RESULTADOS

4.1. Tiempo de crecimiento máximo para las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco

Se consideró para esta variable la cantidad de 105 brotes nuevos que fueron medidos hasta que alcanzara su altura máxima, de los cuales se registró que hubo cañas que alcanzaron su altura máxima a los 161 días de haber emergido (5.37 meses), mientras que el promedio obtenido fue de 223.40 días que representa 7.45 meses que es el tiempo transcurrido desde que se observa un brote nuevo hasta convertirse en adulto. Debido a que el coeficiente de variación se encuentra entre el rango de 5% hasta 10%, los datos correspondientes al tiempo de crecimiento máximo de las cañas de guadua presentaron excelente dispersión de los datos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos del tiempo de crecimiento máximo en cañas de guadua.

Variables	N	Mínimo	Máximo	Media	CV (%)
Tiempo máximo (días)	105	161.00	259.00	223.40	9.39
Tiempo máximo (mes)	105	5.37	8.63	7.45	9.39

CV: Coeficiente de variación.

4.2. Correlación del diámetro de las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco

Los datos correspondientes al diámetro de la caña del bambú en estudio fueron de 105 individuos, en donde el menor valor que se registró correspondía a 7.32 cm, mientras que el máximo valor que se registró fue de 16.07 cm, de los cuales se reporta una media de 11.90 cm y pasado cuatro meses después la media fue de 11.87 cm (Cuadro 2 y Figura 6).

Los datos empleados de los diámetros correspondientes a todas las cañas de guadua estuvieron enmarcados entre los valores porcentuales de 16% hasta 20%, con el cual se considera que dichos valores presentaron buena dispersión respecto a la media aritmética (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos del diámetro en cañas de guadua.

Fechas de medición	N	Mínimo	Máximo	Media (cm)	CV (%)
31-03-19	105	7.38	16.07	11.90	16.85
31-07-19	105	7.32	15.98	11.87	16.87
Variación (4 meses)	105	-0.92	0.16	-0.03	-461.86

CV: Coeficiente de variación.

De las cañas medidas se observa que en un periodo de cuatro meses hubo una pequeña disminución del diámetro de las cañas medidas a 1.00 cm sobre el suelo cuyo valor fue de 0.03 cm (Figura 5).

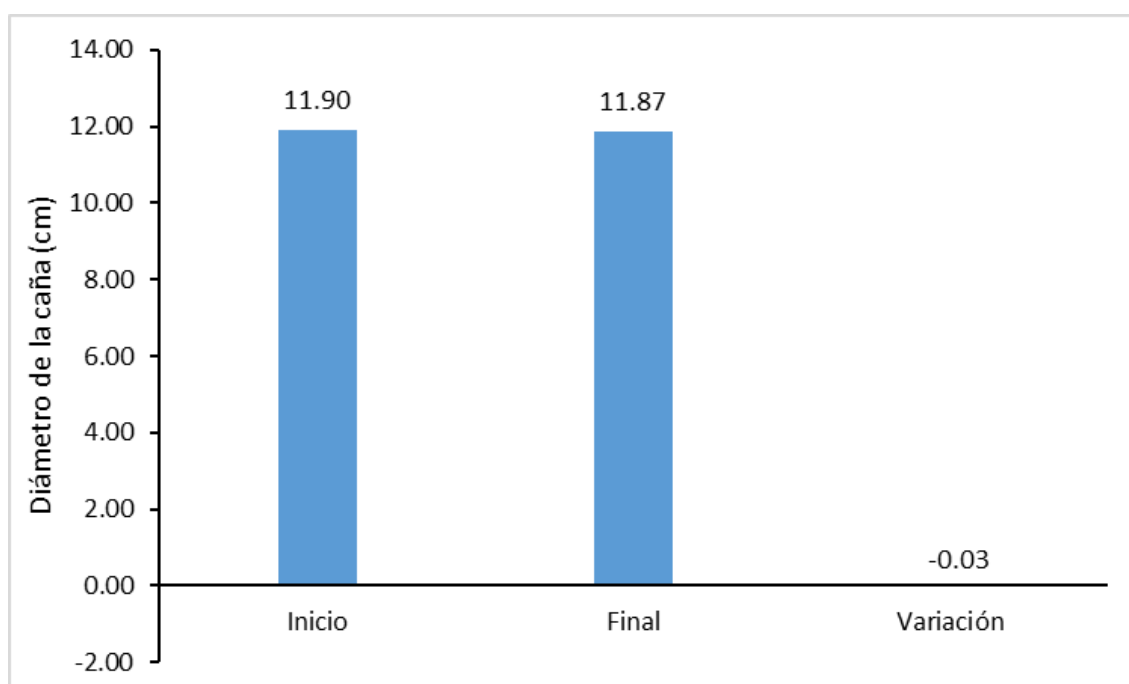


Figura 5. Diámetros de cañas de la guadua.

No se reportó correlación significativa entre el tiempo con el diámetro de las cañas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Correlación entre el tiempo de emergencia del brote y el diámetro de las cañas de guadua.

Variables	N	Coeficiente de correlación (Rho)	p-valor
Diámetro de la caña	525	-0.00288	0.9475 ^{ns}

ns: No existe correlación estadística.

4.3. Correlación de la altura de las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco

Las cañas de guadua presentaron alturas totales desde los 16.40 m hasta los 30.20 m, lo cual se traduce en una media de 25.30 m, siendo estos

datos de muy buena dispersión debido a que los coeficientes de variación muestran valores inferiores al 20.0% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de la altura total en cañas de guadua.

Variables	N	Mínimo	Máximo	Media	CV (%)
Altura total (cm)	105	1640.00	3020.00	2529.76	12.07
Altura total (m)	105	16.40	30.20	25.30	12.07

CV: Coeficiente de variación.

El tiempo considerado en cada medición realizada estuvieron correlacionadas con la altura total de las cañas y los incrementos de la altura realizado de manera semanal y diaria, además el grado de correlación entre las variables corresponden a una “correlación positiva perfecta” con la altura total y “Correlación positiva media” con los incrementos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Correlación entre el tiempo de emergencia del brote y la altura total de las cañas de guadua.

Variables	N	Coeficiente de correlación (Rho)	p-valor
Altura total (medias)	37	1	<0.01*
Incrementos (semanal)	33	0.508	0.003*
Incrementos (diario)	33	0.508	0.003*

El modelo generado para la altura total de la especie en estudio respecto al tiempo después de la emergencia del brote, indica que en un valor

del 99.9%, el tiempo determina el comportamiento de la altura total de las cañas de la guadua (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resumen del modelo de crecimiento de las cañas de guadua.

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1.000	0.999	0.999	0.282

En el análisis de la varianza para el modelo generado entre el tiempo desde la aparición de brotes y la altura total que alcanza la misma presentó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 7).

Cuadro 7. ANVA para el modelo de crecimiento de las cañas de guadua.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Regresión	3492.977	3	1164.326	14675.668	<0.01*
Residuo	2.618	33	0.079		
Total	3495.595	36			

*: Existe diferencias estadísticas significativas (se acepta H_1 : el modelo no toma el valor de cero)

El modelo generado corresponde a una ecuación de tercer grado en donde la variable tiempo expresado en días posteriores a la aparición de los brotes determina el comportamiento de la altura total bajo condiciones de Tingo María, de los cuales se reporta que los coeficientes y el constante de dicho modelo presentan significancia estadística, con el cual se considera que no asumen valores igual a cero, aceptando que dicho modelo matemático puede utilizarse para la población de guadua (Cuadro 8).

Cuadro 8. Coeficientes del modelo de crecimiento de las cañas de guadua.

Componentes	Coef. no		Coef.		
	estandarizados		estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
Tiempo	-0.050	0.007	-0.382	-7.513	<0.01*
Tiempo*2	0.001	0.000	2.966	24.540	<0.01*
Tiempo*3	-3.101E ⁻⁰⁶	0.000	-1.637	-21.874	<0.01*
Constante	0.802	0.206		3.900	<0.01*

Coef.: Coeficiente.

