

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE
FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN EL
CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE *Cedrela odorata* L.,
Aspidosperma macrocarpon Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. E
Hymenaea oblongifolia Huber**

**TESIS PRESENTADOR POR:
Bachiller: VILLARRUEL PANDURO,
Oscar Eddies**

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

**ASESOR: ING. VELA DA FONSECA,
Mauro**

**CO-ASESOR: ING. HUISA LOPEZ,
Cesar Alejandro**

PUERTO MALDONADO, 2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE
FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN EL
CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE *Cedrela odorata* L.,
Aspidosperma macrocarpon Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. E
Hymenaea oblongifolia Huber**

**TESIS PRESENTADOR POR:
Bachiller: VILLARRUEL PANDURO,
Oscar Eddies**

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

**ASESOR: ING. VELA DA FONSECA,
Mauro**

**CO-ASESOR: ING. HUISA LOPEZ,
Cesar Alejandro**

PUERTO MALDONADO, 2018

DEDICATORIA

*A mis padres y hermanos, personas
fundamentales de mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por la formación académica-científica durante mi etapa de estudiante

En estas líneas quiero agradecer al Prof. Ing. Mauro Vela Da Fonseca y al Prof. Ing. César Huisa López, por la orientación dada en esta etapa de mi formación, y principalmente por la amistad forjada.

Al Prof. Ing. Telésforo Vásquez Zavaleta, por asesorarme en la instalación de la plantación experimental y al Ing. MSc. Roger Chambi Legoas por las sugerencias para la realización de los análisis estadísticos de la investigación.

Al personal del Fundo y Vivero El Bosque de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por las facilidades brindadas durante la instalación y colecta de datos.

A todos mis amigos, que me apoyaron durante el desarrollo y redacción de la presente tesis.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación fue desarrollado como parte de los requisitos para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, pero también como aporte para la silvicultura de especies nativas como *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium*, *Cedrela odorata* e *Hymenaea oblongifolia*. Mediante esta investigación, nos propusimos conocer más acerca de las dosis más adecuadas de fertilización para estas especies de tal forma que crear antecedentes para futuras investigaciones en el tema.

Confiamos en que los resultados de la presente investigación puedan servir de información para el desarrollo de la silvicultura de especies nativas en Madre de Dios, y de esa forma contribuir al establecimiento de plantaciones comerciales en áreas deforestadas.

RESUMEN

La fertilización es el más importante tratamiento silvicultural en la instalación de plantaciones forestales altamente productivas. Con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización en diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) en el crecimiento en diámetro y altura, y sobrevivencia de 4 especies de plantas: *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber, instaladas en campo definitivo; una plantación experimental en diseño de parcelas divididas completamente al azar, de 9 parcelas de 10 m x 6 m en un área de 40 m x 28 m, fue establecida en marzo de 2016. La plantación experimental estuvo localizada en el Vivero El Bosque de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. En cada parcela se plantaron 3 plántones por cada especie, cada grupo de 3 plantas por especie conformaron las subparcelas, distribuidas aleatoriamente en las parcelas. En las parcelas fueron aplicados tres diferentes dosis de fertilización NPK (tratamientos) aleatoriamente en las parcelas, de tal forma que en todas las plantas de cada especie recibieran una determinada dosis de fertilización con NPK. El tratamiento T1 consistió en una dosis de 26 kg ha⁻¹ de urea, 17,6 kg ha⁻¹ de Superfosfato triple (SFT) y 13,2 kg ha⁻¹ de KCl; el tratamiento T2 tuvo una dosis de 34,6 kg ha⁻¹ de urea, 21,9 kg ha⁻¹ de SFT y 12,3 kg ha⁻¹ de KCl, y para el tratamiento T3 se aplicó la dosis de 43,3 kg ha⁻¹ de urea, 26,4 kg ha⁻¹ de SFT y 25,6 kg ha⁻¹ de KCl.

Las mediciones fueron realizadas en marzo de 2016 (una semana después del plantío), octubre de 2016 (8 meses después del plantío) y en agosto 2017 (17 meses después del plantío), midiéndose con un calibrador el diámetro en la base del tallo, y la altura total del tallo con una cinta métrica desde la base hasta la última hoja. La sobrevivencia fue determinada por el porcentaje de plantas vivas en cada subparcela.

Los resultados indicaron que, a lo largo de los 17 meses de evaluación, en términos generales, no hubo efecto significativo de las dosis de fertilización NPK aplicadas tanto en diámetro, altura total y sobrevivencia de las plantas; es decir mayores dosis de NPK aplicadas no incrementaron el diámetro, altura y la sobrevivencia de las plantas.

Sin embargo, los análisis por especie indicaron apenas efecto significativo en las plantas de *Cedrela odorata* después de 8 meses del plantío, para las variables diámetro y altura, siendo que la dosis T3 incrementó significativamente el diámetro y la altura de las plantas, comparado con las dosis T2 y T1. En las especies *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium* e *Hymenaea oblongifolia* no se presentaron diferencias significativas en el diámetro, altura y sobrevivencia de las plantas entre las diferentes dosis de fertilización aplicadas.

Palabras clave: Fertilización NPK; Crecimiento de especies forestales nativas; Silvicultura de especies nativas; Plantación experimental; Madre de Dios.

ABSTRACT

Fertilization is the most important silvicultural treatment in the installation of highly productive forest plantations. With the objective of evaluating the effect of fertilization in different doses of nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) on the diameter and height growth as well as survival of 4 plant species: *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. and *Hymenaea oblongifolia* Huber; an experimental plantation in design of parcels divided completely at random, of 9 plots of 10 mx 6 m in an area of 40 mx 28 m was installed in final field, in March 2016. Experimental plantation was located in "El Bosque" forest nursery of "Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios". In each plot 3 seedlings were planted for each species, each group of 3 plants per species formed the subplots, randomly distributed in the plots. In the plots, three different doses of NPK fertilization (treatments) were applied randomly in the plots, such that in all the plants of each species they received a certain dose of fertilization with NPK. The T1 treatment consisted of a dose of 26 kg ha⁻¹ of urea, 17,6 kg ha⁻¹ of triple Superphosphate (SFT) and 13,2 kg ha⁻¹ of KCl; treatment T2 had a dose of 34,6 kg ha⁻¹ of urea, 21,9 kg ha⁻¹ of SFT and 12,3 kg ha⁻¹ of KCl, and for treatment T3 the dose of 43,3 kg ha⁻¹ of urea 26,4 kg ha⁻¹ of SFT and 25,6 kg ha⁻¹ of KCl was applied,

Growth measurements were made in March 2016 (one week after planting), October 2016 (8 months after planting) and in August 2017 (17 months after planting). Stem diameter at base level was measured using a calibrator; total height from base to the least leaf was measured using a tape-measure. Survival was determined by percentage of living plant for each subplot.

The results indicated that, over the 17 months of evaluation, in general terms, there was no significant effect of NPK fertilization doses in diameter, total height and survival of the plants; that is, higher NPK doses applied did not increased growth and survival of plants.

However, the analysis by species, showed just a significant effect on *Cedrela odorata* after 8 months of planting for diameter and height, being that the T3 dose significantly increased the diameter and height of the plants, compared with T2 and T1 doses. In *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium* and

Hymenaea oblongifolia there were no significant differences in the diameter, height and survival of the plants between the different applied fertilization doses.

Key words: NPK Fertilization; Native tree growth; Silviculture of native species; Experimental plantation; Madre de Dios.

INTRODUCCIÓN

La Amazonía Peruana hasta el año 2000 poseía alrededor de 7 172 553,97 ha deforestadas (Ministerio del Ambiente 2009), y sólo durante el periodo 2014-2015 se deforestaron 107067,81 ha (Ministerio del Ambiente 2016); por otro lado se estima que hasta el 2015 la amazonía peruana contaba con más de 3 900 000 ha aptas para reforestación, de los cuales poco más de 150 000 ha fueron reforestadas (SERFOR 2016). Sin embargo de esta área reforestada, actualmente apenas 40 000 ha corresponden a plantaciones forestales comerciales registradas (Gestión 2017). En este contexto, la reforestación mediante el establecimiento de plantaciones comerciales altamente productivas, se constituye en una gran oportunidad para disminuir la presión en los bosques, recuperar las áreas deforestadas, proveer servicios ecosistémicos, y sobre todo elevar la participación del sector forestal en la economía nacional (SERFOR 2017). En este punto el Gobierno Nacional mediante el Servicio Nacional Forestal (SERFOR) está impulsando la inversión privada para el desarrollo de una silvicultura competitiva que se constituya en un motor de la economía nacional. Según Toledo (2013), reconocido inversionista en plantaciones comerciales altamente productivas, para alcanzar alto grado de competitividad se requiere prácticas silviculturales modernas y permanente investigación forestal. Por otro lado, especies nativas de la amazonía peruana, no son vistas como especies importantes para la instalación de plantaciones forestales, en su lugar especies exóticas como *Eucalyptus sp*, *Pinus sp*, y *Tectona grandis* son consideradas como de mayor viabilidad para plantaciones forestales altamente productivas (Guariguata et al. 2017), debido a alto desarrollo científico y tecnológico en el mejoramiento genético y prácticas silviculturales adecuadas, desde muchas décadas atrás. En este sentido, de los antecedentes existentes se observa que especies nativas de alto valor como *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium*, *Cedrela odorata* e *Hymenaea oblongifolia*, aún no han sido objeto de investigación para el desarrollo de técnicas que permitan mejorar su tasa de crecimiento para ser viable su uso en plantaciones forestales comerciales en la Amazonía Peruana. Es conocido que muchos factores influyen en la tasa de crecimiento de los árboles, factores genéticos, de clima y de suelo condicionan el desarrollo de una determinada

especie (Gonçalves y Benedetti 2000). Sin embargo, prácticas silviculturales adecuadas pueden propiciar un incremento de la tasa de crecimiento; dentro de ellas, la fertilización constituye el más importante tratamiento silvicultural (Gonçalves, Stape, Laclau, Smethurst, y Gava, 2004) para altas ganancias de productividad de madera proveniente de plantaciones forestales. Sin embargo, en muchas especies nativas, el tipo y dosis adecuado de fertilización según las características del suelo y requerimientos de la especie, aún no ha sido extensamente estudiado. Es conocido que la determinación de dosis adecuadas de fertilización es esencial para un óptimo crecimiento de la planta (Gonçalves y Benedetti 2000), y que además, disminuye los costos por el uso innecesario de mayores dosis de fertilizantes. En este tema, muchos estudios en otras especies tropicales, indican que no necesariamente mayores dosis desmedidas de fertilizantes incrementarán el crecimiento de las plantas (Schumacher, Ceconi y Santana 2003; Dias, Barreto y Ferreira 2015), por tanto es necesario conocer los efectos de diferentes tipos de dosis de fertilizantes en el desarrollo de las plantas de especies importantes comercialmente, como *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium*, *Cedrela odorata* e *Hymenaea oblongifolia*, de las cuales no existe información disponible respecto a dosis adecuadas de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio.

INDICE

INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Descripción del problema.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Objetivos	17
1.4. Variables	18
1.5. Operacionalización de variables	20
1.6. Hipótesis	21
1.7. Justificación	21
1.8. Consideraciones éticas.....	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes de estudios.....	23
2.2. Marco teórico	26
2.2.1. Descripción de las especies estudiadas	26
2.2.2. Fertilización:	29
2.2.3. Nutrición de plantas	30
2.3. Definición de términos	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.1. Tipo de estudio	36
3.2. Diseño del estudio	36
3.3. Población y Muestra	40
3.3.1. Población	40
3.3.2. Muestra.....	40
3.4. Métodos y técnicas	40
3.4.1. Lugar de estudio.	40
3.4.2. Instalación y manejo de la plantación experimental	42
3.4.3. Medición del crecimiento y sobrevivencia de las plantas	44
3.5. Tratamiento de los datos	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
CONCLUSIONES.....	71
SUGERENCIAS	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Croquis del diseño experimental de la plantación en campo	39
Figura 2: Mapa de ubicación del lugar de estudio	41
Figura 3: Hoyos cúbicos de 40 cm de largo, 40 cm de ancho y 40 cm de profundidas (cepa común)	43
Figura 4: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homegeneidad de varianzas (b), de la variable Diámetro en la semana 1 después del plantío.	47
Figura 5: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homegeneidad de varianzas (b), de la variable Diámetro a los 8 meses después del plantío.	47
Figura 6: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homegeneidad de varianzas (b), de la variable Diámetro a los 17 meses después del plantío.	48
Figura 7: Comparación múltiple del diámetro medio (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p>0.05$).	51
Figura 8: Comparación múltiple del diámetro medio (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo y especie. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p>0.05$). La figura en rojo destaca las diferencias significativas encontradas en el diámetro medio de <i>Cedrela odorata</i> entre los tratamientos de fertilización.	52
Figura 9: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de diámetro para las especies <i>Aspidosperma macrocarpon</i> y <i>Aspidosperma parvifolium</i> en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.	53
Figura 10: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de diámetro para las especies <i>Cedrela odorata</i> y <i>Hymenaea oblongifolia</i> en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.	54

Figura 11: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homogeneidad de varianzas (b), de la variable Altura en la semana 1 después del plantío.....	55
Figura 12: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homogeneidad de varianzas (b), de la variable Altura a los 8 meses después del plantío.	56
Figura 13: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homogeneidad de varianzas (b), de la variable Altura a los 17 meses después del plantío.	56
Figura 14: Comparación múltiple de la altura media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p>0,05$).	60
Figura 15: Comparación múltiple de la altura media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo y especie. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p>0,05$). La figura en rojo destaca las diferencias significativas encontradas en la altura media de <i>Cedrela odorata</i> entre los tratamientos de fertilización.	61
Figura 16: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de altura para las especies <i>Aspidosperma macrocarpon</i> y <i>Aspidosperma parvifolium</i> en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.	62
Figura 17: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de altura para las especies <i>Cedrela odorata</i> y <i>Hymenaea oblongifolia</i> en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.	63
Figura 18: Comparación múltiple de la sobrevivencia (%) media de los tratamientos de fertilización en cada periodo. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p>0,05$).	65
Figura 19: Comparación múltiple de la sobrevivencia (%) media de los tratamientos de fertilización en cada periodo y especie. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p>0,05$). ..	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables e indicadores	19
Tabla 2: Matriz de operacionalización de variables.....	20
Tabla 3: Dosificación de fertilización de NPK.....	37
Tabla 4: Prueba Shapiro-Wilks (modificada) de los residuos de las variables Diámetro en los tres periodos evaluados, para verificación de distribución normal de los residuos.....	48
Tabla 5: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, del diámetro de las plantas, 1 semana después del plantío.....	49
Tabla 6: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, del diámetro de las plantas, 8 meses después del plantío.	49
Tabla 7: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, del diámetro de las plantas, 17 meses después del plantío.	50
Tabla 8: Media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) y error estándar (EE) del diámetro de las plantas, por tratamiento de fertilización y especie, en cada periodo.	50
Tabla 9: Prueba Shapiro-Wilks (modificada) de los residuos de las variables Altura en los tres periodos evaluados, para verificación de distribución normal de los residuos.	57
Tabla 10: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la altura de las plantas, 1 semana después del plantío.....	57
Tabla 11: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la altura de las plantas, 8 meses después del plantío.	58
Tabla 12: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la altura de las plantas, 17 meses después del plantío.	58
Tabla 13: Media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) y error estándar (EE) de la altura de las plantas, por tratamiento de fertilización y especie, en cada periodo.	59
Tabla 14: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la sobrevivencia (%) de las plantas, 1 semana después del plantío. ..	64

Tabla 15: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la sobrevivencia (%) de las plantas, 8 meses después del plantío.	64
Tabla 16: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la sobrevivencia (%) de las plantas, 17 meses después del plantío. ..	64
Tabla 17: Media y error estándar (EE) de la sobrevivencia (%) de las plantas, por tratamiento de fertilización y especie, en cada periodo.....	65

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre Ley N° 29763 y sus reglamentos, así como la Política Forestal Nacional, está promoviendo la instalación de plantaciones forestales comerciales, para asegurar el abastecimiento de madera, incremento del aporte del sector forestal al PBI, recuperación de áreas degradadas, y reducción de la presión al bosque natural. Los principales emprendimientos están realizándose en departamento como Huanuco, Junín, Ucayali y San Martín, predominando la instalación de plantaciones de especies exóticas con Eucalipto sobre las especies nativas representadas por Capirona y Bolaina. En Madre de Dios desde hace algunos años se han instalado plantaciones mas o menos extensas de Teca; sin embargo, plantaciones comerciales con especies nativas son prácticamente inexistentes.

