

**“MADRE DE DIOS CAPITAL DE LA BIODIVERSIDAD”**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**TÍTULO DE LA TESIS:**

**“TASA DE CRECIMIENTO, MORTALIDAD E INTERACCIÓN DE PLÁNTULAS DE CASTAÑA (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) EN CLAROS Y SOTOBOSQUE EN EL CRIBATAMAD, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS – PERÚ”**

**TESISTA:**

**JORGE SANTIAGO GARATE QUISPE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**ASESOR:**

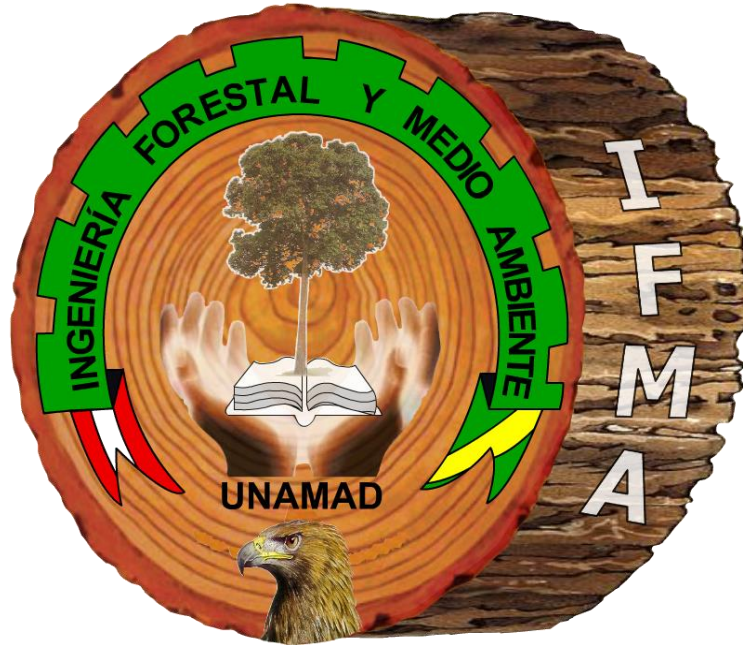
**Dr. MISHARI GARCÍA ROCA**

**PUERTO MALDONADO – PERÚ**

**2017**

**“MADRE DE DIOS CAPITAL DE LA BIODIVERSIDAD”**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**TÍTULO DE LA TESIS:**

**“TASA DE CRECIMIENTO, MORTALIDAD E INTERACCIÓN DE PLÁNTULAS DE CASTAÑA (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) EN CLAROS Y SOTOBOSQUE EN EL CRIBATAMAD, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS – PERÚ”**

**TESISTA:**

**JORGE SANTIAGO GARATE QUISPE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**ASESOR:**

**Dr. MISHARI GARCÍA ROCA**

**PUERTO MALDONADO – PERÚ**

**2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERIA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

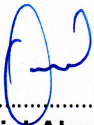
En el Anfiteatro N° 01 de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, siendo las 16:00 horas del día viernes 05 de mayo de 2017, dando cumplimiento a la Resolución de Decanatura N° 156-2017-UNAMAD-DFI, de fecha 28 de abril de 2017, se reunieron los miembros del jurado para la sustentación del trabajo de tesis titulado "**Tasa de crecimiento, mortalidad e interacción de plántulas de Castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque en el CRIBATAMAD, Tambopata, Madre de Dios – Perú**", presentado por el Bachiller Jorge Santiago Garate Quispe, el cual está conformado por:

- |                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| 1. Ing. Mauro Vela Da-Fonseca       | Presidente  |
| 2. Dr. Gabriel Alarcón Aguirre      | Secretario  |
| 3. Ing. Saul Juan Manrique León     | Vocal       |
| 4. M.Sc. Telesforo Vásquez Zavaleta | Accesitario |

Con la finalidad de evaluar el trabajo de tesis, se procedió con la exposición por parte del sustentante, luego de la sustentación, el jurado procede con la fase de preguntas respectivas. Acto seguido el jurado delibera de forma reservada y libremente, declarando el trabajo expuesto como APROBADO por UNANIMIDAD, con el calificativo de SOBRESALIENTE, y la nota de 18, previo a esto el graduando deberá realizar el levantamiento de las observaciones entregados por el jurado calificador.

En fe de lo cual firmamos el presente acta, siendo las 17:00 horas del día viernes 05 de mayo de 2017, se dio por culminado el presenta acto de sustentación.

  
.....  
Ing. Mauro Vela Da-Fonseca  
Presidente

  
.....  
Dr. Gabriel Alarcón Aguirre  
Secretario

  
.....  
Ing. Saul Juan Manrique Leon  
Vocal

**DEDICATORIA.**

*A mi padre Moisés Garate, por brindarme las mejores enseñanzas, sus consejos y la gran oportunidad de poder realizar y continuar mis estudios. A mi madre María Huayllahuamán por su paciencia y apoyo brindado durante toda mi formación académica.*

*A mis hermanas Natividad y Luzmila, y mi tío Roberto Garate por la motivación y el apoyo incondicional para terminar y continuar mis estudios. A Clotilde Gonzales y Alexander por su apoyo que me brindaron en el desarrollo de la tesis.*

*Y también a todas las personas que hicieron posible que se cumplan mis metas.*

## **AGRADECIMIENTOS.**

A los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente - Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por sus enseñanzas y sincera amistad durante mi formación universitaria.

A mis amigos Oliver Surco, James Lipa, Miguel Huaní y Ramiro Canahuire por su colaboración en el trabajo de campo y los gratos recuerdos compartidos y por su apoyo incondicional.

A todas las personas que de una u otra manera hicieron posible la realización de la presente tesis.

Un agradecimiento especial Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por haberme brindado la oportunidad de estudiar mi maestría en la Universitat de Barcelona (España), mediante la Beca Presidente de la Republica 2015-2016.

## ÍNDICE GENERAL.

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Planteamiento del Problema.....	1
Justificación e importancia.....	3
Hipótesis.....	4
Objetivos: Generales y Específicos.....	4
General.....	4
Específicos.....	4
Indicadores.....	5
<b>I. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
1.1. Aspectos taxonómicos de la especie estudiada.....	6
1.2. Descripción botánica de la especie.....	6
1.3. Ecología de la especie.....	7
1.4. Antecedentes de estudios realizados.....	13
1.5. Conceptos fundamentales.....	16
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
2.1. Área de Estudio.....	19
Ubicación.....	19
Tipo de Bosque:.....	19
Clima.....	20
Temperatura.....	20
Precipitación.....	20
Humedad Relativa.....	21
Horas de Sol.....	21
2.2. Materiales, equipos y herramientas.....	21

Materiales .....	21
Equipos .....	22
2.3. Metodología.....	22
Metodología de campo .....	22
Del establecimiento en el Campo .....	22
Del Monitoreo.....	23
2.4. Análisis Estadístico.....	25
Técnica de análisis de datos.....	25
2.4.1. Manejo de base de datos.....	25
2.4.2. Análisis descriptivo-exploratorio .....	25
2.4.3. Análisis inferencial.....	26
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>27</b>
3.1. Estadísticos descriptivos de las plántulas al inicio del experimento.....	27
3.1.1. Cobertura de dosel .....	27
3.1.2. Altura y Diámetro inicial de las plántulas. ....	28
3.1.3. Ecuación para estimar el área foliar. ....	29
3.2. De la supervivencia.....	31
3.3. Crecimiento en Diámetro.....	36
3.4. Crecimiento en Altura.....	41
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1:</b> Coordenadas de los vértices del CRIBATAMAD .....	19
<b>Tabla 2:</b> Número de plántulas de <i>B. excelsa</i> utilizadas en la investigación según tratamiento e incidencias durante todo el periodo de evaluación en el CRIBATAMAD.....	34
<b>Tabla 3:</b> regresión logística analizada mediante un modelo lineal generalizado (GLM) para estimar la supervivencia de plántulas de <i>B. excelsa</i> . .....	35
<b>Tabla 4:</b> Estadísticos descriptivos (a) y resultados del análisis comparativo del crecimiento en diámetro en claros y sotobosque, utilizando la prueba de Mann-Whitney (b). Considerando 2 periodos de crecimiento (4 y 12 meses).. .....	36
<b>Tabla 5:</b> Análisis de regresión lineal múltiple del efecto de la apertura de dosel, diámetro, altura y área foliar inicial en el crecimiento en diámetro de plántulas de <i>B. excelsa</i> en claros.....	38
<b>Tabla 6:</b> Resultados del Análisis de regresión múltiple método backward basado en el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el proceso de selección de variables que influyen en el crecimiento en diámetro de las plántulas en claros.....	38
<b>Tabla 7:</b> Análisis de regresión lineal múltiple del efecto de la apertura de dosel, diámetro, altura y área foliar inicial en el crecimiento en altura “ln(incremento anual)” de plántulas de <i>B. excelsa</i> en claros.....	41
<b>Tabla 8:</b> Resultados del Análisis de regresión escalonada método “backward” basado en el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el proceso de selección de variables que influyen en el crecimiento en diámetro de las plántulas en claros.....	42
<b>Tabla 9:</b> Resultados del ANCOVA sobre el incremento en altura de plántulas de <i>B. excelsa</i> , (a) a los 4 meses del establecimiento y (b) 12 meses. Los tratamientos (claros y sotobosque) como factor y el diámetro inicial de las plántulas como covariable....	42



## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1:</b> Distribución Natural de Castaña en la Amazonía.....	8
<b>Figura 2:</b> Identificación de las zonas de un claro, debido caída de un árbol (Alegría et al., 2009).....	18
<b>Figura 3:</b> Fotografía de la metodología de establecimiento en campo de las plántulas de <i>B. excelsa</i> .....	23
<b>Figura 4:</b> Representación esquemática de metodología de evaluación mensual de las plántulas.....	24
<b>Figura 5:</b> Boxplot de la comparación del porcentaje de apertura de dosel entre sotobosque y claros. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (prueba de Mann-Whitney). .....	27
<b>Figura 6:</b> Fotografías del dosel. (A) claros y (B) sotobosque. ....	28
<b>Figura 7:</b> Boxplot de la comparación de diámetro de las plántulas al inicio del experimento entre sotobosque y claro. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (prueba de <i>t</i> -student).....	29
<b>Figura 8:</b> Boxplot de la comparación de altura de las plántulas al inicio del experimento entre sotobosque y claro. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (prueba de <i>t</i> -student).....	29
<b>Figura 9:</b> Diagrama de dispersión en tres dimensiones de las variables transformadas utilizando el logaritmo natural. El área foliar en función del ancho y largo de hojas. ....	30
<b>Figura 10:</b> Representación en 3 dimensiones de la ecuación generada para estimar el área foliar en función del ancho y largo de las hojas. ....	31
<b>Figura 11:</b> Boxplot de la comparación del porcentaje de supervivencia de las plántulas en sotobosque y claros. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (prueba de <i>t</i> -student).....	32
<b>Figura 12:</b> Secuencia de episodios de mortalidad de todas las plántulas de <i>B. excelsa</i> en claros y sotobosque, en barras blancas y grises respectivamente.....	32
<b>Figura 13:</b> Fotografías que representan los episodios de mortalidad debido a hervíboros en plántulas de <i>B. excelsa</i> en (a,b y c) en sotobosque y (d) en claros.....	33

- Figura 14:** Análisis de regresión logística binomial utilizando un modelo lineal generalizado (GLM) para estimar la probabilidad de supervivencia de las plántulas en función de la cobertura de dosel y el tiempo de evaluación..... 35
- Figura 15:** Boxplot de la comparación del crecimiento en diámetro 4 primeros meses de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque..... 37
- Figura 16:** Boxplot de la comparación del crecimiento en diámetro en 12 meses de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque. .... 37
- Figura 17:** Relación entre el porcentaje Apertura de dosel e incremento en diámetro total (mm) en sotobosque durante los 4 primeros meses de plántulas de *B. excelsa*... .. 39
- Figura 18:** Relación entre el porcentaje Apertura de dosel e incremento en diámetro total (mm) en claros durante los 4 primeros meses de plántulas de *B. excelsa*..... 39
- Figura 19a:** Regresión lineal entre el porcentaje apertura de dosel e incremento anual en diámetro (mm) de plántulas de *B. excelsa* en sotobosque..... 40
- Figura 19b:** Regresión lineal entre el porcentaje Apertura de Dosel e incremento en diámetro anual (mm) de plántulas de *B. excelsa* en claros..... 40
- Figura 20:** Boxplot de la comparación del crecimiento en altura de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque durante los 4 primeros meses..... 43
- Figura 21:** Boxplot de la comparación del crecimiento anual en altura de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque..... 44
- Figura 22:** Relación entre el ln(Incremento en altura) y la apertura de dosel en sotobosque a los 4 meses del establecimiento del experimento en plántulas de *B. excelsa*. ..... 44
- Figura 23:** Regresión lineal entre el porcentaje Apertura de dosel e incremento en diámetro anual (mm) de plántulas de *B. excelsa* en claros. .... 45
- Figura 24:** Fotografías de la diferenciación foliar entre plántulas *B. excelsa* en claros (a y b) y sotobosque (c y d)..... 47

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue de evaluar el efecto de la apertura de dosel en el crecimiento y mortalidad de plántulas de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., mediante plantíos experimentales en claros y sotobosque en el CRIBATAMAD, Madre de Dios (Perú).

Se establecieron sesenta y cuatro plántulas considerando un diseño experimental con ocho repeticiones de cuatro plántulas cada una, y dos tratamientos ambientales de apertura de dosel en claros y sotobosque. Se realizaron evaluaciones mensuales durante un año. Se midieron la altura y diámetro, para calcular las tasas de crecimiento, y se registraron incidencias de mortalidad y rebrote de las plántulas. Los porcentajes de apertura de dosel se estimaron utilizando un densiómetro esférico.

El 47% del total de las plántulas sobrevivieron en el transcurso de 12 meses de monitoreo. El promedio de supervivencia de plántulas de *B. excelsa* en claros ( $75 \pm 26.7$  %) fue significativamente superior a las de sotobosque ( $15.6 \pm 22.9$  %). El 64% de la mortalidad fue causada por la fauna local, predación de la semilla. Se encontró una diferencia significativa en la probabilidad de supervivencia de plántulas entre claros y sotobosque, estimado mediante un análisis de regresión logística ( $D^2=0.92$ ). El incremento en diámetro fue significativamente superior en los claros ( $3.7 \pm 2.1$  cm) que en sotobosque ( $1.5 \pm 0.9$  cm). El incremento anual en altura de las plántulas también fue significativamente superior en los claros ( $40.2 \pm 29$  cm) que en sotobosque ( $3.3 \pm 2.4$  cm). El análisis de regresión escalonado, sugiere que la apertura de dosel es el factor determinante en el incremento en altura y diámetro. Mediante un análisis de regresión lineal simple se encontró una relación directa y significativa entre la apertura de dosel y el incremento diamétrico ( $r^2 = 0.61$ ), y la apertura de dosel con el incremento en altura ( $r^2 = 0.27$ ).

Por lo tanto, concluimos que la apertura de dosel influye significativamente en el incremento en diámetro, altura y supervivencia de plántulas de *B. excelsa*. Por estas razones se recomendaría el uso de esta especie para el enriquecimiento de los bosques en Madre de Dios utilizando claros grandes (>25% apertura de dosel) que generen mayores condiciones de luz.

**Palabras clave:** Castaña, Plántulas, *Bertholletia excelsa*, análisis de crecimiento, mortalidad de plántulas y apertura de dosel.

## ABSTRACT.

The aim of this study was to evaluate the effect of opening canopy on the growth and seedling mortality of *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Through experimental plantings in gaps and understory areas in the CRIBATAMAD, Madre de Dios (Peru).

Sixty-four seedlings were planted within the experimental design, with eight repetitions each with four replications and two environmental treatments of canopy openness: Gaps (20-40% openness canopy) and understory (8-10.5 % openness canopy). The height and diameter were measured, to calculate the growth rates, incidences of mortality and regrowth of seedlings were recorded (for a period of 1 year with monthly evaluations). The percentages of canopy openness were estimated using a spherical densitometer.

47% of the seedlings survived during the 12 months of monitoring. The average survival of seedlings of *B. excelsa* in the gap treatment ( $75 \pm 26.7\%$ ) was significantly higher than the understory treatment ( $15.6 \pm 22.9\%$ ). 64% mortality was caused by local wildlife (seed predation). A significant difference in the probability of survival of seedlings between gaps and understory was found, estimated by a logistic regression analysis ( $D^2 = 0.92$ ). The increase in diameter was significantly higher in the gaps ( $3.7 \pm 2.1$  cm) than in the understory ( $1.5 \pm 0.9$  cm). The annual increase in seedling height was also significantly higher in the gaps ( $40.2 \pm 29$  cm) than in the understory ( $3.3 \pm 2.4$  cm). Stepwise regression analysis suggests that canopy openness is the determining factor in the increase in height and diameter.

A Regression analysis showed a direct and highly significant relationship between canopy openness and diameter increment ( $r^2 = 0.61$ ) and canopy openness with increasing height ( $r^2 = 0.27$ )

Therefore, we concluded that canopy openness significantly influences the increase in diameter, height and seedling survival of *B. excelsa*. For these reasons we recommend the use of Brazil nut seedlings in reforestation for the enrichment of forests in Madre de Dios, using large gaps (> 25% canopy opening) that generate higher light conditions and guarantee high rates of diameter and height growth.

**Key words:** Brazil-nut, seedlings, *Bertholletia excelsa*, growth analysis, seedling mortality and Canopy openness.

## INTRODUCCIÓN.

### **Planteamiento del Problema.**

Los bosques amazónicos representan la mayor parte de los bosques tropicales del mundo, representando el 40% (3900000 km<sup>2</sup>) (INPE, 2002; Peréa, 2005). Es una de las regiones con mayor diversidad y en la actualidad muchos fórums vienen discutiendo su conservación y lo poco que se conoce sobre la ecología de la mayoría de las especies y sobre su estrategia de conservación. Considerando que esta información es especialmente importante cuando se trata de especies con algún interés económico (Assad, 2000; Peréa, 2005).

A pesar de que algunas especies son de utilidad económica desde los inicios de ocupación de la Amazonía, como el caso de la extracción del látex de la shiringa, castaña y productos forestales maderables; poco se conoce sobre los efectos de la explotación de estos recursos para la sostenibilidad en el tiempo de estas especies. Se tiene conocimiento de varios ejemplos de especies que fueron explotadas sin ningún criterio ecológico y que tiempo más tarde entraron a la lista de las especies amenazadas de extinción (Peréa, 2005), algunos ejemplos clásicos para Perú como la shiringa, castaña, Cedro, Caoba, etc.

La castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) está actualmente clasificada como especie vulnerable a extinción (Guedesa, & Funia, 2011; IUCN, 2012; Paiva, Guedesa, & Funia, 2011), esta clasificación está atribuida a la frecuente e intensa cosecha de los frutos. La cual compromete seriamente a la regeneración debido a la sobre-explotación de las poblaciones naturales y la deforestación, que reduce el rango geográfico de la distribución de la especie. La presión de cosecha de los frutos de castaña resulta en una vulnerabilidad controversial, en quienes sustentan la teoría de que es posible la sostenibilidad ecológica de la extracción del recurso (Zuidema & Boot, 2002; Wadt, Kainer, & Staudhammer, 2008; Paiva et al., 2011) mediante un manejo adecuado y sin afectar gravemente la regeneración natural de la especie (Peres et al., 2003; Paiva et al., 2011).

La castaña es una de las especies emergentes y más importantes de la economía extractivista de la Amazonia (Clay, 1997; Cotta, Kainer, Wadt, & Staudhammer, 2007). Las semillas, comúnmente denominadas nueces, son utilizadas para la producción de una variedad de

productos crudos o secos, aceites, harinas, medicinas y productos personales (Ortiz, 1995; Cotta et al., 2007), haciendo de la castaña un producto forestal no maderable versátil y valioso. Varios estudios recientes sobre la regeneración reportan impactos de los niveles de cosecha de la nuez de castaña en la estructura poblacional de castaña, disminuyendo la tasa de reclutamiento de la regeneración en sus poblaciones (Zuidema & Boot, 2002; Peres et al., 2003; Cotta et al., 2007).

La extracción de la nuez de la castaña fue siempre vista como un ejemplo de explotación sustentable en los bosques amazónicos. Esta visión fue profundamente discutida por la publicación de los resultados de Peres et al. (2003), mostrando que no existe suficiente regeneración en los castañales. Reflejando un proceso de reclutamiento de plantas nuevas que no va acorde a la velocidad de envejecimiento, lo cual podría significar a largo plazo un colapso debido a extracción intensa del recurso (Peres et al., 2003).

La preocupación levantada por Peres et al. (2003) vienen siendo refutada por estudios como los de Peréa (2005) y Monteiro (2008), mostrando que en los castañales estudiados de Acre (Brasil) existe un buen nivel de regeneración, y de manera general favorecido por el sistema de colecta que se lleva en este estado, cerca del 25% a 30% de los frutos no son colectados (Peréa, 2005; Monteiro, 2008). En un estudio realizado en Bolivia, evaluaron la estructura poblacional de castañales en un bosque sin extracción de la nuez, comparando con un bosque con extracción y un bosque secundario. Concluyeron que la colecta no afecta a la cantidad de la regeneración y que las diferencias observadas favorables al bosque secundario serian debido a la influencia positiva de la luz sobre el reclutamiento de las plántulas (Zuidema & Boot, 2002; Peréa, 2005; Monteiro, 2008). Debido a que en los bosques secundarios existe una mayor disponibilidad de claros (Tonini & Wolkmer, 2011).

En los bosques tropicales la regeneración de las especies arbóreas, está ligada al proceso de sucesión secundaria o dinámica de claros. Para un mejor entendimiento en relación a la demografía y dinámica poblacional de la especie, es importante entender como los factores del ecosistema están asociados a la dinámica de crecimiento de las plántulas (Peréa, 2005; Neves, 2010).

### **Justificación e importancia.**

Dentro de los productos forestales no maderables, la semilla de la castaña es la más conocida y sólidamente establecida en el mercado local y de exportación (Tonini & Wolkmer, 2011). Su colecta se realiza casi exclusivamente en bosques tropicales primarios o poco intervenidos, por lo que convirtió en una especie clave para el desarrollo económico de las poblaciones locales. A pesar de la importancia ecológica y económica de *B. excelsa*, la ecología y la influencia antrópica en la regeneración natural de esta especie viene siendo estudiada recientemente (Tonini & Wolkmer, 2011).

Muchos estudios confirman que los modelos de cosecha con niveles de explotación intensiva en el siglo pasado han influido negativamente en los niveles de reclutamiento de juveniles, la cual es insuficiente para mantener las poblaciones a largo plazo (Zuidema & Boot, 2002; Peres et al., 2003; Cotta et al., 2007). Peres et al. (2003) sugieren que, si no existe un manejo sostenible del recurso seguido de un modelo sostenible de cosecha; las poblaciones sucumbirán a un proceso de senescencia y colapso demográfico, afectando a la economía extractivista de la Amazonía.

Investigaciones en bosques de Bolivia y Brasil sugieren que, mediante un sistema adecuado de manejo de la explotación de la nuez de la castaña, puede considerarse sustentable, y no se afectaría severamente a la regeneración de la especie (Zuidema & Boot, 2002; Peréa, 2005). Estudios sobre la asociación de factores ambientales como suelo y luminosidad, con la dinámica de la regeneración y crecimiento de la castaña son escasos. Por lo que es de suma importancia determinar experimentalmente en campo las tasas de crecimiento, mortalidad e influencia de la luminosidad y/o apertura de dosel en el desarrollo de plántulas de *B. excelsa*. Para considerar en futuras actividades de reforestación o enriquecimiento de bosques donde la regeneración natural de *B. excelsa* es escasa.

La supervivencia de las plántulas es esencial para traducir el valor de los niveles de densidad de plántulas en la determinación de los niveles reales de regeneración natural. Las diferencias en los claros y los sitios del sotobosque pueden dar lugar a densidades de plántulas más altas, pero si ninguna de las plántulas sobrevive después de un año, estos resultados no son relevantes (Moll-Rocek, 2012).

La pregunta de investigación planteada fue ¿Cuál es la tasa de crecimiento y Mortalidad en plántulas de *B. excelsa*, en diferentes condiciones de apertura de dosel, en claros y sotobosque?

El tipo de investigación fue experimental, de acuerdo a la clasificación de Hernández-Sampieri et al. (2014), Creswell (2014), y Christensen, Johnson y Turner (2015). Según su propósito será Investigación Aplicada, de acuerdo a la clasificación sugerida por la FAO/IAEA (2008) y Tam et al. (2008).

### **Hipótesis.**

#### **Hipótesis general:**

Existen diferencias significativas en la tasa de crecimiento, mortalidad e interacción de plántulas de Castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque en el CRIBATAMAD.

#### **Hipótesis nula:**

No Existe diferencias significativas en la tasa de crecimiento, mortalidad e interacción de plántulas de Castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque en el CRIBATAMAD.

### **Objetivos: Generales y Específicos.**

#### **General.**

- 🌍 Determinar la Tasa de crecimiento, mortalidad e interacción de plántulas de castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque en el CRIBATAMAD, Tambopata – Madre de Dios.

#### **Específicos.**

- 🌍 Determinar la tasa de crecimiento en altura de plántulas de castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque.
- 🌍 Determinar la tasa de crecimiento en Diámetro a la Altura del Suelo (DAS) de plántulas de castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque.



- ☛ Determinar la tasa de mortalidad y probabilidad de supervivencia de plántulas de castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque.
- ☛ Correlacionar el crecimiento de las plántulas en diámetro y altura con la apertura de dosel.

### **Variables, Indicadores y Definiciones Operacionales.**

#### **Variables independientes.**

- ☛ Numero de plántulas.
- ☛ Altura Total (H) [cm].
- ☛ Diámetro a la altura del suelo (DAS) [mm].
- ☛ Numero de Hojas.
- ☛ Área Foliar  $\text{cm}^2$  (AF).
- ☛ Apertura de dosel (%).

#### **Variables dependientes.**

- ☛ Porcentaje de Supervivencia.
- ☛ Incremento en altura (incH).
- ☛ Incremento en Diámetro a la Altura del Suelo (incDAS).
- ☛ Diferencial en área Foliar (IncAF).
- ☛ Diferencial de Cobertura de Dosel.

#### **Variables Intervinientes.**

- ☛ Tamaño del claro.
- ☛ Dirección del claro.

#### **Indicadores.**

- ☛ Tasa mensual y anual de crecimiento en altura y Diámetro a la altura del suelo.
- ☛ Porcentaje de supervivencia.

## I. MARCO TEÓRICO.

### 1.1. Aspectos taxonómicos de la especie estudiada.

Para la clasificación taxonómica se utilizó la propuesta por el Grupo para la filogenia de la Angiospermas (APG III, 2009). Para el nombre científico válido, se consultó con los sitios web especializados como el “International Plant Names Index” (IPNI, 2012), TROPICOS del Missouri Botanical Garden (MBG, 2012) y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2012).