El modelo generado respecto a la altura total está determinado por la forma:

$$Y = -3.E-06*(tiempo)^3 + 0.0014*(tiempo)^2 - 0.0496*(tiempo) + 0.8023$$

Donde:

Y = Altura total que alcanza la caña en metros (Figura 6).

x = Tiempo expresado en días después de la emergencia del brote

0.8023 = constante

En caso del análisis correspondiente al incremento promedio diario de la altura total en las cañas de guadua, se muestra que empieza ascender desde que inicia a emerger, mostrando su máximo esplendor a los 154 días (5.13 meses) de haber emergido con una media de 17.54 cm, en adelante empieza a disminuir el incremento de la altura hasta los 259 días (8.63 meses) en que ya

no se muestra incremento alguno de la variable altura total y las cañas de guadua empiezan a madurar (Figura 7).

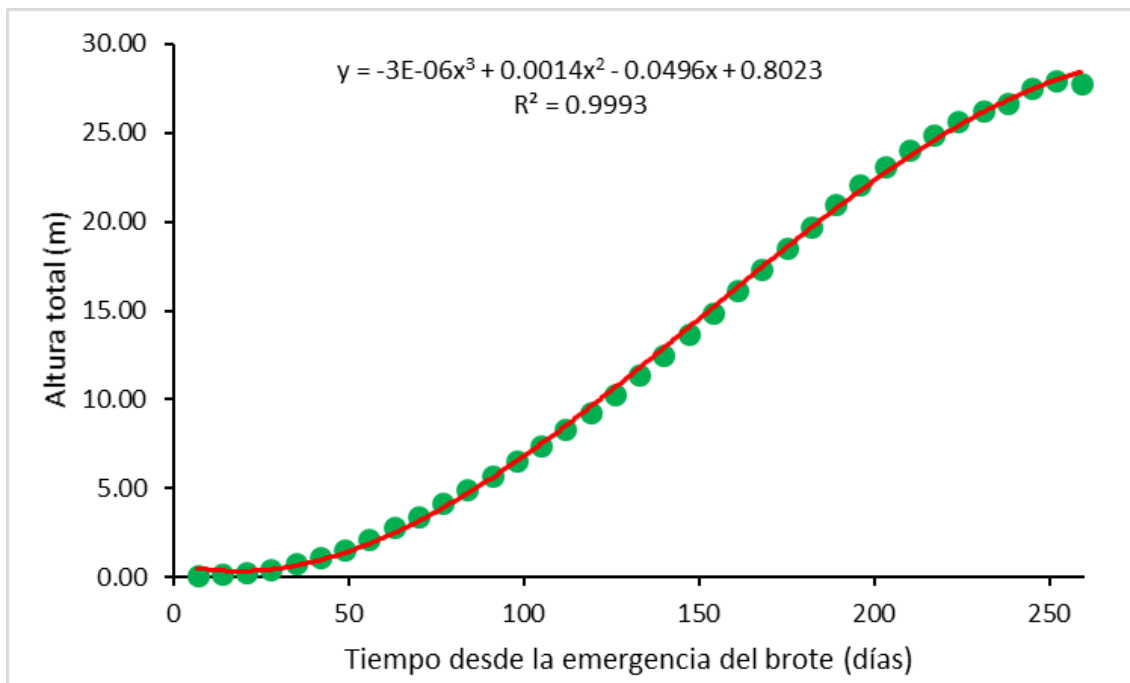


Figura 6. Modelo de crecimiento en altura total para las cañas de guadua.

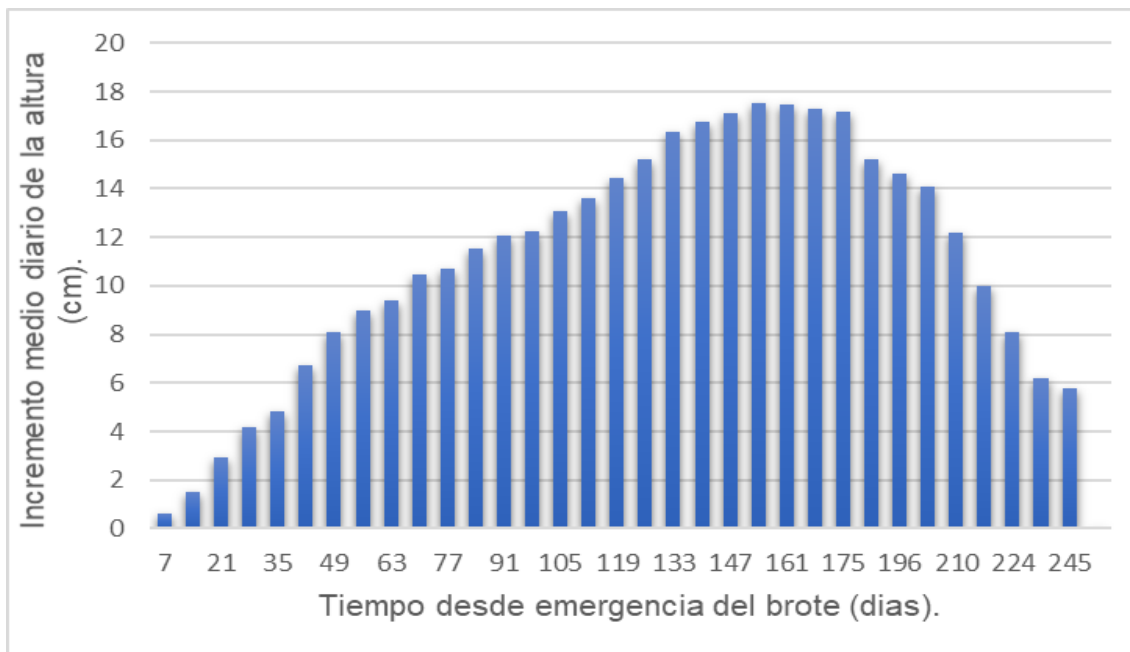


Figura 7. Incremento medio diario de la altura respecto al tiempo de emergencia del brote.

V. DISCUSIÓN

5.1. Determinación del tiempo de crecimiento máximo para las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco

Se encontró que las cañas de guadua alcanzaron su altura máxima en promedio a los 7.45 meses, el cual es superior a lo expresado por SALAS (2006) quien señala que dicha especie llega a su máxima altura a los 6.3 meses, diferencia encontrada posiblemente a las condiciones de distribución de las lluvias y de la temperatura debido a que en Tingo María las condiciones de elevada precipitación y estiaje son muy marcadas por la ocurrencia de lluvias en los meses desde setiembre hasta abril, alcanzando un máximo extremo en el mes de febrero (ESTACIÓN METEOROLÓGICA JOSÉ ABELARDO QUIÑONES, 2014).

Valores mucho más inferiores a lo encontrado en el presente estudio lo reportan MORENO *et al.* (2006) al señalar que esta especie alcanza su altura definitiva desde los 4 hasta los 6 meses; este comportamiento puede también atribuirse a la edad de la mata ya que para SALAS (2006) una mata tiene que tener una edad superior a los seis años posteriores a su establecimiento donde estabilizan su desarrollo. En caso del presente estudio se desconoce la edad que presentaban las matas de guadua.

5.2. De la correlación entre el diámetro de las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco

Los diámetros de la guadua en estudio presentaron ligera disminución en cuatro meses que se realizó las mediciones en donde la media obtenida fue de 0.03 cm (3 mm), este comportamiento pudo ocurrir debido a que en la fase juvenil presentan pubescencia (pelusa) y en el transcurrir del tiempo pierden dicha característica, esta aseveración es confirmado por SALAS (2006), quien indica que los rebrotes siempre emergen con su diámetro definido, debido a que no posee células de cambium o procambium que diferencian sus tejidos hacia fuera, haciéndolo engrosar.

Los diámetros reportados por las cañas de guadua presentaron medias de 11.87 a 11.90 cm, valores que están en el rango indicado por MORENO *et al.* (2006) al reportar medias entre 10 hasta 14 cm y similares a lo indicado por SALAS (2006) donde cuando la mata alcanza su estabilidad de crecimiento las cañas de guadua presentan diámetros entre 10 a 12 cm. Resultados superiores y muy diferentes lo reportan MERCEDES (2006) en donde señala que el diámetro de las cañas es de 15 cm, de la misma manera que LONDOÑO (2004) que reporta una media mucho más elevada cuyo valor es 23 cm de diámetro y para CASTAÑO y MORENO (2004) reportan una media mucho mayor que asciende a 25 centímetros de diámetro, esta variaciones se puede atribuir a muchos factores que en caso de las publicaciones no reportan como es la edad, silvicultura utilizada (SALAS, 2006) o la cantidad de datos que

se utilizó para considerar en dichos reportes, ya que la máxima encontrada en el presente estudio fue de 16.07 cm.