Dentro de las limitaciones para la instalación de plantaciones comerciales de especies nativas, esta el desconocimiento del crecimiento y manejo de estas especies en plantaciones puras o mixtas. Así mismo el estudio de otras especies potenciales para establecimiento de plantaciones es escaso o nulo. Dentro de estas falencias cabe resaltar el desconocimiento de cómo realizar la fertilización para un óptimo desarrollo de las plantas, según las especies a plantar y el tipo de suelo. Es conocido que la fertilización constituye el más importante tratamiento silvicultural (Gonçalves, Stape, Laclau, Smethurst, y Gava, 2004), por lo cual investigaciones científicas que busquen llenar el vacío de información son imprescindibles para poder comenzar a pensar en instalar plantaciones productivas.

El nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son nutriente esenciales para el crecimiento de las plantas, y su deficiencia causa una reducción del área foliar

asi como de la asimilación, y el cambio en la alocaación de los compuestos fotoasimilados y reduccón de la biomasa (Battie-Laclau et al. 2013); “además la nutrición afecta de manera determinante a la resistencia de las plantas al estrés y las enfermedades, así como a los procesos fisiológicos” (Ocaña Bueno et al. 1997), y a la morfología, todo lo cual determina el estado de las plantas antes de que éstas sean llevadas a la plantación (Rook 2000; Sutton 1979).

Por otro lado, para un adecuado desarrollo de la planta es necesario aplicar la dosis adecuada, según la especie a plantar, el tipo y características de suelo. Este tema debe constituirse como un importante foco de investigación a realizar por la comunidad académica-científica de la UNAMAD y otras instituciones.

1.2. Formulación del problema

En el contexto del problema planteado, nos formulamos las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en diámetro de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber?
- ¿Cómo es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en altura total de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber?
- ¿Cómo es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en la sobrevivencia de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber?

1.3. Objetivos

Objetivos General

Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio, en el crecimiento y sobrevivencia de plantas de

Cedrela odorata L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber, en el vivero El Bosque de la UNAMAD-Departamento de Madre Dios.

Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en diámetro de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber.
- Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en altura total de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber.
- Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en la sobrevivencia de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber.

1.4. Variables

Variables independientes: Son los factores que intervinieron en el diseño experimental, siendo los siguientes:

Dosis de Fertilización NPK: Dosis de nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio aplicado en unidades de kg ha^{-1} . Esta variable representó el factor de tratamiento en el diseño experimental.

Especies de plantas: Especies evaluadas en el estudio.

Variables dependientes: Son las variables de respuesta que se midieron para evaluar el efecto de los factores o variables independientes, siendo los siguientes:

Diámetro basal del tallo: Diámetro medido en la base de tallo de las plantas, en unidades de cm.

Altura total de las plantas: Altura medida desde la base del tallo hasta la última hoja de las plantas, en unidades de cm.

Sobrevivencia de las plantas: Porcentaje de plantas vivas.

Tabla 1: Variables e indicadores

Objetivo	Variables		Indicadores
Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio, en el crecimiento de plantas de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber, en el vivero El Bosque de la UNAMAD- Departamento de Madre Dios.	Variables independientes	Dosis de Fertilización NPK	kg ha ⁻¹ de N, kg ha ⁻¹ de P y kg ha ⁻¹ de K
		Especie	Nombre científico de la especie
	Variables dependientes	Diámetro basal del tallo de las plantas	Diámetro (cm) en la base del tallo de las plantas de cada especie y subparcela, en cm.
		Altura total de las plantas	Altura total (cm) de las plantas de cada especie y subparcela
		Sobrevivencia de las plantas	Porcentaje de plantas vivas de cada especie y subparcela

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 2: Matriz de operacionalización de variables

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
¿Cómo es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en diámetro de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber?	Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en diámetro de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	Existe efecto significativo de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en el incremento en diámetro de plantas de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber, con mayor incremento a mayores dosis.	Dosis de Fertilización NPK	kg ha ⁻¹ de N, kg k kg ha ⁻¹ de P y kg ha ⁻¹ de K	Investigación de tipo Experimental, con diseño en parcelas divididas. Factores: Especie y Fertilización. 18 subparcelas. Con tres repeticiones. Se realizará el ANOVA y test de Tukey para determinar el efecto de las dosis de fertilización en el incremento en diámetro.
			Especie	Nombre científico de la especie	
			Diámetro basal del tallo de las plantas	Diámetro promedio (cm) en la base del tallo de las plantas por especie y parcela, en cm.	
¿Cómo es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en altura total de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber?	Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en el incremento en altura total de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	Existe efecto significativo de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en el incremento de altura total de plantas <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber, con mayor incremento a mayores dosis	Dosis de Fertilización NPK	kg ha ⁻¹ de N, kg k kg ha ⁻¹ de P y kg ha ⁻¹ de K	Investigación de tipo Experimental, con diseño en parcelas divididas. Factores: Especie y Fertilización. 18 subparcelas. Con tres repeticiones. Se realizará el ANOVA y test de Tukey para determinar el efecto de las dosis de fertilización en el incremento en altura.
			Especie	Nombre científico de la especie	
			Altura total de las plantas	Altura total (cm) promedio de las plantas por especie y parcela	
¿Cómo es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio la sobrevivencia de plantas de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber?	Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en la sobrevivencia de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	Existe efecto significativo de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en la sobrevivencia de plantas <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart., <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. e <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber, con mayor incremento a mayores dosis	Dosis de Fertilización NPK	kg ha ⁻¹ de N, kg k kg ha ⁻¹ de P y kg ha ⁻¹ de K	Investigación de tipo Experimental, con diseño en parcelas divididas. Factores: Especie y Fertilización. 18 subparcelas. Con tres repeticiones. Se realizará el ANOVA y test de Tukey para determinar el efecto de las dosis de fertilización en la sobrevivencia de las plantas.
			Especie	Nombre científico de la especie	
			Sobrevivencia de las plantas	Sobrevivencia promedio en porcentaje de las plantas por especie y parcela	

1.6. Hipótesis

- Existe efecto significativo de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en el incremento en diámetro de plantas de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber, con mayor incremento a mayores dosis.
- Existe efecto significativo de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en el incremento de altura total de plantas de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber, con mayor incremento a mayores dosis.
- Existe efecto significativo de diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en la sobrevivencia de plantas de *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber, con mayor sobrevivencia a mayores dosis.

1.7. Justificación

El establecimiento de plantaciones forestales altamente productivas en la Amazonía Peruana es un desafío para la ciencia forestal peruana. La baja fertilidad de los suelos degradados, el desconocimiento de la fisiología de las especies forestales nativas establecidos en plantaciones puras o mixtas, sumado a la escasa inversión en el sector forestal, son factores que limitan la reforestación con fines comerciales.

Los dos primeros factores son posibles de resolver conociendo los nutrientes más necesarios para las diversas especies forestales y el nivel de concentración a aplicar, sin embargo, este tipo de investigaciones en especies nativas de la Amazonía aún son escasos.

En este contexto, puede considerarse de suma importancia la investigación sobre fertilización para aumentar la tasa de crecimiento y por tanto la productividad de plantaciones futuras.

Este tipo de investigaciones, nos ayuda a tener un mejor conocimiento de la ecología y fisiología de nuestras especies forestales nativas, tomando en

cuenta que las necesidades nutritivas de las plantas son poco conocidas y se realizan de forma empírica.

Asimismo, este estudio sirve como punto de referencia para el inicio de una base de datos sobre necesidades nutritivas y supervivencias de plantaciones de dicha calidad que depende del manejo que se haya brindado en la fase de vivero.

En la región son escasos los estudios realizados en parcelas demostrativas con diferentes especies forestales en el suministro de dosis de NPK. Por esta razón el presente trabajo busca llenar ese vacío de información que existe dentro de la región, y a su vez poder servir como una guía metodológica para estudios posterior.

1.8. Consideraciones éticas

La presente investigación fue redactada respetando las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Las referencias fueron citadas adecuadamente primorando siempre los derechos de autoría. Los resultados mostrados fueron fruto de exhaustivas y cuidadosas mediciones realizadas durante el periodo de ejecución en campo. Los análisis de igual forma fueron realizados respetando el diseño experimental de campo para conseguir resultados auténticos. El desarrollo de la investigación siempre se siguió el método científico para resultados válidos y reproducibles.

Durante las actividades de la investigación, se evitaron acciones que pudieran provocar impactos negativos en el medio ambiente, así mismo se tomaron las medidas de seguridad para evitar accidentes de trabajo.

El presente trabajo de investigación es una obra original desarrollada para aportar a la solución de los problemas identificados

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudios

Los principales estudios de fertilización con N, P y K (NPK) fueron realizados en Eucalipto y Pino. En Australia, investigaciones hechas en ensayos de *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus delegatensis*, muestran incrementos en altura a la edad de 4 años con fertilización de N y P, y no observándose respuestas al tratamiento con fosforo solo (Cornejo Pávez 1982). Se han registrado respuestas satisfactorias en crecimiento, a la aplicación de N y P, para varias especies de *Eucalyptus* en plantaciones jóvenes en Victoria, Australia. En los suelos arenosos de Moroco, Australia, plantaciones jóvenes de *Eucalyptus* sp., responden positivamente a la aplicación de NPK (Cornejo Pávez 1982).

Experiencias realizadas en Tasmania, Australia, con aplicaciones de 100 g de fosfato diamonico por plántula en *Eucalyptus nitens*, donde se aplicó una fertilización dirigida luego de la plantación, sobre suelos de baja disponibilidad de fosforo indican un alto desarrollo radicular luego de la aplicación, por lo cual aumenta el potencial de absorción de nitrógeno en los sitios fertilizados (Smethurst y Wang 1998).

Numerosas experiencias provienen de la Peninsula Iberica. En España, fertilizaciones hechas con NPK (0, 75 y 150 kg/ha) sobre retoños de "*E. globulus* muestran efectos positivos, pero estos efectos dependen del tipo de suelo (Ruiz et al., 2001). En suelos arenosos se produjo un aumento en el crecimiento volumétrico bajo cierta cantidad de nitrógeno aplicado y en suelos metamórficos el mismo efecto se consigue con cierta cantidad de nitrógeno y otra de potasio, lo cual sugiere una respuesta muy dependiente de los niveles nutritivos de los sitios. También se produjo una falta de respuesta a la aplicación de fosforo, aun cuando en ambos suelos este elemento se presenta con baja disponibilidad, lo que podría llevar a pensar que este nutriente es

limitante” (Ruiz et al. 2001). Sin embargo, ya se han registrado la eficiencia en el uso de este elemento en general por las especies del genero *Eucalyptus* (Smethurst y Wang 1998). Además se muestran diferencias cualitativas en los requerimientos nutricionales dependiendo de la edad (Ruiz et al. 2001).

En la mayoría de países tropicales y subtropicales, las investigaciones realizadas indican una fuerte respuesta de plantas de Eucalipto a la fertilización con P (Gonçalves, Barros, Nambiar, y Novais, 1997; Xu y Dell, 2003), en contraste, en regiones templadas, son reportados fuertes respuestas de las plantas a la fertilización con N, o su combinación con N y P (Madeira, Araújo y Pereira 1995). Por otro lado, también en plantaciones de Eucalipto en Brasil las plantas son muy sensibles a a la fertilización con K (Gava 1997). En general, en la Silvicultura Brasileira, el N, P y K son parte de la fertilización básica aplicado en las plantaciones de eucalipto (Goncalves et al. 2008); las recomendaciones de dosis para N son 60, 40 y 20 kg ha⁻¹ dependiendo si las concentraciones de materia orgánica del suelo son 0-20, 21-50 y >50 g kg⁻¹, respectivamente (Raij et al. 1996); dosis extremas de N, P y K son de 60, 70 y 120 kg ha⁻¹, respectivamente (Goncalves et al. 2008). Para óptimas dosis, se recomienda seguir la tabla de niveles críticos para interpretación de análisis del suelo, donde el nivel de P es dependiente de la concentración de arcilla, pero para otros nutrientes como el K, los niveles críticos dependen de la productividad deseada (Novais, Barros y Neves 1986).

En general los estudios en esta especie indican un incremento considerable de la productividad (Gonçalves et al., 2004), con efectos positivos del nitrógeno, fosforo y potasio, solo o en combinación (Battie-Laclau et al., 2014; Gonçalves et al., 2004).