Reino	: Plantae
Subreino	: Tracheobionta
División	: Magnoliophyta
Subclase	: Asterids
Orden	: Ericales Bercht. & J. Presl (1820)
Familia	: Lecythidaceae Arch. (1825)
Género	: Bertholletia
Epíteto específico	: excelsa
Cita de autor	: Humb. & Bonpl. (1987)
Especie	: <i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.

### 1.2. Descripción botánica de la especie.

La castaña es un árbol dominante, con una altura entre 30 - 60 m y diámetro entre 2 - 3 m. Los individuos adultos son emergentes y dominantes, con copas redondas que sobrepasan el dosel del bosque y representa un tercio de la altura total del árbol. El fuste es cilíndrico, sin modificaciones de raíces. Corteza marrón con grietas longitudinales (Zuidema & Boot, 2002; Pennington, Reynel, & Daza, 2004; Cornejo, 2003; Valenzuela, Calatayud, Monteagudo, Farfan, & Suclli, 2007).

Hojas simples, caducas; verde oscuro a verde amarillo, brillante en la parte adaxial y verde pálido, cartáceo-coriácea; pecíolo 5 - 6 cm de largo, cóncava; en plantas jóvenes marrón rojizo; largo entre 25 - 35 cm y ancho entre 8 - 12 cm, oblonga o elíptico-oblonga; base aguda; ápice obtuso-redondo y ligeramente

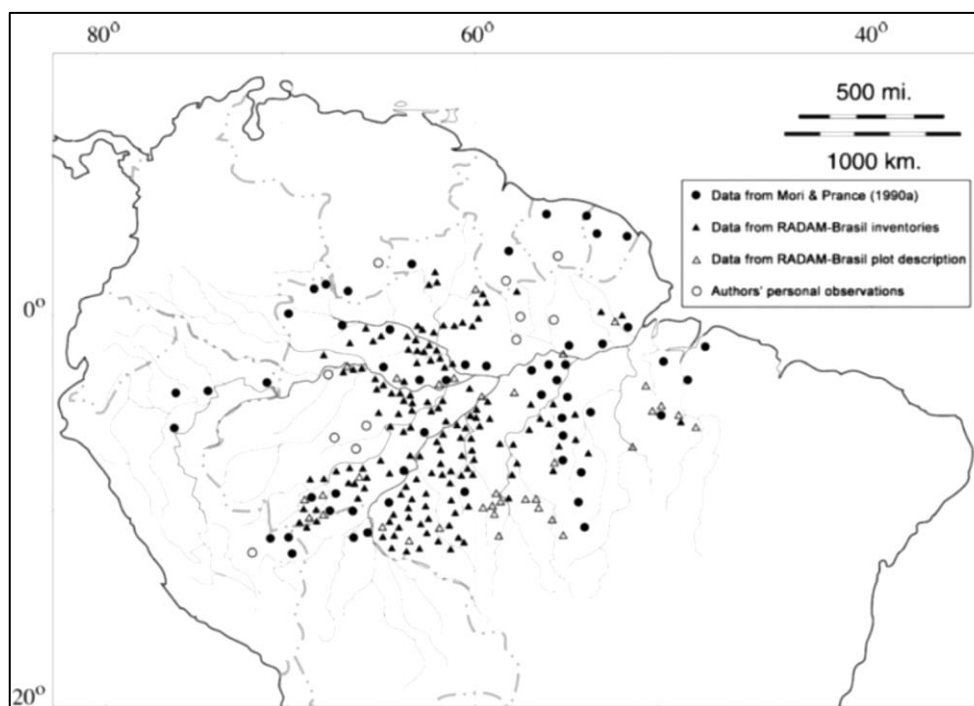
acuminado; borde ondulado; nervadura central de sección rectangular, prominente en el envés y las laterales finas, oblicuas, ángulos de 60° S a partir del nervio principal aproximadamente (Mori & Prance, 1990; Pennington et al., 2004; Cornejo, 2003).

Flores en panícula cortas, entre 12 - 16 cm de longitud, axilares o terminales; eje principal erguido, las secundarias inclinadas. Flores grandes, 3 cm de diámetro, carnosas con una adaptación en forma de capucha doblada, que permite tener polinizadores específicos (Mori & Prance, 1990; Villachica, 1996; Zuidema & Boot, 2002; Zuidema, 2003; Pennington et al., 2004; Valenzuela et al., 2007; Cornejo, 2003; Peña, 2008).

### **1.3. Ecología de la especie.**

#### **Origen y distribución.**

La castaña es una especie de la familia Lecythidaceae cuyo nombre científico es *Bertholletia excelsa Humb & Bonpl* (Cornejo, 2003). Crece en estado natural en Venezuela, Guyana, Colombia, Brasil, Bolivia y Perú. Sin embargo, sólo en Perú, Brasil y Bolivia existen árboles de castaña con poblaciones suficientemente densas como para su explotación comercial (Zuidema, 2003). Los bosques de castaña en Sudamérica abarcan una extensión de 20 millones de hectáreas (Clay, 1997; Ricalde, 1993). La zona castañera en Perú se estima en alrededor de 2.5 millones de hectáreas (MINAM, 2014), restringida a la parte oriental del departamento de Madre de Dios; aunque parte de ella aún no han sido explotada. Se estima que el 30% de la población del departamento recibe ingresos directos por su comercio (Ricalde, 1993; Cornejo, 2003).



**Figura 1:** Distribución Natural de Castaña en la Amazonía. Modificado por Shepard & Ramírez (2011); citado por Moll-Rocek (2012).

## Ecología reproductiva.

### La Flor.

La flor de la castaña está cubierta por un capuchón llamado lígula, que requiere ser levantada para su polinización, lo cual sólo es logrado por abejas grandes (Cornejo, 2003). Las inflorescencias son racimos con varias flores, que son llamadas panículas. Una o dos flores se abren por día, desde la base hacia el ápice de cada panícula, encontrándose listas para ser polinizadas entre las 5 y las 10 de la mañana (Cornejo, 2003).

Los primeros botones florales aparecen 6 semanas después que la castaña ha cambiado sus hojas viejas y la totalidad de su copa presenta hojas nuevas y verdes. Las flores salen generalmente entre octubre y noviembre, alcanzando su máxima floración entre diciembre o enero (Cornejo, 2003). El ovario de la flor contiene los óvulos que deben ser fertilizados por el polen de otra flor. Si menos del 75% de estos óvulos son fertilizados el fruto inmaduro será abortado, aquí se resalta la

importancia de los polinizadores que deben permanecer en buen estado. Esto se logra conservando el bosque lo más intacto y con el menor disturbio posible (Cornejo, 2003).

### **Fruto.**

Los frutos tardan de 10 a 13 meses en madurar, caen a partir de diciembre, en plena época de lluvias (Cornejo, 2003). La recolección de los frutos se inicia una vez finalizada la caída de frutos, entre la segunda quincena de enero o los primeros días de febrero (Cornejo, 2003).

El fruto es un pixidio incompleto, llamado popularmente “coco” en Perú o Ouriço en Brasil; esférico, ligeramente achatado, con pericarpio leñoso y duro de aproximadamente 1 cm de espesor; ápice es diferenciado con un diámetro 7-10 cm, localizándose en el centro un opérculo de aproximadamente 1 cm (Cornejo, 2003).

Cada fruto pesa entre 0.2 - 2 kg, con diámetros entre 10 - 25 cm; cada urna contiene 6 - 36 semillas aproximadamente, angulosas y alcanzan 4 - 7 cm de longitud, tegumento coriáceo y rugoso, en cuyo interior contiene una almendra blanco-lechosa y recubierta por una epidermis de color marrón (Mori & Prance, 1990; Villachica, 1996; Zuidema & Boot, 2002; Cornejo, 2003; Pennington et al., 2004; Valenzuela et al., 2007; Peña, 2008).

### **Ecología de dispersión.**

*B. excelsa* presenta límites en su dispersión, la denominada “dispersión restringida por la distancia”, que crea patrones contagiosos de lluvia de semillas centrados alrededor de los adultos (Clark, Macklin, & Wood, 1998; Clark et al., 1999; Schupp, Milleron, & Russo, 2002). Esta restricción en la dispersión es extrema en la castaña (Harms & Paine, 2003) en la cual el fruto indehiscente se cae por gravedad y es abierta por los agoutis “añujes”

(*Dasyprocta sp.*) uno de los pocos animales que puede abrirlo (Peres, Schiesari, & Dias-Leme, 1997; Cornejo, 2003). Los agoutis recogen semillas, pero la dispersan a distancias que raramente exceden los 25 m (Peres et al., 1997), donde los va almacenando o los va abriendo con el tiempo (Cornejo, 2003); por lo que Peres et al. (1997) sugiere la importancia de los dispersores secundarios.

*B. excelsa* presenta un complejo sistema de dispersión que casi completamente depende de la actividad de los Agoutis “Añujes” (Peres et al., 1997). La dispersión primaria es por la gravedad (barocoria), los frutos caen al suelo, pero permanecen cerrados puesto que el pericarpo es leñoso, compacto y duro, no se abre (Zuidema & Boot, 2002). La mayoría, por lo general, se encuentran a distancias cortas respecto a los árboles padres, casi siempre siguiendo la proyección de la copa (Zuidema & Boot, 2002).

Los frutos, son pixidios incompletos, no habiendo una apertura evidente y lo suficientemente grande que permita la diseminación de las semillas con facilidad, de allí que ellas sólo pueden ser liberadas gracias a la apertura que realizan dichos roedores (Zuidema & Boot, 2002). Observaciones de campo han indicado que cerca del 80% de los frutos son abiertos por animales (Ortiz, 2002).

Después de ser abierto el fruto, el añuje come parte de las semillas y las que quedan disponibles regeneran cerca del fuste; los no abiertos son llevados lejos del lugar, donde son abiertos y enterrados a poca profundidad, ésta parte corresponde a la segunda fase del sistema de dispersión (Zuidema, 2003). El proceso de traslado y enterrado de semillas, por lo general, es llamado como almacenamiento disperso, realizado siempre por otros roedores (Zuidema, 2003).

Las semillas guardadas, sirven como fuente de comida para los periodos de escasez, casi siempre, durante la estación seca. Las semillas, frecuentemente, son enterradas cerca del lugar donde el fruto fue abierto (Zuidema, 2003). Las enterradas por el añuje pueden ser recuperadas por el mismo o por otros

animales. En algunos casos, lo hacen en otros lugares, ésta parte correspondería a la tercera fase del sistema de dispersión. Se desconoce a la actualidad con qué frecuencia las semillas son enterradas de nuevo (Zuidema, 2003). Las enterradas que no logran ser encontradas no son consumidas, pueden germinar y convertirse en individuos regenerados que repoblarían de manera natural el bosque, con ayuda del ñuje u otros animales (Zuidema, 2003).

El fruto, especialmente cuando esta inmaduro, es depredado por guacamayos. Sin embargo, este daño nunca supera el 10% de la producción total, aún en sitios donde estas especies de aves son abundantes, como el caso de la Reserva Nacional Tambopata (Cornejo, 2003).

#### **Estructura Genética de las Castañas en Madre de Dios.**

Los individuos de *B. excelsa* en la región de Madre de Dios hacen parte de una misma población genética (panmixia), probablemente mucho más amplia incluyendo a las poblaciones de Brasil y Bolivia (Reátegui-Zirena et al., 2009).

Varias razones pueden explicar el flujo genético aleatorio entre estos árboles: La perennidad de los individuos, el sistema de reproducción alógamo, la polinización entomófila, la dispersión por roedores, la topografía poco accidentada, y una zona de estudio muy limitada. La perennidad de los individuos que es una característica de las especies leñosas como *B. excelsa* (Camargo, Salomao, Trumbore, & Martinelli, 1994; Reátegui-Zirena et al., 2009), que encierran alta variación genética, mayor dentro de las poblaciones que entre ellas, en comparación con otras especies (Hamrick, Godt, & Sherman-Broyles, 1992).

#### **Dinámica de población.**

En el caso de castaña sólo es posible encontrarla formando máchales de árboles maduros, lo que evidencia la escasez de individuos jóvenes, señal de su antropogenia de cientos de años (Müller, Rodrigues, Müller, & Müller, 1980; Balée, 1998; Levis et al., 2017). Scoles y Gribel (2011) sugieren que, un bajo

reclutamiento en *B. excelsa* es debido a la gran densidad de árboles grandes (generan bajas condiciones de luz en el sotobosque) y en parte también a perturbaciones recientes en los bosques.

Las poblaciones en bosques concesionados, están bajo intensas cosechas de frutos, por lo que es muy difícil de encontrar regeneración juvenil con diámetro a la altura de pecho (DAP) menor de 40 cm. Únicamente es posible, donde la explotación no fue intensa o que recientemente se haya iniciado su explotación. Esto nos sugiere que la dinámica natural de regeneración ha sido seriamente comprometida. Por eso, en los rodales donde la recolección de frutos es intensa derivarán a la senescencia y finalmente en el colapso demográfico, amenazando de esa forma la economía extractiva en la Amazonía (Peres et al., 2003). Aunque Peréa (2005) discrepa de los resultados de Peres et al. (2003), al haber encontrado cantidad aceptable de regeneración natural en castañales de Acre (Brasil), y con un manejo adecuado podría ser sustentable la actividad castañera.

### **De las plántulas.**

Los reportes de Cornejo (2003); sugieren que las plántulas aun después de germinar, las semillas de castaña pueden ser comidas por animales, pues tarda más de un año en ser absorbida completamente por la nueva plántula. Luego de absorbida, los ataques que recibirán serán de herbívoros como venados, sachavacas e insectos.

A pesar que muchas veces es difícil encontrar una plántula pequeña en el bosque y aunque se diga que casi no hay regeneración natural en los castañales (Müller et al., 1980; Ortiz, 1990; Miller, 1990; Cornejo, 2003).

Cornejo (2003), sugiere que las plántulas de castaña pueden crecer en sitios muy diversos, tanto en sombra como en luz; sus inventarios muy intensos en 7 zonas de Madre de Dios, muestran una densidad promedio de 18 plántulas/ha con un mínimo de 9 plántulas/ha y un máximo de 27 plántulas/ha.



#### 1.4. Antecedentes de estudios realizados.

Myers, Newton y Melgarejo (2000) realizaron estudios de regeneración en bosques de Riberalta (Bolivia), considerando la hipótesis de que la regeneración de *B. excelsa* requiere específicas condiciones de claro para su mayor desarrollo. Sus resultados sugieren que los individuos de regeneración con altura mayor a 1.30 m y las plántulas se encuentran únicamente en claros con un área mayor a 95 m<sup>2</sup> y con una densidad de apertura de dosel superior a 10.4 %; sus resultados de análisis de regresión sugieren una relación muy significativa entre la densidad de plántulas y el tamaño de los claros y también con la densidad de apertura de dosel (Myers et al., 2000).

Peres et al. (2003), realizaron un análisis comparativo de 23 poblaciones de castaña en la amazonia peruana, brasileña y boliviana; demostrando que la historia e intensidad de explotación del recurso son los que determinan el tamaño de la estructura poblacional. Sugiriendo que las poblaciones sujetas a persistentes niveles de cosecha contienen pocos individuos con DAP menor de 60 cm. Concluyen que únicamente las poblaciones con una historia reciente de explotación del recurso contienen un número elevado de individuos juveniles de castaña. Confirman que el modelo de cosecha con niveles de explotación intensiva en el siglo pasado ha influido negativamente en los niveles de reclutamiento de juveniles que es insuficiente para mantener las poblaciones en el largo tiempo. Concluyen que, si no existe un manejo sostenible del recurso seguido de un modelo intensivo de cosecha, las poblaciones sucumbirán a un proceso de senescencia y colapso demográfico (Peres et al., 2003).

Peréa (2005), en una investigación realizada en el estado de Acre (Brasil), comparó la regeneración y estructura poblacional de *B. excelsa* en tres áreas con diferentes tiempos de ocupación y colecta de nueces de castaña. Inventarió en total 108 ha de bosque primario, dividido en tres castañales con más de 50 km de distancia entre ellos. En total encontró 395 individuos de castaña en dos años de monitoreo, clasificados de acuerdo a los siguientes criterios: Plántula (altura menor de 1.5 cm), varetas (altura mayor 1.5 y DAP menor de 10 cm), jóvenes

(DAP entre 10 cm y 50 cm) y adultos (DAP  $\geq$  50 cm). Sus resultados sugieren una densidad de jóvenes y adultos de castaña de 2.07 ind/ha, varetas de 1.2 ind/ha y de plántulas de 3.5 ind/ha. Además, encontró que la distribución de los individuos jóvenes y adultos fue aleatoria. Por otro lado, encontró diferencias significativas entre las tres áreas con diferentes tiempos de ocupación y colecta, y que en áreas estudiadas del sureste de Acre existe un buen nivel de regeneración natural de *B. excelsa*. Estos resultados de Pérea (2005) difieren de los encontrados por Peres et al. (2003), que observaron ausencia de regeneración en castañales nativos. La investigación de Pérea (2005) sugiere que el sistema de colecta practicado en el estado de Acre (cerca del 25-30% no son colectados) podría ser considerado como sustentable.

Tonini y Wolkmer (2011), estudiaron la regeneración natural en dos poblaciones naturales de castaña en áreas manejadas y no manejadas con fines maderables. El número de plántulas y varetas observados varió de 1 a 6 y de 0 a 3 individuos por hectárea respectivamente. Estos valores son próximos a los observados por Wadt et al. (2008) en tres reservas extractivistas en Acre, la densidad de plántulas varía entre 3.2-5.8 individuos/ha y el número de varetas de 0.9 - 1.8 individuos/ha. Diferente a los resultados de Zuidema y Boot (2002) que encontraron una densidad de 24 y 48 plántulas/ha en las localidades estudiadas en Bolivia. Los resultados de Tonini y Wolkmer (2011), sugieren que las áreas con manejo forestal maderable tienen un mayor número de claros y en esta condición un mayor número de plántulas de castaña por hectárea. Además, concluyen que las zonas evaluadas presentan un bajo nivel de regeneración natural en comparación con estudios similares de la Amazonía (Tonini & Wolkmer, 2011).

Zuidema y Boot (2002), realizaron un estudio de demografía en castaña, en dos bosques primarios localizados en el norte de Bolivia donde realizan la cosecha de las nueces desde hace varias décadas. El objetivo de este estudio fue determinar la tasa de crecimiento en diámetro de las poblaciones de *B. excelsa*. El crecimiento fue bajo para los extremos de la distribución etaria (individuos <

15 cm de DAP y en individuos con  $DAP > 100$  cm; y mayor en las categorías intermedias de DAP (30 cm a 60 cm). El promedio de tasa de crecimiento fue mayor de 1.5 cm/año. Sugieren que el elevado crecimiento es debido a la respuesta al incremento de luz disponible encontrado para plántulas y latizales. Concluyen que el nivel de extracción de la *B. excelsa* para estas localidades puede ser sustentable para varias décadas y quizá para periodos más largos.

Cornejo (2003), reporta los resultados de su investigación de 4 años en la Reserva Nacional Tambopata. Estos resultados muestran una densidad promedio de 18 plántulas de castaña por hectárea en 7 zonas de Madre de Dios; con un mínimo de 9 y un máximo de 27 plántulas/ha. Además, que el crecimiento de la regeneración está relacionado con la herbivoría y la luz disponible. La herbivoría que muchas veces incluye todas las hojas y el tallo de las plántulas, no provoca necesariamente su muerte ocasionando sólo su reducción de tamaño, pues casi de inmediato la planta produce un rebrote, generalmente muy vigoroso (Cornejo, 2003). Herbivoría puede ser entonces muy importante en lugares donde los herbívoros son abundantes y debe ser considerablemente menor en aquellas zonas donde estos animales tienen bajas densidades (Cornejo, 2003). También sugiere que a mayor luz mayor crecimiento, el mismo que dependerá del sitio donde germine la semilla o de los claros que se generen después que la plántula este establecida. En el bosque (sotobosque) donde las condiciones de luz son bajas, plántulas menores a 1 metro pueden crecer entre 7.5 cm a 12.5 cm, en el caso que no sean atacadas por herbívoros, sus estudios de monitoreo durante 3 años, estas mostraron un crecimiento anual promedio de 19 cm (Cornejo, 2003).

La importancia de la luz para esta especie se refleja en el mayor incremento de su altura que ocurre durante la época seca, es decir cuando ocurre la defoliación de muchas especies del dosel y ocasionando mayor luminosidad en el sotobosque (Cornejo, 2003). También encontró que las plántulas que superan los 50 cm de altura tienen un mayor crecimiento, pero a su vez mas herbivoría que las más pequeñas, a diferencia de plantas más pequeñas (menores de 50 cm de

altura) que solo alcanzaron 2 metros de altura en dos años de evaluación (Cornejo, 2003).

Cornejo (2003), encontró que el 13% de las plántulas de castaña mueren cada año, usualmente comida por roedores. Este porcentaje puede variar dependiendo de los lugares. Otras causas de muerte pueden ser debido a caídas de ramas o troncos sobre ellas, hongos que pueden atacar las raíces y con poca frecuencia son pisadas por otros mamíferos (Cornejo, 2003).

Ferreira et al. (2009), realizaron un experimento de reforestación de un área degradada, con individuos de *B. excelsa* de tres años de edad. Aplicaron 2 diferentes tratamientos de fertilización, fertilización verde (ramas y hojas) y fertilización química, y un control. Los resultados mostraron altas tasas fotosintética para la fertilización verde [ $13.2 \pm 1.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] comparados con el tratamiento químico [ $8.0 \pm 1.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] y el control [ $4.8 \pm 1.3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ], la conductancia estomática ( $g_s$ ), la tasa de transpiración ( $E$ ) y uso eficiente de agua (WUE) no muestra diferencias significativas entre los tratamientos verde y químico, pero son superiores al Tratamiento control (Ferreira et al., 2009). Los promedios de las variables Fluorescencia clorofila total [Chl (a+b)] fueron más altos en el tratamiento de fertilización verde (ramas y hojas). Lo cual sugiere la importancia de utilizar ramas y hojas de *B. excelsa*, en el establecimiento de las plántulas en campo.

Neves (2010) reporta los resultados de monitoreo en castaños en Brasil; de un total de 166 individuos monitoreados durante tres años, su altura varía entre 22 cm y 71 cm, un análisis de varianza de regresión múltiple de respuesta de incremento en altura (cm/año) en función a la apertura de dosel y densidad del suelo próximo a las regeneraciones fue significativa para el incremento en altura.

## 1.5. Conceptos fundamentales.

### De los Claros.

Como consecuencia de la extracción selectiva y caída natural de los árboles en el bosque tropical se forman claros. En estos claros ingresa una mayor cantidad

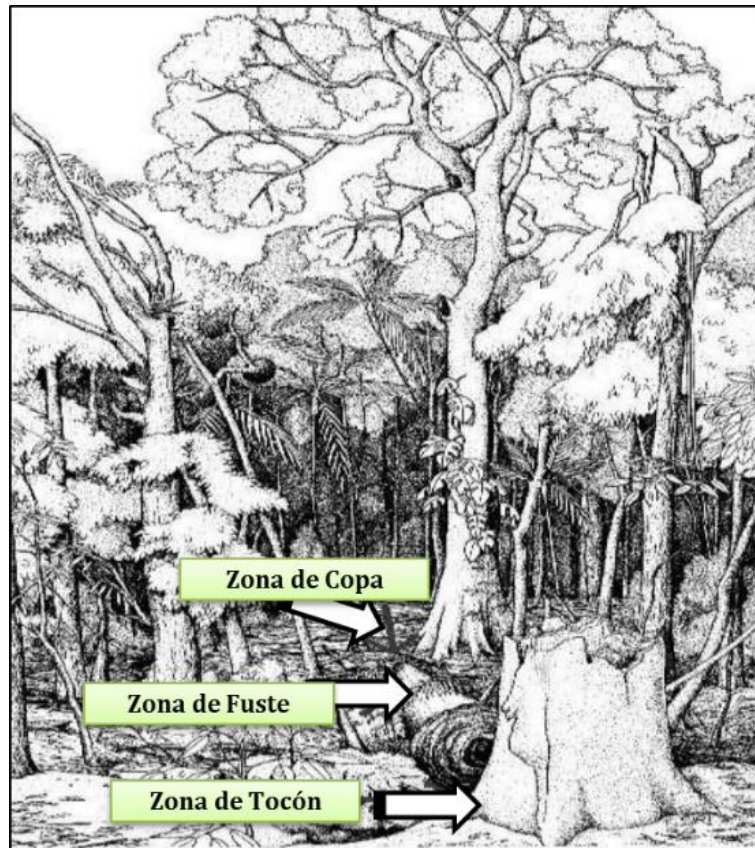
de radiación solar, hecho que induce al establecimiento de regeneración natural y favoreciendo a algunas en su desarrollo como en el caso de la castaña (Alegría, et al., 2009).

El bosque húmedo tropical es descrito como un mosaico de parches de diferentes tamaños y edades de crecimiento, originado claros como consecuencia de la caída de árboles (Baur, 1968; Whitmore, 1989; Alegría et al., 2009) tal como ocurre en la Amazonia Peruana. En estos bosques muchas especies de árboles dependen del estado del dosel para una o todas las etapas de su vida, desde el crecimiento inicial en el claro hasta su madurez (Alegría et al., 2009).

El impacto de los claros es notable, produce un efecto que expresa la alteración del bosque de manera localizada, pero reversible de tal manera que rápidamente puede asimilarse por el entorno debido al normal funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica, haciendo que las plántulas de todos los tamaños emerjan asegurando su crecimiento y sobrevivencia (Alegría et al., 2009). En este proceso se presentan diversos tipos de especies como las pioneras que están restringidas a grandes claros, y otros grupos de especies que pueden sobrevivir como plántulas suprimidas en el bosque cerrado hasta la formación de un nuevo claro, iniciando aparentemente un crecimiento acelerado; en conjunto permiten la rápida recuperación del bosque con especies jóvenes y vigorosas (Alegría et al., 2009).

Con la formación de claros producidos por la caída natural de árboles se da paso a una dinámica sucesional determinada por factores endógenos de la comunidad, distinguiéndose tres zonas (Alegría et al., 2009):

- a) **La zona del tronco:** Comprende un área aproximadamente rectangular paralela al eje leñoso caído. En su caída, parte y daña las ramas y troncos que se encontraban en su camino y las plantas del sotobosque que están directamente en la trayectoria de caída (Figura 2).



**Figura 2:** Identificación de las zonas de un claro, debido caída de un árbol (Alegria et al., 2009)

- b) **La zona de la corona:** La cual es el área directamente impactada por la copa del árbol caído, siendo la más afectada ya que el peso de las ramas, hojas, epifitas, etc. Ocasionalmente ocasiona la mortalidad de la mayoría de las plantas pre-existentes, y a su vez impide el paso de la luz (Figura 2).
- c) **La zona de raíces:** Comprende el área ocupada por los órganos subterráneos descentrados del árbol caído, exponiendo el suelo mineral por lo que puede considerarse un área fuertemente impactada (Figura 2).