5.3. De la correlación entre la altura de las cañas de bambú (*Guadua angustifolia*) con el tiempo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco

La media de la altura total en las cañas de guadua fue de 25.30 m, resultados superiores a los reportados por MORENO *et al.* (2006) quienes señalan valores entre los 17 y 23 m, MERCEDES (2006) indica que crece hasta los 25 m y SALAS (2006) con edades de las matas superiores a seis años reporta alturas de 15 a 18 m. En caso de autores como LONDOÑO (2004), CASTAÑO y MORENO (2004) reportaron que los culmos pueden medir hasta 30 metros de altura, dato similar el valor máximo encontrado en el presente estudio que fue 30.20 m.

El modelo matemático elaborado para el crecimiento de la altura en las cañas de guadua es muy práctico de utilizar, no existiendo reportes de estudios similares en esta especie, pero debido a que se puede utilizar para predecir su crecimiento de la especie en estudio (CASTEDO, 2004), ya que gracias a su rápido crecimiento que presenta por hormonas naturales como son las auxinas que se encuentran en mayor concentración ocurre en las regiones que están en crecimiento activo (JORDÁN y CASARETTO, 2006), actuando mediante un aumento de la expansión (elongación) celular, debido a la probable intervención de las proteínas de pared denominadas expansinas, que

favorecerían inicialmente a la plasticidad de la célula, luego actuaría las enzimas hidrolíticas y la célula crecería como resultado de la presión de turgor originada por la vacuola y debido al depósito de nuevos materiales, cuya síntesis y transporte también parecieran ser regulados por las auxinas (HAGER 2003). Estas características favorecieron a la elaboración de un modelo matemático con un coeficiente de determinación muy cercano a la unidad.

Se encontró incremento diario de la altura hasta 17.54 cm a los 154 días (5.13 meses) de haber emergido el brote, resultados muy superiores a los señalado por SALAS (2006) quien indica que pasado los 90 cm de altura en los nuevos brotes, el crecimiento en altura se encuentra entre 9 a 11 cm por día, aunque existen variaciones debido al sitio y el clima donde se desarrolla el renuevo, el cual pudo ser la fuente de la variación en los resultados comparativos con el presente estudio.

VI. CONCLUSIONES

1. Las cañas de guadua situados en el Fundo Agrícola de la Facultad de Agronomía, luego de que emergen necesitan un tiempo de 7.45 meses para que alcancen su altura total, aunque hay cañas que demoran solamente 5.37 meses y otros hasta los 8.63 meses.
2. No se reporta correlación alguna del diámetro de las cañas de guadua respecto al tiempo de emergencia, debido a que la media encontrada fue de una disminución insignificante (-0.03 cm) que posiblemente se atribuye a las vellosidades que presentan en su etapa juvenil de las cañas.
3. Existe correlación significativa entre la altura total (m) de las cañas con el tiempo (en días) posterior a la emergencia de los brotes, con el cual se genera un modelo de la forma $Y = -3.E-06*(tiempo)^3 + 0.0014*(tiempo)^2 - 0.0496*(tiempo) + 0.8023$ con un coeficiente de determinación muy cercana a la unidad.

VII. RECOMENDACIONES

1. Considerar otros estudios similares en donde se incluyan matas de diferentes lugares con la finalidad de homogenizar la emergencia de los brotes en periodos más cortos como un mes, ya que el comportamiento de la altura total puede estar afectados por las condiciones climáticas o en todo caso el tamaño de las matas.
2. Realizar estudios puntuales sobre la relación entre la cantidad de brotes que emergen de guadua con la cantidad de precipitación o las estaciones del año para conocer en qué momento se encuentran mayor cantidad de brotes por mata.
3. Realizar estudios comparativos en el ritmo de crecimiento considerando la noche y el día, debido a que existen reportes que las auxinas aceleran el crecimiento en mayor medida por horarios nocturnos.

**MATHEMATICAL MODELING OF THE GROWTH OF THE DIAMETER AND
HEIGHT OF RODS OF *Guadua angustifolia* IN THE AGRICULTURAL
WORLD OF THE NATIONAL AGRICULTURAL UNIVERSITY OF LA SELVA,
HUÁNUCO REGION**

VIII. ABSTRACT

With the objective of developing a mathematical model of the diameter and height growth of *Guadua angustifolia* reeds in the Agricultural Fund of the National Agrarian University of the Jungle in the Huánuco region, the total height of said bamboo was measured considering periods of every seven days to 105 reeds that emerged during the thesis period, then it was analyzed using Spearman's correlation statistical tool in order to corroborate some correlation and then a curvilinear model that expresses the behavior of guadua was developed. In the results it was found that guadua to reach its total height needs an average of 7.45 months, no correlation of time with the diameter of the reeds is shown, while with respect to the total height a significant correlation was found that was subsequently translated in a third degree polynomial model of the form $Y = -3.E-06 * (days)^3 + 0.0496 * (days)^2 - 0.0496 * (days) + 0.8023$. It is concluded that the time model since the emergence of the outbreak with the total height in the guadua reeds is very practical for use in future studies under Tingo María conditions.

Keywords: *Guadua angustifolia*, model, height, diameter, correlation.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROECOLOGÍA TORNOS. 2018. Cómo realizar un buen análisis del suelo para el cultivo. Zaragoza, España, Agroecología Tornos. s.p. [En línea]: Agroecología Tornos, (<https://www.agroecologiatornos.com/como-realizar-un-buen-analisis-del-suelo-para-el-cultivo/>, documentos, 09 Feb. 2020).
- BENEDETTO, A., TOGNETT, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. RIA / Trabajos en prensa. 25 p. [En línea]: Inta, (http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/revisiones/di-benedetto-castellano-4_1.pdf, documentos 08 Feb. 2020).
- BOTERO, L.F. 2012. Reproducción de la *Guadua angustifolia* Kunth por el método de chusquines. Ecuador, international network for bamboo and rattan (INBAR).
- BURKHART, H.E. 1992. Tree and stand models in forest inventory. In Nyssönen, A; Poso, P; Rautala, J. (Eds.). Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories (Finland 17-21 August 1992). The Finnish Forest Research Institute. Research Papers. 444:164-170.
- CALZADA, J. 1970. Métodos estadísticos para la investigación. 3 ed. Lima, Perú, Jurídica. 643 p.

- CAMARGO, J.C., RODRÍGUEZ, J.A., ARANGO, A.A. 2010. Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*. 61:86-94.
- CARO, E. 2017. ¿A qué velocidad crece el bambú? s.d.t. [En línea]: Eldoradobambu.com (<https://www.eldoradobambu.com/single-post/2017/11/22/%C2%BFA-qu%C3%A9-velocidad-crece-el-bamb%C3%BA>, documentos, 29 Mar. 2018).
- CASTAÑO, F., MORENO, R.D. 2004. Inbar, Documento Técnico de TOTEM de manejo de guaduales naturales, GTZ Colombia, Guadúa para todos. s.p.
- CASTEDO, F. 2004. Modelo dinámico de crecimiento para las masas de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Simulación de alternativas selvícolas con inclusión del riesgo de incendio. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. 297 p.
- COURTIS, A. 2014. Crecimiento y desarrollo. Cátedra de Fisiología Vegetal. Guía de estudio. Corrientes, Argentina, Universidad Nacional del Nordeste. 16 p. [En línea]: UNNE, (<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Gu%C3%ADa%20de%20Estudio-Crecimientoydesarrollo.pdf>, documentos 08 Feb. 2020).
- CRUZ, H. 1994. La guadua nuestro bambú. Armenia, Quindío, Colombia, CRQ y Centro Nacional para el Estudio del Bambú y la Guadua. 293 p.
- DAELLENBACH, H.G., GEORGE, J.A., MCNICKLE, D.C. 1983. Introduction to Operations Research Techniques. 2th ed. Allyn and Bacon, Boston.