Investigaciones evaluando el efecto de los nutrientes en la productividad de bosques tropicales naturales, reportan que P es correlacionado positivamente con el incremento en diámetro de los árboles, pero raramente existe correlación con N, así mismo especies de fabáceas no muestran algún grado de correlación entre los nutrientes con el crecimiento (Baribault, Kobe y Finley 2012). Además especies con baja densidad de la madera mostrarón ser más

sensibles a la fertilización con NPK obteniendo aumento de la tasa de crecimiento, en comparación a especies con densidad mas alta en el que su crecimiento fue menos relacionados con la fertilización (Baribault, Kobe y Finley 2012). Contrariamente en bosques de montaña tropicales de Venezuela, adicionando N y P en dosis de $225 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, durante los dos primeros años y posteriormente $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente, se encontró que N es más limitante para el crecimiento que P, es decir el crecimiento del tronco responde más a la adición de N (Tanner y Kapos 1992). En contraste, en bosques húmedos bajos de 11 años en Panamá, adiciones anuales de $125 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N, $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de P y $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de K, revelaron que K es asociado a un incremento de la tasa de crecimiento en altura, y disminución de la biomasa de raíces finas; a su vez K y N juntos muestran incrementar significativamente de la tasa de crecimiento en diámetro, y disminución de la biomasa de raíces finas, y el P generó mayor producción de hojarasca; N, P y K muestran ser limitantes del crecimiento en estos bosques, con mayor evidencia de K como mineral importante para el crecimiento (Wright et al. 2011).

A nivel de plántulas, pocos estudios en especies nativas son registrados. El crecimiento de la raíz y altura del tallo, en plantulas de 5 especies tropicales nativas en Panamá fueron afectadas por la adición de NPK en dosis anuales de $125 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N, $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de P y $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de K, incrementando la tasa de crecimiento en altura, así mismo las concentración de de N, P y K en los tejidos de la planta se incrementó en 11%, 16% y 4% respectivamente, durante los dos primeros años de edad (Santiago et al. 2012), el autor concluye que el K es el mineral más limitante en el crecimiento de las plántulas.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Descripción de las especies estudiadas

a) *Cedrela odorata* L.:

Según Reynel, Pennington, Pennington, Flores, & Daza (2003), el “cedro es un árbol del orden Sapindales familia de las Meliaceas, de regiones tropicales de America. Tiene un fuste importante que puede alcanzar los 40 m de altura. El tronco es recto, naciendo sus ramas más arriba de la mitad de su altura y con diámetros en los árboles adultos de 1 a 2 m. A veces, en su parte baja presenta contrafuertes o aletones que ayudan a afianzar el árbol, ya que tiene un sistema radical bastante superficial”.

“La corteza, que puede llegar a espesores de 2 cm, es de color gris-claro en los árboles jóvenes y apenas divididos en placas por leves hendiduras, mientras que los árboles adultos tienen la corteza profundamente fisurada. La corteza interna es rosada, fibrosa y de sabor amargo”.

“La copa presenta formas globosas o redondeadas con follaje denso, de color verde-claro, el cual se desprende en la época de sequia (diciembre a mayo) dejando al descubierto sus ramas ascendentes, gruesas, con abundantes puntos redondeados y protuberantes”.

“Las hojas son compuestas, alternas, de 30 a 70 cm de largo, con 5 a 11 pares de folíolos (generalmente 6 ó 7 pares). Los folíolos son generalmente lanceolados u oblongos, de 8 a 17 cm de largo por 2,5 a 5,5 cm de ancho, acuminados, obtusos y a veces mucronados en el ápice, agudos hasta redondeados y muy asimétricos en la base, enteros en los márgenes, verde-oscuro en la cara superior y verde salido y amarillentos en la cara inferior, glabros. Al estrujarlos desprenden un fuerte olor aliaceo. Los peciolo son de 1 a 1,5 cm de largo”.

“Las flores se agrupan en inflorescencias con pániculas variables en tamaño, muchas veces más cortas que las hojas, generalmente glabras, rara vez pubescentes. Las flores miden de 6 a 9 mm de largo, suavemente perfumadas, de color crema verdosa. El cáliz es verdoso, en forma de copa o embudo, de 2 a 3 cm de largo, con 5 lóbulos dentados. La corola es

tubular; se abre en 5 pétalos, de 7 a 8 mm de largo, con los pubérulos por fuera. Tiene 5 estambres, libres más costos que los pétalos. El estilo sobrepasa la longitud de los estambres con estigma ensanchado”.

“Los frutos son capsulares, elípticos-oblongos, de 2,5 a 5 cm de largo, que cuelgan en grupos en el extremo de las ramas; se abren por 5 valvas; presentan un eje central con 5 ángulos. En la madurez tiene aspecto leñoso, de color marrón chocolate, con abundantes lenticelas amarillas. Permanecen durante mucho tiempo en el árbol”.

“Las semillas son de 2 a 2,5 cm de largo, de color marrón. Cada cápsula puede contener de 20 a 40 semillas, dispuestas en 2 hileras. Un sólo cedro puede producir anualmente cerca de 10 millones de semillas las cuales son transportadas por el viento”.

“La madera es olorosa, bastante liviana, con peso específico variable de entre 0,42 a 0,63, generalmente blanda o medianamente dura. El color de la altura es blanco-amarillento o gris bien diferenciado del duramen, cuyo color va desde rojo hasta marrón claro. La textura varía desde fina hasta áspera. Florecen de mayo a julio. Fructifican en marzo”.

b) *Aspidosperma macrocarpon* Mart.:

Según Reynel, Pennington, Pennington, Flores, & Daza (2003), “es un árbol de hasta 100 cm de diámetro y 40 m de altura total, fuste cilíndrico, base del fuste recta. Corteza externa profundamente fisurada, color marrón amarillento, las fisuras separadas de 4-6 cm entre sí. Corteza interna crema amarillenta; al cortarla fluye lentamente látex blanco, en gotitas. Ramitas terminales con sección circular, de 4-6 mm de diámetro; la yema apical, de unos 5-10 mm de longitud, es muy característica en forma de puño. Hojas simples, alternas y dispuestas en espiral, de 11-18 cm de longitud y 6-9 cm de ancho, peciolo de 2-3,5 cm de longitud, las láminas oblongas a obovadas, enteras a levemente situadas, nervación pinnada, los nervios secundarios 9-11 pares, impresos en la haz, el ápice rotundo y brevemente acuminado, la base obtusa, las hojas glabras y coriáceas. Inflorescencias en panículas cortas y subcapitadas, de unos 5x5 cm. Flores hermafroditas de 1,5–1,8 cm de longitud, pedicelo corto de

1-3 mm de longitud; cáliz cupuliforme, pubescente velutino de 2-4 mm de longitud con 5 dientes pequeños; corola de 10-15 mm de longitud, tubular, abierta en 5 pétalos en el tercio apical, cubierta de pubescencia densa y corta. Anexo 5 Estudio de las Poblaciones de Caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en el Perú. Proyecto UNALM-ITTO PD 251/03 -193- Frutos folículos discoides de unos 8-15 cm de longitud, dispuestos en pares y erguidos; tienen numerosas semillas membranosas, aladas, circulares, de unos 5,5- 7 cm de diámetro”.

c) *Hymenaea oblongifolia* Huber:

Según Reynel, Pennington, Pennington, Flores, & Daza (2003), *Hymenaea oblongifolia* Huber es un “árbol de hasta 100 cm de diámetro y 40 m de alto, fuste cilíndrico, con la base recta o con aletas de hasta 1,5 m de alto. Corteza externa lisa a escamosa, color grisáceo. Corteza interna fibrosa, rosada, con sabor astringente. Ramitas terminales cilíndricas, lenticeladas, finamente pubescentes hacia el ápice. Hojas compuestas bifolioladas, alternas y dispuestas en espiral, foliolos oblongos, fuertemente asimétricos, 12-16 cm de longitud y 4-5 cm de ancho, ápice de los foliolos agudo a cortamente acuminado, la base aguda y fuertemente asimétrica, enteros, 9-12 pares de nervios secundarios, coriáceos, glabros y lustrosos por el haz, el envés glabro o con pubescencia densa y dorada. Inflorescencias en panículas axilares de 18-35 cm de longitud. Flores hermafroditas, zigomorfas, cáliz de 7-12 mm de longitud con los sépalos pubescentes, corola con 5 pétalos de 1-1,5 cm de longitud, blancos o rosados, glabros, 10 estambres de 8-25 mm de longitud, libres, el ovario densamente pubescente en la base. Frutos oblongoides y gruesos, indehiscentes, de 3-6 cm de longitud y 2-3 cm de ancho, la superficie lisa, el pericarpo leñoso, el endocarpio cubierto de pulpa harinosa y dulce, las semillas 1-2, ovoides a elipsoides, de 2-2,5 cm de longitud y 1 cm de diámetro”

d) *Aspidosperma parvifolium* A.DC.:

Según Reynel, Pennington, Pennington, Flores, & Daza (2003), *Aspidosperma parvifolium* A.DC. es un árbol de hasta 90 cm de diámetro

y 35 m de altura, con fuste cilíndrico, base del fuste recta. Corteza externa lisa a finamente agrietada, color marrón claro. Corteza interna, amarillenta, con pequeños gránulos de color marrón claro; al cortarla fluye látex blanco muy escaso y lentamente. Ramitas terminales con sección circular, de 4-6 mm de diámetro, glabras. Hojas simples, alternas y dispuestas en espiral, agrupadas al extremo de las ramitas, de 6-14 cm de longitud y 3-6 cm de ancho, el peciolo de 1,5-3 cm de longitud, las láminas obovadas a oblongas, enteras a levemente sinuadas, la nervación pinnada, los nervios secundarios 16-20 pares, impresos en el haz, el ápice agudo a obtuso y cortamente acuminado, la base aguda, las hojas glabras y coriáceas. Inflorescencias en panículas axilares congestionadas, de 4x4 cm. Flores hermafroditas de 4-5 mm de longitud; cáliz cupuliforme, pubescente, de 1-2 mm de longitud con 5 dientes, la corola de 5-7 mm de longitud, tubular, abierta en 5 pétalos en el tercio apical, densamente pubescente. Frutos folículos obovoide-aplanados e incurvados de 5-7 cm de longitud, la superficie color marrón con lenticelas blanquecinas, los folículos dispuestos en pares, las semillas membranosas, aladas, numerosas.

2.2.2. Fertilización:

La fertilización en el “suelo es una cualidad resultante de la interacción entre características físicas, químicas y biológicas. Consiste en la capacidad del suelo para poder proporcionar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas”. La fertilización se usa para generar un equilibrio de nutrientes de acuerdo a las necesidades de la planta (Alcantar y Trejo-Tellez 2015).

El crecimiento de la planta, está regulado por el factor que se encuentra en menor cantidad y aumenta y disminuye de acuerdo al incremento o reducción según la ley del mínimo de Liebig. La deficiencia de cualquier macro o micro elemento puede producir una dramática diferencia en el crecimiento vegetal, se desarrolla de raíces, producción de semilla o frutos, resultando en bajos rendimiento y menor calidad de la planta o cultivo (Alcántar y Trejo-Tellez, 2007). La fertilización es una herramienta que puede lograr, a obtener plantas vigorosa, resistente de ataques de plagas (López y Estañol 2007)

2.2.3. Nutrición de plantas

Los elementos minerales son disponibles para las plantas como iones disueltos en medio acuoso. Las plantas terrestres usualmente toman iones inorgánicos del suelo mediante la raíz. Los nutrientes son clasificados como macronutrientes y micronutrientes; los macronutrientes pertenecen al grupo del C, H y O, y son requeridos en grandes cantidades fáciles de medir, mientras que los micronutrientes son otros elementos necesarios para el completo desarrollo de las plantas, requeridos en pequeñas cantidades (Mohr y Schoper 1995)

Mohr & Schoper (1995) señalan que, un elemento es esencial para la nutrición de la planta cuando la planta no puede completar su ciclo de vida sin este elemento; o se sabe que el elemento es un componente irremplazable de moléculas que se requieren absolutamente para el metabolismo de las plantas en normal desarrollo. Sólo uno de estos dos criterios debe cumplirse para la clasificación de un elemento como nutriente esencial. Los microelementos se descubrieron usualmente con la ayuda del primer criterio, que es fácil de demostrar experimentalmente: Una planta es mantenida en una solución nutritiva que contiene todos los elementos con excepción del elemento que se va a probar. Si el elemento omitido es esencial, los síntomas de deficiencia se hacen evidentes en una o más etapas de desarrollo en comparación con una planta control crecida en medio completo; estos síntomas característicos no pueden ser superados por la aplicación de elementos similares.

Además de la pureza suficiente de los productos químicos utilizados, también debe tenerse en cuenta que muchas plantas son capaces de almacenar microelementos en sus semillas. Por lo tanto, los síntomas de la deficiencia a menudo sólo se hacen evidentes después de que el suministro endógeno se ha agotado por el crecimiento de muchas generaciones en el medio deficiente. Por otro lado, por ejemplo, en suelos agrícolas intensivamente utilizados, pueden presentarse síntomas de deficiencia debido al suministro subcrítico de un microelemento; Esto se expresa directamente en drásticas enfermedades de las plantas. El suministro deficiente de microelementos no sólo conduce a

un crecimiento lento o un rendimiento reducido, sino también a defectos metabólicos y de desarrollo específicos, que a menudo pueden usarse como indicadores de la ausencia de ciertos microelementos en el suelo (Mohr y Schoper 1995).

a) Macroelementos: Los elementos además de C, H y O desempeñan un papel central como componentes de moléculas biológicas o complejos de moléculas. N, S y P están, por ejemplo, contenidos en aminoácidos, nucleótidos y macromoléculas compuestas por ellos (proteínas, ADN, ARN). Fe es parte de las proteínas "haem", de ferredoxina (además de S) y otras enzimas; Mg es un componente de la clorofila. K es probablemente siempre disponible como un catión libre y es, con respecto a la cantidad, el ion inorgánico dominante en la célula vegetal ($0,1-0,2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ en el citoplasma, hasta 6% de la materia seca de las plantas). K^+ debe ser considerado como un "factor mileu" y, junto con el Ca^{2+} ($\leq 1 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ en el citoplasma), influye en el hinchamiento coloidal del plasma. Además, K^+ es un portador móvil de cargas positivas, un cofactor de enzimas, por ejemplo, en la síntesis de proteínas y glicolisis, y un osmoticum para los movimientos de turgencia. Ca^{2+} es, junto con Mg^{2+} , un componente de las pectinas en la pared celular y un factor importante para la integridad funcional y estructural de las biomembranas. Esta es, por ejemplo, la razón por la cual las raíces en soluciones nutritivas libres de Ca^{2+} no pueden absorber los iones normalmente, pero sufren efectos tóxicos mayores o menores (Mohr y Schoper 1995).

Los macroelementos suelen estar disponibles para la planta en su forma oxidada máxima: CO_2 , H_2O , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} . Sin tener en cuenta el cambio de valencia de Fe en los citocromos, todos los cationes listados mantienen este estado redox incluso después de su captación en la célula (Mohr y Schoper 1995).

Dentro de los principales macroelementos presentes en la fertilización básica tenemos:

Nitrógeno: Es uno de los elementos más abundante en las plantas. La mayor parte de la planta depende del nitrógeno para su crecimiento. Su

limitada disponibilidad en el suelo afecta el tamaño ya grosor de la pared celular (Volke y Velasco 2002).