### **Densidad de cobertura de Dosel.**

La cobertura usualmente es determinada utilizando un densiómetro esférico. Pese a no medir directamente la disponibilidad de luz, la cobertura de dosel es considerada una variable que estima mejor la disponibilidad lumínica general para una planta, que medidas instantáneas de luz, y resulta útil para determinar variaciones lumínicas en términos relativos (Clark & Clark, 1992; Dimarco, Russo, & Farji-Brener, 2004; Goh, Harrington, Ganapathy, & Washburn, 2004).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1. Área de Estudio.

#### Ubicación.

El Centro de Referencia e Interpretación de la Biodiversidad en Bosques Amazónicos de Terrazas altas en Madre de Dios (CRIBATAMAD), perteneciente a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), geográficamente se ubica en la Región sur-Oriental de la Amazonia Peruana, se ubica en el margen derecha de la Carretera Puerto Maldonado – Iberia, kilómetro 16, tiene la siguiente ubicación política:

Región: Madre de Dios.  
 Provincia: Tambopata.  
 Distrito: Las Piedras.

Las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) en DATUM WGS-84, perteneciente a la Zona 19 Sur son las Siguietes:

**Tabla 1:** Coordenadas de ubicación de los vértices del El Centro de Referencia e Interpretación de la Biodiversidad en Bosques Amazónicos de Terrazas altas en Madre de Dios (CRIBATAMAD).

Vértice	Este	Norte
1	487859	8622147
2	487780	8620869
3	484717	8620419
4	484960	8622044

Fuente: Alarcón y Zevallos (2011).

El CRIBATAMAD comprende una extensión de 424 ha, dividido en 27 bloques, de bosque intervenido y que sirve como lugar de adiestramiento a estudiantes de pre-grado de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (Alarcón & Zevallos, 2011).

#### Tipo de Bosque:

De acuerdo con el estudio de Macro Zonificación Ecológica y Económica de la Región Madre de Dios (GOREMAD & IIAP, 2009), el CRIBATAMAD pertenece al tipo de Bosque de Terrazas Altas Aluviales; y de acuerdo a la

Clasificación de Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia de NatureServe (Josse et al., 2007), está considerado como Bosque siempre verde estacional de la penillanura del suroeste de la Amazonía, en la categoría de Vegetación de Tierra Firme y a la Agrupación de Bosques Húmedos amazónicos.

### **Clima.**

Los datos del clima se tomaron del Estudio Diagnostico Hidrológico de la Cuenca Madre de Dios (SENAMHI & ANA, 2010), los periodos (años de los cuales proceden los resultados se detallan en cada caso).

### **Clima Húmedo y Cálido.**

Este tipo climático comprende las intercuenas de Medio Alto Madre de Dios, Medio Madre de Dios y la Cuenca del Tambopata y corresponde a la descripción de húmedo y cálido, con exceso grande agua en verano y déficit pequeño de agua (SENAMHI & ANA, 2010). Presenta como características más resaltantes su regular pluviosidad (2300 mm en promedio) y temperaturas tropicales del orden de los 25.4 °C promedio. Estos parámetros pueden variar entre valores extremos de pluviosidad de 900 a 3000 mm; a su vez, la humedad relativa tiene un promedio anual de 81.1 %. Los vientos predominantes son de NW y NE. Las velocidades extremas de vientos oscilan entre 2 y 6 Km/h. Las horas de sol promedio diaria es de 4.7 (SENAMHI & ANA, 2010).

### **Temperatura.**

La temperatura promedio anual es de 25.4 °C, cabe resaltar que a partir del mes de mayo hasta agosto se presenta una disminución en la temperatura, siendo Julio el mes más crítico. Esta disminución es alrededor de 2.5° C aproximadamente (SENAMHI & ANA, 2010).

### **Precipitación.**

De acuerdo con los valores de la estación Meteorológica puerto Maldonado (SENAMHI & ANA, 2010), correspondiente al periodo 1964-2012, el promedio de precipitación anual es de 2280 mm. Los meses con menos precipitación al periodo Junio – Septiembre (llegan hasta 54 mm/mes) y con



mayor precipitación al periodo Diciembre-Marzo (valores máximos de 339 mm).

### **Humedad Relativa.**

Presenta un promedio anual de 81.1 %; Los valores de humedad relativa más bajos ocurren en el periodo de estiaje; así, en la Estación de Puerto Maldonado, se da en el mes de Setiembre, con 74% de humedad relativa. Los porcentajes más altos de humedad relativa se presentan en los meses lluviosos, ocurriendo generalmente, en el mes de Febrero; así la estación de Puerto Maldonado alcanza un valor de 85.1% (SENAMHI & ANA, 2010).

### **Horas de Sol.**

Los datos de este elemento meteorológico provienen de la Estación meteorológica de Iberia (SENAMHI & ANA, 2010) con un periodo de registro de 1954-1970. En esta estación se tiene registros de un total de 1618 horas de sol anual, se observa dos épocas bien marcadas de insolación, los más altos de junio a septiembre en promedio alcanzan 170 horas de sol al mes o 5.6 horas diarias. La época de menores horas de sol ocurre entre los meses de diciembre a abril, como promedio de 107 horas de sol diaria o 3.5 horas diarias.

## **2.2. Materiales, equipos y herramientas.**

### **Materiales.**

Plántulas de *B. excelsa* (Vivero UNAMAD).

Wincha de 5 m de longitud.

Vernier de 0.02 mm de precisión.

Tableros de plástico.

Formatos de campo.

Machete.

Lápiz y lapicero.

Plumones indelebles.

### **Equipos.**

Laptop Toshiba Satellite – Intel Core™ i7.

Cámara fotográfica digital Sony Cyber-Shot de 14 megapíxeles.

Receptor de Sistema de posicionamiento Global (GPS), Garmin CSX Map 60.

Densiómetro esférico.

### **Programas Informáticos utilizados.**

Los paquetes estadísticos utilizados fueron: PAleontological STatistics (PAST versión 3.2), SigmaPlot 12, R en el entorno de R-Studio (R Core Team, 2016), Table Curve2D y Minitab 17.3. Asimismo, se utilizaron los programas ImageJ versión 1.45r, ArcMap de ArcGis Desktop 10.5, paquete de Microsoft Office versión 2016.

## **2.3. Metodología.**

### **Metodología de campo.**

Se utilizó 2 tratamientos (en función a la cobertura de dosel), en claros y sotobosque con 08 repeticiones cada uno, y cada repetición con 4 plántulas de castaña. En total se utilizaron 64 plántulas, las cuales cumplieron con las siguientes condiciones:

- ④ Plántulas de *B. excelsa* de 09 meses de edad (Vivero UNAMAD, kilómetro 16.5 carretera Puerto Maldonado - Iberia).
- ④ Plántulas de *B. excelsa* de 8 cm a 20 cm de tamaño.

### **Del establecimiento en el Campo.**

Se ubicó las áreas donde se establecerán las plántulas (claros y sotobosque), se determinó las coordenadas UTM con un receptor de Sistema de posicionamiento Global (GPS). Seguidamente se retiró la cobertura vegetal en un radio de 50 cm, alrededor del sitio de donde se ubicó la plántula (Figura 3).

Las plántulas se hidrataron con 250 ml de agua, el día de plantación y 10 días después; usando secciones cortadas de arbustos y de algunas palmeras, se confeccionó un círculo alrededor de las plántulas para la fácil ubicación y protección de las plántulas (Figura 3).



**Figura 3:** Fotografía de la metodología de establecimiento en campo de las plántulas de *B. excelsa* en el presente estudio.

### **Del Monitoreo.**

La primera medición se realizó 2 semanas después del establecimiento en campo, las evaluaciones siguientes fueron mensuales, durante un año (12 meses). Para considerar en el análisis dos estaciones del año. El formato de campo utilizado se puede observar en el Anexo 1b.

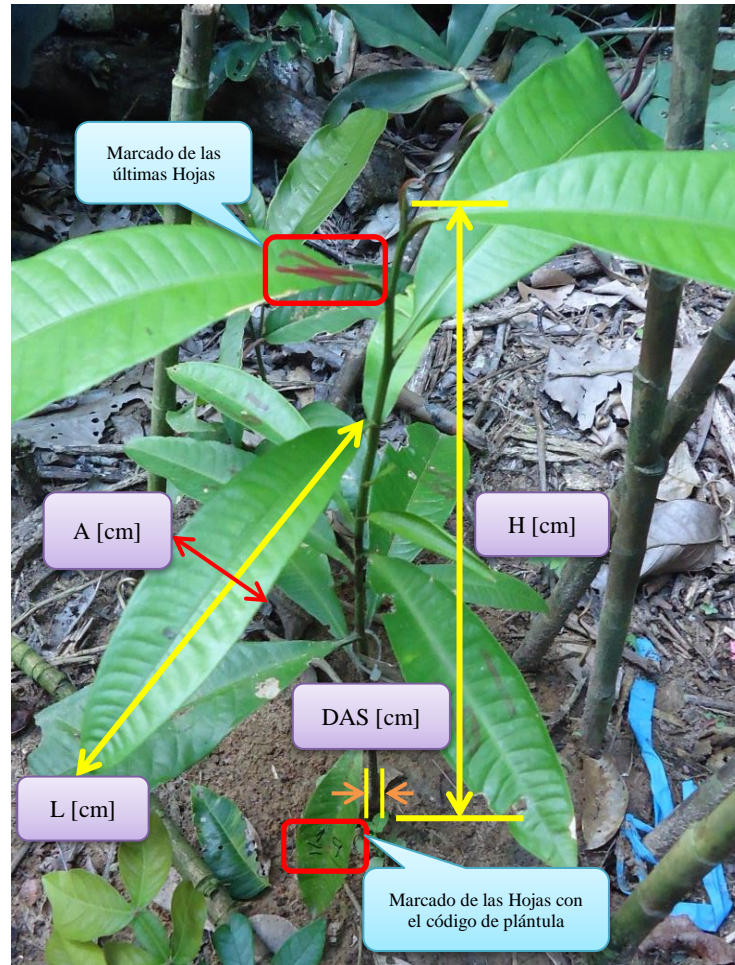
Las variables consideradas durante cada medición en campo para lograr los objetivos planteados, fueron las siguientes:

#### **🌍 Altura [H] (cm):**

Para determinar la tasa de crecimiento en altura, se realizaron mediciones mediante la utilización de una wincha de 5 m de longitud, se midió desde la base del nivel del suelo hasta el último nudo de la plántula (Figura 4 y Anexo 2).

#### **🌍 Diámetro a la altura del Suelo [DAS] (cm):**

Para determinar la tasa de Crecimiento en diámetro se utilizó un vernier de 0.02 mm de precisión (Airborne). Se midió el diámetro de cada plántula a nivel del suelo, se realizaron dos mediciones y se consideró al promedio de las mismas para todo los análisis (Figura 4 y Anexo 2).



**Figura 4:** Representación esquemática de metodología de evaluación mensual de las plántulas.

#### 🌍 **Largo [L] y Ancho [A] de las Hojas (cm):**

Se midió con una regla milimetrada de 50 cm de longitud. Se realizaron dos mediciones, largo y ancho de cada una (Figura 4 y Anexo 3). Finalizando las mediciones se hizo un marcado de la última hoja, la codificación correspondiente a las plántulas en las hojas para su identificación posterior (Anexo 3).

En laboratorio, se tomaron fotografías con escala de hojas provenientes de claro y sotobosque, para determinar el área foliar mediante el módulo “Leaves” del complemento TOASTER (Tree or planT Organs And SStructures analiZER) disponible en el software libre ImageJ (Borlane, 2010; Schneider et al., 2012), ver Anexo 5.

Luego se determinó una ecuación para estimar el área foliar en función del ancho y largo de cada hoja utilizando el software Minitab 17.3 y SigmaPlot 12.5 (Anexo 6).

### ☉ **Densidad de Cobertura de Dosel (% CoD).**

Para determinar el porcentaje de cobertura de dosel, se utilizó un densiómetro esférico (Lemmon, 1956), que es un instrumento compuesto de un espejo semi-circular cóncavo, que está subdividido en 24 cuadrados, con los que se puede estimar la cobertura de dosel. La metodología utilizada para la medición se detalla a continuación considerando las recomendaciones de Lemmon (1956), Goh et al. (2004) y Werner (2009).

Para facilidades de campo se subdividió (los 24 cuadrados) en 96 cuadrados pequeños, y se coloca a una altura de 1.3 m de nivel del suelo y a 30 cm del pecho. Se empezó a contar las zonas que tienen cobertura de dosel y se anotó el resultado, el mismo que en gabinete tiene que corregirse con un factor de 1.04 (se multiplica al resultado obtenido) y se obtiene el porcentaje de cobertura de dosel. Restando de 100% se obtiene el porcentaje de área no cubierta por el dosel. Para la medición de CoD se realizaron 04 mediciones por cada plántula en diferentes direcciones (N, S, E y O), ver ecuación 1:

$$\text{CoD} = \frac{\text{N+S+E+O}}{4} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

CoD = Cobertura de dosel (%)

N = norte, S = sur, E = este y O = oeste.

## **2.4. Análisis Estadístico.**

### **Población.**

Plántulas del Vivero UNAMAD.

### **Muestra.**

Se eligieron 64 plántulas de Castaña de acuerdo a las especificaciones antes señaladas. Fueron plantadas, 32 en claros y las otras 32 en sotobosque.

### **Técnica de análisis de datos.**

#### **2.4.1. Manejo de base de datos.**

Se utilizó la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2016, para ordenar y filtrar los datos, para tenerlos listos para el análisis estadístico.

#### **2.4.2. Análisis descriptivo-exploratorio.**

Se utilizó el paquete estadístico PAST versión 3.02 (Hammer, 2014) y SigmaPlot versión 12.5 (SYSTAT, 2013) para obtener el análisis descriptivo de todas las variables obtenidas en el campo, asimismo el análisis exploratorio para verificar las condiciones para aplicar análisis comparativos y de regresión paramétricos o no paramétricos.

#### **Para el área foliar.**

Se utilizó el software ImageJ (Schneider et al., 2012) para hallar el área de unas hojas seleccionadas, seguidamente se generó la mejor ecuación, utilizando el software Minitab 17.3, para calcular el área foliar de las demás hojas en función a las medidas de del ancho y largo de las hojas obtenidas posteriormente en campo.

#### **2.4.3. Análisis inferencial.**

Se utilizó análisis de regresión lineal múltiple y regresión escalonado (método backward), para determinar que variable influyen significativamente en el incremento en diámetro y altura. Además, Se realizaron análisis comparativos para la tasa de crecimiento y mortalidad entre las plántulas ubicadas en claros y sotobosque. Se realizaron cuadros y gráficos comparativos entre los dos tratamientos, además de pruebas analíticas con significancia estadística a 5% de probabilidad de error. Para lo cual se utilizó los paquetes estadísticos PAST versión 3.14 (Hammer & Harper, 2006), Systat 13 y R en el entorno de R-Studio (R Core Team, 2016). Las figuras se elaboraron utilizando paquete estadístico SigmaPlot versión 12.5 (SYSTAT, 2013).

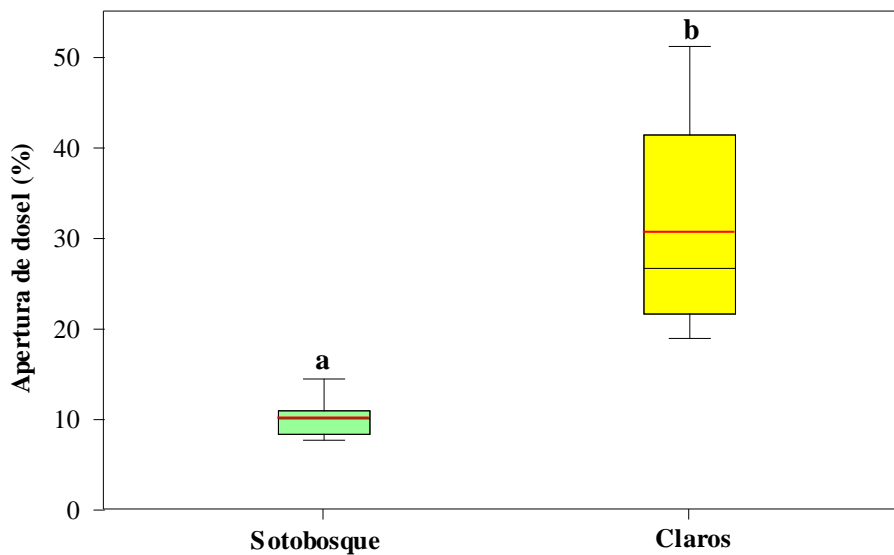
Para analizar la significancia de las correlaciones y elaborar el ajuste de curvas entre el incremento en altura (H), Diámetro a la altura del suelo (DAS) y la densidad de cobertura de dosel, se utilizó el paquete estadístico SigmaPlot versión 12.5. Para analizar la probabilidad de supervivencia según claro y sotobosque se utilizó un modelo lineal generalizado (regresión logística), considerando el porcentaje de supervivencia mensual, utilizando el software R en el entorno de R-studio (R Core Team, 2016).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

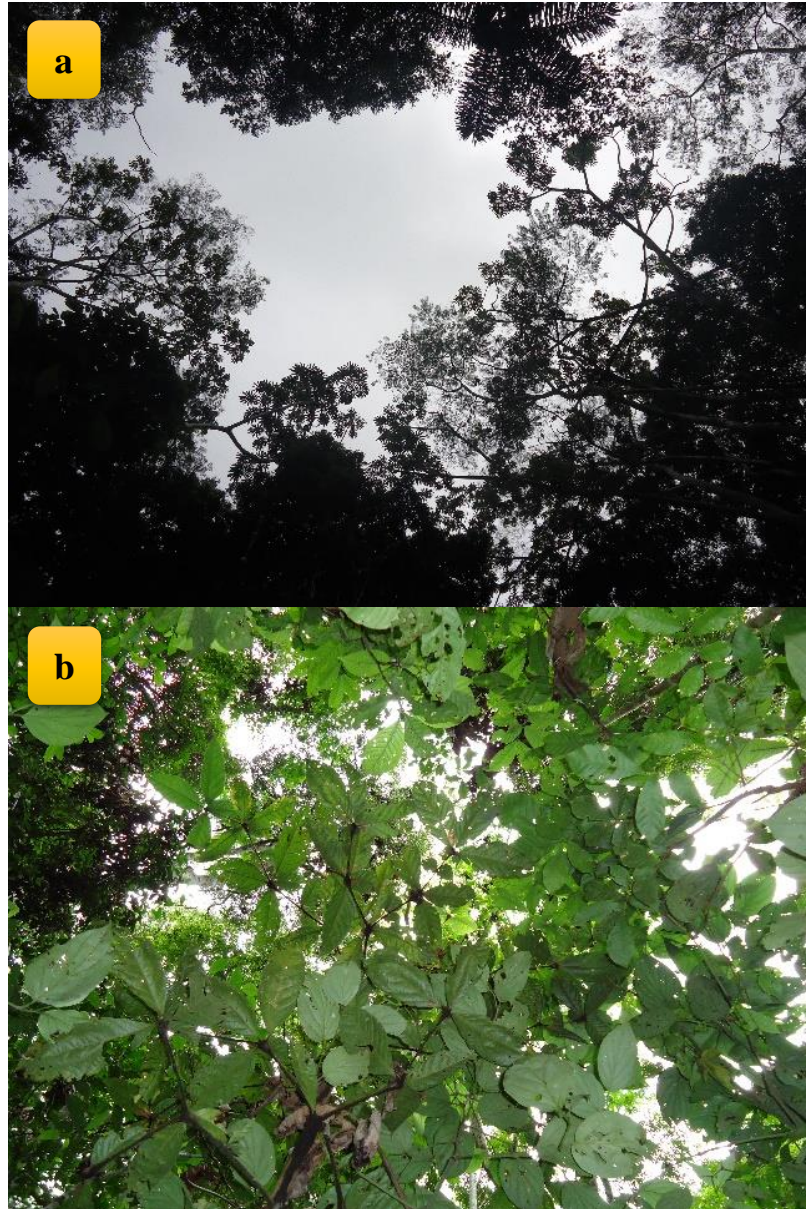
#### 3.1. Estadísticos descriptivos de las plántulas al inicio del experimento.

##### 3.1.1. Cobertura de dosel.

En la Figura 5 se muestra la proporción promedio de apertura de dosel, estimado utilizando el densiómetro esférico (Lemmon, 1956) para cada repetición según claro y sotobosque. Asimismo, se muestran fotografías de un claro y sotobosque en la Figura 6. La diferencia en la apertura de dosel fue significativa entre los claros y sotobosque (Figura 5), determinado por la prueba no paramétrica de Mann-Whitney ( $p\text{-value} < 0.01$ ). Se utilizó la prueba de Mann-Whitney debido a que los datos no cumplían los supuestos de la estadística paramétrica, varianzas no homogéneas, evaluado con la prueba de Levene ( $p\text{-value} < 0.05$ ), ver Anexo 4a.



**Figura 5:** Boxplot de la comparación del porcentaje de apertura de dosel entre sotobosque y claros. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (prueba de Mann-Whitney) a un 5% de probabilidad de error ( $p\text{-value} < 0.05$ ).

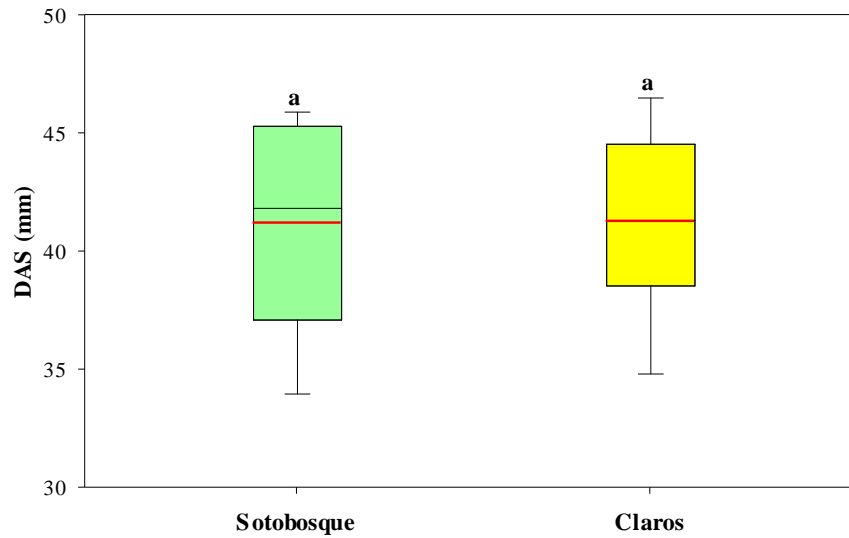


**Figura 6:** Fotografías del dosel. (a) claros y (b) sotobosque.

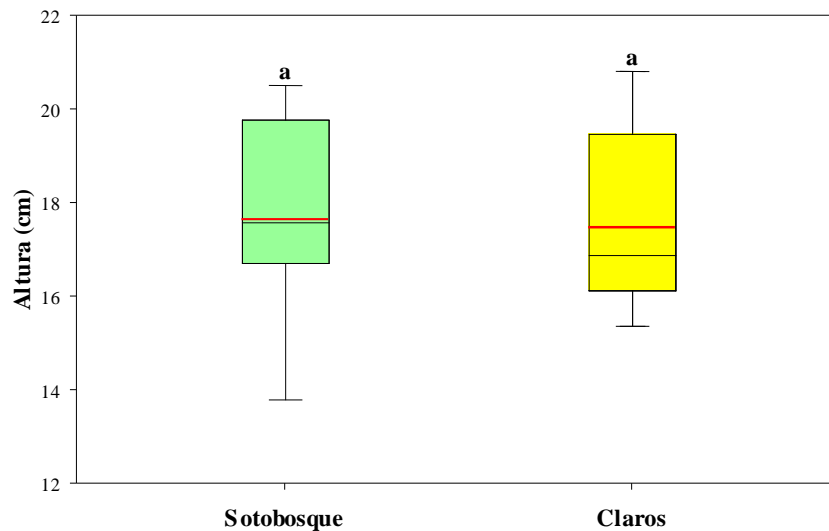
### 3.1.2. Altura y Diámetro inicial de las plántulas.

Para verificar que las plántulas de *B. excelsa* utilizadas en la presente investigación sean estadísticamente iguales en promedio de altura y diámetro, se utilizó la prueba de *t*-student. Debido a que los datos de altura y diámetro según tratamiento (claro y sotobosque) cumplieron los supuestos paramétricos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk,  $p\text{-value} > 0.05$ ) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene,  $p\text{-value} > 0.05$ ), ver Anexo 4b. La diferencia no fue significativa ( $t = -0.11$ ,  $p\text{-value} = 0.90$ ) para el diámetro promedio al inicio del experimento según claros y sotobosque (Figura 7).





**Figura 7:** Boxplot de la comparación de diámetro a la altura del suelo (DAS) y de las plántulas al inicio del experimento establecidas en sotobosque y claros. Las líneas rojas representan el promedio. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (prueba de *t*-student) a un 5% de probabilidad de error (p-value <0.05).



**Figura 8:** Boxplot de la comparación de altura (H) de las plántulas al inicio del experimento establecidas en sotobosque y claro. Las líneas rojas representan el promedio. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (prueba de *t*-student) a un 5% de probabilidad de error (p-value <0.05).

Para la altura promedio inicial de las plántulas entre claros y sotobosque, la diferencia no fue significativa ( $t = 0.16$ , p-value = 0.87), ver Figura 8.

### 3.1.3. Ecuación para estimar el área foliar.

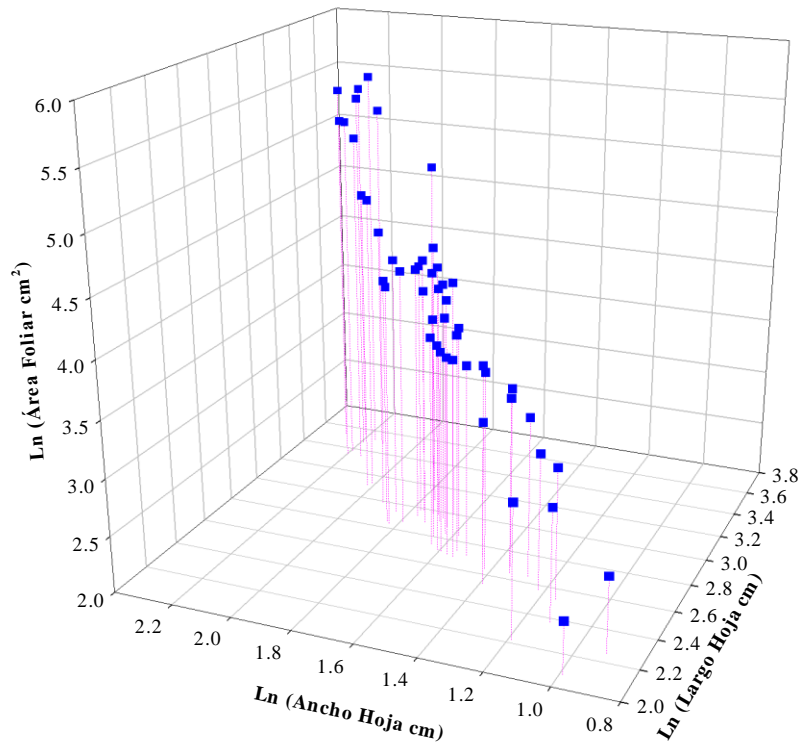
Se determinó el área foliar de 49 hojas de las plántulas de *B. excelsa* utilizando el plug-in TOASTER (Borian, 2009) en el software ImageJ (Schneider et al., 2012),

para mayor detalle ver Anexo 5. Se utilizó la transformación logarítmica (ln) con las variables de ancho y largo de las hojas, debido a que no cumplían los supuestos de la estadística paramétrica (normalidad y homocedasticidad).