- ERVITI, J.J. 1991. Desarrollo de modelos de crecimiento y producción de las masas forestales de *Pinus halepensis* Mill. en España. Tesis Doctoral., E.T.S. de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- ESTACION METEOROLÓGICA JOSE ABELARDO QUIÑONES. 2014. Estación meteorológica de la Facultad de Recursos Naturales Renovables. UNAS. 1 p.
- FIGUEROA, V., SARDIÑA, C.E. 2009. Bambú en Chile; Posibilidades de industrialización y estandarización del cultivo. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. Seminario de Procesos de Producción y Materiales Industriales II. 63 p.
- FORESTBAMBU. 2012. Boletín: Especies de bambú en selva central Bambú. Alternativa económica ambiental en un clima de cambios.
- GADOW, K.V., REAL, P., ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G. 2001. Modelización del crecimiento y la evolución de bosques. IUFRO World, Series Vol 12. Viena, Austria. 251 p.
- GARCÍA, O. 1994. The state-space approach in growth modelling. Can. J. For. Res. 24:1894-1903.
- GASPARRI, N.I., GOYA, J.F. 2006. Modelos de crecimiento de *Cedrela lilloi* en el sector norte de las Yungas argentinas. Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas. Yerba Buena, Tucumán, Argentina. p. 105-116.

- GIRALDO, E; SABOGAL, A. 1999. Una alternativa sostenible: la guadua, técnicas de cultivo y manejo. Armenia, Quindío, Colombia, Corporación Autónoma Regional del Quindío. 192 p.
- HAGER, A. 2003. Role of the plasma membrane H⁺-ATPase in auxin-induced elongation growth: historical and new aspects. *Journal of Plant Research*. 116:483-505.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, M.P. 2014. Metodología de la investigación. 6 ed. México. 600 p.
- HYNYNEN, J. 2005. Conceptos básicos para la modelación del crecimiento forestal. Informe especial Proyecto CapFor. Recursos Naturales y Ambiente. 64:22-27.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA, Lima). 1995. Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura. 271 p.
- JAN A, G., YANG, H., NAKAMURA, H., ICHIKAWA, H., KITANO, M., MATSUOKA, H., MATSUMOTO, H., KOMATSU, S. 2004. Characterization of a xyloglucan endotransglucosylase gene that is up-regulated by gibberellin in rice. *Plant Physiology*. 136:3670-3681.
- JORDÁN, M., CASARETTO, J. 2006. Fisiología Vegetal. Capítulo XV: Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. La Serena, Chile, Universidad de La Serena. 28 p. [En línea]: Academia, (<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31848275/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf?response-content->

disposition=inline%3B%20filename%3DCapitulo_XV_Hormonas_y_Regu
ladores_del_C.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-
Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200208%2Fus-east-
1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200208T151523Z&X-Amz-
Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=b72ada
9fe880cf0c28f10831629ba39f8b4a181c84dd3871f871858e8a884002,
 documentos 08 Feb. 2020).

KHAN ACADEMY. 2016. Fototropismo y fotoperiodicidad. s.d.t. [En línea]:
 Khanacademy.org (<https://es.khanacademy.org/science/biology/plant-biology/plant-responses-to-light-cues/a/phototropism-photoperiodism>,
 documentos 08 Feb. 2020).

KIVISTE, A., ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G., ROJO ALBORECA, A., RUÍZ
 GONZÁLEZ, A.D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el
 ámbito forestal. Monografías INIA: Forestal N° 4. Ministerio de Ciencia y
 Tecnología, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y
 Alimentaria (INIA). Madrid, España. 190 p.

LLERENA, C., ARIAS, E., RAMÍREZ, H. 2008. Uso del modelo Zelig para el
 seguimiento y evaluación de la dinámica del bosque A. von Humboldt,
 Pucallpa, Perú, con fines de manejo. Universidad Nacional Agraria La
 Molina. 16 p.

LONDOÑO, X. 2004. La subtribu Guaduinae de América. En Memorias.
 Simposio Internacional Guadua 2004, Pereira, Colombia. p. 76-83.

- LUDWIG-MÜLLER, J., COHEN, J.D. 2002. Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum*. 115:320-329.
- MERCEDES, J.R. 2006. Guía técnica cultivo del bambú. Santo Domingo, República Dominicana. CDAF. 38 p.
- MORENO, L.E., OSORIO, L.R., TRUJILLO, E.E. 2006. Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de *Guadua angustifolia*. *Ingeniería y desarrollo*. Universidad del Norte. 20:125-133
- MOSCOVICH, F.A. 2004. Modelos de crecimiento y producción forestal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Montecarlo. Informe Técnico Nº 55. Argentina. 42 p.
- MUNRO, D.D. 1974. Forest growth models: a prognosis. En: *Growth Models for Tree and Stand Simulation*. Fries, J. (ed.) Stockholm: Royal Colleg of Forestry, Res. Note 30, Dept. Forest Yield. p. 7-21.
- NOAKC, D. 1978. Evaluación de propiedades de maderas tropicales, Hamburgo. s,n.t.
- OCAÑA, F.M. 2019. Técnicas estadísticas en Nutrición y Salud. Tratamiento estadístico de outliers y datos faltantes. Granada, España, Universidad de Granada. 6 p. [En línea]: UGR, (<https://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES%20DOCTORADO/Tratamiento%20de%20outliers%20y%20missing.pdf>, documentos, 09 Feb. 2020).

- PERPIÑAL, E., BALZARINI, M., PIETRARELLI, L., CATALÁN, L. 1993. Crecimiento de *Prosopis flexuosa* en montes naturales del Chaco árido. Modelización sobre series temporales de ancho de anillos de crecimiento. VII Jornadas Técnicas Ecosistemas Forestales nativos. Uso, Manejo y Conservación. Actas I. Misiones.
- RODRÍGUEZ-SHADE, L., BRAVO-IGLESIAS, J.A., TORRES-CÁRDENAS, V., MONTALVO-GUERRERO, J.M., ÁLVAREZ-GÓNGORA, Y., MOGENA-NAVARRO, O. 2010. Modelación matemática del crecimiento del diámetro y la altura de *Pinus maestrensis* Bisse en la unidad silvícola Guisa. Revista Forestal Baracoa. 29(2):33-41. [En línea]: Actaf, (http://www.actaf.co.cu/revistas/rev_forestal/Baracoa-2010-2/FAO2%202010/MODELACI%C3%93N%20MATEM%C3%81TICA%20DEL%20CRECIMIENTO.pdf, documentos 08 Feb. 2020).
- SALAS, E. 2006. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Tesis Doctoral en Construcción - Restauración y Rehabilitación Arquitectónica. Barcelona, España. Universidad Politécnica De Cataluña. 420 p. TDX.cat, (<https://www.tdx.cat/handle/10803/6130#page=1>, Tesis 08 Feb. 2020).
- SANQUETTA, C.R. 1996. Fundamentos biométricos dos modelos de simulação floreal. Curitiba: Universidade Federal do Paraná/FUPEF – Série Didática Nº 8. 59 p.

- SUPO, J. 2014. Seminarios de investigación científica: Metodología de la investigación para las ciencias de la salud. Arequipa, Perú, Bioestadístico. 270 p.
- THIMANN, K.V. 1977. Hormone action in the whole life of plants. Amherst: University of Massachusetts Press.
- UNAS (Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María). s.d. Reseña histórica. Tingo María, Perú, UNAS. s.p. [En línea]: UNAS, (<https://transparencia.unas.edu.pe/universidad/resena-historica>, Documentos, 22 Jun. 2020).
- VALDEZ, D., CALEL, L., GUERRA, R., CARLOS, S.J. 2011. Evaluación del crecimiento y desarrollo del bambú *Dendrocalamus asper* en cuatro centros de investigación del ICTA. Guatemala.
- VANCLAY, J. 1994. Modelling forest growth and Yield; Applications to mixed tropical forests. Wallingford, CAB International. 297 p.
- VARGAS, V. 2007. Estadística descriptiva para Ingeniería Ambiental con SPSS. Cali, Colombia. 312 p.
- VENEGAS, A. 1993. La silvicultura de la guadua en Colombia (reforestación y aprovechamiento). Memorias I Congreso Mundial de Bambu/ Guadua. [1993, Pereira, Colombia]. p. 69-72.

ANEXO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



Tesis: Modelización matemática del crecimiento del diámetro y altura de cañas de *Guadua angustifolia* en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco

Evaluated por:

Lugar:

Coordenadas:

Caña	Fecha	Altura (m)	Diámetro (cm)	Observaciones

Cuadro 9. Operacionalización de las variables.