Fosforo: Los fosfatos son esenciales para la división celular y para el desarrollo de los tejidos de meristemo. El fosforo y potasio incrementa la resistencia contra plagas y enfermedades; sin embargo, el efecto es mayor con el potasio. El P, reduce las enfermedades de las semillas y enfermedades fungosas en la raíz; su exceso puede ocasionar a las plantas susceptibilidad a enfermedades por virus (Volke y Velasco 2002).

Potasio: El potasio es uno de tres o cuatro elementos que se encuentran en el suelo con mayor frecuencia en cantidades insuficientes. El contenido en las plantas es aproximadamente el mismo que el de nitrógeno. El potasio permite la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades de las plantas (Volke y Velasco 2002).

- b) Microelementos:** Estos elementos, que sólo se requieren en trazas, suelen tener funciones catalíticas como cofactores esenciales de las enzimas. Muchas enzimas contienen uno o más metales como componentes fuertemente integrados del centro activo, por ejemplo, Zn^{2+} en lactato deshidrogenasa y alcohol deshidrogenasa; Cu^{2+} en varias oxidasas y Mo (junto con Fe) en nitrato reductasa. Las plantas deficientes en Mo no pueden formar nitrato reductasa activa y, por lo tanto, desarrollan síntomas de deficiencia de N que, en gran medida, pueden ser rectificadas suministrando NH_4^+ . Al igual que con el elemento macro Mg^{2+} , Mn^{2+} es indispensable como cofactor de la actividad de muchas enzimas, por ejemplo, quinasas, de las que pueden disociarse. También se sabe que el fosfato y el sulfato son activadores enzimáticos. Mn^{2+} y Cl⁻ tienen funciones catalíticas en el fotosistema II de fotosíntesis que aún no se han explicado completamente. La función metabólica de BO_3^{3-} fue durante mucho tiempo desconocida, pero ahora se piensa que este anión juega un papel importante en la regulación del metabolismo de los carbohidratos. El borato inhibe el ciclo oxidativo de pentosa fosfato, formando un complejo con gluconato-6-fosfato. Este ciclo funciona con una intensidad anormalmente alta en plantas deficientes en B. El boro

tiene efectos tóxicos, aunque sólo exista un exceso relativamente pequeño (Mohr y Schoper 1995).

2.3. Definición de términos

Factores: “Son características que involucra a dos o más modalidades, variantes o niveles diferentes”, según Benitez, Pece y Galindez (2010) pueden ser:

a) **Cualitativos:** “Son aquellos en los cuales los niveles definen o expresan una modalidad particular de las características del factor; cada nivel tiene un interés intrínseco o independiente de los otros niveles. Estos factores responden a las características de las variables cualitativas. Ej: Diferentes métodos de riego (manto, surco, aspersión)”. Ej: Variedades de un tratamiento cultural: método de poda, de raleo, forma de aplicación de productos terapéuticos, etc.

EJ: Variedad de una determinada especie incluye V1, V2 y V3

Factor = Variedad

Niveles = V1, V2, V3

b) **Cuantitativos:** “Son aquellos cuyos valores corresponden a cantidades numéricas, es decir valores inherentes a una variable cuantitativa.

Ej: Supongamos que en una experiencia se prueba fertilizar con diferentes dosis de nitrógeno N: 0-10-20-30 Kg/ha”.

Factor = Nitrógeno (N)

Niveles = N0, N1, N2, N3 que corresponden a las dosis 0-10-20 y 30

Ej: Dosis creciente de un fertilizante medido en kg del elemento por hectárea.

Ej: Diferentes dosis de un producto terapéutico. Ej: Concentración de diferentes drogas o reactivos. Ej: Diferentes T° de aplicación de tratamientos, etc.

Diseño en parcelas divididas o Split-Plot: Es una clase de diseño experimental para una estructura factorial de tratamietos. Generalmente se elige un diseño en parcelas divididas cuando uno de los factores es más difícil

o costoso para instalar, aunque también existen otras razones (Oehlert 2003). En este diseño los niveles de un factor se asignan aleatoriamente a las parcelas mayores o simplemente parcelas, y los niveles del otro factor se asigna aleatoriamente a las parcelas menores o subparcelas dentro de cada parcela, es decir las parcelas se dividen en subparcelas para la asignación de un segundo factor.

Efectos principales: “Es el efecto de un factor o variable independiente sobre una variable de respuesta, si el efecto del factor es significativo se entenderá que las diferencias de las medias entre los niveles del factor son significativas.

Efecto de interacción: Es el efecto recíproco entre 2 o más factores, o la modificación de efecto de un factor por la acción de otro u otros. El estudio de la interacción entre los factores es una de las características importantes en los experimentos factoriales. La posibilidad de estudios en forma conjunta de dos o más factores con sus correspondientes niveles, hace a los diseños factoriales muy útiles para investigaciones exploratorias y como un paso previo para concentrar posteriormente la atención en los aspectos que puedan ser de mayor interés, de acuerdo a las conclusiones generales que proporcionan estos experimentos” (Benitez, Pece y Galindez 2010)

Análisis de varianza (ANOVA): Oehlert (2003) define el ANOVA como: Un método para comparar el ajuste de dos modelos, uno a la versión reducida del otro. Estrictamente, se define como un procedimiento aritmético para particionar la variabilidad en un conjunto de datos en bits asociados con diferentes estructuras medias más un bit sobrante. (En realidad es solo el Teorema de Pitágoras, aunque hemos elegido nuestros triángulos correctos con mucho cuidado en el espacio N-dimensional.) Cuando además la estructura de error para los datos es normal independiente con varianza de variabilidad constante, podemos usar la información provista por un ANOVA para construir pruebas estadísticas que comparen las diferentes estructuras de medias o modelos con las medias que están representados en el ANOVA. El vínculo entre la descomposición de ANOVA para la variabilidad y las pruebas para los modelos es tan estrecho, sin embargo, que a veces

hablamos de pruebas a través del ANOVA aunque la prueba no es realmente parte del ANOVA.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación es de tipo Experimental

3.2. Diseño del estudio

La investigación se enmarca dentro del diseño de estudios analíticos observacionales experimentales. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas, conocido también como "Split-Plot", del tipo completamente aleatorizado (DCA).

El área de la plantación experimental, instalada en marzo de 2016, abarcó 1 040 m², originalmente el área estaba cubierta de pastos y arbustos, situado a una altitud de 235 msnm aproximadamente, adyacente a las instalaciones del vivero de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, con relieve plano.

Como 1° Factor se tuvo la Fertilización que consistió en dosis de Fertilización de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (NPK) en 3 niveles (Tabla 3) y 3 repeticiones, para un total de 9 parcelas. Para definir los tres niveles de NPK se tomó en cuenta la dosis de medición que se aplicó en diferentes dosis de fertilización con NPK.

Tabla 3: Dosificación de fertilización de NPK

Nivel o tratamiento	Dosificación	Equivalencia de dosis kilogramo por hectarea	Cantidad aplicada por planta
T1	2,7 kg de urea, 1,83 kg de SFT y 1,37 kg de KCl	150 kg ha de úrea, 101,7 kg ha de SFT y 76, kg ha de KCl	74, g
T2	3,6 kg de urea, 2,28 kg de SFT y 1,32 kg de KCl	200 kg ha de úrea, 126,7 kg ha de SFT y 73, kg ha de KCl	90, g
T3	4,5 kg de urea, 2,75 kg de SFT y 2,66 kg de KCl	250 kg ha de úrea, 152,8 kg ha de SFT y 147,7 kg ha de KCl	117,2 g

Como 2° factor se tuvo la Especie que consistió 4 diferentes especies de plantas: *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium*, *Cedrela odorata* e *Hymenaea oblongifolia*.

Las parcelas principales o simplemente parcelas, fueron rectangulares de 10 m de largo y 6 m de ancho, con distancia de 3 m entre cada parcela y 2 metros de bordadura.

En cada parcela, se plantaron 3 individuos de cada una de las 4 especies, totalizando 12 plantas; así cada grupo de 3 plantas por especie se constituyó como una subparcela dentro de cada parcela, conformando el diseño en parcelas divididas. Las plantas fueron distribuidas al azar, totalizando 108 plantas en la plantación experimental, 27 plantas por cada especie. Las parcelas fueron conformadas por seis hileras de dos plantas, con distanciamiento de 3 m entre cada hilera, dispuestas en sistema tresbolillo (Figura 1).

El modelo estadístico aplicado para Parcelas divididas (DPD) fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki} + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y = Obs. de la unidad experimental.

μ = Media general del ensayo.

γ_k = Efecto de los bloques.

τ_i = Efecto del tratamiento τ de la parcela

$(\gamma\tau)_{ki}$ = Error de la parcela [$E_{(a)}$].

β_j = Efecto del tratamiento β de la subparcela.

ϵ_{ijk} = Error de la subparcela

$(t\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los tratamientos de la parcela y subparcela.

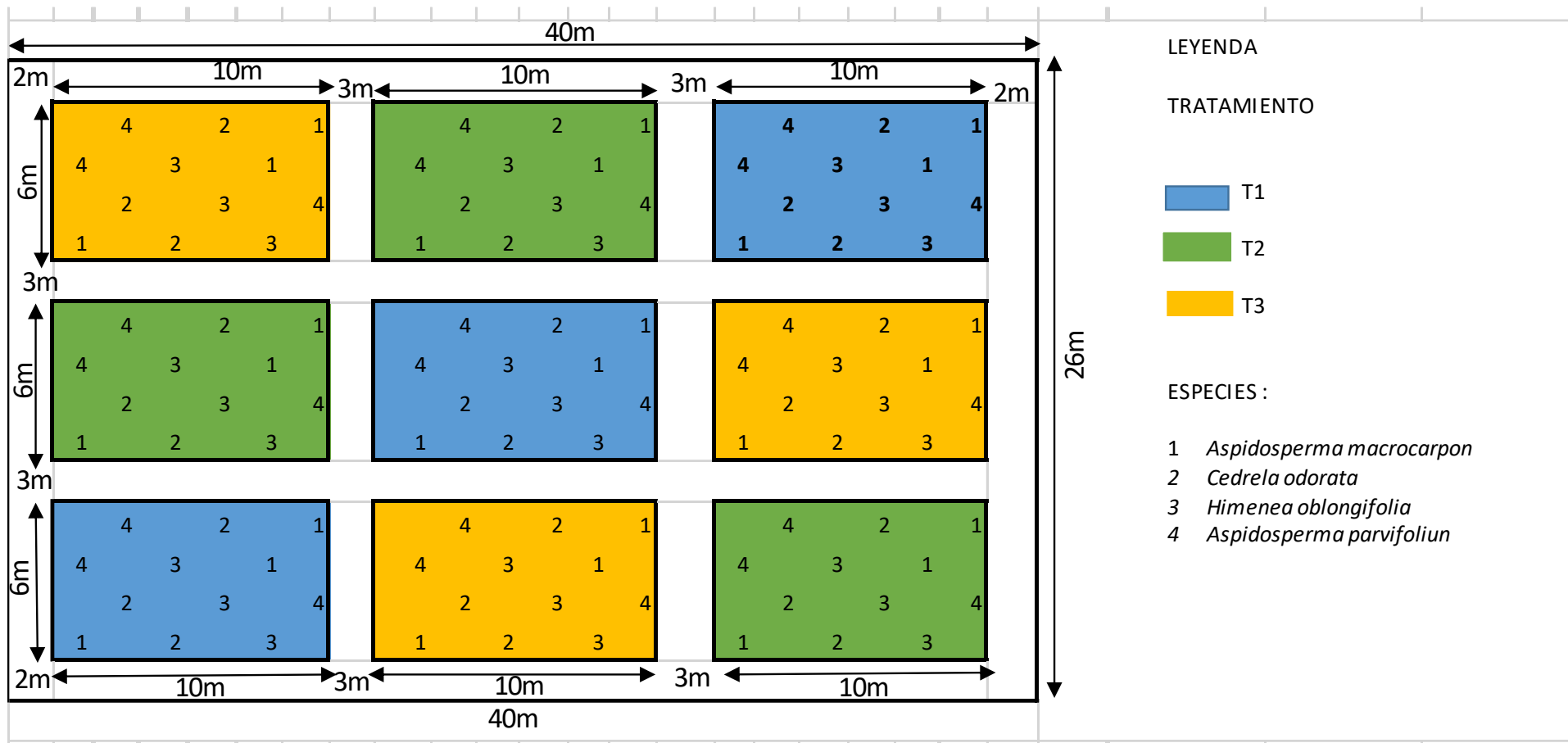


Figura 1: Croquis del diseño experimental de la plantación en campo

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

Por tratarse de un estudio de tipo experimental, la población estuvo conformada por todas las plantas (individuos) instaladas en la plantación experimental, la cual estuvo conformada por 108 plantas de la parcela útil (excluyendo las plantas de los bordes) y 72 plantas de los bordes de las parcelas, totalizando 180 plantas. Por cada especie, se tuvo una población de 45 plantas instaladas en el experimento.

3.3.2. Muestra

La muestra de la investigación lo conformaron las plantas útiles de las parcelas, es decir 108 plantas en total, 12 por cada parcela. La muestra por cada especie fue conformada por 27 plantas, 3 por cada parcela. A partir de las plantas que conformaron la muestra se evaluaron los efectos de la fertilización.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Lugar de estudio.

El estudio se localizó en un área del Fundo y Vivero El Bosque de la Universidad Nacional de Madre De Dios (UNAMAD), ubicado en el Km 16,5 de la Carretera Interoceánica sentido Puerto Maldonado-Iñapari, en el distrito Las Piedras, provincia Tambopata, departamento de Madre de Dios (Figura 2).

El Fundo y Vivero El Bosque, tiene una extensión de 428,5 hectáreas, se encuentra a una altitud entre 230 y 255 msnm, geográficamente se localiza entre las coordenadas 484 703 E y 8 620 418 N y 487 857 E y 8 662 141 N.

De acuerdo a la clasificación bioclimática de Holdridge (1971), se ubica en la zona de vida "Bosque húmedo subtropical (BH-Sff)". El bosque del lugar, se clasifica como Bosque de terrazas altas con rodales de Castaña (GOREMAD y IIAP 2009).