Con esta muestra (49 hojas) se generó una ecuación para estimar el área foliar de las plántulas de *B. excelsa* en el presente estudio, utilizando un análisis de regresión lineal múltiple. Considerando el ancho y largo de las hojas como variables independientes y el área foliar como variable dependiente (Figura 9 y ecuación 2).

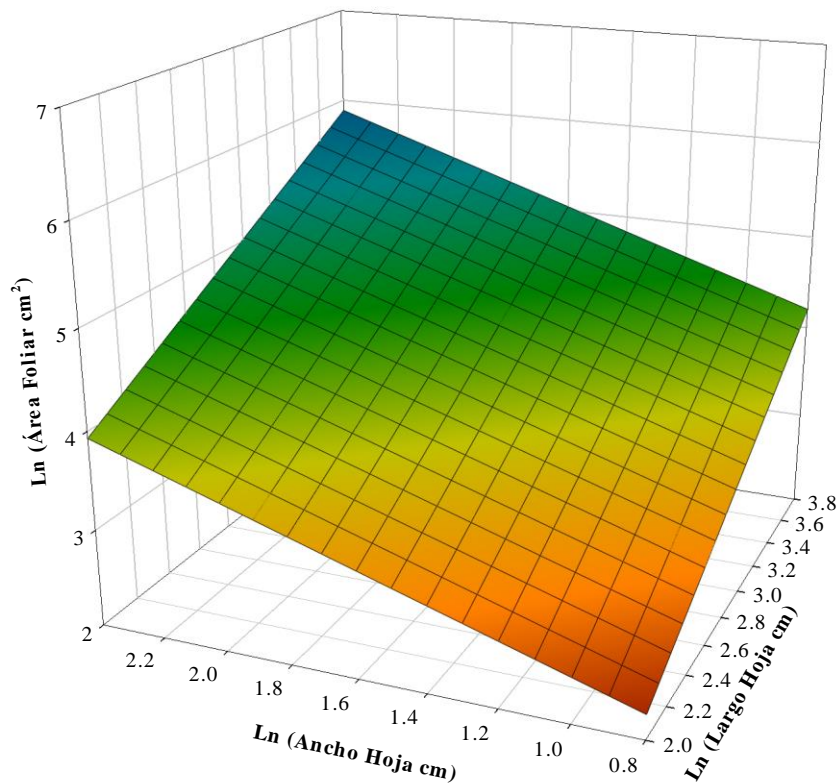
$$\ln AF = -0.758 + 1.085 * \ln(L) + 1.049 * \ln(A) \dots\dots\dots\text{ecuación 2.}$$

Donde: AF = Área Foliar (cm<sup>2</sup>).  
L = Largo de la hoja (cm).  
A = Ancho de la hoja (cm).



**Figura 9:** Diagrama de dispersión en tres dimensiones del área foliar en función del ancho y largo de hojas. Las variables fueron transformadas utilizando el logaritmo natural.

Siendo estadísticamente significativa la contribución de las dos variables en la predicción del área foliar ( $p\text{-value} < 0.05$ ), con un coeficiente de determinación  $r^2$ -ajustado de 0.99 (Anexo 6). Lo que sugiere que, el área foliar de las plántulas de *B. excelsa* puede predecirse mediante combinaciones lineales del ancho y largo de las hojas (Figura 10).

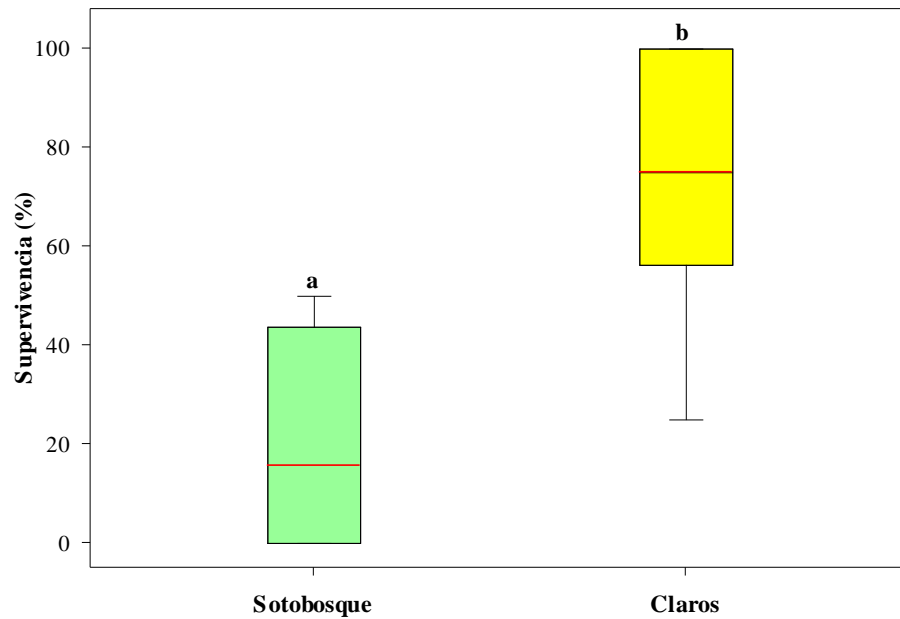


**Figura 10:** Representación en 3 dimensiones de la ecuación generada para estimar el área foliar en función del ancho y largo de las hojas.

### 3.2. De la supervivencia.

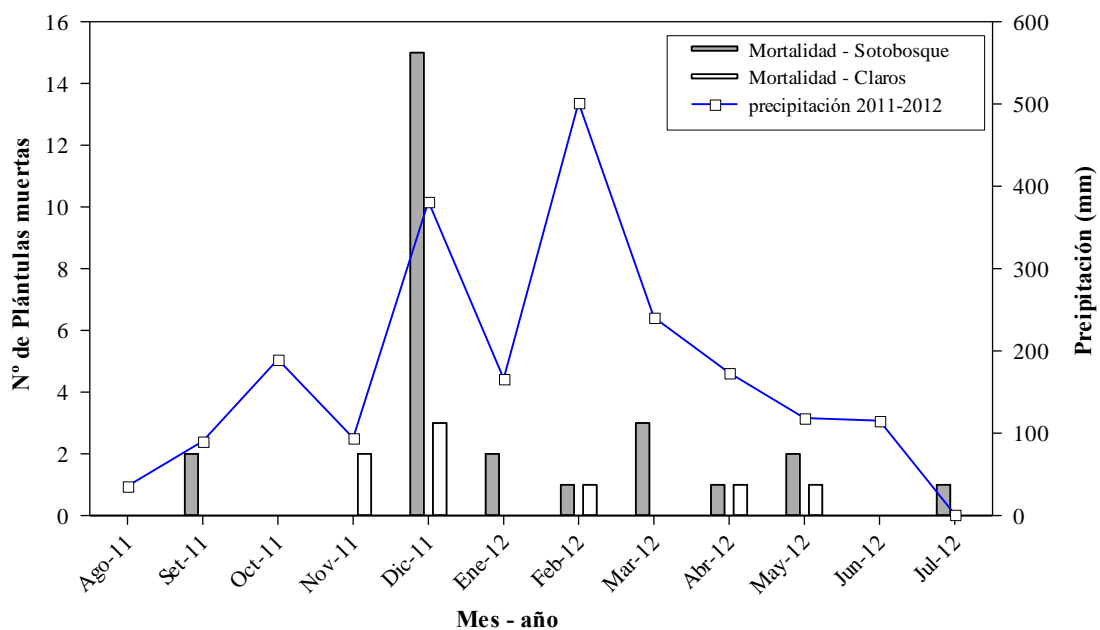
De las 64 plántulas establecidas en campo, sólo 30 (47% del total) sobrevivieron en el transcurso de 12 meses de monitoreo. La mortalidad fue superior en las plántulas establecidas en sotobosque (84%) en comparación con las establecidas en claros ,25% (Scoles, Gribel, & Klein, 2011; Peña-Claros, Boot, Dorado-Lora, & Zonta, 2002). Asimismo, la mortalidad fue superior a los reportado por Cornejo (2003) de 13% anual.

El promedio de supervivencia de plántulas en claros ( $\bar{x} \pm$  desviacion estandar =  $75 \pm 26.7$  %) fue superior al del sotobosque ( $15.6 \pm 22.9$  %), ver Figura 11. Esta diferencia fue estadísticamente significativa, evaluada utilizando la prueba de *t*-student ( $t = -4.7$  y  $p\text{-value} < 0.001$ ). Considerando el cumplimiento de los supuestos de la estadística paramétrica. Normalidad (test de Shapiro-Wilk,  $p\text{-value} = 0.215$ ) y Homogeneidad de varianzas (test de Levene,  $p\text{-value} = 0.764$ , ver Anexo 7).



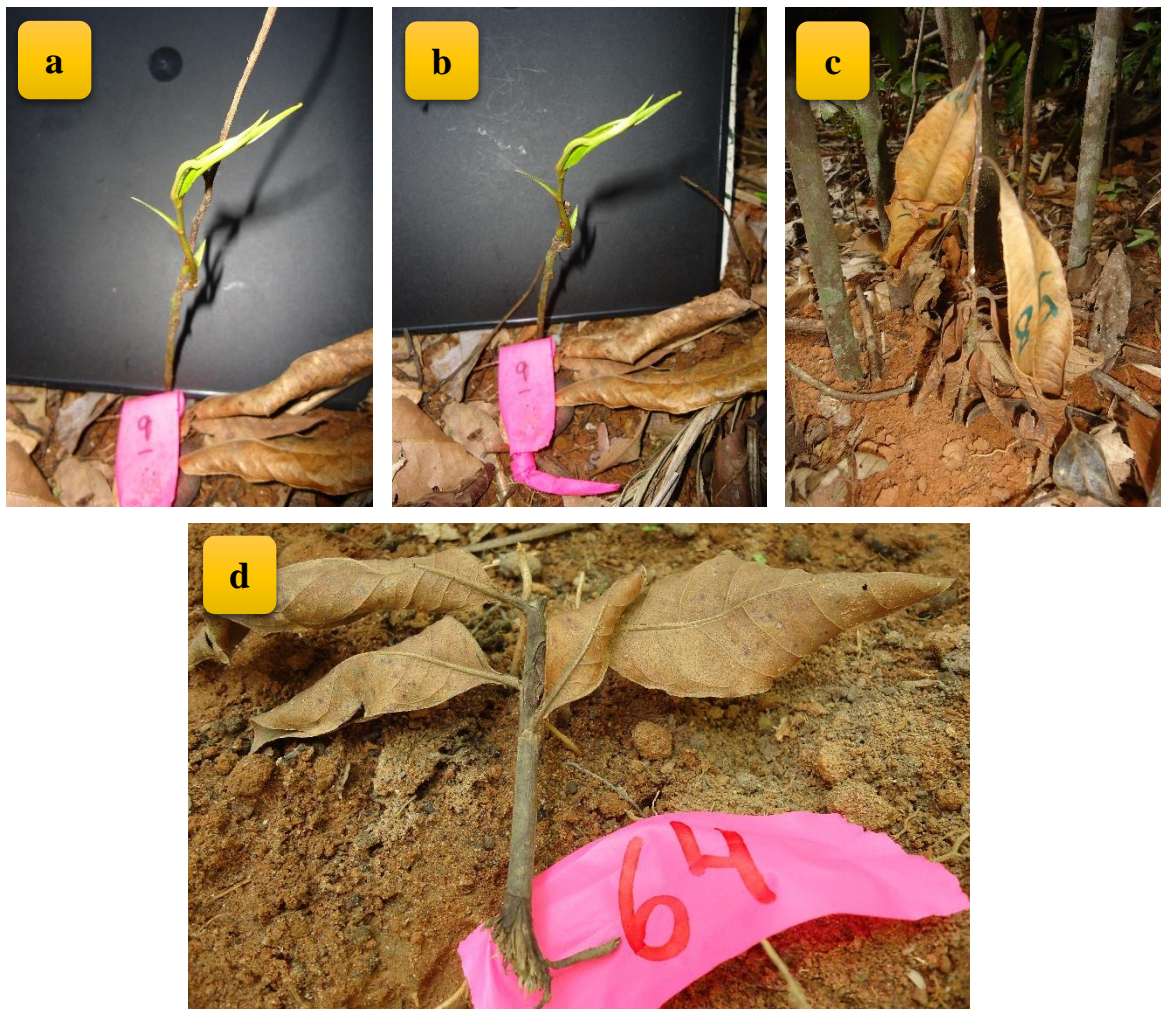
**Figura 11:** Boxplot de la comparación del porcentaje de supervivencia de las plántulas en sotobosque y claros. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (test de *t*-student) a un 5% de probabilidad de error ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Las líneas rojas representan el promedio.

Las secuencias de mortalidad durante los meses de evaluación se muestran en la Figura 12. Considerando sólo muertes naturales el porcentaje de supervivencia fue mayor en los claros que en sotobosque, con 92% y 38% respectivamente. Similares resultados a los encontrados por Scoles et al. (2011) en claros (96%), pero inferior en el sotobosque (89%) luego de 2 años de monitoreo.



**Figura 12:** Secuencia de episodios de mortalidad de todas las plántulas de *B. excelsa* en claros y sotobosque, en barras blancas y grises respectivamente. La línea azul representa la precipitación mensual acumulada durante el periodo de monitoreo (Fuente: SENAMHI).

En 22 plántulas de *B. excelsa* (64% de la mortalidad) la causa de mortalidad fue debido a la predación de la semilla por fauna local, roedores u otros (Cornejo, 2003). En estos casos las plántulas fueron extraídas de raíz y muchas veces solo quedaron los tallos quebrados (Figura 13), debido al intento de extracción. Similares observaciones encontradas por Peréa (2005) en castañales de la amazonia brasileña (Acre). De estas, un 72% (16 plántulas) sucedieron en el sotobosque y sólo un 23% (6 plántulas) en los claros. Es decir, la mayor mortalidad debido a la predación de las semillas ocurrió en los sitios con menor apertura de dosel, similares resultados a los encontrados por Peña-Claros et al. (2002) para *B. excelsa* en Bolivia.



**Figura 13:** Fotografías que representan los episodios de mortalidad debido a herbívoros en plántulas de *B. excelsa* en (a, b y c) en sotobosque y (d) en claros.

La mayor mortalidad de plántulas ocurrió durante el inicio de la estación lluviosa y el inicio de la caída de frutos de *B. excelsa* (Figura 12), coincidiendo con el

experimento de remoción de semillas en *B. excelsa* de Peres et al. (1997). Esta diferencia estacional en la mortalidad debido a predadores parece estar relacionado con la fenología, la caída de frutos de *B. excelsa* y una mayor actividad de sus dispersores naturales cuando los frutos frescos permanecen en el suelo (Peres et al., 2003). Debido a que, aun después de germinar la semilla puede ser comida por animales, pues tarda más de un año en ser absorbida en su totalidad por la plántula (Cornejo, 2003).

### Rebrote.

Durante los 12 meses de evaluación se identificaron 6 casos de rebrote (9.4%), en todas las plántulas del experimento. La proporción de plántulas que rebrotaron luego de secarse varía según tratamiento, fue superior en los claros que en el sotobosque con 100% y 50% respectivamente (Tabla 2). Diferente a lo reportado por Scoles et al. (2011), que no encontró diferencias significativas entre las dos situaciones ambientales.

**Tabla 2:** Número de plántulas de *B. excelsa* utilizadas en la investigación según tratamiento e incidencias durante todo el periodo de evaluación en el CRIBATAMAD.

	total	Mortalidad			rebrote
		Predadores	Secaron	Total	
	<b>64</b>	<b>22</b>	<b>12</b>	<b>34</b>	<b>6</b>
claros	32	6	2	8	2
sotobosque	32	16	11	27	4

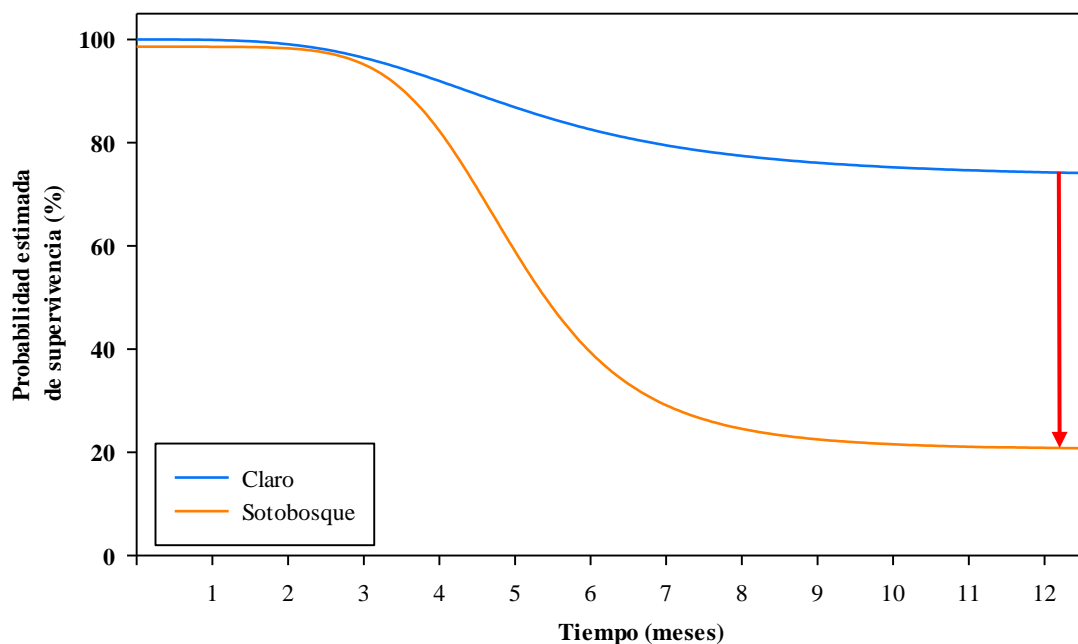
En el sotobosque todas las plántulas que rebrotaron murieron a los pocos meses luego de ocurrido el episodio (3 - 4 meses). En los claros, el 75% de las plántulas que rebrotaron sobrevivieron hasta el final de la evaluación. Estas tuvieron un crecimiento reducido en comparación con las plántulas cercanas. En altura tuvieron un crecimiento entre 17%-32% menos que el crecimiento promedio de las plántulas en su repetición correspondiente, resultados diferentes a los reportados por Cornejo (2003) y Scoles et al. (2011), que encontraron en la mayoría de los casos de rebrote se generó una situación favorable en el crecimiento en altura, incrementando las tasas de crecimiento en los meses siguientes.

Se ajustó al modelo logístico con la supervivencia de las plántulas, considerando como variables explicativas los tratamientos (claros y sotobosque), tiempo y la interacción tratamiento-tiempo (Anexo 8).

**Tabla 3:** Regresión logística analizada mediante un modelo lineal generalizado (GLM) para estimar la supervivencia de plántulas de *B. excelsa*. Se incluyó el tiempo y los tratamientos de establecimiento en campo como variable categórica (Claro y Sotobosque). AIC = Criterio de Información de Akaike. Los asteriscos indican diferencias significativas para el crecimiento a un nivel \*= p-value < 0.05, \*\* p-value = < 0.01, \*\*\* = p-value < 0.001 respectivamente.

	Coefficientes	Error estándar	Chi cuadrado	p-value	Devianza nula	Devianza residual	AIC
<b>(Intercepto)</b>	6.85	0.55	12.51	< 2 x 10 <sup>-16</sup> ***			
<b>Tratamiento</b>	-2.30	0.21	-10.76	< 2 x 10 <sup>-16</sup> ***	346.60	27.20	100.70
<b>Tiempo</b>	-2.55	0.24	-10.54	< 2 x 10 <sup>-16</sup> ***			

La interacción entre los tratamientos y el tiempo fue significativa. Por lo que se utilizó un modelo binomial simplificado, eliminando la interacción para ver si realmente existe una diferencia en la supervivencia de plántulas entre claro y sotobosque (Tabla 3).



**Figura 14:** Análisis de regresión logística binomial utilizando un GLM (modelo lineal generalizado) para estimar la probabilidad de supervivencia de las plántulas de *B. excelsa* en función de la cobertura de dosel y el tiempo de evaluación. La flecha roja indica la diferencia en la probabilidad de supervivencia de plántulas entre claros y sotobosque al finalizar la evaluación.

Las variables independientes utilizadas resultaron altamente significativas (p-value<0.05), lo que manifiesta una diferencia significativa en la probabilidad de supervivencia de

plántulas de *B. excelsa* entre claros y sotobosque (Tabla 3 y Figura 14). Considerando que la proporción de varianza explicada por el Modelo Linear Generalizado (devianza -  $D^2$ ) es de 92%.

La tasa de supervivencia comparada con experimentos similares en claros de plántulas de *B. excelsa* en la amazonia, fue inferior a los reportados por Scoles et al. (2011) en Brasil (95% luego de 2 años), Peña-Claros et al. (2002) en un experimento de enriquecimiento en la amazonia boliviana (97% anual) y Neves (2010) en condiciones naturales en Brasil (90%).

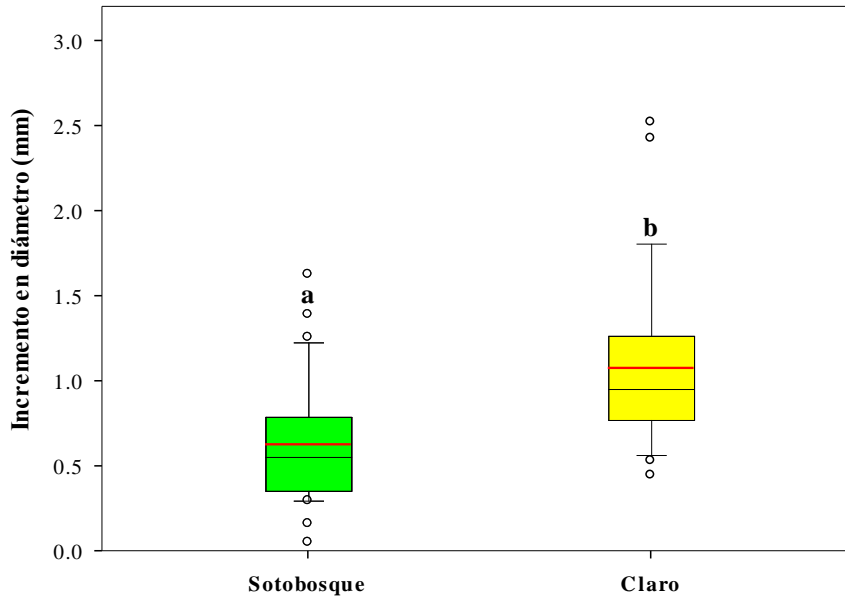
### 3.3. Crecimiento en Diámetro.

Para comparar el crecimiento en diámetro entre las plántulas de claro y sotobosque utilizamos la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, debido a que los datos de incremento no cumplieron los supuestos de la estadística paramétrica (Anexo 9a y 9b). El crecimiento en diámetro de las plántulas durante los 4 primeros meses fue significativamente superior en los claros que en el sotobosque (U Mann-Whitney = 163, p-value < 0.001). El incremento anual también fue superior en los claros ( $3.7 \pm 2.1$  cm) que en el sotobosque ( $1.5 \pm 0.9$ ) y significativamente diferentes (U Mann-Whitney = 17, p-value < 0.05), ver Figura 15, Figura 16 y Tabla 4.

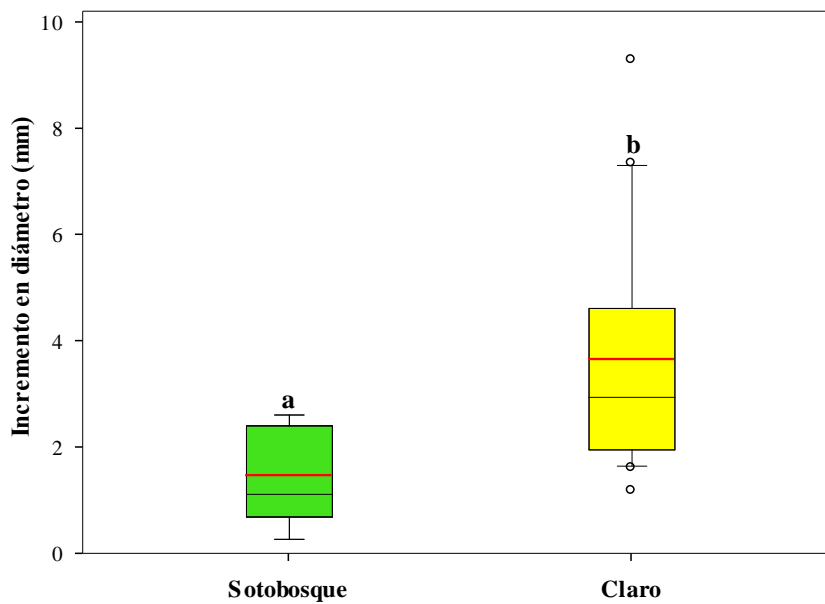
**Tabla 4:** Estadísticos descriptivos (a) y resultados del análisis comparativo del crecimiento en diámetro en claros y sotobosque, utilizando la prueba de Mann-Whitney (b). Considerando 2 periodos de crecimiento (4 y 12 meses). Los asteriscos indican diferencias significativas para el crecimiento a un nivel \*= p-value < 0.05, \*\* p-value = < 0.01, \*\*\* = p-value < 0.001 respectivamente.

		4 meses		12 meses	
		Sotobosque	Claro	Sotobosque	Claro
(a)	n	30	28	5	22
	Promedio	0.6	1.1	1.5	3.7
	Mediana	0.6	1.0	1.1	3.0
	Coefficiente de variación (%)	57.2	46.9	63.8	59.4
(b)	U Mann-Whitney	163		17	
	p-value permutaciones de Monte Carlo	0.0001 ***		0.019*	





**Figura 15:** Boxplot de la comparación del crecimiento en diámetro 4 primeros meses de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque. Las líneas rojas representan el promedio.



**Figura 16:** Boxplot de la comparación del crecimiento en diámetro en 12 meses de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque. Las líneas rojas representan el promedio.

El análisis de regresión múltiple mostró que la apertura de dosel es el factor que influye significativamente ( $p\text{-value} < 0.05$ ) el crecimiento en diámetro (12 meses) en claros, no teniendo influencia significativa el diámetro inicial, altura inicial y el área foliar inicial de las plántulas ( $p\text{-value} > 0.05$ , Tabla 5).