Variables asociadas	Indicadores (dimensiones)	Valor final (unidades/categorías)	Tipo de variable
Tiempo	Tiempo	días	Numérica
Variable de supervisión	Indicadores (dimensiones)	Valor final (unidades)	Tipo de variable
Crecimiento (Y)	Altura y Diámetro	Centímetro	Numérica

Cuadro 10. Datos registrados de campo (parte 1).

Caña	10/12/18	17/12/18	24/12/18	31/12/18	7/01/19	13/01/19	20/01/19	27/01/19	3/02/19	10/02/19	17/02/19	24/02/19	3/03/19	10/03/19	17/03/19
1	196	254	308	368	447	514	585	705	780	865	960	1061	1170	1260	1370
2	121	167	210	260	321	372	424	498	564	640	730	813	910	1000	1100
3	153	212	260	300	365	461	529	607	680	775	865	970	1060	1160	1250
4	60	90	124	165	203	390	438	528	570	680	772	870	960	1080	1170
5	90	130	184	244	314	380	439	560	635	710	800	895	990	1080	1180
6	151	228	292	363	452	531	615	730	790	880	978	1065	1160	1270	1380
7	198	266	325	395	470	545	626	740	850	935	1020	1105	1240	1360	1480
8									18	33	50	73	100	138	182
9	141	196	244	298	376	443	511	600	690	780	880	965	1065	1180	1290
10	144	201	254	210	381	455	525	610	705	800	905	1020	1120	1240	1370
11	84	122	165	215	283	342	403	480	550	645	697	765	850	940	1030
12	86	134	178	226	303	369	421	510	572	655	730	810	900	1000	1110
13	99	157	212	277	351	434	493	610	684	750	850	945	1050	1140	1250
14	50	76	107	150	210	268	332	412	482	550	644	735	815	905	990
15	69	108	151	212	273	340	388	482	537	636	722	815	900	980	1060
16	45	72	96	130	184	237	384	456	420	515	590	675	760	850	950
17	46	81	117	177	237	304	362	450	525	628	705	790	870	960	1050
18	73	109	155	215	293	360	425	550	648	735	815	900	1000	1100	1210
19	60	93.5	133	195	262	334	405	506	603	700	780	875	990	1110	1230
20	40	78	110	136	176	238	272	324	388	444	545	630	700	780	850
21	22	42	60	85	117	143	185	255	308	395	460	535	610	685	760
22	23	50	70	100	144	193	241	320	375	475	540	615	700	770	860
23	43	66	87	129	183	240	293	370	430	520	600	682	765	830	920
24	40	62	84	120	174	234	269	334	390	463	522	600	665	730	810

Caña	10/12/18	17/12/18	24/12/18	31/12/18	7/01/19	13/01/19	20/01/19	27/01/19	3/02/19	10/02/19	17/02/19	24/02/19	3/03/19	10/03/19	17/03/19
25	47	63	83	109	154	202	246	313	378	460	525	603	686	760	870
26	38	55	72	110	151	203	252	325	380	468	536	610	686	760	840
27	35	54	75	116	176	244	303	410	480	570	665	750	820	930	1020
28	50	83	105	149	205	270	317	382	435	498	562	630	700	770	835
29			13	27	41	61	83	140	191	268	315	375	440	515	585
30	26	55	75	105	146	192	235	311	370	460	530	605	674	760	850
31	19	40	60	93	138	179	202	293	350	435	515	600	680	770	870
32	117	182	254	333	410	514	580	690	790	885	960	1035	1130	1240	1340
33	42	80	130	185	257	332	394	493	575	685	775	870	980	1100	1230
34	34	68	100	148	206	258	332	405	470	567	630	705	780	860	950
35	17	65	105	150	209	274	334	427	510	600	690	775	880	1000	1110
36	30	56	82	117	170	224	273	352	416	500	570	650	720	800	880
37	23	50	80	120	188	252	313	411	487	567	650	730	820	930	1020
38	15	48	67	95	132	180	228	295	354	450	516	590	668	740	825
39	32	66	97	144	209	271	334	415	482	580	650	725	805	890	980
40	15	31	45	67	95	138	183	259	322	426	495	588	685	790	910
41	10	20	41	59	84	122	160	220	274	365	425	500	574	650	730
42	13	27	50	77	115	162	211	288	347	442	515	600	680	760	850
43			16	30	45	54	80	140	196	290	357	435	530	625	735
44				14	32	46	70	113	170	260	318	396	475	567	662
45	17	37	69	107	164	228	287	370	450	550	630	705	790	880	960
46	17	33	50	77	105	138	167	223	271	350	403	475	544	625	705
47	25	48	73	100	133	179	224	300	360	460	515	585	670	740	830
48		16	30	55	89	129	172	229	267	340	390	465	525	600	677
49	73	106	142	182	247	305	363	450	530	611	684	755	840	920	1010
50		16	37	69	100	149	195	267	330	422	489	557	633	720	820
51	40	68	106	150	209	283	350	442	507	585	670	755	850	950	1060

Caña	10/12/18	17/12/18	24/12/18	31/12/18	7/01/19	13/01/19	20/01/19	27/01/19	3/02/19	10/02/19	17/02/19	24/02/19	3/03/19	10/03/19	17/03/19
52	21	39	70	92	129	182	233	315	375	465	526	600	677	755	845
53	28	50	73	105	146	201	260	353	420	515	600	675	755	850	940
54		27	51	78	112	151	192	262	308	386	445	508	595	680	770
55			20	44	70	104	146	221	282	370	430	500	575	650	720
56						25	55	87	103	152	200	262	328	400	468
57				25	45	62	81	124	170	247	303	374	448	520	605
58				36	55	80	110	176	237	309	380	454	532	612	700
59			30	50	83	121	163	218	277	355	416	490	575	670	756
60	29	52	75	112	152	201	256	340	410	500	580	665	734	805	885
61				28	61	174	216	291	350	430	507	590	666	745	835
62				27	60	94	138	212	263	350	411	488	560	640	715
63				24	49	67	90	133	183	247	307	379	445	524	602
64			19	39	79	131	182	266	337	425	502	585	675	755	850
65			22	42	66	90	123	175	217	288	340	404	478	555	633
66	47	79	110	148	194	252	303	379	445	526	613	695	780	870	970
67				30	55	87	103	170	230	300	365	424	504	590	695
68		22	50	70	107	151	200	277	350	440	512	595	705	810	905
69		21	39	67	92	144	197	285	358	430	518	600	695	785	890
70			18	38	58	86	119	179	222	300	355	410	485	585	652
71			20	35	68	109	142	206	258	328	394	470	549	636	730
72			29	55	90	117	154	216	283	355	414	480	565	655	745
73				20	38	54	71	120	169	250	320	395	477	570	662
74					27	47	79	132	180	255	313	378	446	530	610
75					20	50	74	117	170	257	326	400	473	550	620
76					40	79	110	148	194	252	303	390	442	540	626
77					35	70	103	150	206	270	340	420	500	570	652
78					30	60	94	144	201	254	210	381	458	530	610

Caña	10/12/18	17/12/18	24/12/18	31/12/18	7/01/19	13/01/19	20/01/19	27/01/19	3/02/19	10/02/19	17/02/19	24/02/19	3/03/19	10/03/19	17/03/19
79						31	50	85	122	182	240	310	387	460	545
80					34	57	93	130	174	265	317	385	448	525	600
81					40	73	110	152	199	252	305	387	445	520	600
82						29	60	92	121	179	239	315	380	440	510
83						30	50	78	111	150	209	277	355	435	520
84				28	50	79	109	148	188	250	303	376	448	515	595
85						36	52	98	139	182	239	303	387	465	543
86						20	49	80	122	191	250	310	380	450	535
87					31	55	88	117	157	207	255	310	368	435	508
88							23	48	75	120	187	252	312	390	475
89							22	47	79	132	180	255	313	390	475
90								12	30	50	81	132	175	257	310
91						18	38	58	86	125	180	235	315	370	435
92			18	40	74	100	134	176	222	286	345	400	465	540	615
93					15	33	51	77	126	179	248	316	382	450	537
94						17	35	55	90	130	190	251	312	375	425
95						19	48	70	105	150	205	255	307	370	435
96							29	55	90	127	155	218	284	350	427
97							19	39	70	92	130	186	236	300	363
98								17	34	57	93	130	176	240	304
99						21	48	70	105	150	205	255	300	377	450
100									18	36	70	103	140	207	280
101									35	70	103	152	206	290	362
102								33	55	88	117	160	216	280	355
103								22	39	67	92	144	195	252	312
104									20	49	87	132	186	245	310
105										32	70	99	131	177	220

Cuadro 11. Datos registrados de campo (parte 2).