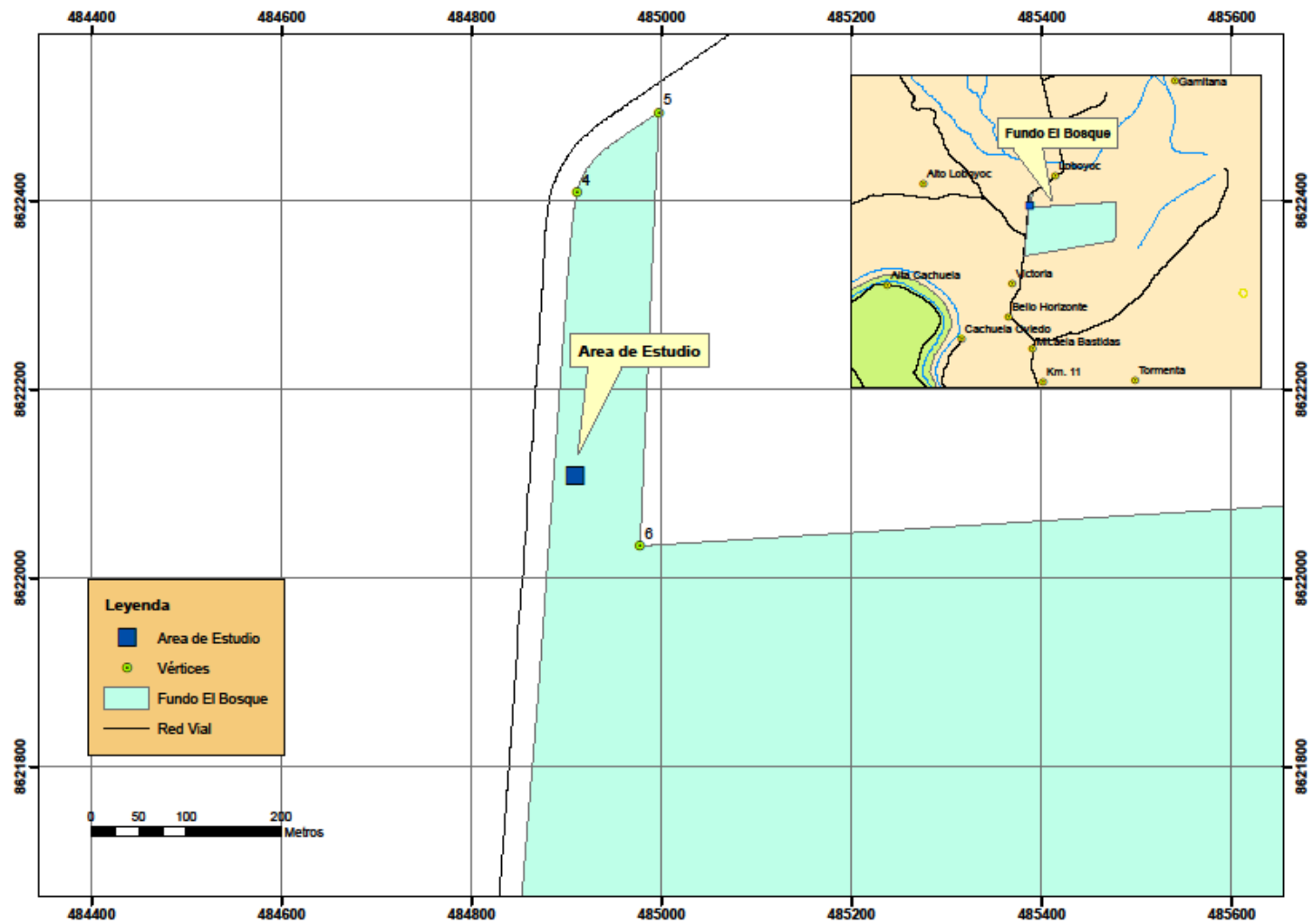


Figura 2: Mapa de ubicación del lugar de estudio

El clima del lugar se caracteriza por presentar una precipitación anual entre 2800 y 3000 mm, con una marcada estación seca de mayo a noviembre. Los meses más húmedos comprenden desde octubre y marzo (>200 mm/mes) mientras que en la temporada seca se presentan 2 ó 3 meses con menos de 100 mm de precipitación mensual, siendo agosto el mes más seco (<50 mm mes) (SENAMHI 2008).

Según datos de la Estación Meteorológica de la Marina de Guerra del Perú- Puerto Maldonado, 2008, la zona presenta altas precipitaciones pluviales características de los bosques sub tropicales, distinguiéndose dos periodos estacionales. Uno seco, entre mayo y noviembre, y otro lluvioso, entre diciembre y abril; en los últimos 10 años, con una máxima mensual de 695 mm, y una máxima anual de 2 791 mm.

La temperatura media anual varía entre 24°C y 25°C; y la precipitación pluvial entre 1 000 y 2 000 milímetros, aunque es característica la presencia de las masas de vientos fríos provenientes del Sur entre los meses de junio y Agosto, común en toda la región (GOREMAD y IIAP 2009)

Los suelos del lugar son del tipo Typic Dystrudepts-Typic Rodhuidults; se clasifican como Cambisoles, originados a partir de sedimentos aluviales antiguos y residuales, son superficiales a moderadamente profundos, de textura media a moderadamente fina, de drenaje moderadamente lento a bueno (IUSS Grupo de Trabajo WRB 2007; GOREMAD y IIAP 2009).

3.4.2. Instalación y manejo de la plantación experimental

a. Preparación del sitio

El sitio de la plantación fue limpiado de las malezas y arbustos, asimismo se hizo una quema controlada antes del inicio del establecimiento de la plantación, con la finalidad de eliminar los restos vegetales de cultivos anteriores que existían en el área, factor que podía haber afectado el crecimiento de las plantas.

b. Establecimiento de la plantación

Para la plantación se utilizó el sistema cepa común (hoyos cúbicos) con dimensiones de 40 cm de ancho, 40 cm de largo y 40 cm de profundidad)

(Figura 3). Las cepas se abrieron en el mes de marzo, luego fueron rociados con la finalidad de permitir la aireación e intemperización del material dentro de la cepa.

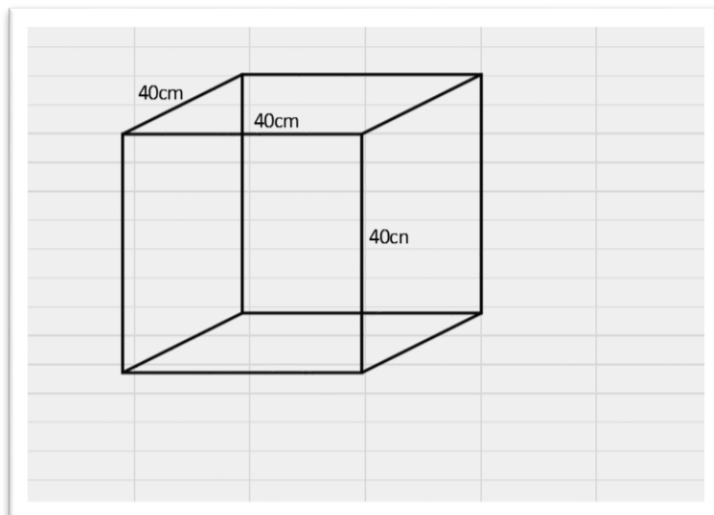


Figura 3: Hoyos cúbicos de 40 cm de largo, 40 cm de ancho y 40 cm de profundidas (cepa común)

c. Fertilización

En el mes marzo de 2016 se inició con la preparación de las dosis de fertilización. Se procedió a pesar los insumos fertilizantes, en una balanza electrónica de precisión, según las dosis aplicadas en cada tratamiento:

Para el tratamiento 1 (T1) se separó 2,7 kg de úrea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), 1,83 kg de superfosfato triple ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$), 1,37 kg de cloruro de potasio (KCl), totalizando 5,9 kg de nutrientes; posteriormente luego se procedió a mezclar los tres insumos; correspondiendo 74 g de dosis de fertilizante para cada una de las 108 plantas.

Para el Tratamiento 2 (T2) segunda dosis, se utilizó: 3,6 kg de úrea, 2,28 kg de superfosfato triple y 1,32 kg de cloruro de potasio, después de mezclar se obtuvo 7,20 kg, correspondiendo 90 g como segunda dosis.

El Tratamiento 3 (T3), se tuvo 4,5 kg de úrea, 2,75 kg de superfosfato triple, y 2,06 kg de cloruro de potasio, después de mezclar estos insumos se obtuvo 9,31 kg de fertilizante NPK, correspondiendo una dosis de 117 g a cada planta.

3.4.3. Medición del crecimiento y sobrevivencia de las plantas

En marzo de 2016, una semana después de instalarse la plantación y aplicado los tratamientos de fertilización, se realizó la primera evaluación del crecimiento y sobrevivencia de las plantas. Posteriormente en octubre de 2016, 8 meses después del plantío, se realizó la segunda evaluación del crecimiento y sobrevivencia de las plantas. La tercera y última evaluación se realizó en agosto de 2017, después de 17 meses del plantío.

La evaluación del crecimiento y sobrevivencia fueron realizados de la siguiente manera:

Sobrevivencia: Se realizó el conteo de los individuos vivos en cada unidad experimental, calculándose posteriormente el porcentaje de sobrevivencia en relación al número total de plantas instaladas, por especie.

$$\text{Sobrevivencia}\% = \frac{\text{Total de individuos vivos}}{\text{Total de individuos plantados}}$$

Diámetro basal: Se midió el diámetro en la base del tallo de cada planta viva por especie, utilizando un vernier o calibrador con precisión de 0,01 mm.

Altura de las plantas: Se midió la altura total de cada planta viva por especie desde la superficie del suelo hasta la última hoja, utilizando una cintra métrica.

Las mediciones se realizaron durante las primeras horas de la mañana entre las 6 am - 9 am.

3.5. Tratamiento de los datos

Los datos fueron sistematizados en hojas de cálculo Excel, posteriormente mediante el software estadístico SAS 9.3, se realizaron análisis exploratorios de los datos para verificar el cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza y la existencia de "outliers", para el posterior análisis de varianza (ANOVA).

Una vez verificado el cumplimiento de los supuestos, se realizó el ANOVA con el modelo de diseño de Parcelas divididas del tipo completamente aleatorizado, tomando como 1° factor de parcela a la Fertilización, y como 2° factor de subparcela a la Especie. En los casos de efecto significativo de la

interacción Fertilización × Especie, se realizaron análisis de efectos simples del factor Fertilización, separadamente en las especies *Cedrela odorata* L., *Aspidosperma macrocarpon* Mart., *Aspidosperma parvifolium* A.DC. e *Hymenaea oblongifolia* Huber, con la finalidad de verificar el efecto de las diferentes dosis de fertilización en cada especie. Asimismo, ante la existencia de efecto significativo del factor fertilización, se realizaron comparaciones múltiples de Tukey a un 95% de confiabilidad para encontrar que dosis de fertilización incrementan significativamente el crecimiento y sobrevivencia de las plantas, así como encontrar todas las diferencias significativas existentes entre las dosis. Por último, para conocer la distribución del conjunto de datos se elaboraron diagramas de caja.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Efecto de las dosis de fertilización en el crecimiento en diámetro de las plantas

El análisis exploratorio de los datos, para verificación de las presuposiciones del análisis de varianza (ANOVA) reveló una observación discrepante “*outlier*”, en el diámetro a la 1° semana, la cual fue descartada (Anexo 2). En las observaciones de diámetro a los 8 meses después del plantío, inicialmente se verificaron distribuciones no normales y heterocedasticidad de varianzas de los residuos; por tanto, fue necesario realizar transformación de las observaciones, del tipo potencia 0,2 (Anexo 2), para cumplimiento de las presuposiciones del ANOVA. En contraste, en las observaciones del diámetro a los 17 meses, presentaron una distribución normal y homogeneidad de varianzas, en ausencia de *outliers*.

En las Figuras 4, 5 y 6 se muestran los gráficos de “Q-Q Plot” y “Residuos vs. Predichos”, que verifican respectivamente el cumplimiento de distribución normal y homogeneidad de varianzas de los residuos, de la variable diámetro en los tres periodos evaluados.

Para los tres grupos, en los gráficos Q-Q Plot (Cuantil-Cuantil) (Figura 4a, 5a y 6a) se observa que los puntos (residuos) se ajustan a la recta formada a partir de la relación de los cuantiles de la normal y los cuantiles observados, lo que indica el cumplimiento de la normalidad. En los otros gráficos de Residuos vs. Predichos (Figura 4b, 5b y 6b) se observa que los puntos se distribuyen desordenadamente en el plano sin ningún patrón que pueda indicar heterocedasticidad de varianzas. Por tanto, las observaciones de las variables Diámetro cumplen las presuposiciones del ANOVA.

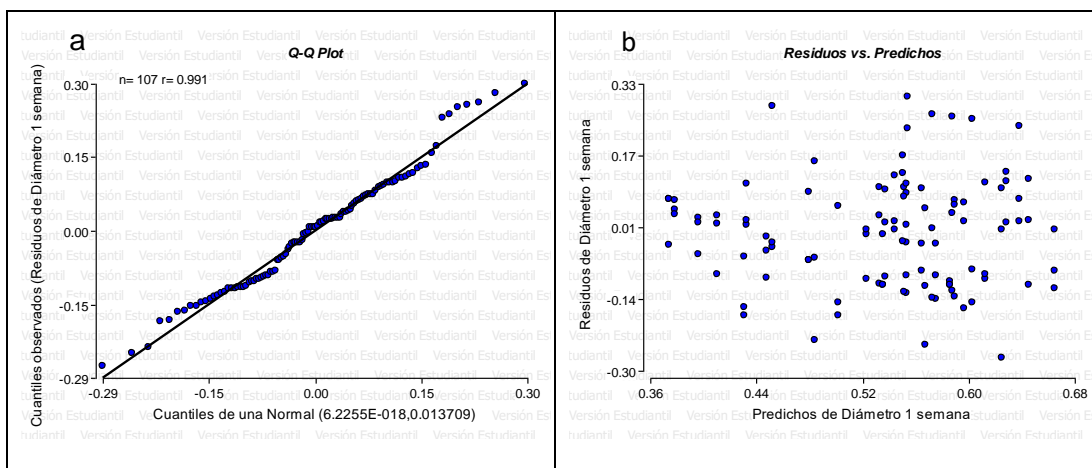


Figura 4: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homogeneidad de varianzas (b), de la variable Diámetro en la semana 1 después del plantío.

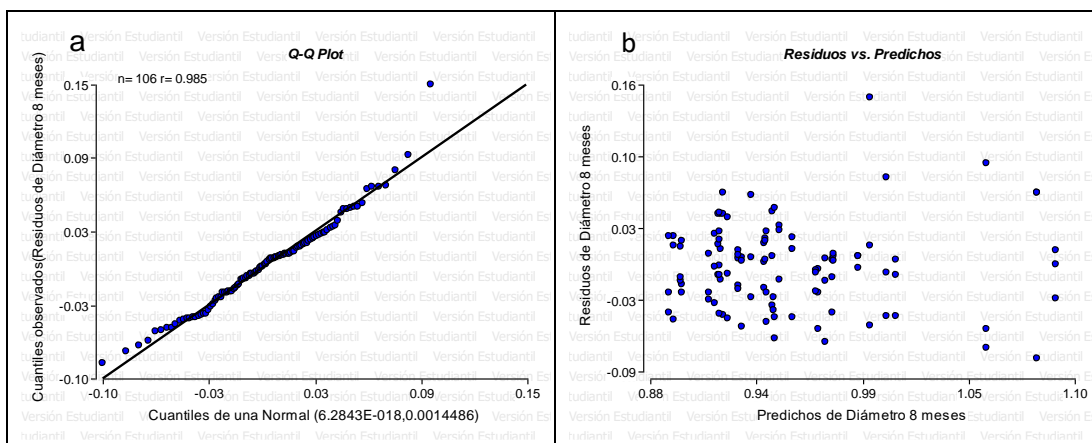


Figura 5: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homogeneidad de varianzas (b), de la variable Diámetro a los 8 meses después del plantío.