**Tabla 5:** Análisis de regresión lineal múltiple del efecto de la apertura de dosel, diámetro, altura y área foliar inicial en el crecimiento en diámetro de plántulas de *B. excelsa* en claros. EER=Residual standard error, ns= no significativo estadísticamente. Los asteriscos indican significancia a un nivel \*= p-value < 0.05, \*\* p-value = < 0.01, \*\*\* = p-value < 0.001 respectivamente.

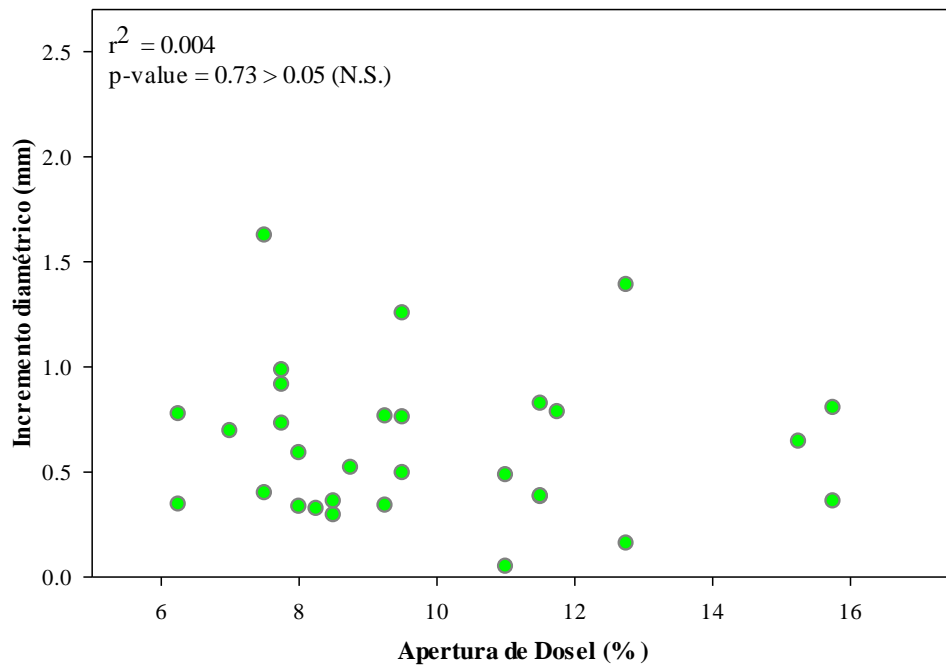
	Coefficientes	Error estándar	t	p-value	EER	r <sup>2</sup> ajust.	p-value
(Intercepto)	-0.2891	0.2082	-1.4	0.1828 (ns)			
DAS	0.2438	0.4875	0.5	0.6235 (ns)			
H	-0.0018	0.0096	-0.2	0.8556 (ns)	0.1495	0.53	0.0018*
Área Foliar	-0.0002	0.0006	-0.4	0.7044 (ns)			
Apertura de Dosel	0.0265	0.0056	4.7	0.0002**			

Los resultados del análisis de regresión lineal escalonado (método backward), para determinar el mejor subconjunto de predictores que expliquen el crecimiento en diámetro, sugieren que la apertura de dosel es la variable que influye significativamente ( $r^2 = 0.61$  y AIC= - 85) en el crecimiento en diámetro de las plántulas de *B. excelsa* en claros (Tabla 6).

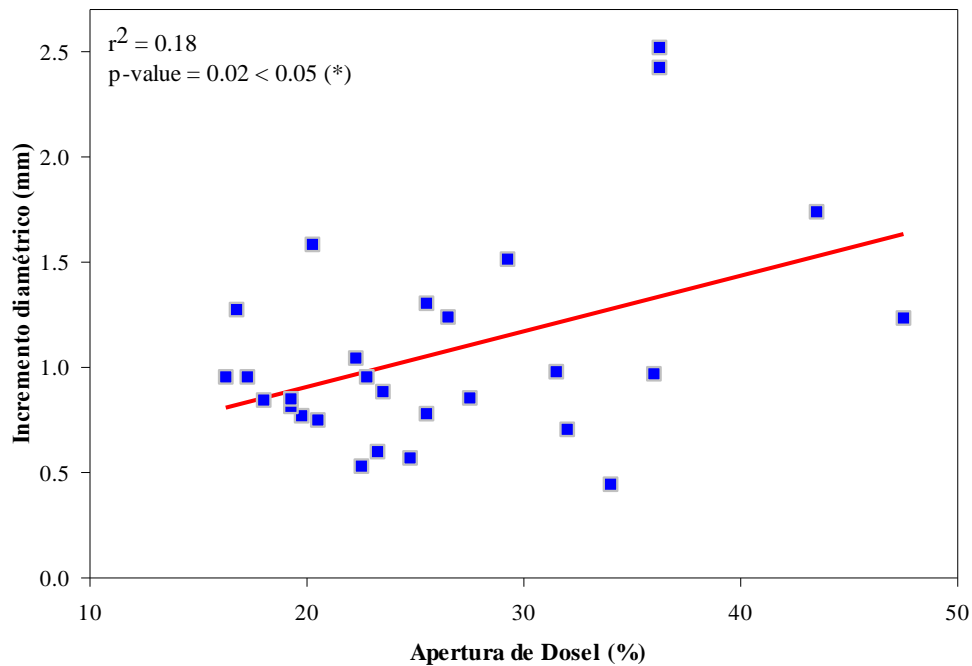
**Tabla 6:** Resultados del Análisis de regresión múltiple método backward basado en el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el proceso de selección de variables que influyen en el crecimiento en diámetro de las plántulas en claros. "X" son las variables que permanecieron en cada paso. El AIC menor nos indica cual es el mejor modelo.

	Variables consideradas			
	Modelo global	paso 1	paso 2	paso 3
DAS	X	X	X	
Altura inicial	X			
Área Foliar inicial	X	X		
Apertura Dosel (%)	X	X	X	X
r <sup>2</sup> ajustado	0.616	0.62	0.61	0.61
AIC	-79.29	- 81.25	- 83.03	- 84.95
p-value	< 0.01	< 0.001	< 0.001	< 0.0001

Habiendo determinado que la apertura de dosel es la variable más influyente en el incremento en diámetro, se realizó un análisis de regresión lineal simple entre la apertura de dosel y el incremento en diámetro, cumpliendo los supuestos de normalidad y homocedasticidad (p-value < 0.05, ver Anexo 10a y 10b). Esta relación en los 4 primeros meses no fue significativa en las plántulas en sotobosque ( $r^2 = 0.004$ , p-value > 0.05, Figura 17); sin embargo, esta relación fue significativa para las plántulas en claros ( $r^2 = 0.18$ , p-value < 0.05, Figura 18 y Anexo 10a).



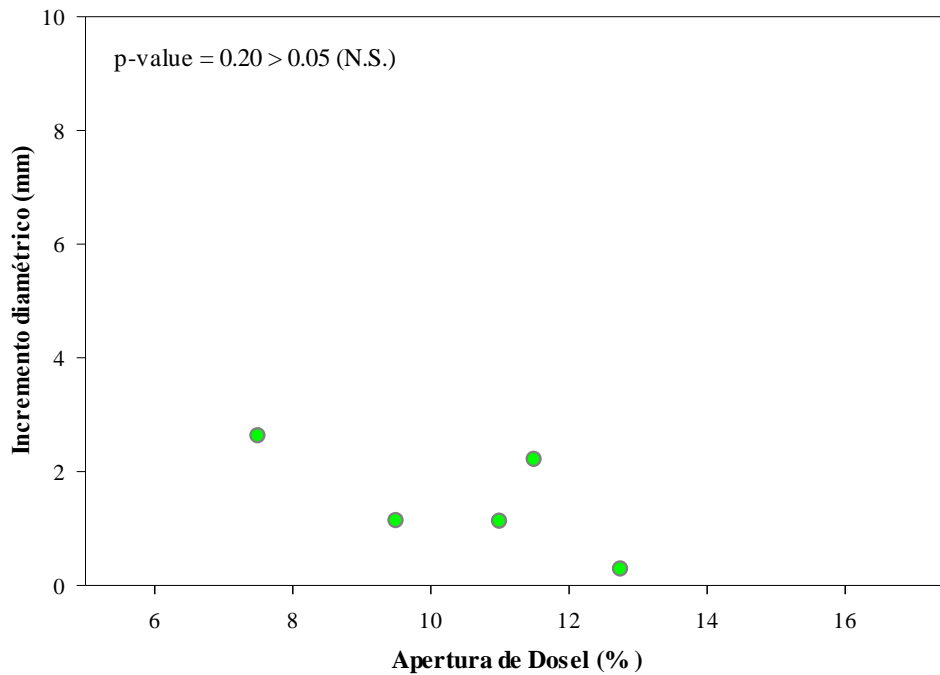
**Figura 17:** Relación entre el porcentaje Apertura de Dosel e incremento en diámetro total (mm) en sotobosque durante los 4 primeros meses de plántulas de *B. excelsa*. N.S. = no significativo estadísticamente.



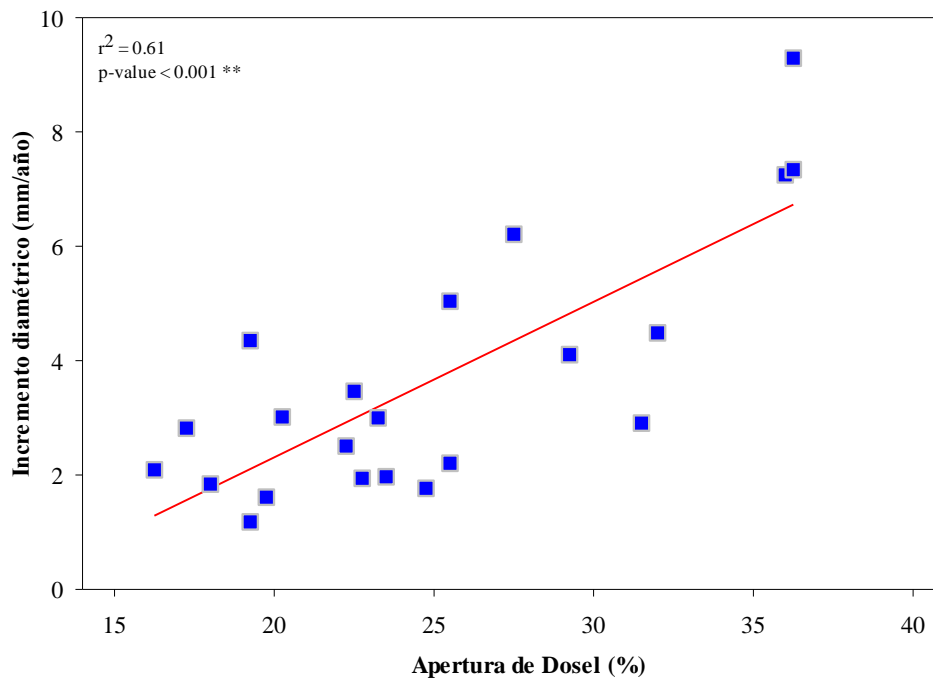
**Figura 18:** Relación entre el porcentaje Apertura de Dosel e incremento en diámetro total (mm) en claros durante los 4 primeros meses de plántulas de *B. excelsa*. La línea roja representa el ajuste al modelo de regresión lineal. Los asteriscos indican significancia a un nivel  $*=P < 0.05$ ,  $**P < 0.01$ ,  $***= P < 0.001$ .

El análisis de regresión simple de la respuesta de incremento anual en diámetro (mm/año) en función de la apertura de dosel, fue altamente significativa ( $r^2 = 0.61$ ,  $p\text{-value} < 0.001$ ) en las plántulas de claros (Figura 19b y Anexo 10b). Este análisis solo se hizo para las plántulas

en claros, debido a que la mortalidad en plántulas fue alta en el sotobosque (84%) y no se tenían los individuos suficientes para interpretar este análisis (Figura 19a).



**Figura 19a:** Regresión lineal entre el porcentaje apertura de dosel e incremento anual en diámetro (mm) de plántulas de *B. excelsa* en sotobosque. Los asteriscos indican significancia a un nivel \* =  $P < 0.05$ , \*\* =  $P < 0.01$ , \*\*\* =  $P < 0.001$ , N.S = No Significativo.



**Figura 20b:** Regresión lineal entre el porcentaje Apertura de Dosel e incremento en diámetro anual (mm) de plántulas de *B. excelsa* en claros. Los asteriscos indican significancia a un nivel \* =  $P < 0.05$ , \*\* =  $P < 0.01$ , \*\*\* =  $P < 0.001$ .

### 3.4. Crecimiento en Altura.

Los datos de incremento en altura (cm/año) se transformaron utilizando el logaritmo neperiano (ln) previo al análisis de covarianza y regresión para incrementar su homocedasticidad. El análisis de regresión múltiple mostró que la apertura de dosel (>luz) es la variable que influye positiva y significativamente (p-value < 0.05) en el crecimiento anual en altura en claros, similar resultado a los reportados en la Amazonia por Neves (2010) en Brasil, Peña-Claros et al. (2002) en Bolivia y para *Dipteryx micrantha* en Madre de Dios (Romo, 2005). El diámetro inicial de las plántulas en el establecimiento en campo también fue un variable importante a considerar en el incremento en altura (p-value = 0.66 < 0.10). Las otras variables consideradas, altura inicial y área foliar inicial, no influyeron significativamente (p-value > 0.05) en el crecimiento anual de las plántulas (Tabla 7 y Anexo 14).

**Tabla 7:** Análisis de regresión lineal múltiple del efecto de la apertura de dosel, diámetro, altura y área foliar inicial en el crecimiento en altura “ln(incremento anual)” de plántulas de *B. excelsa* en claros. ns= no significativo estadísticamente, EER=Residual standard error: + = P < 0.10, \* = p-value < 0.05, \*\* p-value = < 0.01, \*\*\* = p-value < 0.001 respectivamente.

	Coefficientes	Error estándar	t	p-value	EER	r <sup>2</sup> ajustado	p-value
(Intercepto)	1.3818	0.7792	1.773	0.09			
H	-0.0390	0.0353	-1.103	0.29			
DAS	3.5044	1.7877	1.96	0.06 <sup>+</sup>	0.5567	50.38	0.0156*
Área Foliar	-0.0007	0.0021	-0.31	0.76			
Apertura de Dosel	0.0625	0.0211	2.965	0.0087**			

#### Regresión Escalonada.

Se utilizó un análisis de regresión lineal paso a paso (método backward), para determinar el mejor subconjunto de predictores que expliquen el crecimiento en altura. Los valores más bajos del AIC (Criterio de Información de Akaike) nos indica las variables a considerar en el análisis e interpretación del crecimiento en altura. En el primer paso se considera la eliminación de todas las variables explicativas y se calcula el AIC relativo a dicha eliminación. El modelo selecciona la variable “área foliar”, ya que su eliminación proporciona un AIC más pequeño. Así, sucesivamente en cada paso. El procedimiento considera que estadísticamente resulta mejor que permanezcan en un modelo para explicar el crecimiento en altura, las variables apertura de dosel y diámetro inicial de las plántulas (p-

value  $<0.05$ ,  $r^2$ -ajustado = 0.40). Debido a que al eliminar alguna el AIC aumenta. Lo anterior sugiere que la apertura de dosel y el diámetro inicial de las plántulas son las variables más influyentes en el crecimiento anual en altura de las plántulas de *B. excelsa* en claros (Tabla 8 y Anexo 15).

**Tabla 8:** Resultados del Análisis de regresión escalonada método “backward” basado en el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el proceso de selección de variables que influyen en el crecimiento en diámetro de las plántulas en claros. “X” son las variables que permanecieron en cada paso.

	Variables consideradas		
	Modelo global	paso 1	paso 2
DAS (mm)	X	X	X
H (cm)	X	X	
Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	X		
Apertura Dosel (%)	X	X	X
R2 ajust.	0.38	0.41	0.40
AIC	-21.45	-23.32	-23.7
p-value	0.016	0.006	0.003

### Análisis de covarianza (ANCOVA).

En la comparación del crecimiento en altura, entre las plántulas de claros y sotobosque, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA). Considerando al DAS<sub>i</sub> de las plántulas como covariable debido a su buena relación con el crecimiento en altura; esto permitió analizar la diferencia significativa en el crecimiento entre los claros y sotobosque, eliminando la influencia generada por el DAS<sub>i</sub> (Tabla 9 y Anexo 11).

**Tabla 9:** Resultados del ANCOVA sobre el incremento en altura<sup>a</sup> de plántulas de *B.excelsa*, (a) a los 4 meses del establecimiento y (b) 12 meses. Los tratamientos (claros y sotobosque) como factor y el diámetro inicial de las plántulas como covariable. DAS<sub>i</sub> = Diámetro de las plántulas al inicio del experimento.

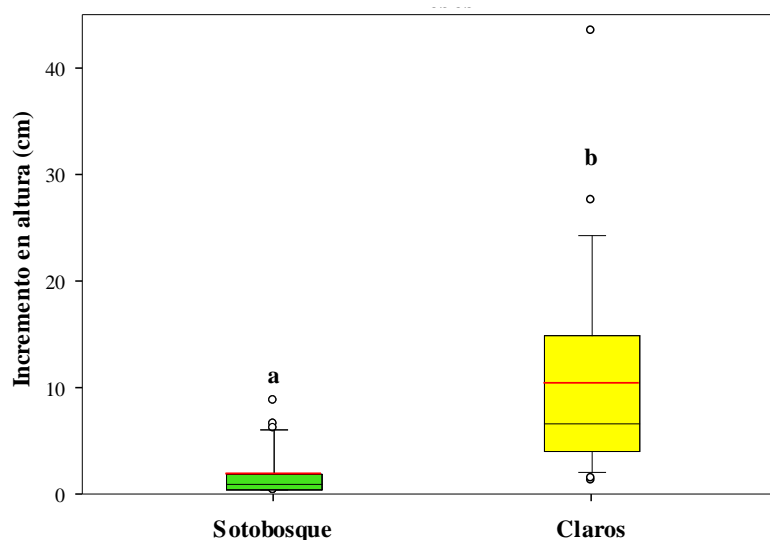
	(A) Primeros 4 meses				(B) 12 meses			
	Sum Sq	Mean Sq	F value	p-value	Sum Sq	Mean Sq	F value	p-value
Tratamiento	47.4	47.4	65.2	0.0000***	39.2	39.2	56.8	0.0000***
DAS <sub>i</sub>	4.0	4.0	5.5	0.0229*	2.2	2.2	3.1	0.0895*
Tratamiento*DAS <sub>i</sub>	1.1	1.1	1.5	0.2335	0.1	0.1	0.1	0.7881
Residuales	39.3	0.7			15.9	0.7		

<sup>a</sup> Datos transformados “ln (incremento en altura)”

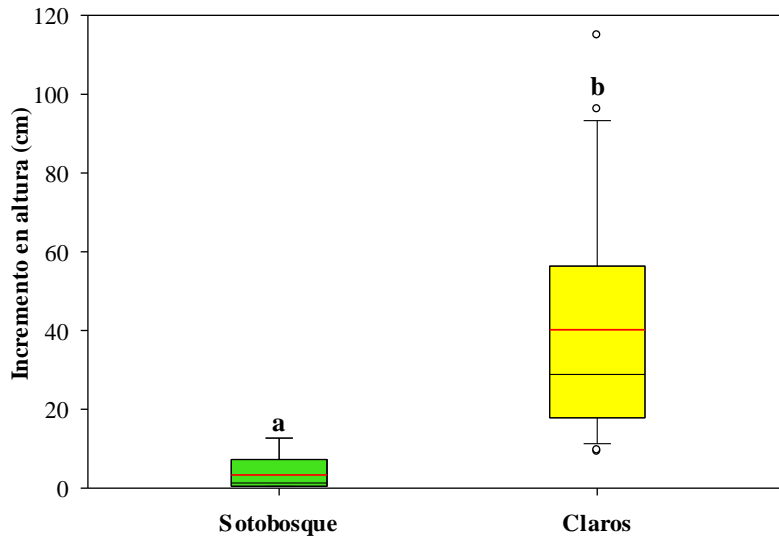
El crecimiento en altura de las plántulas durante los 4 primeros meses fue estadísticamente superior ( $F = 65.2$  y  $p\text{-value} < 0.0001$ ) en los claros que en el sotobosque (Tabla 9a y Figura 20). La interacción Tratamiento-DASi no fue significativa ( $p\text{-value} > 0.05$ ); sin embargo, un mayor crecimiento en altura en los primeros 4 meses está influenciado significativamente por el DASi ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Asimismo, el incremento anual en diámetro fue significativamente superior en los claros ( $F = 58.6$  y  $p\text{-value} < 0.0001$ ) y el diámetro inicial no influyó de manera significativa en el crecimiento anual en altura ( $F = 3.1$  y  $p\text{-value} > 0.05$ ), ver Tabla 9. Resultados similares a los reportados por Zuidema, Dijkman y Rijsoort (1999), que encontraron diferencias significativas en el crecimiento según categorías de tamaño de las plántulas al inicio del experimento (Figura 21).

#### **Incremento en altura vs cobertura de dosel.**

En la comparación del incremento en altura de las plántulas según claros y sotobosque se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, debido a que no cumplen con los supuestos de Normalidad (test Shapiro-Wilk,  $p\text{-value} < 0.05$ ) y Homocedasticidad (test de Levene,  $p\text{-value} < 0.05$ ). El incremento promedio en altura en los 4 primeros meses fue significativamente superior ( $U$  Mann-Whitney = 72.5,  $p\text{-value} < 0.001$ ) en las plántulas establecidas en claros ( $10.5 \pm 9.4$  cm) que las de sotobosque ( $1.9 \pm 2.2$  cm), ver Figura 20. Asimismo, el incremento anual también fue superior en los claros ( $40.2 \pm 29$  cm) que en el sotobosque ( $3.3 \pm 2.4$ ) y esta diferencia fue significativa ( $U$  Mann-Whitney = 2,  $p\text{-value} < 0.001$ ), ver Figura 21.

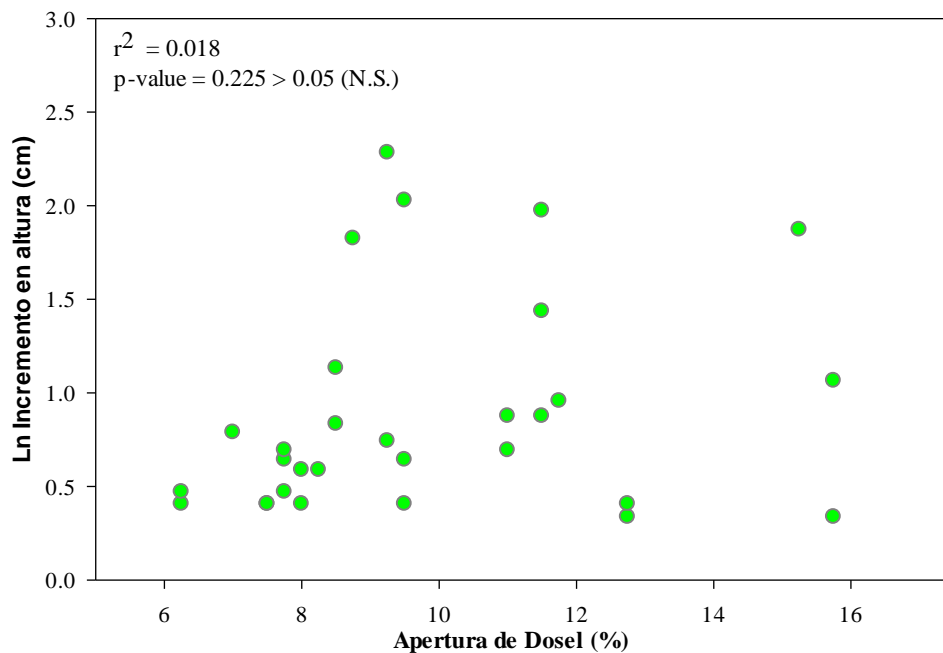


**Figura 21:** Boxplot de la comparación del crecimiento en altura de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque durante los 4 primeros meses. Las líneas rojas representan el promedio del incremento en altura.



**Figura 22:** Boxplot de la comparación del crecimiento anual en altura de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque. Las líneas rojas representan el promedio del incremento en altura.

El crecimiento promedio anual en altura de 40 cm es similar al reportado por Cornejo (2003) en claros naturales de Madre de Dios, aunque sugiere que una protección contra los herbívoros y el aclareo de dosel aumentaría significativamente el crecimiento (Cornejo, 2003). No se encontró una relación significativa entre la apertura de dosel y el incremento en altura (4 primeros meses) de las plántulas de *B. excelsa* en sotobosque ( $r^2 = 0.004$ , p-value  $> 0.05$ , ver anexo 12a), ver Figura 22.

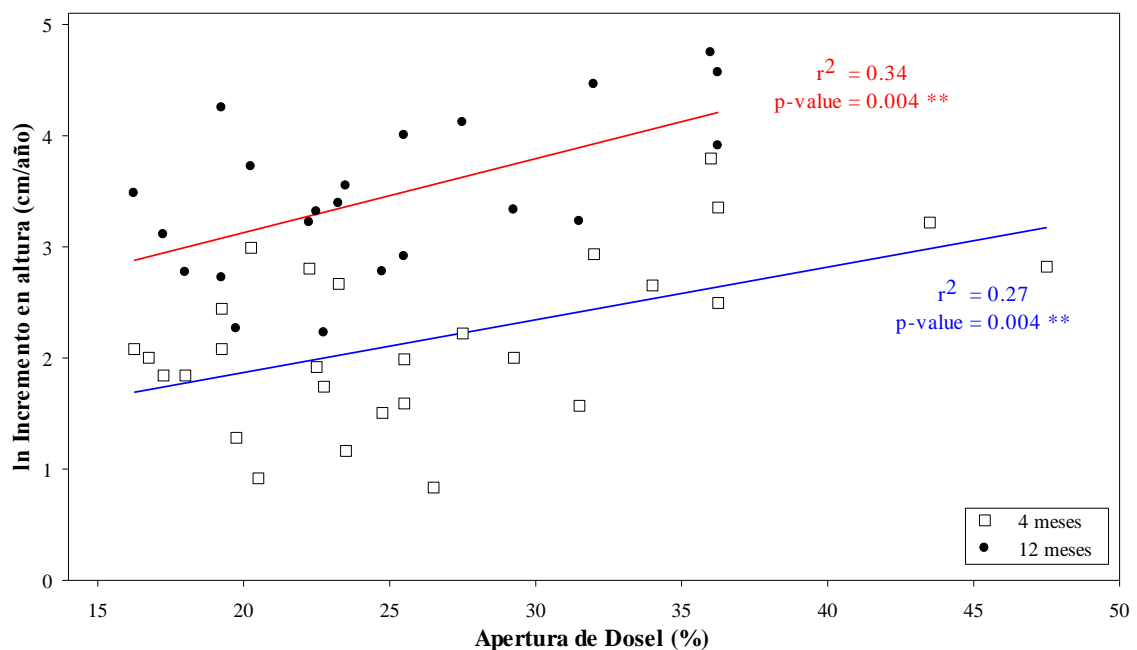


**Figura 23:** Grafico de dispersión de la relación entre el Ln(incremento en altura) y la apertura de dosel en sotobosque a los 4 meses del establecimiento del experimento en plántulas de *B. excelsa*. N.S. = No Significativo.