Caña	24/03/19	31/03/19	7/04/19	14/04/19	21/04/19	28/04/19	5/05/19	12/05/19	19/05/19	26/05/19	2/06/19	9/06/19	16/06/19
1	1480	1580	1680	1790	1910	2010	2100	2190	2280	2370	2400	2400	-
2	1220	1310	1420	1520	1620	1650	1650	1660	1660	1660	1660	1660	-
3	1360	1480	1590	1710	1830	1950	2040	2100	2170	2200	2240	2250	2270
4	1290	1400	1520	1630	1730	1840	1960	2080	2200	2320	2400	2470	2530
5	1300	1410	1520	1610	1710	1820	1920	2030	2120	2160	2170	2170	-
6	1500	1620	1720	1820	1920	2020	2130	2250	2350	2450	2530	2580	2620
7	1600	1720	1840	1970	2100	2200	2280	2360	2400	2400	2400	2400	-
8	230	285	350	440	540	660	790	910	1010	1100	1210	1340	1460
9	1420	1560	1690	1810	1930	2040	2160	2250	2350	2450	2530	2620	2690
10	1500	1640	1760	1870	1970	2090	2200	2240	2240	2240	-	-	-
11	1140	1240	1340	1440	1560	1680	1810	1940	2070	2190	2310	2450	2580
12	1210	1330	1440	1540	1630	1740	1860	1980	2080	2170	2230	2290	2340
13	1360	1470	1580	1700	1830	1950	2050	2130	2210	2300	2380	2450	2500
14	1070	1180	1280	1400	1510	1610	1700	1810	1920	2010	2110	2170	2200
15	1150	1250	1350	1460	1570	1670	1760	1860	1970	2070	2190	2300	2400
16	1050	1160	1260	1370	1490	1600	1700	1820	1820	1820	-	-	-
17	1150	1260	1360	1460	1580	1700	1810	1940	2070	2180	2300	2430	2550
18	1330	1430	1550	1660	1770	1900	2020	2110	2220	2340	2450	2530	2590
19	1360	1480	1600	1700	1810	1940	2060	2180	2300	2440	2570	2690	2780
20	930	1000	1080	1170	1270	1360	1440	1520	1600	1670	1750	1770	1800
21	870	970	1080	1180	1300	1420	1520	1650	1780	1990	2110	2160	2170
22	940	1050	1150	1240	1350	1450	1560	1680	1800	1920	2050	2180	2290
23	1040	1170	1290	1400	1540	1670	1800	1940	2070	2200	2340	2490	2630
24	900	1000	1110	1210	1330	1450	1580	1700	1830	1950	2070	2200	2330
25	990	1120	1250	1380	1500	1620	1730	1830	1930	2040	2150	2250	2370

Caña	24/03/19	31/03/19	7/04/19	14/04/19	21/04/19	28/04/19	5/05/19	12/05/19	19/05/19	26/05/19	2/06/19	9/06/19	16/06/19
26	940	1050	1180	1300	1430	1570	1720	1860	2000	2130	2280	2410	2500
27	1120	1230	1340	1450	1580	1710	1850	1990	2130	2260	2400	2540	2660
28	920	1010	1110	1210	1320	1430	1550	1680	1800	1930	2060	2200	2330
29	660	755	850	950	1040	1140	1250	1370	1480	1610	1730	1860	1980
30	950	1050	1180	1330	1460	1590	1730	1860	2000	2130	2250	2380	2500
31	980	1090	1210	1330	1450	1580	1710	1840	1970	2120	2250	2380	2490
32	1440	1560	1670	1790	1920	2010	2080	2120	2120	2120	-	-	-
33	1350	1470	1580	1700	1810	1910	2000	2120	2250	2370	2490	2600	2700
34	1050	1150	1260	1360	1480	1600	1730	1850	1980	2100	2210	2340	2460
35	1230	1340	1450	1560	1680	1820	1920	2030	2170	2290	2420	2520	2620
36	970	1060	1180	1310	1450	1580	1700	1800	1930	2050	2180	2300	2420
37	1120	1220	1340	1450	1550	1640	1740	1820	1900	1970	2050	2150	2220
38	920	1030	1130	1230	1330	1420	1500	1590	1670	1770	1860	1960	2070
39	1080	1200	1320	1430	1550	1680	1810	2030	2140	2240	2350	2440	2550
40	1030	1160	1280	1400	1520	1650	1790	1920	2060	2200	2350	2480	2610
41	810	900	990	1090	1180	1250	1340	1430	1500	1580	1640	1640	-
42	950	1050	1150	1250	1360	1450	1540	1640	1700	1740	1740	1740	-
43	850	960	1080	1200	1300	1420	1550	1660	1780	1880	2010	2140	2260
44	775	890	1020	1140	1260	1380	1500	1630	1750	1980	2100	2240	2380
45	1030	1120	1220	1300	1390	1490	1600	1700	1790	1890	2010	2140	2250
46	800	900	1010	1140	1280	1420	1580	1730	1870	2030	2170	2300	2440
47	930	1030	1150	1260	1390	1510	1630	1760	1890	2020	2150	2270	2390
48	764	850	940	1060	1180	1320	1450	1590	1720	1840	1980	2110	2240
49	1110	1210	1310	1420	1520	1610	1700	1800	1880	1940	1940	1940	-
50	930	1030	1150	1270	1390	1510	1650	1790	1920	2050	2180	2310	2430
51	1160	1280	1390	1500	1600	1710	1800	1900	2010	2100	2200	2300	2380
52	930	1030	1120	1230	1320	1440	1540	1750	1840	1970	2100	2240	2360

Caña	24/03/19	31/03/19	7/04/19	14/04/19	21/04/19	28/04/19	5/05/19	12/05/19	19/05/19	26/05/19	2/06/19	9/06/19	16/06/19
53	1040	1130	1240	1340	1440	1550	1650	1740	1840	1940	2050	2160	2270
54	850	940	1040	1140	1250	1370	1480	1600	1710	1830	1950	2080	2190
55	805	900	980	1070	1170	1300	1430	1560	1680	1800	1930	2050	2170
56	535	609	695	770	860	970	1070	1190	1320	1470	1610	1770	1920
57	690	780	880	990	1090	1210	1340	1460	1590	1730	1860	2000	2140
58	790	890	980	1080	1190	1310	1410	1520	1620	1730	1830	1930	2050
59	840	930	1030	1140	1230	1340	1440	1560	1660	1770	1890	2000	2100
60	960	1040	1140	1230	1330	1450	1560	1690	1840	1980	2110	2250	2360
61	930	1030	1120	1220	1330	1440	1560	1680	1800	1910	2020	2150	2230
62	798	890	980	1090	1190	1300	1430	1550	1690	1810	1940	2080	2210
63	681	770	870	970	1080	1200	1350	1480	1620	1750	1880	2010	2140
64	950	1040	1140	1230	1340	1460	1570	1690	1800	1910	2030	2160	2280
65	718	810	900	980	1080	1200	1340	1490	1630	1760	1900	2030	2160
66	1080	1170	1260	1370	1470	1570	1660	1770	1900	2020	2100	2200	2290
67	790	880	980	1090	1210	1330	1450	1580	1700	1840	1970	2110	2210
68	1000	1090	1200	1320	1420	1530	1650	1780	1900	2000	2130	2260	2390
69	1000	1120	1240	1370	1500	1620	1760	1910	2060	2200	2330	2450	2560
70	740	840	960	1090	1200	1330	1460	1600	1750	1890	2040	2140	2220
71	840	940	1030	1130	1250	1390	1530	1680	1840	2000	2150	2280	2390
72	840	940	1050	1170	1290	1400	1520	1660	1790	1920	2050	2180	2300
73	750	840	940	1030	1130	1240	1370	1510	1630	1750	1850	1980	2100
74	690	780	860	960	1070	1170	1290	1400	1530	1650	1790	1930	2050
75	710	800	900	1010	1100	1200	1330	1480	1610	1750	1900	2030	2170
76	730	840	940	1050	1170	1300	1420	1560	1690	1820	1920	2040	2330
77	725	810	910	1010	1110	1230	1360	1480	1620	1750	1880	2020	2140
78	690	790	880	990	1110	1250	1390	1540	1690	1850	2010	2130	2260
79	643	745	850	960	1060	1160	1280	1400	1540	1690	1830	1980	2100