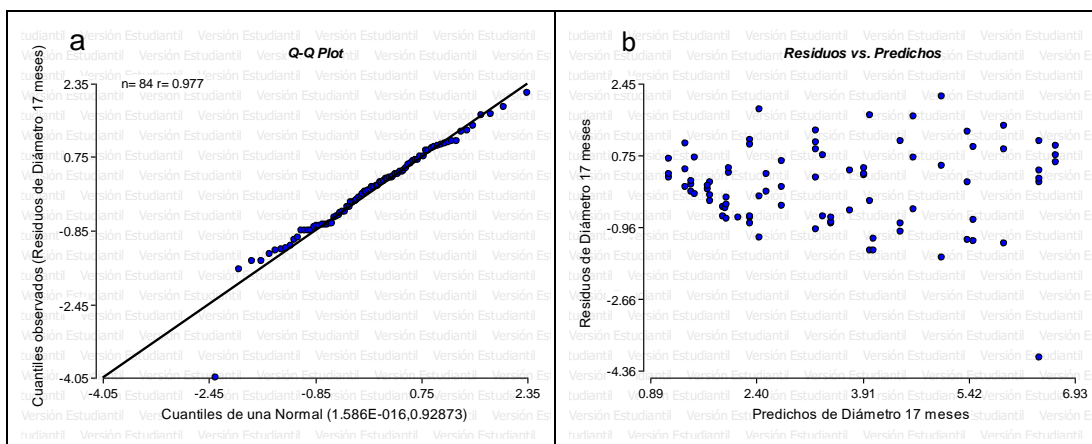


Figura 6: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homegeneidad de varianzas (b), de la variable Diámetro a los 17 meses después del plantío.

En la Tabla 4, se muestra la prueba de Shapiro-Wilks (modificado), que determina, mediante el contraste de hipótesis, si la muestra proviene de una población normalmente distribuida (aceptación de H_0) o si proviene de otra distribución de probabilidad diferente a la normal (rechazo de H_0) al nivel de 0,05 de significancia. En los tres casos, se verifica, que existe distribución normal de las observaciones (valor $p > 0,05$), comprobando los resultados deducidos de los gráficos Q-Q Plot.

Tabla 4: Prueba Shapiro-Wilks (modificada) de los residuos de las variables Diámetro en los tres periodos evaluados, para verificación de distribución normal de los residuos.

Variable	n	Media	D.E.	W	Valor p
Residuos de Diámetro 1 semana	107	0,00	0,12	0,97	0,147
Residuos transformados de Diámetro 8 meses *	106	0,00	0,04	0,98	0,379
Residuos de Diámetro 17 meses	84	0,00	0,96	0,97	0,349

* Proviene de las observaciones transformadas con potencia 0,2. "D.E" significa desviación estándar. "W" representa el estadístico de Shapiro-Wilks. "n" representa al número total de observaciones.

Con las verificaciones previas del cumplimiento de presuposiciones, se procedió a la ejecución del análisis de varianza.

El análisis de varianza para el diámetro indicó que no existieron diferencias significativas entre las distintas dosis de fertilización NPK aplicada respecto al diámetro alcanzado por las plantas 1 semana después del plantío ($p=0,0650 >0,05$). Sin embargo, si existieron diferencias significativas entre las especies estudiadas ($p=0,0018 <0,05$), no obstante, las diferencias de crecimiento entre especies no fueron de interés de la presente investigación. La interacción de Fertilización \times Especie no fue significativa ($p=0,1887 >0,05$) por tanto el efecto de la fertilización fue similar en todas las especies (Tabla 5).

Tabla 5: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, del diámetro de las plantas, 1 semana después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilizacion	2	0,12	0,06	4,46	0,0650
Especie	3	0,27	0,09	5,43	0,0018
Fertilizacion*Especie	6	0,15	0,02	1,5	0,1887
Repetición(Fertilización)	6	0,08	0,01	0,85	0,5339
Residual	89	1,45	0,02		

Similarmente, los diámetros de las plantas medidos 8 meses después del plantío, no presentaron diferencias significativas entre las dosis de fertilización de NPK aplicadas ($p=0,0670 >0,05$) indicado efecto no significativo de la fertilización; sin embargo, el efecto de interacción Fertilización \times Especie fue significativo ($p=0,0036 <0,05$) (Tabla 6) indicando que los efectos de la fertilización pueden ser diferentes dependiendo de la especie. De hecho, en la Figura 5 se observa que el tratamiento T3 incrementó significativamente el diámetro en la especie *Cedrela odorata*.

Tabla 6: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, del diámetro de las plantas, 8 meses después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilización	2	0,02	0,01	4,39	0,0670
Especie	3	0,18	0,06	34,83	<0,0001
Fertilización*Especie	6	0,03	0,00	2,6	0,0230
Repetición(Fertilización)	6	0,01	0,00	1,35	0,2444
Residual	88	0,15	0,00		

Los valores mostrados, provienen de observaciones transformadas con potencia 0,2.

Por último, después de 17 semanas de evaluación del diámetro, los resultados mostraron que no existió diferencias significativas del diámetro de las plantas fertilizadas con las diferentes dosis de NPK ($p=0,1389 >0,05$), asimismo, el efecto de interacción Fertilización \times Especie no fue significativo ($p=0,1046 >0,05$), indicando que los efectos de las dosis de fertilización son similares en todas las especies (Tabla 7).

Tabla 7: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, del diámetro de las plantas, 17 meses después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilización	2	4,96	2,48	2,62	0,1389
Especie	3	183,37	61,12	52,33	<,0001
Fertilización*Especie	6	12,90	2,15	1,84	0,1046
Repetición(Fertilización)	6	5,57	0,93	0,79	0,5773
Residual	66	77,08	1,17		

Las diferencias de diámetro encontrada entre las plantas fertilizados con T1, T2 y T3 fueron pequeñas, sin embargo, las diferencias fueron incrementándose a mayor tiempo (Tabla 8). Después de 8 y 17 meses, la dosis de fertilización T3 incrementó el diámetro de las plantas en 0,14 cm a 0,15 cm y 0,05 cm a 0,69 cm respectivamente, respecto a las dosis T1 y T2. Las especies crecieron a ritmos diferentes; al final de la evaluación *Cedrela odorata* se destacó por su mayor diámetro en relación a las demás especies, en contraste, *Aspidosperma macrocarpon* tuvo el menor diámetro (Tabla 8).

Tabla 8: Media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) y error estándar (EE) del diámetro de las plantas, por tratamiento de fertilización y especie, en cada periodo.

Factor	Nivel	Diámetro después de 1 semana		Diámetro después de 8 meses		Diámetro después de 17 meses	
		Media (cm)	EE (cm)	Media (cm)	EE (cm)	Media (cm)	EE (cm)
Fertilización	T1	0,58	0,03	0,77	0,04	3,40	0,20
	T2	0,50	0,03	0,78	0,04	2,76	0,18
	T3	0,56	0,03	0,93	0,04	3,45	0,18
Especie	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	0,51	0,04	0,63	0,04	1,63	0,29
	<i>Cedrela odorata</i>	0,57	0,04	1,16	0,04	5,60	0,21
	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	0,64	0,04	0,79	0,04	3,55	0,21
	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	0,47	0,04	0,72	0,04	2,03	0,23

La Figura 7 representa gráficamente los resultados mostrados en el análisis de varianza (Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7). Obsérvase que, en las tres evaluaciones realizadas del diámetro de las plantas, las diferencias de

diámetro alcanzados con la aplicación de las dosis de fertilización fueron no significativas.

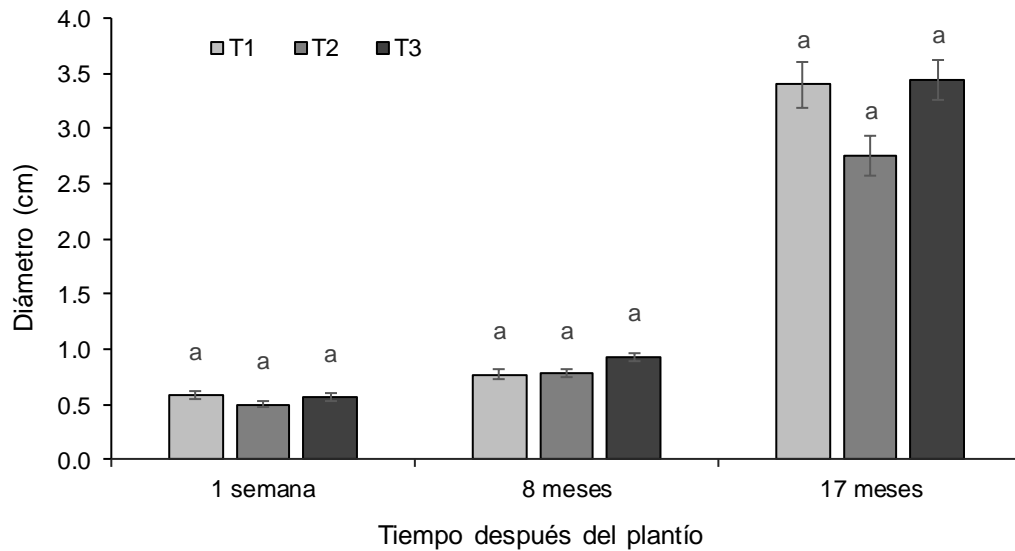


Figura 7: Comparación múltiple del diámetro medio (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p > 0,05$).

Las comparaciones de medias por separado para cada especie (Figura 8), indicaron que sólo en *Cedrela odorata* a los 8 meses se presentó un efecto significativo de la Fertilización con la dosis T3 promoviendo el crecimiento en diámetro de las plantas de esta especie. A los 17 meses también se observó un mayor diámetro de las plantas fertilizadas con T3, sin embargo, las diferencias no fueron significativas con respecto a las otras dosis de fertilización. En las demás especies las dosis de fertilización aplicadas presentaron similares diámetros, sin diferencias significativas entre ellas.

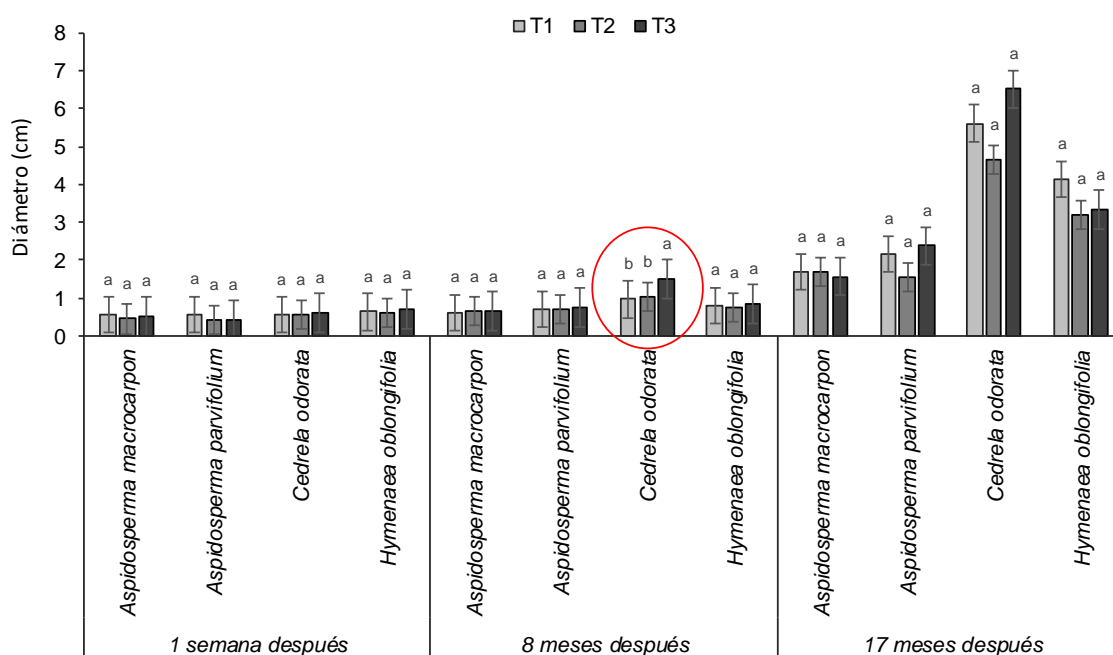


Figura 8: Comparación múltiple del diámetro medio (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo y especie. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p > 0,05$). La figura en rojo destaca las diferencias significativas encontradas en el diámetro medio de *Cedrela odorata* entre los tratamientos de fertilización.

El efecto no significativo de las dosis de fertilización en la mayoría de las especies, fue debido a una irregular distribución de los diámetros de los individuos. Los diagramas de caja (Figura 9 y Figura 10) muestran que en todos los casos las distribuciones de los diámetros fueron asimétricas (la mediana representada por la línea dentro de la caja se ubica lejos de la parte central de la caja) principalmente para los conjuntos de datos del tratamiento T1 y T2 y, además de la presencia de valores atípicos (representados como puntos, valores muy por encima de los máximos y mínimos) en la mayoría de los conjuntos de datos, como también grande variabilidad de los datos representados en las cajas largas representado el 50% de los datos, y por último valores mínimos y máximos muy extremos representados por los bigotes (líneas encima y debajo de las cajas).