Se utilizó la transformación logarítmica para incrementar su homocedasticidad de los incrementos en altura de las plántulas en claros. Se encontró una relación significativa entre el porcentaje de apertura de dosel y el incremento en altura en las plántulas de claros (Figura 23), durante los 4 primeros meses ( $r^2 = 0.27$ ,  $p$ -value  $< 0.004$ , Anexo 12b) y también para el incremento anual ( $r^2 = 0.34$ ,  $p$ -value  $< 0.004$ , Figura 23).

En claros, el incremento en altura fue más importante que en diámetro, incrementándose en 230% y 90% en promedio respectivamente. El rápido crecimiento en altura garantizaría su establecimiento y que estas sean menos susceptibles a predación (Neves, 2010). Esta sería una estrategia para alcanzar el dosel más rápido y tener mayor luz disponible, luego el crecimiento en diámetro será más importante para garantizar su establecimiento (Baider, 2000; Neves, 2010).



**Figura 24:** Regresión lineal entre el porcentaje Apertura de Dosel e incremento en diámetro anual (mm) de plántulas de *B. excelsa* en claros. Los asteriscos indican significancia a un nivel \* =  $P < 0.05$ , \*\* =  $P < 0.01$ , \*\*\* =  $P < 0.001$ .

Los resultados encontrados en el presente estudio concuerdan con los obtenidos por Myers et al. (2000) y Tonini y Wolkmer (2011), que consideran a la regeneración de *B. excelsa* como oportunista y muy dependiente de una apertura en el dosel “gap-dependent” (Myers et al. 2000). Aunque las semillas puedan germinar y sobrevivir en el sotobosque, necesitan un dosel abierto (claro) para un mejor desarrollo (Scoles et al., 2011); lo cual sugiere que un

disturbio en el dosel puede ser un factor importante en el crecimiento y supervivencia de plántulas de *B. excelsa* (Myers et al., 2000). En la presente investigación, el crecimiento de las plántulas en *B. excelsa* fue significativamente mayor en los claros que en el sotobosque (Figura 16 y Figura 20). Asimismo, el crecimiento se incrementa significativamente con una mayor apertura de dosel (Figura 19 y Figura 23), es decir una mayor luz disponible (Rijsoort, Ugueto, & Zuidema, 1993; Bloemen & Huiszoon, 1994; Myers et al., 2000; Hayashida-Oliver, Boot, & Poorter, 2001; Peña-Claros et al., 2002; Cornejo, 2003; Neves, 2010; Scoles et al., 2011).

Mientras que en el sotobosque las plántulas de *B. excelsa* mantuvieron sus hojas, y estas fueron más gruesas que las de los claros y presentaban el borde dentado (Figura 24), debido a las condiciones poca luz del sotobosque se espera que las plántulas de *B. excelsa* inviertan más recursos disponibles y biomasa en sus hojas para captar una mayor cantidad de luz (Poorter, 1999; Zuidema et al., 1999; Hayashida-Oliver et al., 2001). Hayashida-Oliver et al. (2001), encontró una mayor proporción de peso en hojas (peso en hojas/peso total) en plántulas de *B. excelsa* y *Swietenia macrophylla* en sotobosque (3% luz) que en claros.

Bloemen y Huiszoon (1994) y Rijsoort et al. (1993) sugerían que las plántulas de *B. excelsa* en sotobosque tendrían una tasa de asimilación neta reducida, utilizando poca energía en la síntesis de tejidos (incremento en altura, diámetro y producción de hojas); razón por la cual son más pequeños que las de claros. En consecuencia, las plántulas de *B. excelsa* en sotobosque serían más vulnerables (predación y herbivoría) y no serían capaces de sobrevivir en sotobosque denso por largos periodos de tiempo, cuando sus reservas iniciales (semilla) se hayan agotado (Rijsoort et al., 1993; Myers et al., 2000). Lo cual confirmamos en el presente estudio.

El incremento en el área foliar en los claros representaría una estrategia adoptada por las plántulas de *B. excelsa* con la finalidad de maximizar la interceptación de luz solar y fijación de CO<sub>2</sub> (Santos, Carvalho, & Feldpausch, 2012; Ferreira, Carvalho, & Silva, 2012).



**Figura 25:** Fotografías de la diferenciación foliar entre plántulas en claros (a y b) y sotobosque (c y d).

Los resultados sugieren que *B. excelsa* tiene un mejor crecimiento en los claros que en el sotobosque, se recomendaría el uso de esta especie para el enriquecimiento de los bosques utilizando claros grandes (Hayashida-Oliver et al., 2001; Cornejo, 2003) que generen condiciones de luz entre 25-50% (Hayashida-Oliver et al., 2001; Peña-Claros et al., 2002). Y tal como sugiere Zuidema et al. (1999), la utilización de las plántulas con una altura entre 40-60 cm darían mejores resultados. Debido a que plántulas más grandes necesitarían más tiempo para adaptar su morfología a cambios en la condiciones luminosas y más pequeñas serían más susceptibles a la depredación del cotiledón.

## CONCLUSIONES.

El incremento anual en diámetro de las plántulas de *B. excelsa* fue significativamente superior en los claros ( $3.7 \pm 2.1$  cm) en comparación con las de sotobosque ( $1.5 \pm 0.9$  cm). El incremento anual en altura de las plántulas fue significativamente superior en los claros ( $40.2 \pm 29$  cm) que en sotobosque ( $3.3 \pm 2.4$  cm).

La mortalidad total fue superior en las plántulas establecidas en sotobosque (84%) en comparación con las establecidas en claros (25%). Asimismo, el promedio de supervivencia de las plántulas fue significativamente mayor en los claros. Es decir, que la supervivencia de plántulas de *B. excelsa* es dependiente de las condiciones de la cobertura de dosel.

La apertura de dosel fue la variable que influyó significativamente el incremento en diámetro y altura de las plántulas de *B. excelsa*.

La apertura de dosel y diámetro inicial influyeron positiva y significativamente el crecimiento en altura de las plántulas. Sin embargo, solo la apertura de dosel inicial influyó significativamente en el incremento anual de las plántulas de *B. excelsa*.

### **RECOMENDACIONES.**

Se recomienda continuar con estudio de la dinámica de la regeneración natural de poblaciones de especies con interés ecológico y socio-económico en la región Madre de Dios.

Se recomienda el uso de *B. excelsa* para el enriquecimiento de los bosques, aprovechando los claros naturales, ocasionados por actividades antrópicas y en zonas donde la regeneración de castaña es escasa. Considerando la utilización de grandes claros que generen buenas condiciones de luz > 20 % de apertura de dosel.

## LISTA DE REFERENCIAS.

- Alarcón, A. & Zevallos, P. (2011). Estructura y Composición Florística de un Bosque de Terraza Baja en Tambopata, Madre de Dios. *Biodiversidad Amazónica*, 3(3), 44-53.
- Alegría, M., Tello, E., Panduro, A., Álvarez, V., Macedo, B., Rojas, T., . . . Encinas, M. (2009). Dinámica de la Regeneración Natural en claros y frecuencia de claros en Bosques de Terraza Baja, Iquitos - Perú. Universidad de la Amazonia Peruana, 25.
- Angiosperm Phylogeny Group - APG III (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 105–121.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- Assad, A. (2000). *Biodiversidade: Institucionalização e programas governamentais no Brasil*. Campinas: Tesis Doctorado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociencias .
- Baider, C. (2000). *Demografia e ecologia de dispersão de frutos de Bertholletia excelsa Humb. & Bompl. (Lecythidaceae) em castanhais silvestres da Amazônia oriental*. (I. d. Biociências, Ed.) Tese (Doutorado em Ciências, na área de Ecologia): Universidade de São Paulo.
- Balée, W. (1998). *Advances in Historical Ecology*. New York: Columbia University Press.
- Baur, G. (1968). *The Ecological Basis of rain forest management*. Sydney, Australia: New South Wales.
- Bloemen, S., & Huiszoon, A. (1994). *The morphology of Bertholletia excelsa seedlings and saplings in relation to light availability and ontogeny*. Internal report No. 940525 Utrecht University, The Netherlands.
- Boriane, P. (2010). Tree or plant Organs And Structures analIZER - L.2.4 - Module Leaves. *AMAP - botanique Modelisation de l' Architecture des Plantes et des Vegetations*, <http://amap.cirad.fr/fr/index.php>.
- Goh, K.; Harrington, J.; Ganapathy, C., & Washburn, A. (2004). *Standard Operating Procedure, Instructions for the Calibration and Use of a Spherical Densimeter*. California Department of Pesticide Regulation Environmental Monitoring Branch Sacramento - California, USA.
- Camargo, P., Salomao, R., Trumbore, S., & Martinelli, L. (1994). How old are large Brazil-nut trees (Bertholletia excelsa) in the Amazon? *Scientia Agricola*, 51, 389-391.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161994000200028>
- Christensen, L., Johnson, B., & Turner, L. (2015). *Research Methods, Design, and Analysis*. Edinburgh Gate: Pearson Education.
- Clark, A., & Clark, B. (1992). Life history diversity of canopy and emergent trees in a Neotropical rain forest. *Ecological Monographs*, 62(3), 315-344. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/2937114>

- Clark, J., Macklin, E., & Wood, L. (1998). Stages and Spatial Scales of Recruitment Limitation in Southern Appalachian Forests. *Ecological Monographs*, 68(2), 213-235.  
doi: [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9615\(1998\)068\[0213:SASSOR\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9615(1998)068[0213:SASSOR]2.0.CO;2)
- Clark, J., Silman, M., Kern, R., Macklin, E., & HilleRisLambers, H. (1999). Seed dispersal near and far: patterns across temperate and tropical forests. *Ecology*, 80(5), 1475-1494.  
doi: <http://dx.doi.org/10.2307/176541>
- Clay, J. (1997). Brazil Nuts: The Use of a Keystone Species for Conservation and Development; The Impact of Palm Heart Harvesting in the Amazon Estuary. En C. Freese (Ed.), *Harvesting Wild Species: Implications for Biodiversity Conservation* (págs. 246-282). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Cornejo, F. (2003). Historia Natural de la castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) y Propuestas para su Manejo. Puerto Maldonado: ACCA, Asociación para la conservación de la Cuenca Amazónica.
- Cotta, J., Kainer, K., Wadt, L., & Staudhammer, C. (2007). Shifting Cultivation Effects on Brasil Nut (*Bertholletia excelsa*) Regeneration. *Forest Ecology and Management*, 256(2), 28-35.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.026>
- Creswell, J. (2014). *Research design : Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Los Angeles: Sage.
- Dimarco, R., Russo, G., & Farji-Brener, A. (2004). Patrones de herbivoría en seis especies leñosas del bosque templado de América del Sur: evidencia preliminar a favor de la hipótesis del balance carbono nutrientes. *Ecologia Austral*, Junio(14), 39-43.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - International Atomic Energy Agency (FAO/IAEA). (2008). *Types of Research, The Research Hierarchy* (FAO/IAEA Coordinated Research Projects ed.). Nuclear techniques in food and agriculture.
- Ferreira, M., Carvalho, F., & Silva, J. (2012). Crescimento e Eficiência do uso da Água de plantas jovens de Castanheira-da-Amazônia em Área degradada e submetidas à Adubação. *Ciência Florestal*, 22(2), 393-401. doi: <http://dx.doi.org/10.5902/198050985747>
- Ferreira, M., Gonçalves, J., & Ferraz, J. (2009). Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. & B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. *Photosynthetica*, 4(47), 616-620. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-009-0088-2>
- Gobierno Regional de Madre de Dios y Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (GOREMAD, & IIAP). (2009). *Estudio de Macro Zonificación Ecológica y Economía del Departamento de Madre de Dios*. Puerto Maldonado: GOREMAD - IIAP.

- Hammer, Ø. (2014). *PAleontological Statistics, Reference manual*. Oslo: Natural History Museum, University of Oslo.
- Hammer, Ø., & Harper, D. (2006). *Paleontological Data Analysis* (First ed.). Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Hamrick, J., Godt, M., & Sherman-Broyles, S. (1992). Factors affecting levels of genetic diversity in wood plant species. *New Forests*, 6, 95-124. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00120641>
- Harms, K., & Paine, T. (2003). Regeneración de Árboles Tropicales e Implicaciones para el Manejo de Bosques Naturales. *Ecosistemas, Año XII* (3), 1-13.  
<http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/226>
- Hayashida-Oliver, Y., Boot, R., & Poorter, L. (2001). Influencia de la disponibilidad de agua y luz en el crecimiento y la morfología de plantines de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Bertholletia excelsa*. *Ecología en Bolivia*, 35, 51-60.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Cuarta ed.). Mexico: McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. (2002). *Monitoramento da Floresta Amazônia por Satélite: 2001-2002*. São Paulo: Ministério de Ciências e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- International Plant Names Index - IPNI. (2012). *International Plant Names Index*. Recuperado el 16 de Abril de 2012
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2012). *IUCN Red List of Threatened Species*. Recuperado el 16 de Abril de 2012, de <http://www.iucnredlist.org>
- Josse, C., Navarro, G., Encarnación, F., Tovar, A., Comer, P., Ferreira, W., & Rodríguez, J. (2007). *Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia, Clasificación y mapeo*. Arlington, Virginia, EE UU: NatureServe.
- Lemmon, R. (1956). A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forestry Science*(2), 314 - 320.
- Levis, C., Costa, F., Bongers, F., Peña-Claros, M., Clement, C., Junqueira, A., ... Ter Steege, H. (2017). Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science*, 355, 925-931. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.aal0157>
- Missouri Botanical Garden (MBG). (2012). *Tropicos.org*. Recuperado el 16 de diciembre de 2016, de Missouri Botanical Garden: <http://www.tropicos.org/>
- Miller, E. (1990). Natural history, economic botany and germplasm conservation of the Brazil nut tree. *MSc Thesis, University of Florida*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). La castaña amazónica, regalo de la biodiversidad. Sistematización de experiencias de investigación y manejo de castaña (*Bertholletia excelsa*)



- en ecosistemas de terrazas altas en el departamento de Madre de Dios. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Moll-Roczek, J. (2012). *The effects of selective logging on Bertholletia excelsa natural regeneration: An investigation of compatibility for multiple-use forest management in Madre de Dios, Peru*. Cambridge, Massachusetts: Department of Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University.
- Monteiro, F. (2008). A Castanha do Pará No Desenvolvimento Sustentável Da Amazonia. En *Seminário Internacional - Amazonia e Fronteiras do Conhecimento Naea - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos*. Belém - Pará - Brasil: Universidade Federal do Pará.
- Mori, A., & Prance, T. (1990). Taxonomy, Ecology and Economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. and Bonpl.: Lecythidaceae). *Advances in Economics Botany, New York Botanical Garden*, 8, 130-150.
- Müller, C., Rodrigues, I., Müller, A., & Müller, N. (1980). Castaña-do-Brasil, resultados de pesquisa. *EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuaria do Tropicó Umido*, 2, 1-25.
- Myers, G., Newton, A., & Melgarejo, O. (2000). The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. *Forest ecology and management*, 127(1-3), 119-128.
- Neves, E. (2010). *Regeneracao Natural e Interaccion do Crescimento Inicial Da Castanheira Da Amazonia (Bertholletia excelsa Bonpl.) Com Atributos de Solo e Luz*. (E. Florestal, Ed.) Macapá, Brasil: Tesis de Grado: Universidade do Estado do Amapá.
- Ortiz, E. (1990). Early recruitment of Brazil nut trees. Preliminary results, discussion and experimental approach. *Conservation International, Report*.
- Ortiz, E. (1995). Survival in a nutshell. *Américas*, 47, 7-12.
- Ortiz, E. (2002). Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*). En A. Shanley, A. Pierce, S. Laird, & A. Guillén, *Tapping the green market: certification and management of non-timber forest products* (págs. 61-74). London: Earthscan Publications.
- Paiva, P., Guedesa, M., & Funia, C. (2011). Brazil nut conservation through shifting cultivation. *Forest Ecology and Management*, 261, 508–514.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.001>
- Pennington, T., Reynel, C., & Daza, A. (2004). *An Illustrated guide to the Trees of Peru*. D. Hunt Publisher, England.
- Peña, J. (2008). “Identificación y Caracterización Fenotípica de Árboles Plus de “castaña”, *Bertholletia excelsa* H.B.K. (Lecythidaceae) en el Departamento de Madre de Dios. (E. d. Naturales, Ed.) Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Peña-Claros, M., Boot, R., Dorado-Lora, J., & Zonta, A. (2002). Enrichment planting of *Bertholletia excelsa* in secondary forest in the Bolivian Amazon: Effect of cutting line width on survival, growth and crown traits. *Forest Ecology and Management*, *161*, 159-168. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00491-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00491-1)
- Peréa, R. (2005). Regeneracao e Estrutura Populacional de *Bertholletia excelsa* H. B. K. Em Áreas com Diferentes Históricos de Ocupacao, No Vale do Rio Acre (Brasil). Rio Branco – AC: Universidade Federal Do Acre Programa de post Graduacao em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais.
- Peres, C., Baider, C., Zuidema, P., Wadt, L., Kainer, K., Salomao, R., & Cornejo, F. (2003). Demographic Threats to the Sustainability of Brazil Nut Exploitation. *Science*, *302*, 2112-2114. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1091698>
- Peres, C., Schiesari, L., & Dias-Leme, C. (1997). Vertebrate Predation of Brazil-Nuts (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae), an Agouti-Dispersed Amazonian Seed Crop: A Test of the Escape Hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, *13*(1), 69-79. doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467400010269>
- Poorter, L. (1999). Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. *Functional Ecology*, *13*, 396-400. doi: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00332.x>
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Reátegui-Zirena, E., Reeno, J., Carvajal, F., Corvera, R., Del-Castillo, D., & Garcia-Dávila, C. (2009). Evaluacion de la Variabilidad Genética de la Castaña (*Bertholletia excelsa*) en la Region Madre de Dios (Perú), Mediante Marcadores Microsatelites. *Folia Amazonica*, *1*(2), 41-50.
- Ricalde, D. (1993). *The peruvian "castañero" attitudes and approaches of an extractive society in Madre de Dios*. Tesis MSc. Duke University School of the Environment.
- Rijsoort, J., Ugueto, S., & Zuidema, P. (1993). *The Brazil nut tree (Bertholletia excelsa): population structures in tropical rain forest and growth response of seedlings to different light intensities*. Internal report No. 930405 Utrecht University.
- Romo, M. (2005). Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de *Dipteryx micrantha* Harms "Shihuahuaco" transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones. *Ecología aplicada*, *4*(2), 1-8. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34100201>
- Santos, U., Carvalho, F., & Feldpausch, T. (2006). Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in

- central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 226, 299-309.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.042>
- Schneider, C., Rasband, W., & Eliceiri, K. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9: 671-675. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Schupp, E., Milleron, T., & Russo, S. (2002). Dissemination limitation and the origin and maintenance of species-rich tropical forests. *Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation*, 19-33. doi: <http://dx.doi.org/10.1079/9780851995250.0019>
- Scoles, R., & Gribel, R. (2011). Population Structure of Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) Stands in Two Areas with Different Occupation Histories in the Brazilian Amazon. *Human Ecology*, 455-464. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10745-011-9412-0>
- Scoles, R., Gribel, R., & Klein, G. (2011). Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa Bonpl.*) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 6(3), 273-293.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología; Autoridad Nacional del Agua (SENAMHI & ANA). (2010). *Estudio Diagnóstico Hidrológico de la Cuenca Madre de Dios*. Lima - Perú: Ministerio de Agricultura.
- Shepard, G., & Ramirez, H. (2011). Made in Brazil: Human Dispersal of the Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in Aciént Amazonia. *Economic Botany*, 65(1), 44-65.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12231-011-9151-6>
- Systat. (2013). *SigmaPlot 12.5 User's Guide*. United States of America: Systat Software.
- Systat. (2013). *Using SigmaStat Statistics in SigmaPlot*. United States of America: Systat Software.
- Tam, J., Vera, G., & Oliveros, R. (2008). Tipo, Métodos y Estrategias de Investigación Científica. *Pensamiento y Acción*, 5, 145-154.
- Tonini, H., & Wolkmer, C. (2011). A regeneração natural da Castanheira-Do-Brasil em Florestas nativas de Roraima. *X Congresso de Ecologia do Brasil, 16 a 22 de Setembro de 2011, Sao Lourenco - MG, 2*.
- Valenzuela, L., Calatayud, G., Monteagudo, A., Farfan, J., & Sucilli, E. (2007). *Florula de la Reserva Ecológica Inkaterra* (450 p. ed.). (A. Inkaterra, Ed.) Missouri Botanical Garden.
- Villachica, H. (1996). *Frutales y Hortalizas Promisorios de la Amazonia*. Lima: Tratado de Cooperación Amazónica (TCA).
- Wadt, L., Kainer, K., & Staudhammer, C. (2008). Forest use in Brazilian extractive reserves: natural regeneration of brazil nut in exploited populations. *Biological Conservation*, 141, 332-346.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.10.007>
- Werner, L. (2009). *Standard Operating Procedure for Determining Canopy Closure using a Concave Spherical Densiometer*. Washington: Washington State Department of Ecology.

- Whitmore, T. (1989). Tropical forest nutrients, where do we stand? A tour the horizon. En J. Proctor, *Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems* (págs. 1-13). London: Blackwell Scientific.
- Zuidema, P. (2003). *Ecología y manejo del árbol de la castaña (Bertholletia excelsa)*. (95 p. ed.). Riberalta, Beni, Bolivia: PROMAB.
- Zuidema, P., & Boot, R. (2002). Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. *Journal of Tropical Ecology*, 18, 1-31. doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002018>
- Zuidema, P., Dijkman, W., & Rijsoort, J. (1999). Crecimiento de plantines de *Bertholletia excelsa* H.B.K. en función de su tamaño y la disponibilidad de luz. *Ecología en Bolivia*, 33, 23-35.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1a:** Mapa de ubicación del Centro de Referencia e Interpretación de la Biodiversidad en Bosques Amazónicos de Terrazas altas en Madre de Dios (CRIBATAMAD).

1

ANEXO 1b: Formato de campo utilizado en campo durante el presente estudio, se detalla la información recopilada durante cada evaluación mensual. L=largo de las hojas y A=ancho de las hojas

17/03/12

Fecha	N° Planta	Diametro	Altura	N° de Hojas Nuevas	Caidas	Notas	Entrenudo1	Entrenudo2	Entrenudo3	
	33	$\frac{0.559}{0.560}$	25.3			Comidas mocho su apice	0.176	1.098	0.800	
Abertura										
A	16	B 21	C 17	D 9						
L1	13.8	A1 3.8	L2 20.2	A2 5.8	L3 14	A3 5.2	L4 4	A4 0.8	L5 20.5	A5 5.3
L7	11.4	A7 3.2	L8 11	A8 2.9	L9 8	A9 3.1	L10	A10	L11	A11
L13	A13	L14	A14	L15	A15	L16	A16	L17	A17	L18
L19	A19	L20	A20	L21	A21	L22	A22	L23	A23	L24
L25	A25	L26	A26	L27	A27	L28	A28	L29	A29	L30

Fecha	N° Planta	Diametro	Altura	N° de Hojas Nuevas	Caidas	Notas	Entrenudo1	Entrenudo2	Entrenudo3	
	34	$\frac{0.712}{0.698}$	27.5	2			0.913	0.834	0.380	
Abertura										
A	24	B 15	C 14	D 22						
L1	2.1	A1 0.3	L2 23.6	A2 6.1	L3 14	A3 5.1	L4 4.7	A4 0.8	L5 19.3	A5 5.2
L7	3.1	A7 0.6	L8 14	A8 4.2	L9 14.3	A9 4.4	L10 13	A10 3.5	L11 12.4	A11 3.4
L13	13.7	A13 4.1	L14 11.7	A14 3.5	L15 8.4	A15 2.5	L16 7.2	A16 2.6	L17 9	A17 3.4
L19	A19	L20	A20	L21	A21	L22	A22	L23	A23	L24
L25	A25	L26	A26	L27	A27	L28	A28	L29	A29	L30

Fecha	N° Planta	Diametro	Altura	N° de Hojas Nuevas	Caidas	Notas	Entrenudo1	Entrenudo2	Entrenudo3	
	35	$\frac{0.445}{0.508}$	35.3			Comidas	1.626	1.679	1.534	
Abertura										
A	23	B 16	C 17	D 15						
L1	20.4	A1 5.3	L2 23.2	A2 6.9	L3 3.5	A3 0.6	L4 21.7	A4 6	L5 18.1	A5 5.1
L7	11.5	A7 3.7	L8 20	A8 6.3	L9 8.9	A9 3.2	L10 10.8	A10 3.3	L11 14.4	A11 4.9
L13	A13	L14	A14	L15	A15	L16	A16	L17	A17	L18
L19	A19	L20	A20	L21	A21	L22	A22	L23	A23	L24
L25	A25	L26	A26	L27	A27	L28	A28	L29	A29	L30

Fecha	N° Planta	Diametro	Altura	N° de Hojas Nuevas	Caidas	Notas	Entrenudo1	Entrenudo2	Entrenudo3	
	36	$\frac{0.912}{0.503}$	34.5	3			0.819	0.900	0.499	
Abertura										
A	21	B 13	C 20	D 17						
L1	15	A1 5.4	L2 13	A2 3.2	L3 2.3	A3 0.4	L4 17	A4 4.2	L5 18.8	A5 4.9
L7	8.5	A7 2	L8 2	A8 2.2	L9 15.8	A9 4.5	L10 19	A10 4.8	L11 9.7	A11 2.5
L13	4.2	A13 4.2	L14 15	A14 4.1	L15 8.6	A15 3.5	L16	A16	L17	A17
L19	A19	L20	A20	L21	A21	L22	A22	L23	A23	L24
L25	A25	L26	A26	L27	A27	L28	A28	L29	A29	L30

Fecha	N° Planta	Diametro	Altura	N° de Hojas Nuevas	Caidas	Notas	Entrenudo1	Entrenudo2	Entrenudo3	
	38	$\frac{0.442}{0.402}$	22				0.482	0.620	0.538	
Abertura										
A	19	B 18	C 18	D 19						
L1	15	A1 4.1	L2 14.5	A2 4.8	L3 4	A3 1	L4 6	A4 3.7	L5 4	A5 0.8
L7	4.5	A7 3.8	L8 2.8	A8 0.6	L9 10.7	A9 4	L10 7	A10 2.4	L11 2.6	A11 1.5
L13	A13	L14	A14	L15	A15	L16	A16	L17	A17	L18
L19	A19	L20	A20	L21	A21	L22	A22	L23	A23	L24
L25	A25	L26	A26	L27	A27	L28	A28	L29	A29	L30

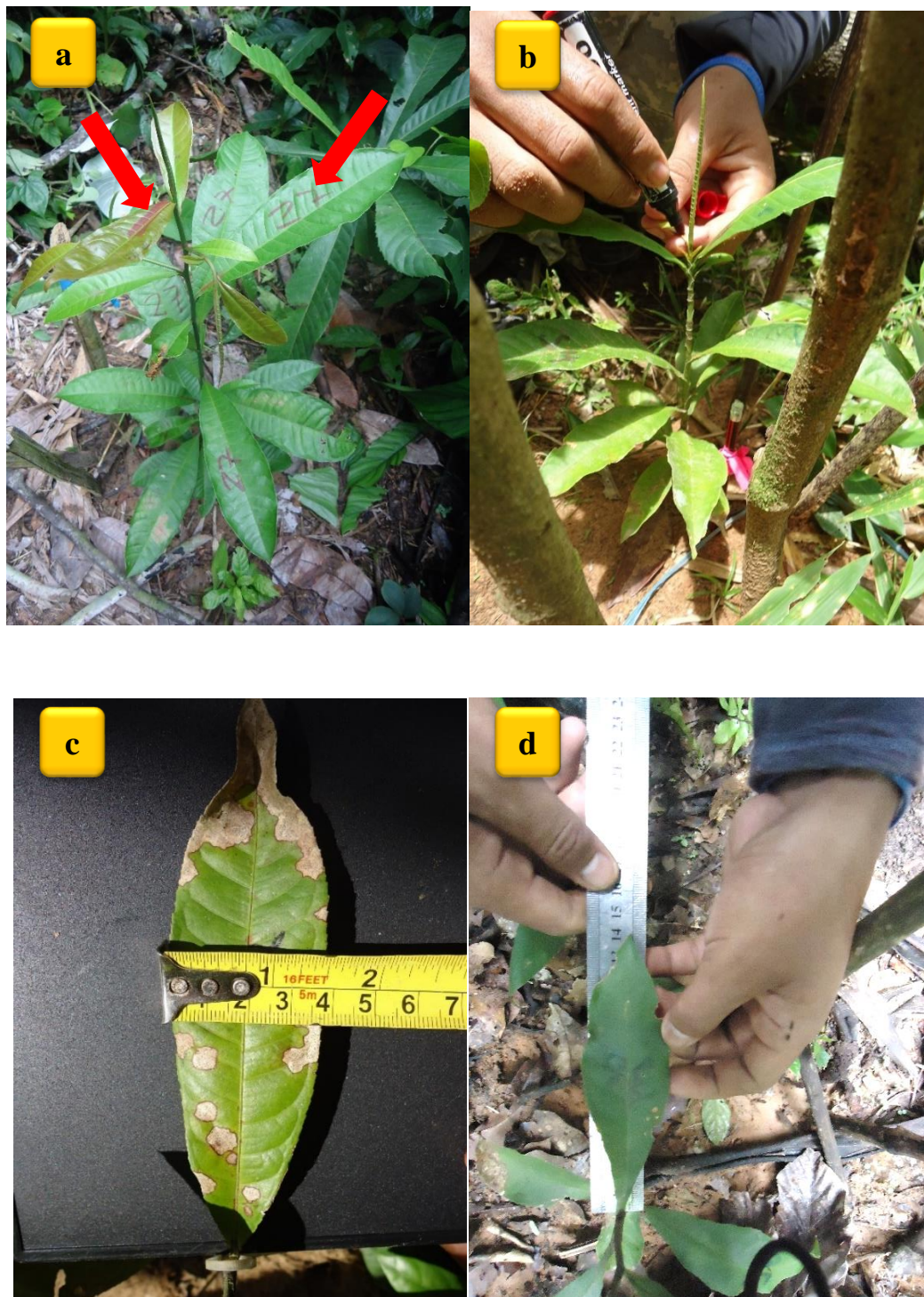
37 carboles

**ANEXO 2:** Fotografías de la metodología en la evaluación de campo. **(a y b)** medición de altura de las plántulas (cm), **(c, d y e)** medición de diámetro de las plántulas (cm) y **(f)** estimación de la cobertura de dosel (%) utilizando el densiómetro esférico.