Caña	24/03/19	31/03/19	7/04/19	14/04/19	21/04/19	28/04/19	5/05/19	12/05/19	19/05/19	26/05/19	2/06/19	9/06/19	16/06/19
80	690	786	890	990	1090	1200	1300	1410	1530	1640	1760	1870	1950
81	680	773	880	970	1070	1190	1320	1450	1600	1750	1910	2060	2160
82	585	665	730	820	910	1010	1100	1220	1320	1420	1530	1660	1790
83	610	705	810	910	1010	1100	1220	1340	1460	1590	1710	1850	1980
84	678	765	860	970	1070	1190	1300	1430	1580	1720	1880	2040	2120
85	615	705	790	880	980	1090	1220	1330	1470	1600	1720	1860	1980
86	625	710	820	920	1030	1160	1300	1430	1580	1720	1850	1990	2110
87	592	680	780	870	980	1070	1190	1300	1420	1520	1630	1750	1870
88	550	650	746	850	950	1050	1170	1280	1370	1480	1610	1740	1970
89	567	666	768	880	1010	1130	1270	1420	1580	1730	1870	2030	2150
90	374	440	515	600	690	785	880	990	1100	1230	1350	1460	1580
91	506	580	650	730	830	940	1070	1200	1320	1470	1630	1780	1900
92	690	780	870	970	1070	1160	1270	1370	1490	1590	1700	1830	1960
93	627	718	810	910	1000	1120	1260	1410	1550	1700	1840	1990	2120
94	490	555	618	688	770	850	950	1040	1160	1280	1380	1490	1630
95	498	564	644	730	820	920	1040	1150	1280	1430	1550	1670	1770
96	510	600	688	770	850	960	1070	1170	1300	1430	1560	1700	1830
97	420	498	568	655	740	830	930	1050	1190	1310	1450	1590	1700
98	375	448	519	600	690	781	880	980	1100	1210	1340	1480	1590
99	515	590	660	740	840	940	1060	1200	1330	1460	1590	1730	1870
100	351	433	505	587	682	780	880	1000	1130	1250	1390	1520	1650
101	430	500	575	655	750	860	980	1110	1210	1320	1440	1570	1700
102	434	508	590	680	780	880	1000	1110	1240	1380	1520	1650	1770
103	372	438	507	578	656	734	810	880	960	1040	1120	1210	1310
104	375	448	520	600	690	775	870	980	1110	1230	1340	1470	1610
105	295	372	448	525	620	730	850	960	1060	1170	1290	1380	1500

Cuadro 12. Datos registrados de campo (parte 3).

Caña	23/06/2019	30/06/2019	7/07/2019	14/07/2019	21/07/2019	28/07/2019
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	2580	2580	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	2650	2650	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	1580	1710	-	-	-	-
9	2720	2730	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
11	2670	2720	2740	-	-	-
12	2350	-	-	-	-	-
13	2550	2610	2630	-	-	-
14	2220	2230	2250	-	-	-
15	2480	2570	2650	2700	2750	-
16	-	-	-	-	-	-
17	2660	2720	2780	2850	2880	-
18	2630	2660	2670	2690	2720	-
19	2830	2870	2880	2900	-	-
20	1820	1850	1860	-	-	-
21	2180	-	-	-	-	-
22	2390	2500	2540	2680	2730	-
23	2750	2840	2920	-	-	-
24	2450	2570	2690	2780	2860	2890
25	2500	2610	2690	2750	2780	-

Caña	23/06/2019	30/06/2019	7/07/2019	14/07/2019	21/07/2019	28/07/2019
26	2610	2720	2810	2860	2880	-
27	2760	2870	2950	3020	-	-
28	2420	2510	2600	2650	2690	-
29	2100	2210	2330	2450	2590	2670
30	2620	2730	2810	2900	2960	-
31	2600	2670	2730	2800	2860	2910
32	-	-	-	-	-	-
33	2780	2850	2900	2930	2950	-
34	2560	2640	2710	2750	-	-
35	2690	2750	2790	2830	2880	-
36	2520	2600	2670	-	-	-
37	2250	2260	-	-	-	-
38	2200	2320	2450	2530	2610	2680
39	2650	2730	2820	-	-	-
40	2750	2860	2950	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-
43	2370	2490	2550	2620	2690	2740
44	2510	2630	2750	2820	2890	2930
45	2360	2480	2600	2710	2780	2830
46	2560	2680	2790	2830	2870	-
47	2510	2590	2660	2690	2720	-
48	2360	2500	2630	2700	2760	2800
49	-	-	-	-	-	-
50	2550	2660	2780	2820	2840	-
51	2450	2520	2590	2630	-	-
52	2430	2500	2550	-	-	-

Caña	23/06/2019	30/06/2019	7/07/2019	14/07/2019	21/07/2019	28/07/2019
53	2390	2500	2600	2680	2740	-
54	2310	2430	2540	2610	-	-
55	2280	2390	2470	2540	-	-
56	2060	2200	2320	2450	2570	2780
57	2260	2370	2500	2620	2710	2830
58	2160	2280	2400	2530	2650	2740
59	2190	2270	2330	2350	-	-
60	2450	2540	2600	2670	2710	-
61	-	-	-	-	-	-
62	2330	2440	2530	-	-	-
63	2260	2370	2500	2610	2700	2770
64	2390	2470	2540	2610	2670	-
65	2270	2390	2500	2600	2680	-
66	2350	2390	2420	-	-	-
67	2340	2460	2560	2640	2710	2750
68	2500	2600	2680	2740	2810	-
69	2630	2700	-	-	-	-
70	2300	2370	2440	2500	-	-
71	2510	2590	2660	2690	2720	-
72	2390	2450	-	-	-	-
73	2230	2360	2450	2540	2600	2640
74	2180	2300	2410	2510	2590	-
75	2300	2420	2530	2610	2700	2750
76	2410	2500	2570	2630	2680	-
77	2260	2360	2440	2520	-	-
78	2350	2440	2540	2620	-	-
79	2230	2320	2410	2490	2540	-

Caña	23/06/2019	30/06/2019	7/07/2019	14/07/2019	21/07/2019	28/07/2019
80	2030	2080	2150	-	-	-
81	2270	2340	2380	2430	-	-
82	1920	2060	2200	2330	2440	2530
83	2110	2250	2360	2450	2550	2610
84	2180	-	-	-	-	-
85	2110	2250	2360	2450	2540	2600
86	2230	2340	2440	2520	-	-
87	2000	2120	2240	2370	2490	2600
88	2100	2220	2330	2420	2500	-
89	2270	2400	2490	2550	-	-
90	1700	1840	1970	2110	2210	2330
91	2020	2100	2200	2290	2350	2400
92	2100	2220	2310	2380	-	-
93	2260	2370	2450	2520		-
94	1770	1900	2030	2170	2310	2440
95	1900	2020	2100	2200	2290	2350
96	1950	2080	2190	2310	2430	2560
97	1820	1950	2050	2170	2260	2390
98	1700	1830	1960	2100	2220	2340
99	1990	2130	-	-	-	-
100	1770	1900	2020	2150	2280	2400
101	1830	1950	2030	2110	-	-
102	1880	2000	2100	2210	2330	2450
103	1430	1550	1660	1800	1920	2050
104	1730	1860	2000	2140	2270	2390
105	1630	1750	1900	2020	2160	2290

Cuadro 13. Estadísticos descriptivos de la altura total en plantas de guadua.