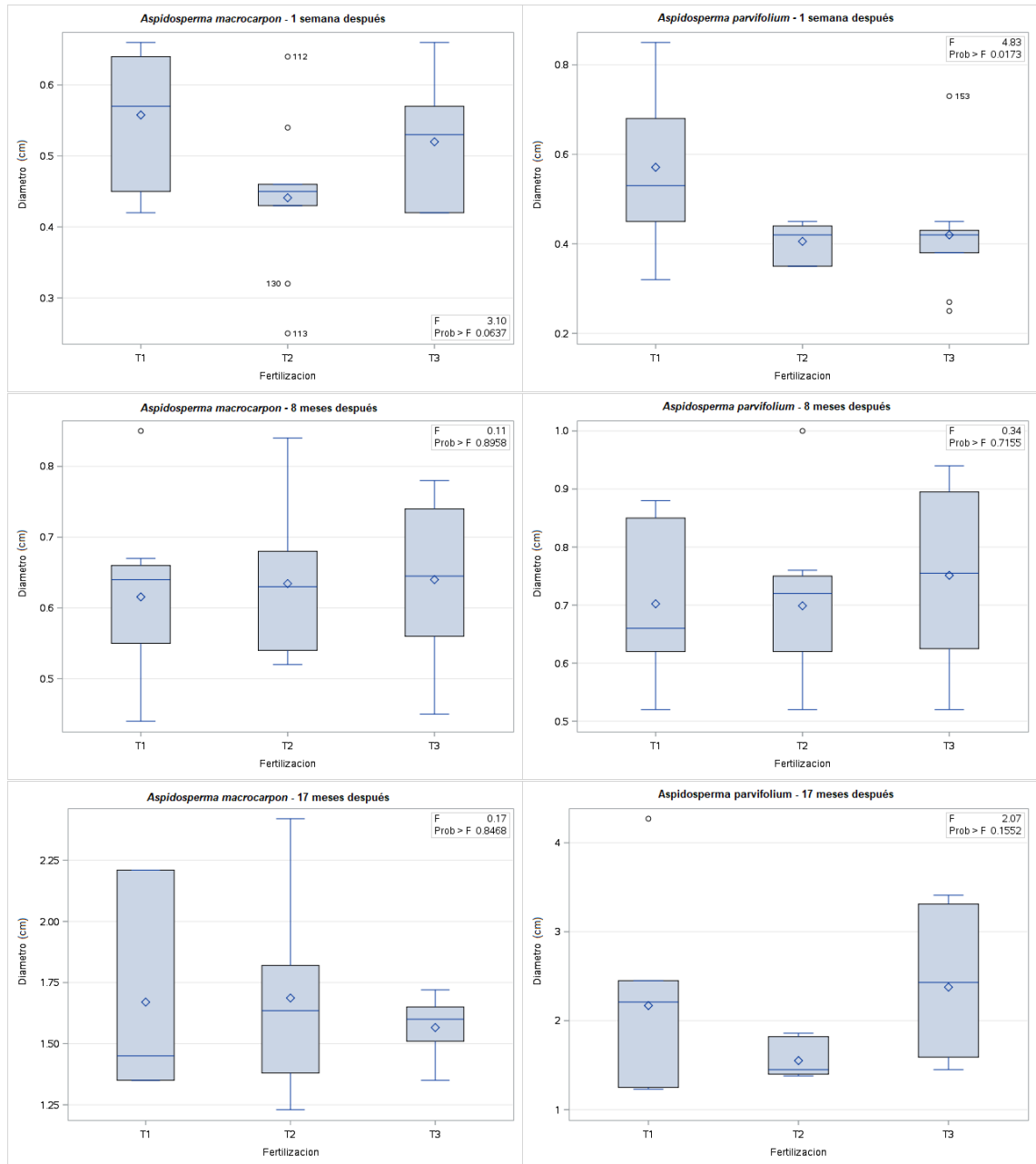


Figura 9: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de diámetro para las especies *Aspidosperma macrocarpon* y *Aspidosperma parvifolium* en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.

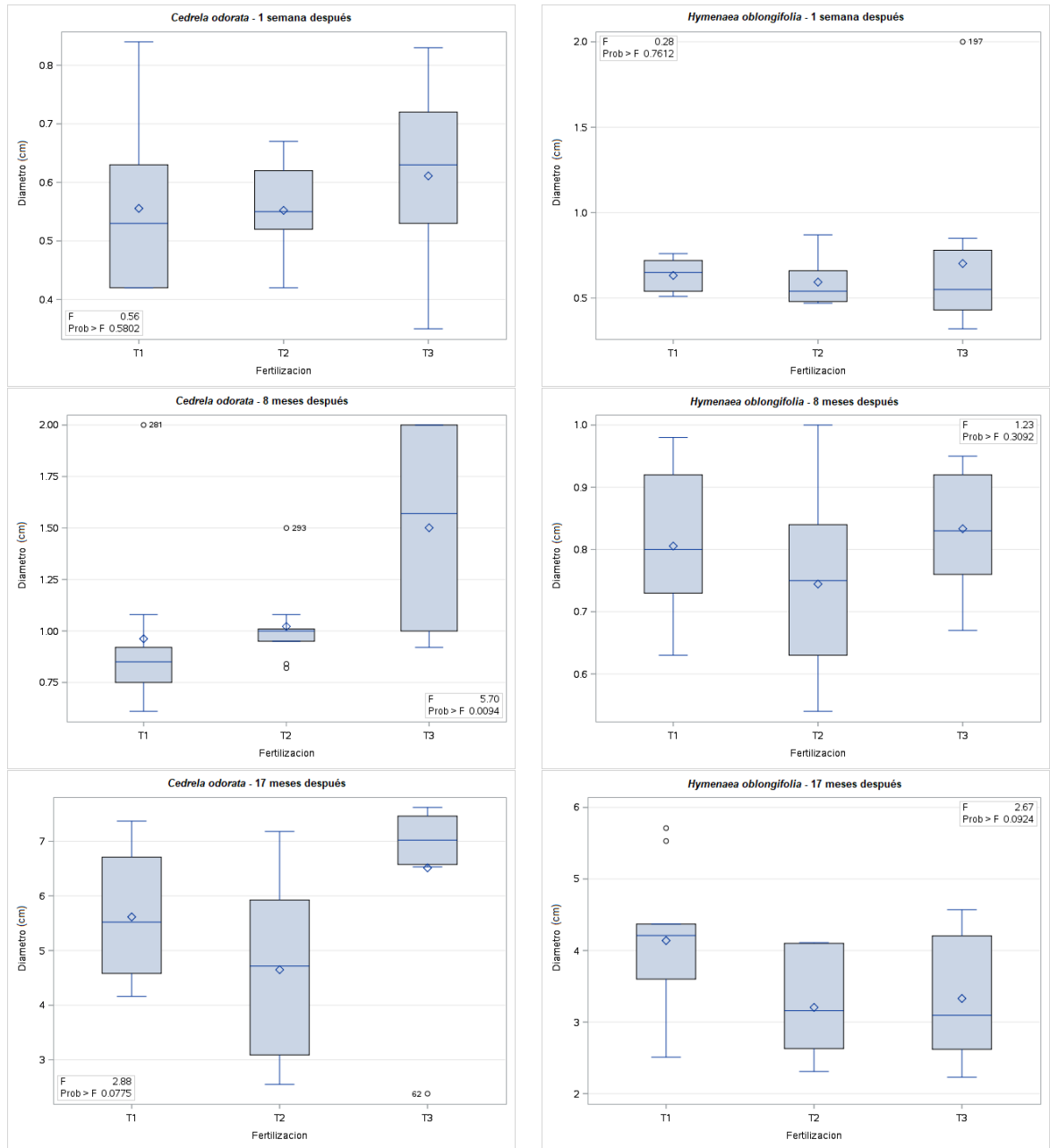


Figura 10: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de diámetro para las especies *Cedrela odorata* y *Hymenaea oblongifolia* en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.

4.2. Efecto de las dosis de fertilización en el crecimiento en altura de las plantas

El análisis exploratorio de los datos, para verificación de las presuposiciones del análisis de varianza (ANOVA) revelaron distribuciones no normales y heterocedasticidad de varianzas de los residuos de la variable altura en la 1° semana y a los 8 meses después del plantío (Figura 11 y Figura 12). Por tanto,

fue necesario realizar transformación de las observaciones, del tipo recíproco (conocido también como transformación inversa) para las observaciones de altura en la semana 1, y transformación de potencia 0,2 para las observaciones de la altura a los 8 meses (Anexo 3), con la finalidad de ajustar los residuos a la distribución normal con homogeneidad de varianzas. A diferencias de estas dos variables, las observaciones de la altura a los 17 meses, presentaron una distribución normal y homogeneidad de varianzas, en ausencia de *outliers*.

En las Figuras 11, 12 y 13 se muestran los gráficos de “Q-Q Plot” y “Residuos vs. Predichos”, que verifican respectivamente el cumplimiento de distribución normal y homogeneidad de varianzas de los residuos, de la variable altura en los tres periodos evaluados.

Para los tres grupos, en los gráficos Q-Q Plot (Cuantil-Cuantil) (Figura 11a, 12a y 13a) se observa que los puntos (residuos) se ajustan a la recta formada a partir de la relación de los cuantiles de la normal y los cuantiles observados, lo que indica el cumplimiento de la normalidad. En los otros gráficos de Residuos vs. Predichos (Figura 11b, 12b y 13b) se observa que los puntos se distribuyen desordenadamente en el plano sin ningún patrón que pueda indicar heterocedasticidad de varianzas. Por tanto, las observaciones de las variables Diámetro cumplen las presuposiciones del ANOVA.

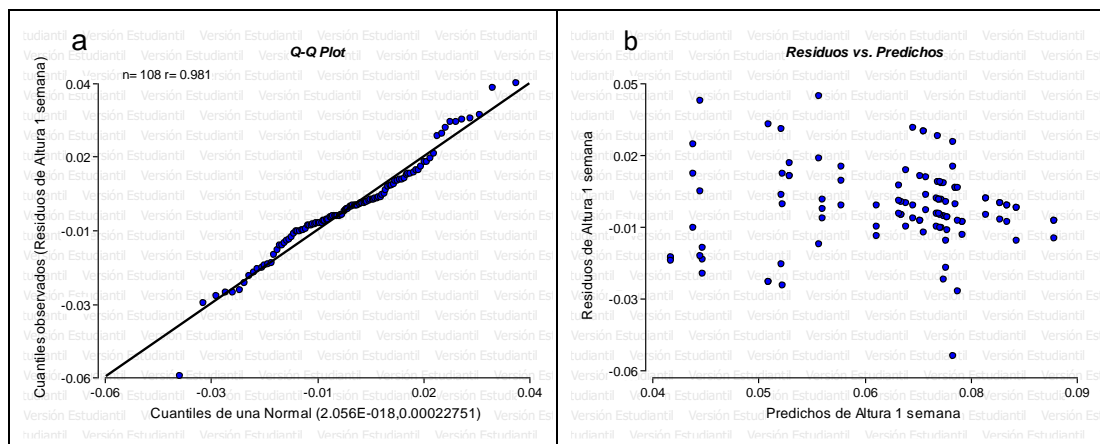


Figura 11: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homegeneidad de varianzas (b), de la variable Altura en la semana 1 después del plantío.

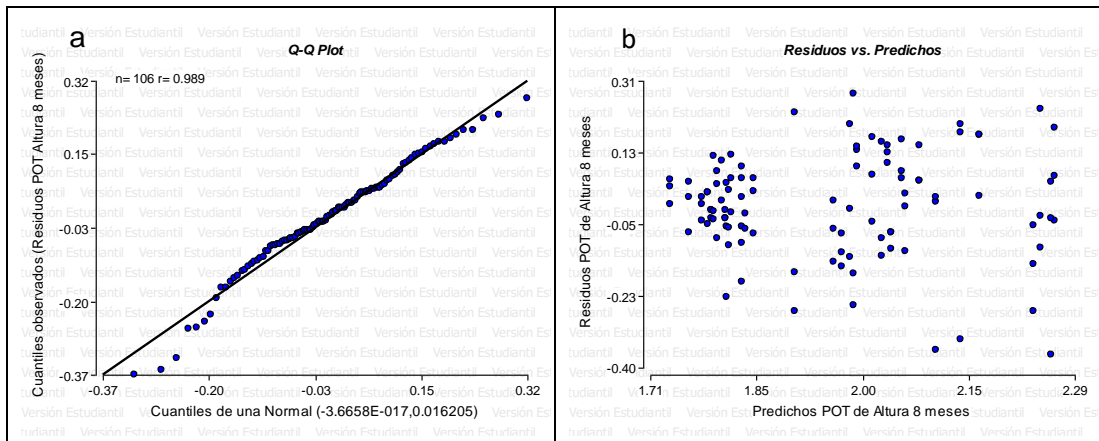


Figura 12: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homogeneidad de varianzas (b), de la variable Altura a los 8 meses después del plantío.

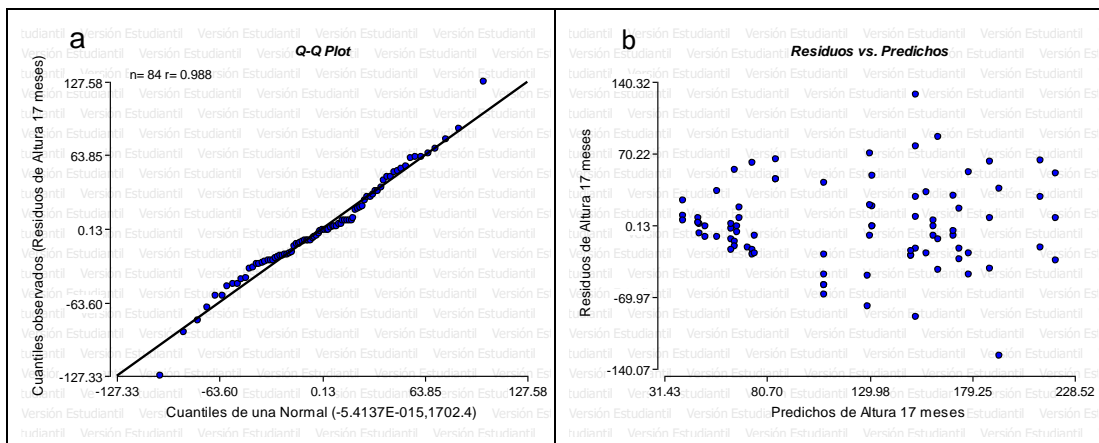


Figura 13: Gráfico Cuantil-Cuantil para verificación de normalidad de los residuos (a) y gráfico de Residuos vs. Predichos para verificación de homogeneidad de varianzas (b), de la variable Altura a los 17 meses después del plantío.

En la Tabla 9, se muestra la prueba de Shapiro-Wilks (modificado), que determina, mediante el contraste de hipótesis, si la muestra proviene de una población normalmente distribuida (aceptación de H_0) o si proviene de otra distribución de probabilidad diferente a la normal (rechazo de H_0) al nivel de 0,05 de significancia. En los tres casos, se verifica, que existe distribución normal de las observaciones (valor $p > 0,05$), comprobando los resultados deducidos de los gráficos Q-Q Plot.

Tabla 9: Prueba Shapiro-Wilks (modificada) de los residuos de las variables Altura en los tres periodos evaluados, para verificación de distribución normal de los residuos.

Variable	n	Media	D.E.	W*	Valor p
Residuos transformados de Altura 1 semana *	108	0,00	0,02	0,97	0,220
Residuos transformados de Altura 8 meses **	106	0,00	0,13	0,97	0,142
Residuos de Altura 17 meses	84	0,00	41,26	0,99	0,955

*Proviene de la transformación recíproca (o inversa) de las observaciones. **Proviene de las observaciones transformadas con potencia 0,2. "D.E" significa desviación estándar. "W" representa el estadístico de Shapiro-Wilks. "n" representa al número total de observaciones.