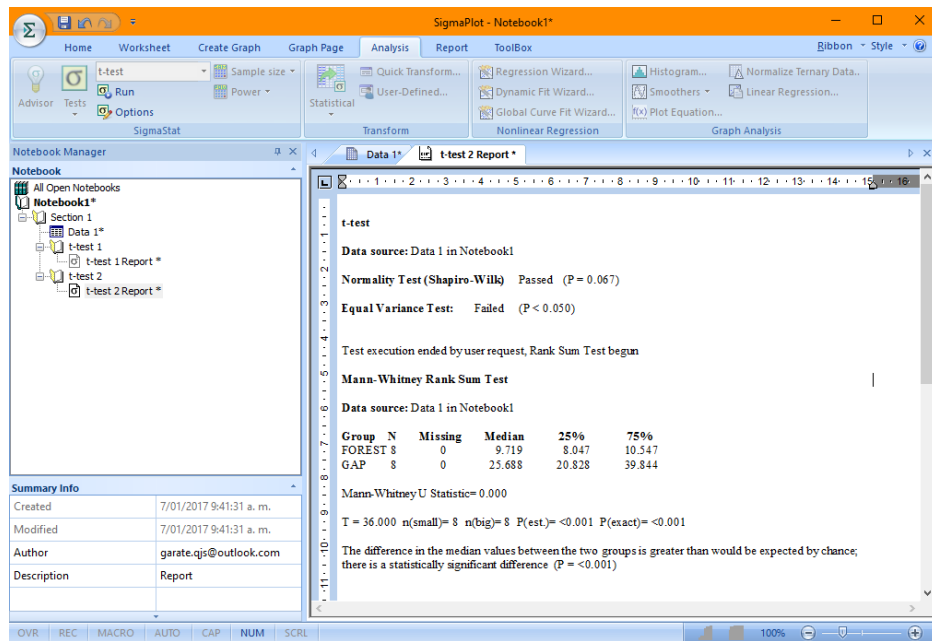




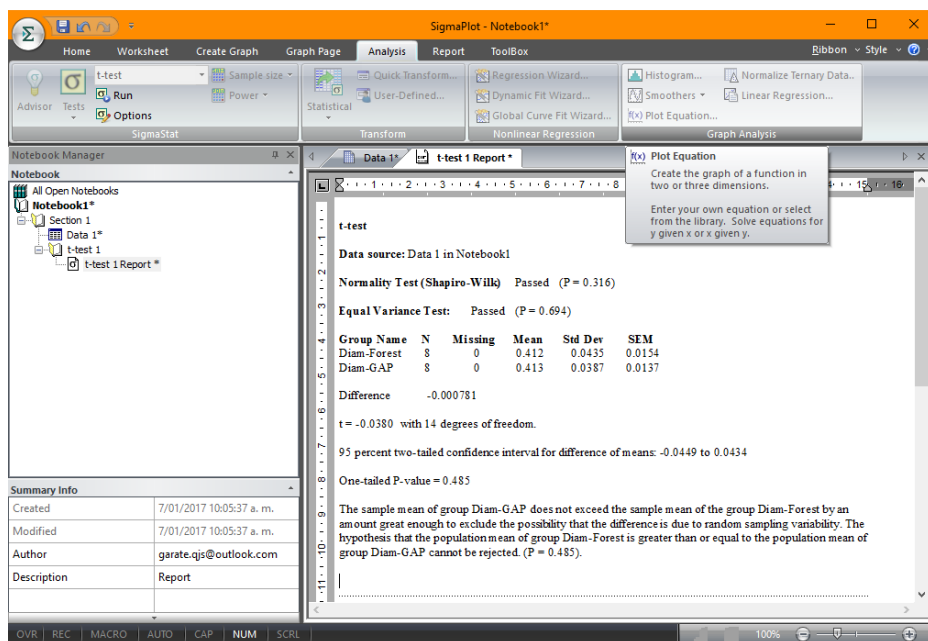
**ANEXO 3:** Fotografías de la metodología en la evaluación de campo. **(a y b)** marcado del número correspondiente a cada plántula con plumón indeleble y pintado de última hoja para las evaluaciones mensuales, procedimiento utilizado para **(c)** medición del ancho de las hojas y **(d)** largo de las hojas.



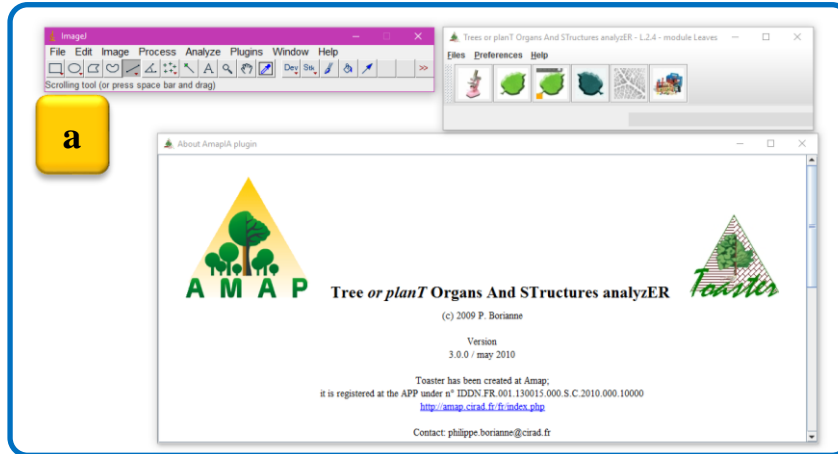
**ANEXO 4a:** Evaluación de los supuestos paramétricos de la cobertura de dosel al inicio del estudio, utilizando el programa estadístico SigmaPlot 12.5.



**Anexo 4b:** Evaluación de los supuestos paramétricos de Altura inicial de las plántulas al inicio del estudio, utilizando el programa estadístico SigmaPlot 12.5.

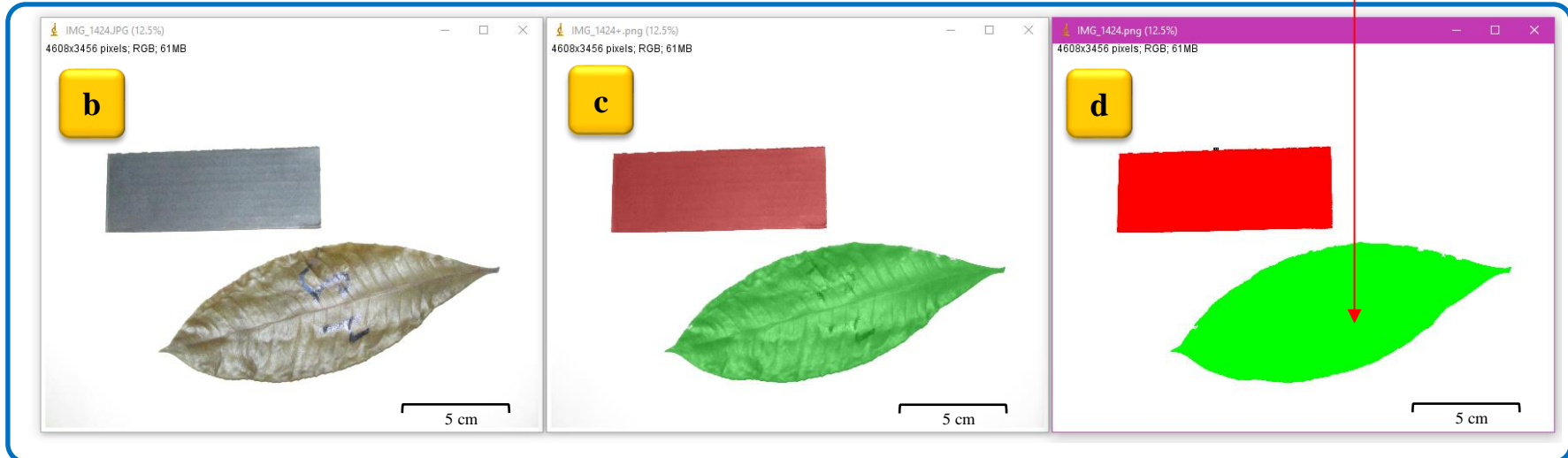


**ANEXO 5:** Procedimiento y software utilizados para determinar el área foliar de hojas muestreadas de plántulas de *B. excelsa*. **(a)** el modulo “Leaves” de la extensión TOASTER (Tree or planT Organs And Structures analiZER) utilizando el software ImageJ (Boriane, 2009), **(b)** Fotografía de una hoja de *B. excelsa*, **(c y d)** procesamiento de las imágenes empleado por el software TOASTER y **(e)** archivo de salida del software TOASTER (.csv) del área foliar determinado ( $\text{mm}^2$ ).



**e**

	Identifiant	Area (mm <sup>2</sup> )	adjLength (mm)	adjWidth (mm)	circ. (mm)
1	01_01	4547.07	111.48	42.41	0.52
2	02_01	7376.65	80.39	65.05	0.42
3					
4					
5					
6					



**ANEXO 6:** Ecuación generada para determinar el área foliar en plántulas de *B. excelsa*, utilizando el paquete estadístico SigmaPlot 12.5. Se utilizó la transformación logarítmica de los datos (largo y ancho de las hojas) debido a que no cumplían con los supuesto paramétricos para realizar un análisis de regresión (Normalidad y Homocedasticidad). la ecuación " $\ln(\text{Área foliar}) = -0.758 + 1.085 * \ln(\text{Largo}) + 1.049 * \ln(\text{Ancho})$ " fue la de mejor ajuste con un coeficiente de determinación  $r^2$ -ajustado = 0.99 y menor índice PRESS (Suma de Cuadrados del Error de Predicción).

The screenshot displays the SigmaPlot 12.5 interface with a report titled "Multiple Linear Regression 2 Report \*". The report details the following:

**Multiple Linear Regression** martes, Enero 10, 2017, 6:52:37 p. m.

Data source: Data 1 in 10\_ÁreaFoliar

$$\text{LN}(\text{Área Foliar}) = -0.758 + (1.085 * \text{LN}(L)) + (1.049 * \text{LN}(A))$$

N = 49  
R = 0.995    Rsqr = 0.990    Adj Rsqr = 0.989  
Standard Error of Estimate = 0.074

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	-0.758	0.134	-5.655	<0.001
LN (L)	1.085	0.0981	11.063	<0.001
LN (A)	1.049	0.101	10.386	<0.001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	24.239	12.119	2229.979	<0.001
Residual	46	0.250	0.00543		
Total	48	24.489	0.510		

Column	SSIncr	SSMarg
LN (L)	23.653	0.665
LN (A)	0.586	0.586

The dependent variable LN (Área Foliar) can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
LN (L)	<0.001
LN (A)	<0.001

All independent variables appear to contribute to predicting LN (Área Foliar) (P < 0.05).

PRESS = 0.302

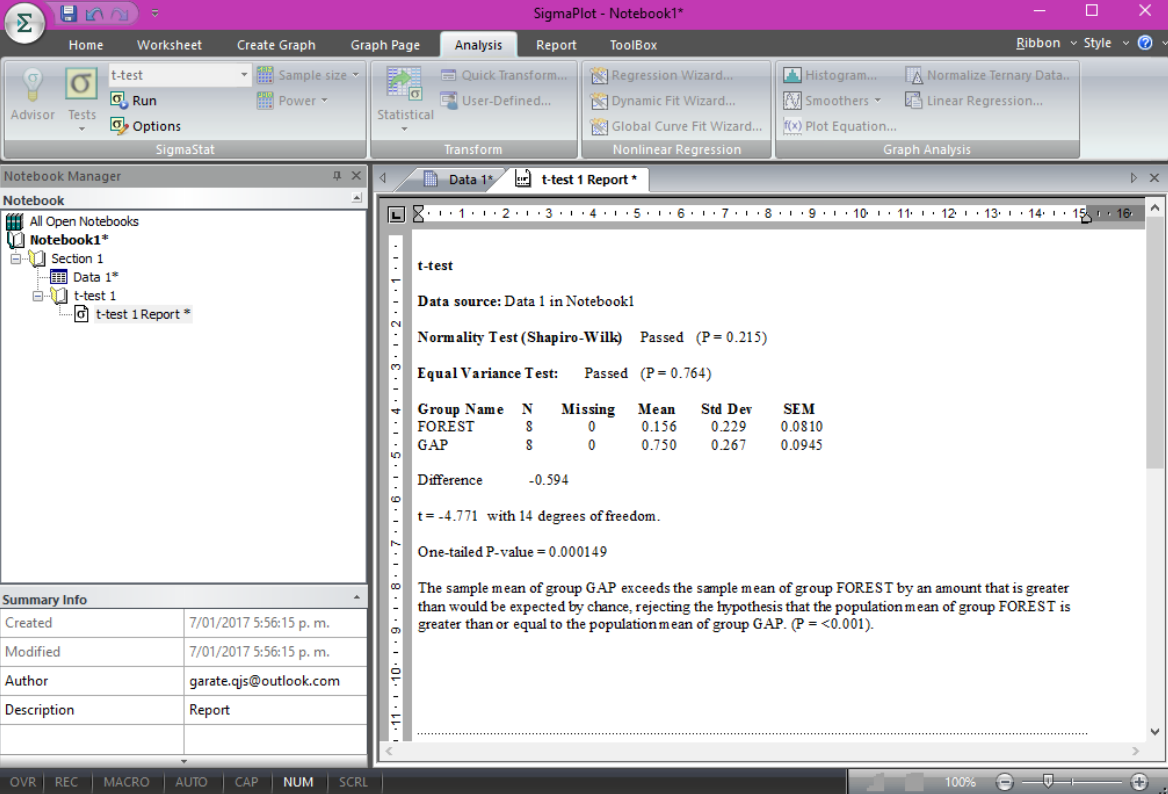
**Constant Variance Test:** Passed (P = 0.992)

**Normality Test (Shapiro-Wilk)**

LN (L):	W-Statistic = 0.961	P = 0.109	Passed
LN (A):	W-Statistic = 0.974	P = 0.350	Passed
LN (Área Foliar) :	W-Statistic = 0.970	P = 0.253	Passed

A test that fails indicates that the data varies significantly from the pattern expected if the data was drawn from a population with a normal distribution.  
A test that passes indicates that the data matches the pattern expected if the data was drawn from a population with a normal distribution.

**Anexo 7:** Evaluación de los supuestos paramétricos del promedio de supervivencia de las plántulas durante toda la evaluación ubicadas en claros y sotobosque, utilizando el programa estadístico SigmaPlot 12.5.



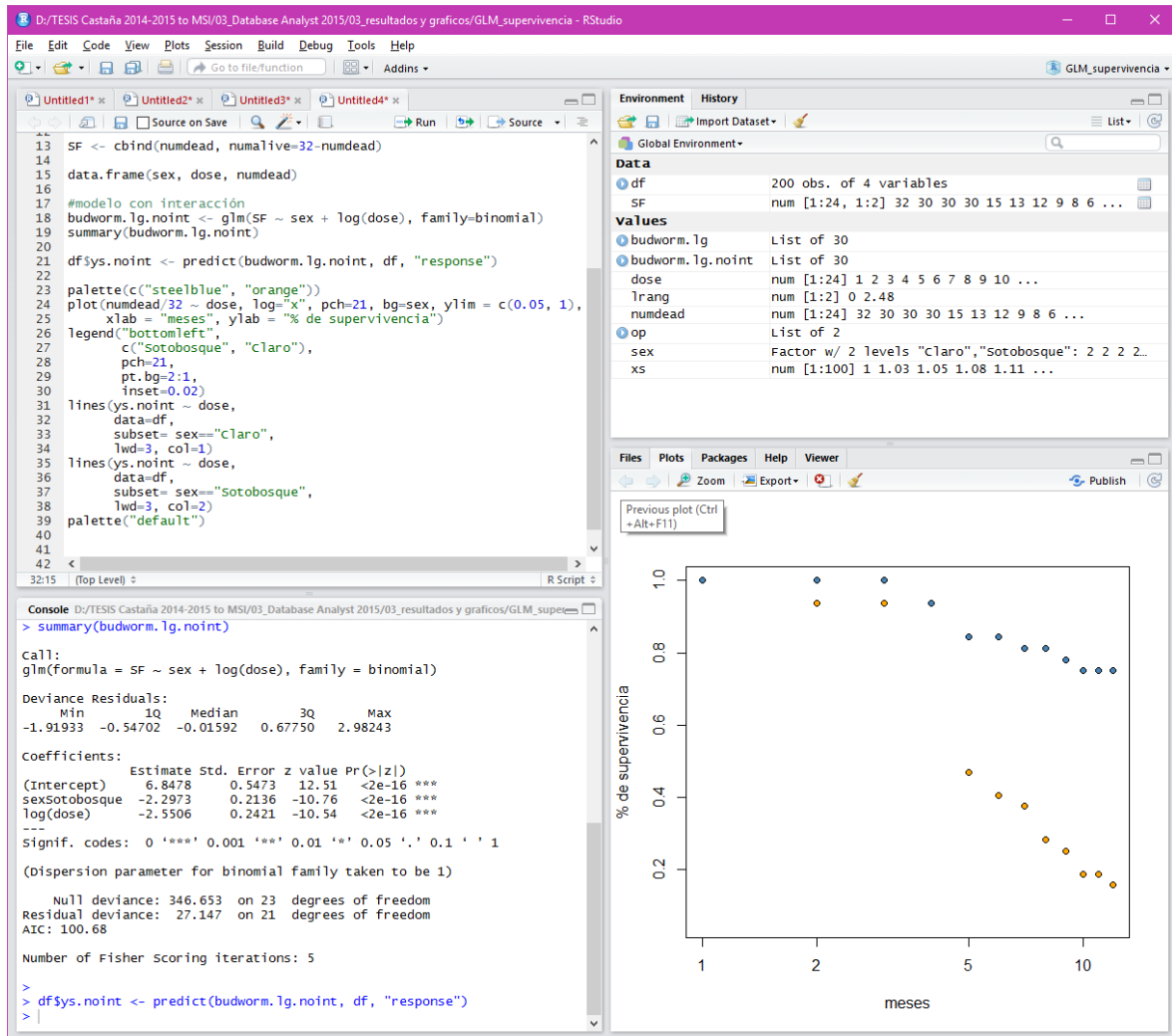
The screenshot displays the SigmaPlot 12.5 interface with a t-test report open. The report details the following:

- Data source:** Data 1 in Notebook1
- Normality Test (Shapiro-Wilk):** Passed (P = 0.215)
- Equal Variance Test:** Passed (P = 0.764)
- Group Statistics Table:**

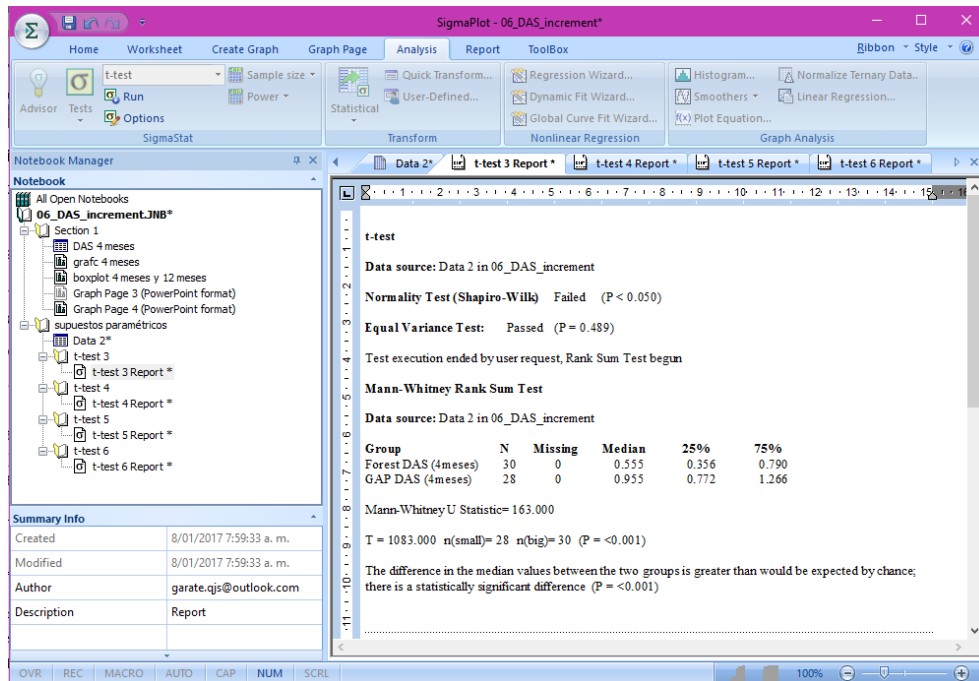
Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
FOREST	8	0	0.156	0.229	0.0810
GAP	8	0	0.750	0.267	0.0945
- Difference:** -0.594
- t-value:** t = -4.771 with 14 degrees of freedom.
- One-tailed P-value:** 0.000149
- Conclusion:** The sample mean of group GAP exceeds the sample mean of group FOREST by an amount that is greater than would be expected by chance, rejecting the hypothesis that the population mean of group FOREST is greater than or equal to the population mean of group GAP. (P = <0.001).

The interface also shows a Notebook Manager on the left with a tree view containing 'Section 1', 'Data 1\*', 't-test 1', and 't-test 1 Report \*'. A 'Summary Info' table at the bottom left provides metadata for the report.

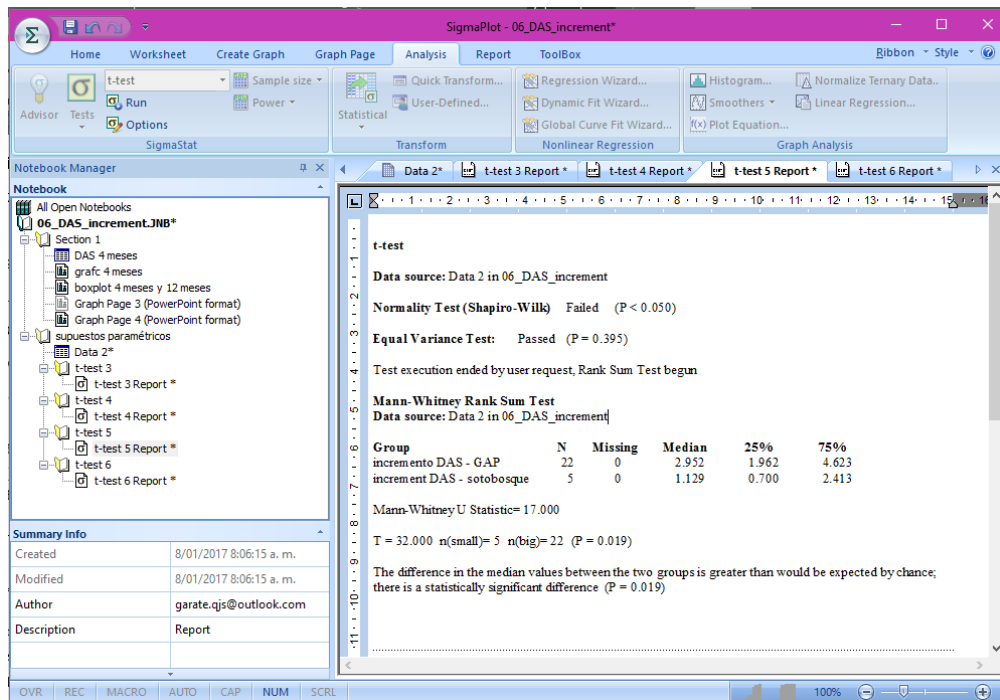
**ANEXO 8:** Resultados del análisis de regresión logística utilizando un Modelo Lineal Generalizado (GLM), utilizando el programa estadístico R en entorno de R-studio.