Tiempo (días)	N	Mínimo	Máximo	Media	CV (%)	Altura (m)
7	2	10.00	16.00	13.00	32.64	0.13
14	18	12.00	30.00	17.22	23.10	0.17
21	69	15.00	45.00	27.84	24.47	0.28
28	89	17.00	74.00	48.35	18.60	0.48
35	94	60.00	174.00	77.61	18.01	0.78
42	99	81.00	216.00	111.57	16.10	1.12
49	105	109.00	291.00	158.57	15.26	1.59
56	105	143.00	350.00	215.34	14.53	2.15
63	105	185.00	430.00	278.03	13.79	2.78
70	105	210.00	507.00	343.70	13.60	3.44
77	105	308.00	590.00	417.03	11.71	4.17
84	105	378.00	666.00	491.77	10.70	4.92
91	105	444.00	745.00	572.70	10.47	5.73
98	105	522.00	850.00	657.29	10.23	6.57
105	105	600.00	960.00	742.95	10.02	7.43
112	105	665.00	1080.00	834.29	9.98	8.34
119	105	730.00	1200.00	929.68	9.81	9.30
126	105	810.00	1300.00	1030.87	9.56	10.31
133	105	900.00	1420.00	1137.48	9.45	11.37
140	105	1000.00	1580.00	1251.62	9.16	12.52
147	105	1080.00	1730.00	1368.76	8.95	13.69
154	105	1170.00	1870.00	1488.48	8.77	14.88

Tiempo (días)	N	Mínimo	Máximo	Media	CV (%)	Altura (m)
161	105	1270.00	2030.00	1611.24	8.61	16.11
168	104	1360.00	2150.00	1733.65	8.58	17.34
175	104	1440.00	2270.00	1854.62	8.43	18.55
182	104	1520.00	2400.00	1974.90	8.42	19.75
189	101	1600.00	2510.00	2100.99	7.99	21.01
196	97	1660.00	2630.00	2207.53	7.88	22.08
203	89	1750.00	2750.00	2310.00	7.21	23.10
210	80	1770.00	2820.00	2408.63	6.87	24.09
217	73	1800.00	2890.00	2493.84	7.28	24.94
224	60	1820.00	2950.00	2567.50	7.69	25.68
231	46	1850.00	2950.00	2628.26	7.41	26.28
238	36	1860.00	3020.00	2671.67	8.40	26.72
245	24	2595.00	2960.00	2752.71	3.68	27.53
252	14	2630.00	2950.00	2793.21	3.76	27.93

Cuadro 14. Incremento semanal y diario de la altura total de los brotes nuevos.

Tiempo (días)	Incrementos semanal (cm)	Incrementos diarios (cm)
7	4.22	0.60
14	10.62	1.52
21	20.51	2.93
28	29.26	4.18
35	33.96	4.85
42	47.00	6.71
49	56.77	8.11

Tiempo (días)	Incrementos semanal (cm)	Incrementos diarios (cm)
56	62.69	8.96
63	65.68	9.38
70	73.32	10.47
77	74.74	10.68
84	80.93	11.56
91	84.58	12.08
98	85.67	12.24
105	91.33	13.05
112	95.39	13.63
119	101.19	14.46
126	106.61	15.23
133	114.14	16.31
140	117.14	16.73
147	119.71	17.10
154	122.76	17.54
161	122.42	17.49
168	120.96	17.28
175	120.29	17.18
182	126.09	*
189	106.54	15.22
196	102.47	14.64
203	98.62	14.09
210	85.21	12.17
217	73.66	10.52

Tiempo (días)	Incrementos semanal (cm)	Incrementos diarios (cm)
224	60.76	8.68
231	43.41	6.20
238	81.04	*
245	40.51	5.79
252	-13.21	0.00

*Casillas vacías eliminados por ser datos atípicos (outliers).

Panel de fotografías



Figura 8. Banner informativo del proyecto de tesis.



Figura 9. Codificación de los rebrotes de guadua.



Figura 10. Medición de la altura con wincha de 05 m.



Figura 11. Medición de la altura con mira topográfica.



Figura 12. Estimación de la altura con Trupulse.

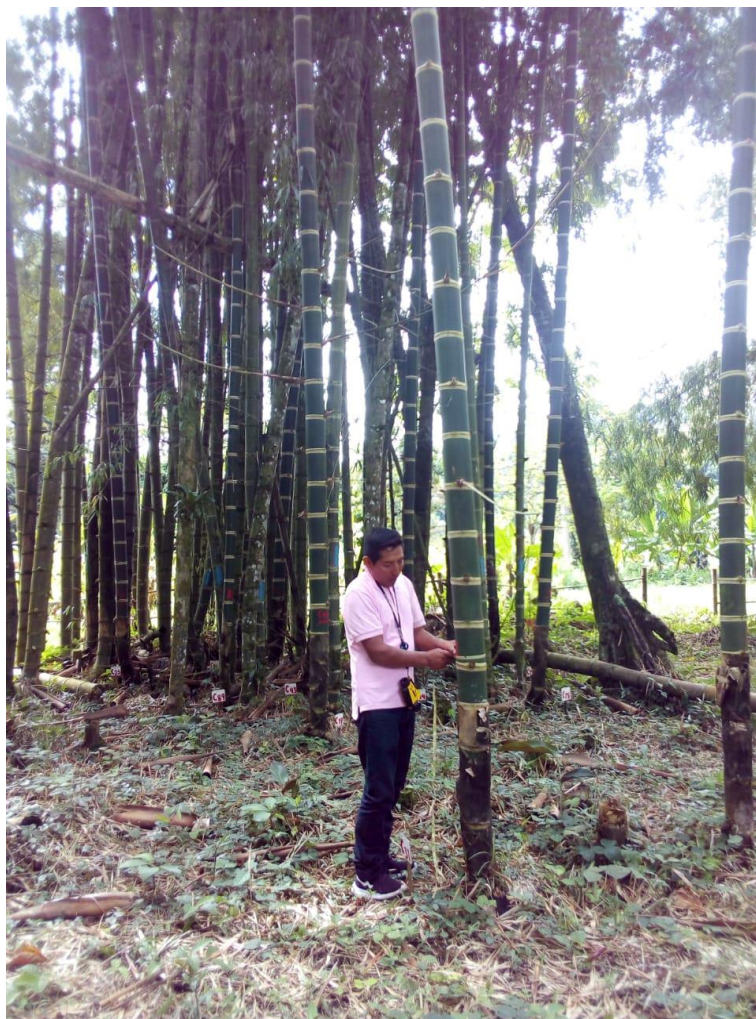


Figura 13. Medición del diámetro de la caña de guadua.

JARDÍN BOTÁNICO DE MISSOURI

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que la muestra botánica, enviada por el Bachiller **Percy Bovis Ricaldi**, al Herbario Selva Central Oxapampa (HOXA), para su identificación botánica, corresponden a los nombres científicos siguientes:

Código asignado en el papel periódico	Nombre científico de la muestra consignada al código en referencia	Familia
MB-001-GM/UNAS	<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Poaceae

De acuerdo a la información entregada la muestra corresponde al Proyecto de Tesis titulado: "MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEL DIÁMETRO Y ALTURA DE CAÑAS DE *Guadua angustifolia* EN EL FUNDO AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, REGIÓN HUÁNUCO"

Se expide la presente para los fines que considere conveniente.

Oxapampa, 28 Marzo del 2019

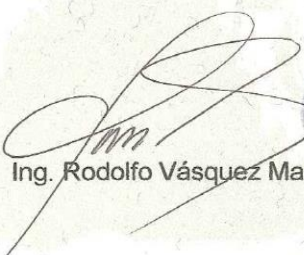

Ing. Rodolfo Vásquez Martínez



Figura 14. Constancia de identificación de la especie en estudio.



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:				PROCEDENCIA:																									
BOVIS RICALDI PERCY				SECTOR: FUNDO AGRONOMIA - UNAS				PROVINCIA		LEONCIO PRADO																			
				DISTRITO: RUPA RUPA				DEPARTAMENTO		HUANUCO																			
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA			ANALISIS MECANICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC					CAMBIABLES				Cmol(+)/kg	Cice			%	%	%	
		CULTIVO	EDAD	AREA	Arena	Arcilla	Limo						Textura	1:1	%	%	Ca	Mg	K	Na	Al		H	Bas. Camb.	Ac. Camb.				Sat. Al
%	%				%	%	disponible	ppm	ppm	6.38	4.42	0.22										0.19				-	-	100.00	
1	S0748	BAMBU	--	--	30	39	31	Franco Arcilloso	6.17	2.20	0.11	8.25	60.97	11.20	6.38	4.42	0.22	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

TINGO MARIA, 25 DE JUNIO 2019

RECIBO N° 0583754



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LOG. ARAUCO DE HUAYLOS

Ing. Luis S. Mansilla Mingos
JEFE