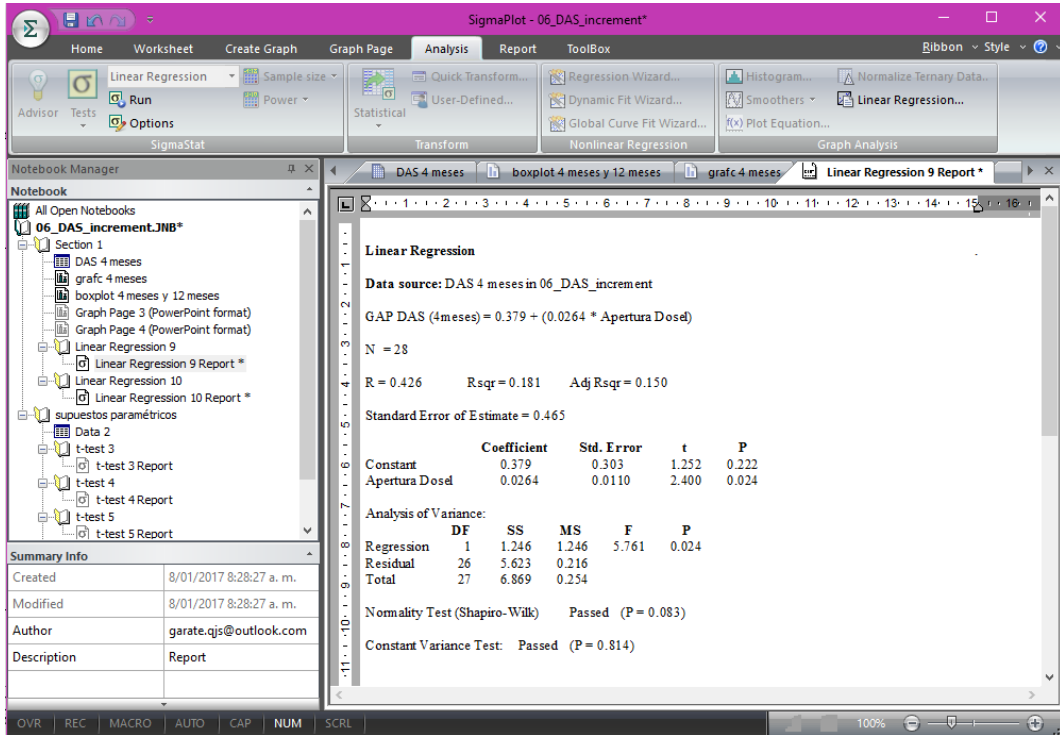
**ANEXO 9a:** Evaluación de los supuestos paramétricos del crecimiento en diámetro de los 4 primeros meses de plántulas en claros (Gap) y sotobosque (Forest), y los resultados de la comparación entre los dos tratamientos utilizando la prueba no paramétrica de Mann-Whitney (prueba de normalidad,  $p$ -value  $< 0.05$ ).



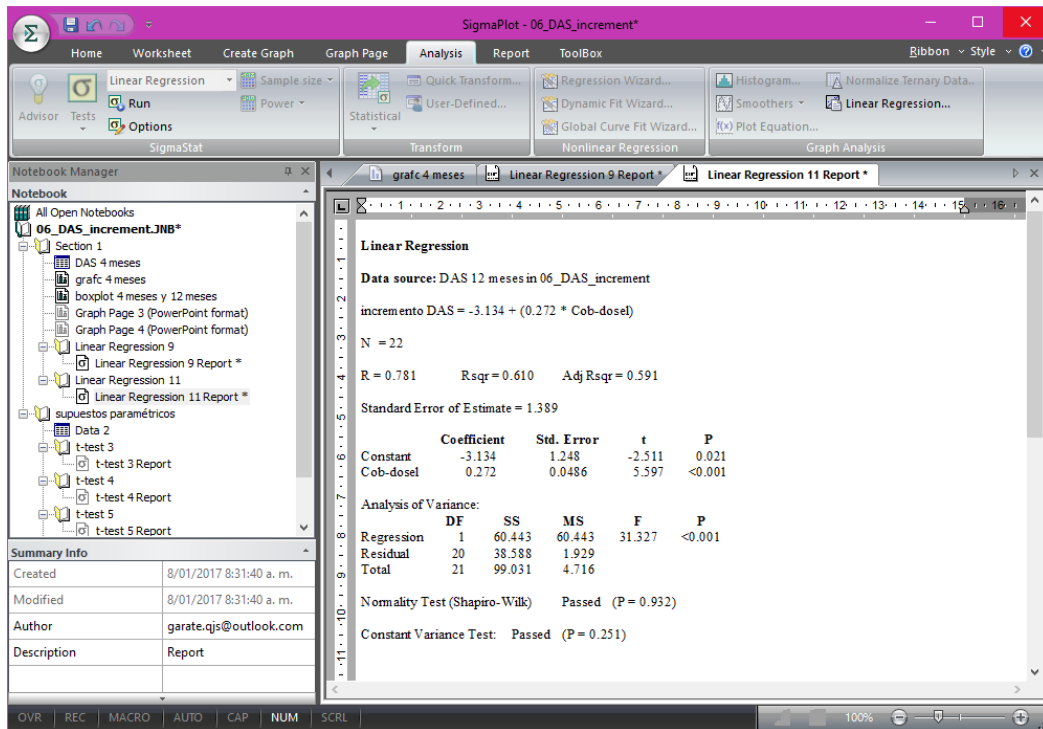
**ANEXO 9b:** Evaluación de los supuestos paramétricos del crecimiento en diámetro durante toda la evaluación de plántulas en claros (Gap) y sotobosque (Forest), y los resultados de la comparación entre los dos tratamientos utilizando la prueba no paramétrica de Mann-Whitney (prueba de normalidad,  $p$ -value  $< 0.05$ ).



**ANEXO 10a:** Resultados del Análisis de regresión lineal simple entre la apertura de dosel y el incremento diamétrico (4 meses) en plántulas de claros.



**ANEXO 10b:** Resultados del Análisis de regresión lineal simple entre la apertura de dosel y el incremento diamétrico anual en plántulas de claros.





**ANEXO 11:** Resultados de Análisis de covarianza (ANCOVA) para comparar el incremento en altura entre las plántulas de claros y sotobosque, considerando al diámetro inicial como covariable. Utilizando el paquete estadístico R en entorno de R-studio.

The screenshot displays the RStudio interface with the following content:

```

1  ## analisis comparativo de los 4 primeros meses
2  Castaña <- read.delim(file = "clipboard", row.names = 1)
3  head(Castaña)
4  Ftipo <- factor(Castaña[,1])
5
6  ancoval1 <- lm(IncreH ~ Ftipo*DASí, data = Castaña)
7  anova(ancoval1)
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18  ## analisis comparativo de 12 meses (crec-ln)
19  Castaña12 <- read.delim(file = "clipboard", row.names = 1)
20  head(Castaña12)
21  Ftipo12 <- factor(Castaña12[,1])
22
23  ancoval2 <- lm(CreciH12 ~ Ftipo12*DASí, data = Castaña12)
24  anova(ancoval2)
25
26
27
28

```

The console output shows the ANOVA table for the second model:

```

> ancoval2 <- lm(CreciH12 ~ Ftipo12*DASí, data = Castaña12)
> anova(ancoval2)
Analysis of Variance Table

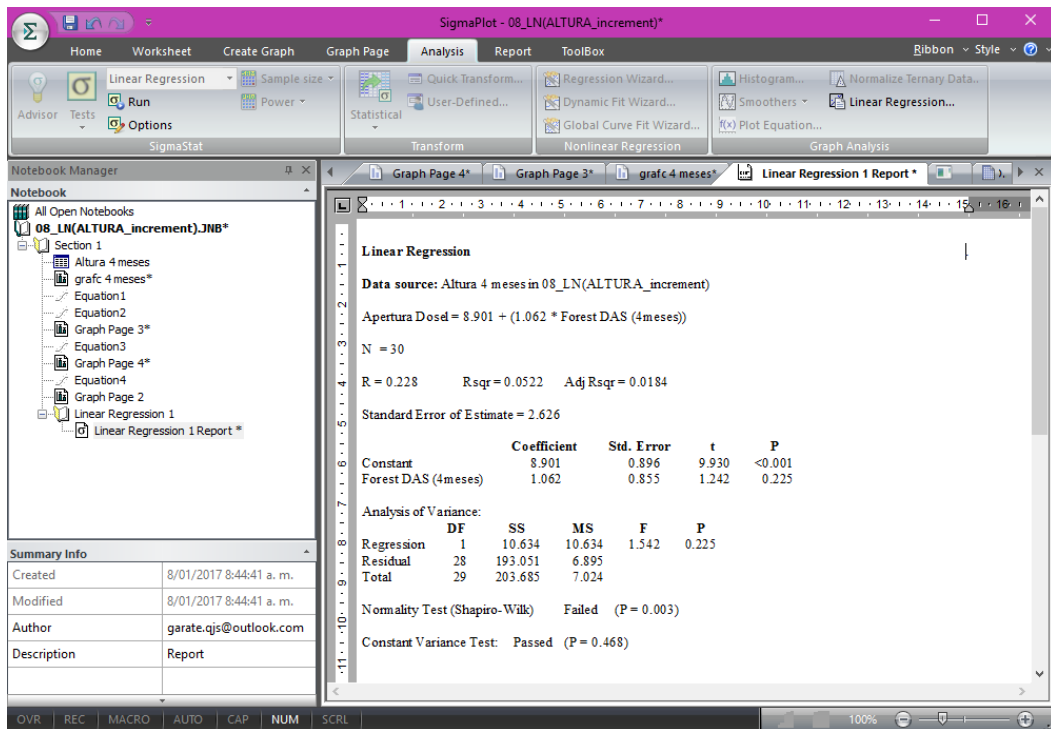
Response: CreciH12
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Ftipo12    1 39.161  39.161 56.7501 1.184e-07 ***
DASí        1  2.168   2.168  3.1424  0.08953 .
Ftipo12:DASí 1  0.051   0.051  0.0739  0.78812
Residuals 23 15.871   0.690
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>

```

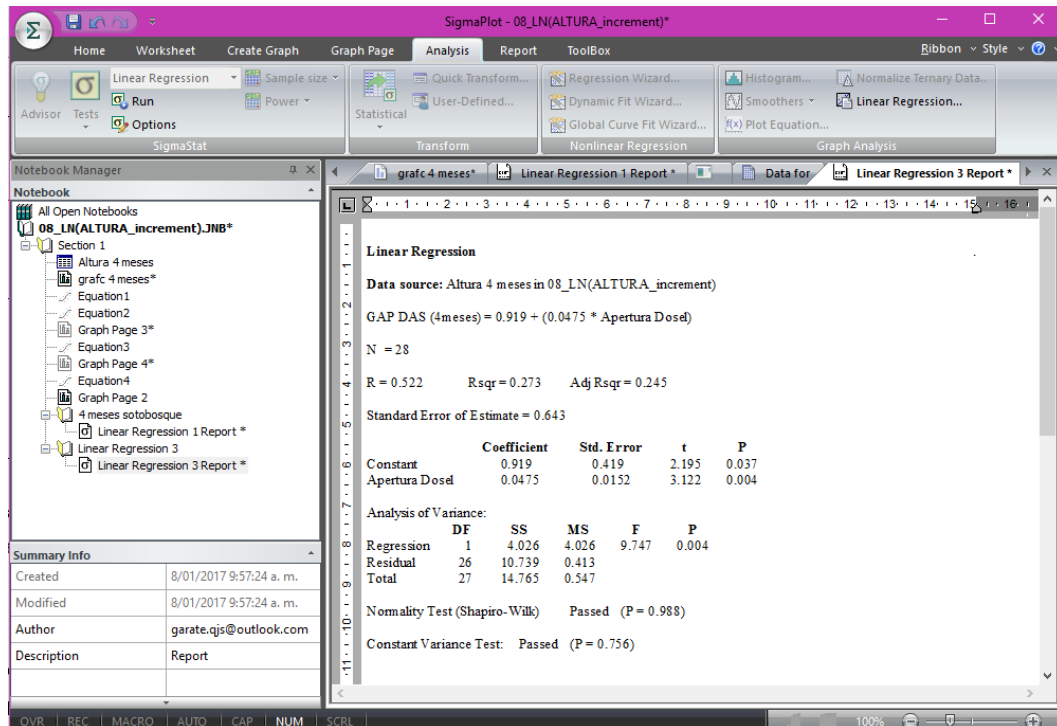
The Environment pane on the right shows the loaded data and objects:

- Data:** Castaña (58 obs. of 7 variables), Castaña12 (27 obs. of 7 variables)
- Values:** ancoval1 (List of 13), ancoval2 (List of 13), Ftipo (Factor w/ 2 levels "FOREST", "GAP": 1 1 1 1 1 1...), Ftipo12 (Factor w/ 2 levels "FOREST", "GAP": 1 1 1 1 2 2...)

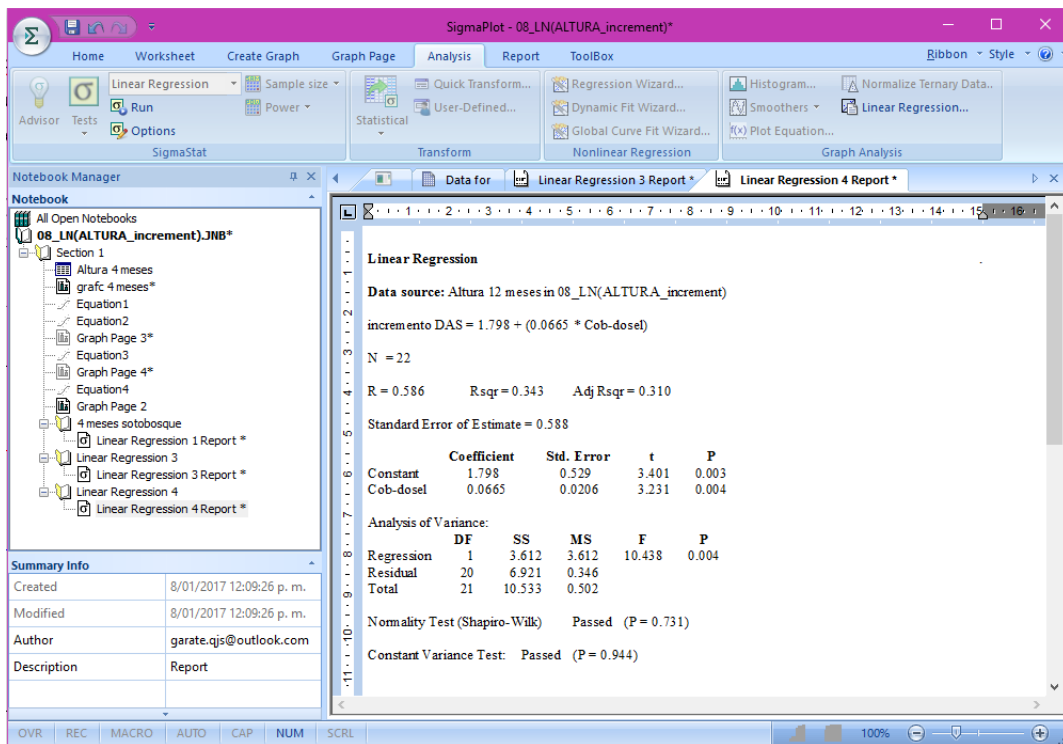
**ANEXO 12a:** Resultados del Análisis de regresión lineal simple entre la apertura de dosel y el incremento en altura (4 meses) en plántulas de sotobosque. También se muestra los resultados de la evaluación de los supuestos paramétricos (normalidad y homocedasticidad).



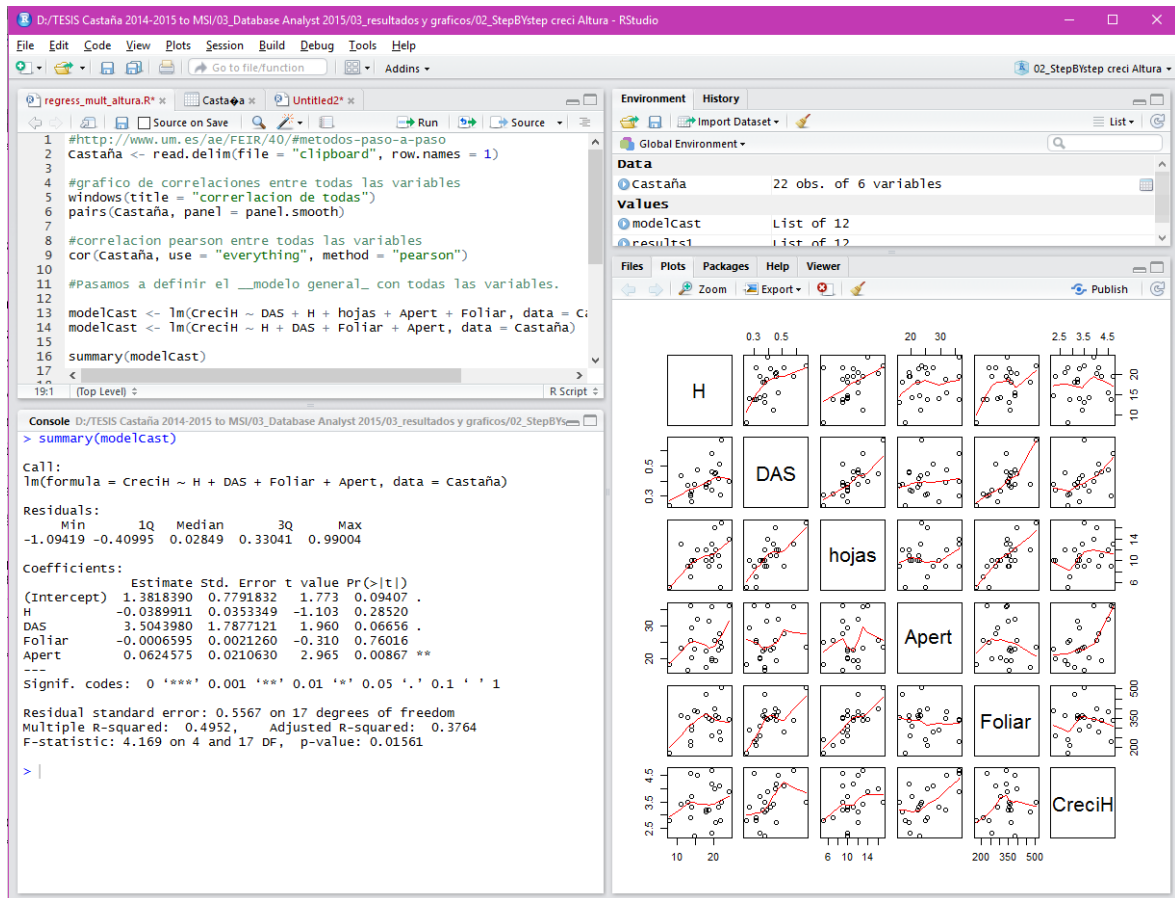
**ANEXO 12b:** Resultados del Análisis de regresión lineal simple entre la apertura de dosel y el incremento en altura (4 meses) en plántulas de claros. También se muestra los resultados de la evaluación de los supuestos paramétricos (normalidad y homocedasticidad).



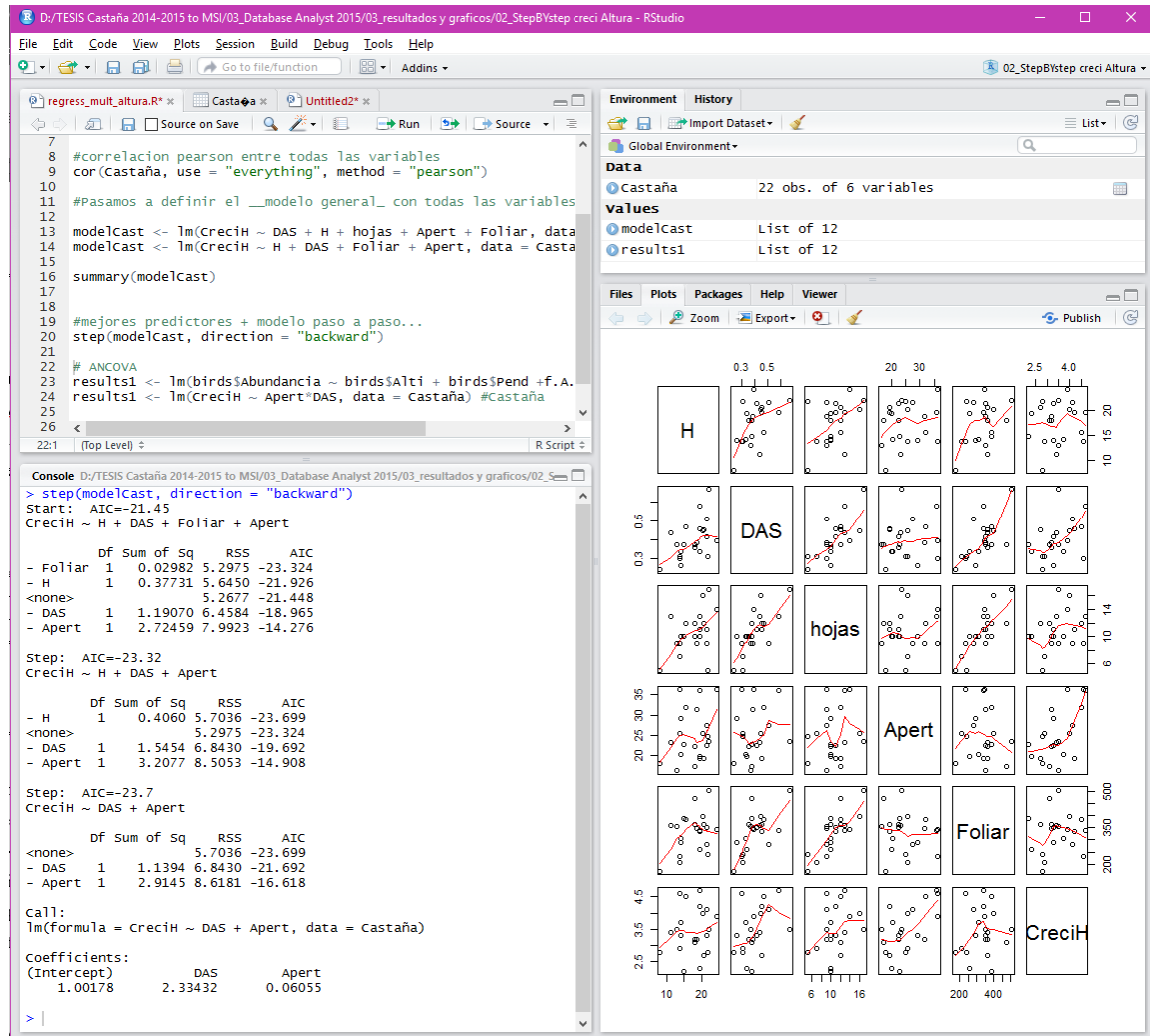
**ANEXO 13:** Resultados del análisis de regresión lineal simple entre la apertura de dosel y el incremento anual en altura en plántulas de claros. También la evaluación de los supuestos paramétricos de las variables (Normalidad y homocedasticidad). El análisis realizado utilizando el software SigmaPlot 12.5.



**ANEXO 14:** Resultados del análisis de regresión lineal múltiple del efecto de la apertura de dosel, diámetro, altura y área foliar inicial en el crecimiento en altura “ln (incremento anual)”, en plántula de claros.



**ANEXO 15:** Resultados del análisis de regresión escalonada del efecto de la apertura de dosel, diámetro, altura y área foliar inicial en el crecimiento en altura “ln (incremento anual)”, en plántulas de claros.



## NOTA BIOGRÁFICA

Jorge Santiago Garate Quispe, nacido en el Departamento de Cusco, Provincia de Cusco, Distrito de Wanchaq el 3 de mayo de 1988. Curso sus estudios primarios y secundarios en la Institución Educativa “Horacio Zeballos Gámez”, en el distrito Huepetuhe (Madre de Dios), y culminó su secundaria en la Institución Educativa “Señor de Los Milagros” de Puerto Maldonado (Madre de Dios).



Bachiller en Ingeniería Forestal y Medio Ambiente desde de año 2013, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Culminó el Master en Ecología, Gestión y Restauración del Medio Natural 2015-2016 en la Universitat de Barcelona (España), mediante la Beca Presidente de la Republica.

Realizó investigación experimental de grado en el efecto de la apertura de dosel en el crecimiento de plántulas de castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.). Realizo su investigación de maestría en crecimiento y respuesta de 3 especies al cambio climático. Actualmente desarrolla su línea de investigación en Ecología Forestal y Dendroecología de bosques de la Amazonía.

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



**INFORME N° 002-2017-UNAMAD/FI-CPIFMA-MVD-GAA-SML**

**PARA** : Dr. Rosel Quispe Herrera

**Decano (e) Facultad de Ingeniería**

**ASUNTO** : **INFORME DE CONFORMIDAD DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES DE TESIS**

**FECHA** : Puerto Maldonado 11 de mayo de 2017.

Mediante el presente, los docentes:


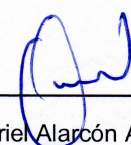
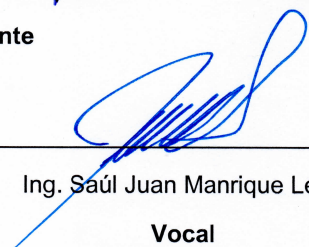
- |                                |            |
|--------------------------------|------------|
| ▪ Ing. Mauro Vela Da-Fonseca   | Presidente |
| ▪ Dr. Gabriel Alarcón Aguirre  | Secretario |
| ▪ Ing. Saúl Juan Manrique León | Vocal      |

Miembros del jurado calificador de tesis intitulada:

**“TASA DE CRECIMIENTO, MORTALIDAD E INTERACCIÓN DE PLÁNTULAS DE CASTAÑA (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) EN CLAROS Y SOTOBOSQUE EN EL CRIBATAMAD, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS – PERÚ”**. Sustentando por el Bachiller **Jorge Santiago Garate Quispe** el viernes 05 de mayo de 2017 a las 16:00 horas, en la ciudad universitaria de la UNAMAD. Emitimos el presente **INFORME DE CONFORMIDAD DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES**, mediante el cual el **TESISTA** ha cumplido con realizar las modificaciones a las observaciones realizadas durante la sustentación de tesis.

Es todo cuanto informamos a usted señor Decano para los fines correspondientes.

Atentamente,

 Ing. Mauro Vela Da-Fonseca <b>Presidente</b>	 Dr. Gabriel Alarcón Aguirre <b>Secretario</b>
 Ing. Saúl Juan Manrique León <b>Vocal</b>	