Con las verificaciones previas del cumplimiento de presuposiciones, se procedió a la ejecución del análisis de varianza.

Los análisis de la altura de las plantas, mostraron resultados similares a lo observado en el diámetro. Las diferentes dosis de fertilización aplicada no tuvieron efecto significativo en la altura total media de las plantas, en la primera evaluación del crecimiento (1 semana después del plantío); es decir no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización ($p=0,2642 >0,05$) (Tabla 10). Asimismo, la interacción Fertilización x Especie no fue significativa ($p=0,9014 >0,05$).

Tabla 10: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la altura de las plantas, 1 semana después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilización	2	0,001	0,000	1,68	0,2642
Especie	3	0,010	0,004	16,07	<0,0001
Fertilización*Especie	6	0,001	0,000	0,36	0,9014
Repetición(Fertilización)	6	0,002	0,000	0,9	0,5006
Residual	90	0,020	0,000		

Los valores mostrados, provienen de observaciones transformadas del tipo recíproco (inversa).

De la misma forma, en la segunda evaluación (8 meses después del plantío), el análisis de varianza (Tabla 11) mostró efecto no significativo de la

fertilización, sin embargo, hubo efecto significativo de la interacción Fertilización × Especie, indicando que, dependiendo de la especie, la fertilización tendrá diferentes efectos. En la Figura 15 se muestra la descomposición de los efectos de la interacción en efectos simples dentro de cada especie; donde el tratamiento T3 incrementó significativamente la altura de las plantas de *Cedrela odorata*, similar a lo encontrado en los resultados de diámetro.

Tabla 11: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la altura de las plantas, 8 meses después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilización	2	0,05	0,03	0,35	0,7167
Especie	3	1,83	0,61	31,63	<0,0001
Fertilización*Especie	6	0,28	0,05	2,38	0,0356
Repetición(Fertilización)	6	0,45	0,07	3,86	0,0018
Residual	88	1,7	0,02		

Los valores mostrados, provienen de observaciones transformadas del tipo potencia 0,2.

Finalmente, en la última evaluación (17 meses después del plantío), la fertilización no mostró efecto significativo en la altura de las plantas ($p=0,453 >0,05$) (Tabla 12), el mismo efecto se encontró para la interacción Fertilización × Especie ($p=0,1264 >0,05$).

Tabla 12: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la altura de las plantas, 17 meses después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilización	2	2469,89	1234,94	0,88	0,453
Especie	3	194926,00	64975,00	30,35	<,0001
Fertilización*Especie	6	22303,00	3717,16	1,74	0,1264
Repetición(Fertilización)	6	8064,46	1344,08	0,63	0,7074
Residual	66	141296,00	2140,85		

La diferencia de los valores medios de la altura de las plantas fertilizadas con la dosis T3 en relación a los tratamientos T1 y T2, fue mínima después de 1 semana del plantío, siendo menor a T1 y T2 en 2,17 cm y 1,25 cm

respectivamente; las diferencias aumentaron después de 8 y 17 meses, siendo T3 mayor a T1 y T2 en en 3,39 cm - 5,36 cm, y 6,53 cm - 18,45 cm respectivamente (Tabla 13).

Las plantas de *Hymenaea oblongifolia* fueron inicialmente más altas que las otras especies, pero posterior a 8 y 17 meses las plantas de *Cedrela odorata* destacaron como las de mayor altura, seguidas de *Hymenaea oblongifolia* (Tabla 13).

Tabla 13: Media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) y error estándar (EE) de la altura de las plantas, por tratamiento de fertilización y especie, en cada periodo.

Factor	Nivel	Altura después de 1 semana		Altura después de 8 meses		Altura después de 17 meses	
		Media (cm)	EE (cm)	Media (cm)	EE (cm)	Media (cm)	EE (cm)
Fertilización	T1	19,03	1,70	31,39	3,80	115,92	7,81
	T2	15,61	1,70	29,42	3,80	104,00	6,61
	T3	16,86	1,70	34,78	3,84	122,45	6,92
Especie	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	14,52	1,61	20,77	3,06	77,42	12,16
	<i>Cedrela odorata</i>	14,11	1,61	47,96	3,02	178,72	8,69
	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	26,15	1,61	36,96	3,02	143,56	8,92
	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	13,89	1,61	21,75	3,06	56,79	9,52

A lo largo de 17 meses de evaluación, no se presentaron diferencias significativas de altura total de las plantas entre los tratamientos de fertilización aplicados (Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12). Después de 8 y 17 meses de crecimiento, se observó que la altura de las plantas fertilizadas con la dosis T3 era levemente mayor que las plantas fertilizadas con las dosis T1 y T2, sin embargo, las diferencias fueron no significativas (Figura 14).

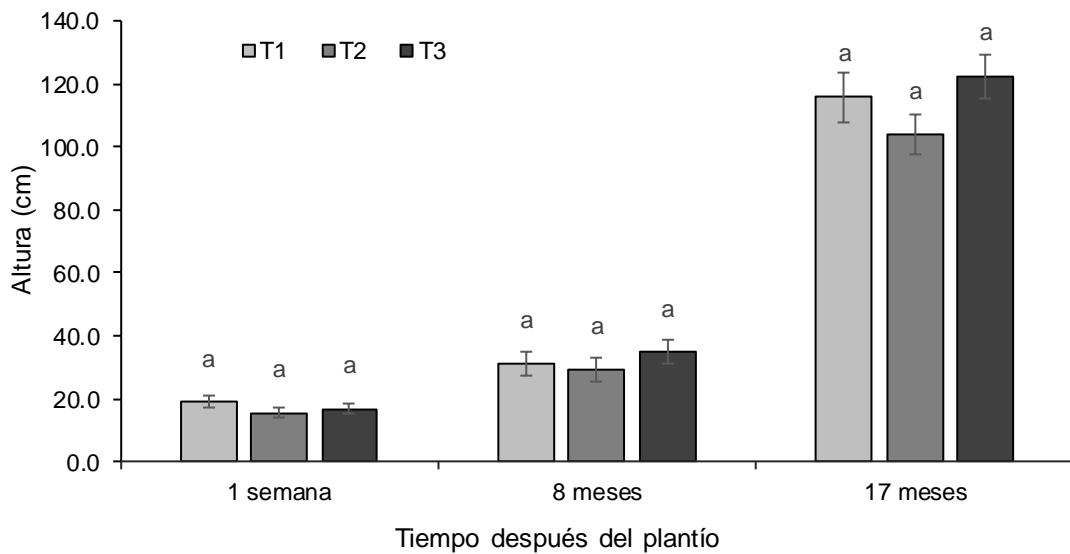


Figura 14: Comparación múltiple de la altura media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p > 0,05$).

Si bien en general no hubo efecto significativo de la fertilización en la altura de las plantas, las comparaciones múltiples por separado para cada especie (Figura 15), revelaron claramente las interacciones significativas descritas en la Tabla 6. Así, en *Cedrela odorata* la fertilización con la dosis T3 se incrementó significativamente la altura de las plantas, 8 meses después del plantío.

En las demás especies, se reafirma la ausencia de efecto significativo de los tratamientos de fertilización aplicados (Figura 15).

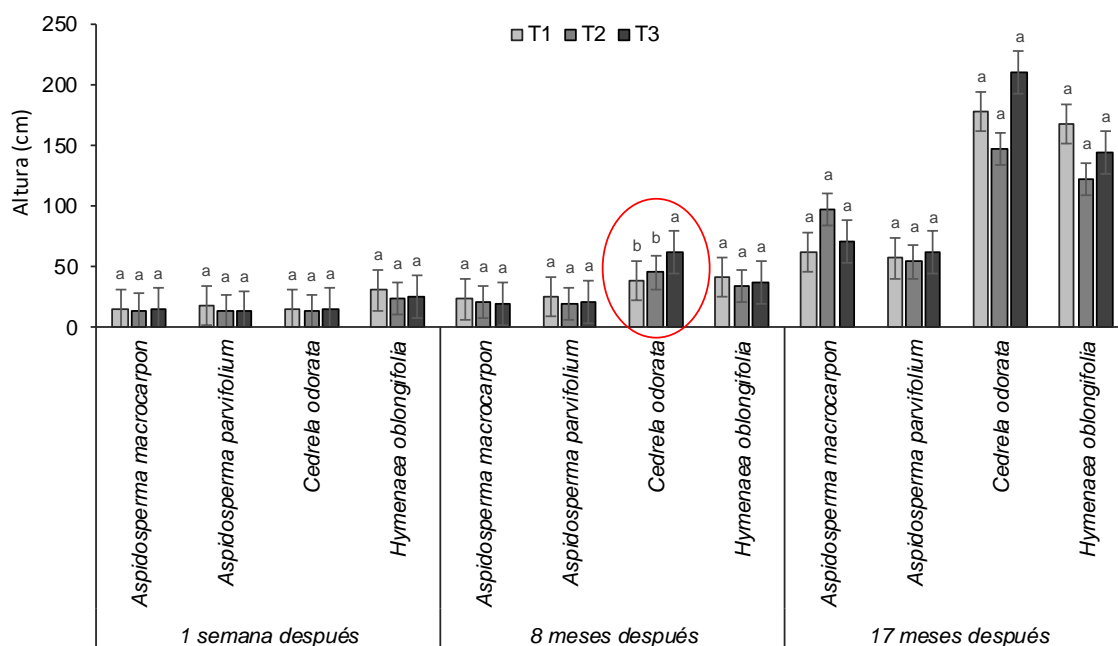


Figura 15: Comparación múltiple de la altura media (media de mínimos cuadrados-LSMEANS) de los tratamientos de fertilización en cada periodo y especie. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p > 0,05$). La figura en rojo destaca las diferencias significativas encontradas en la altura media de *Cedrele odorata* entre los tratamientos de fertilización.

Diagramas de caja de las distribuciones de la altura en cada especie y cada periodo evaluado (Figura 16 y Figura 17) muestran las irregularidades de la distribución del conjunto de datos en cada especie y periodo evaluado, que pudieron haber afectado en la rigurosidad de los test realizados. En *Aspidosperma macrocarpon* observase que, 1 semana después del plantío, los valores mínimos y máximos son muy extremos en todos los tratamientos, asimismo en el tratamiento T2 la mediana no aparece dentro de la caja, indicando distribución de alturas muy asimétrica. Similares ditribuciones se observa en *Aspidosperma parvifolium*, 8 meses después del plantío. *Hymenaea oblongifolia* se destaca como la de distribuciones muy irregulares con amplia variabilidad de los valores de altura, 1 semana y 8 meses después del plantío, que se representa en diferencias de mas de 30 cm de altura entre las plantas mas altas y mas bajas. En contraste en *Cedrele odorata*, las distribuciones de la altura fueron mas simétricas y con menos

valores atípicos y menor variabilidad de los valores; lo cual ayudó a que los tests identificaran diferencias significativas.

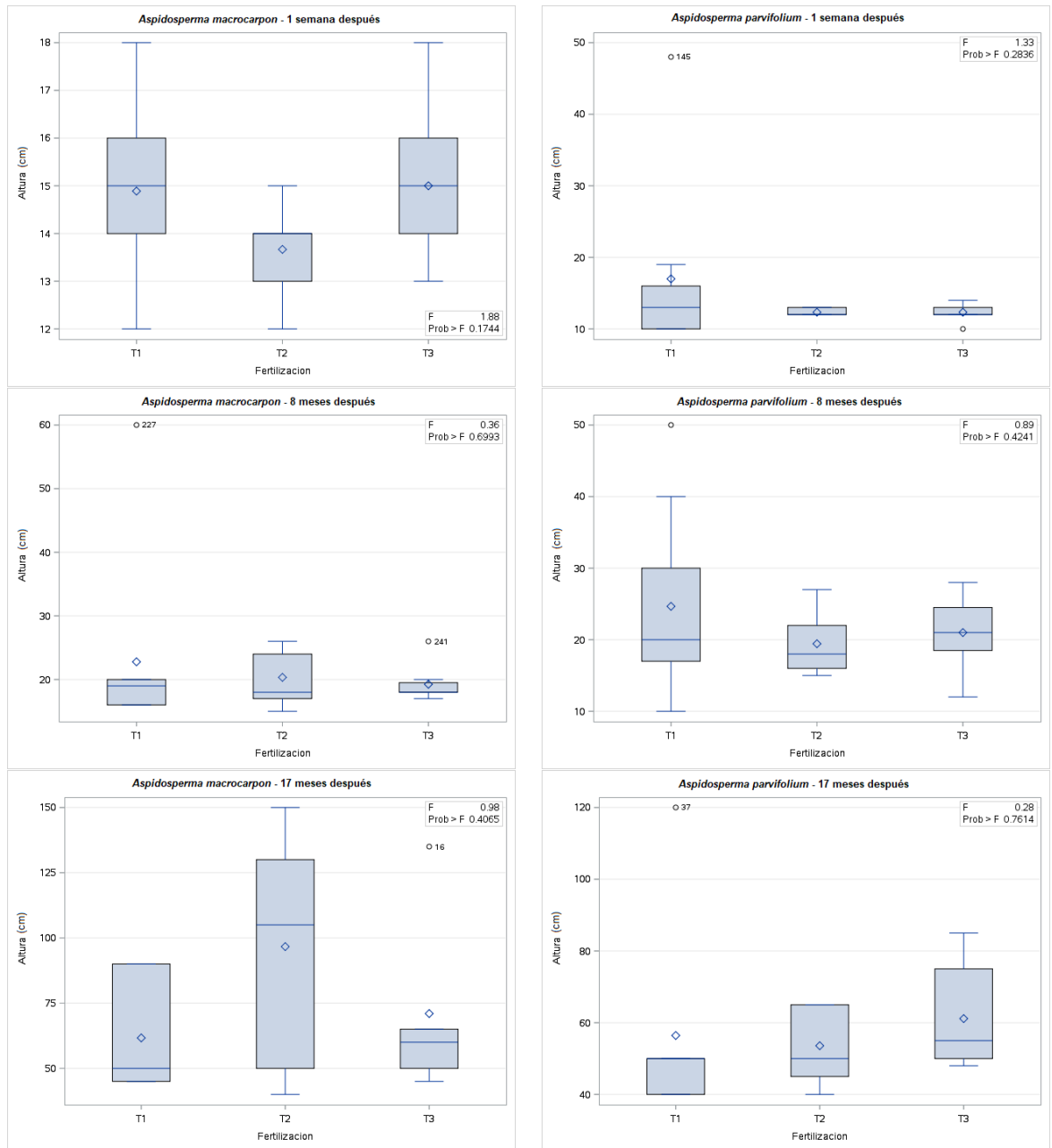


Figura 16: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de altura para las especies *Aspidoasperma macrocarpon* y *Aspidoasperma parvifolium* en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.

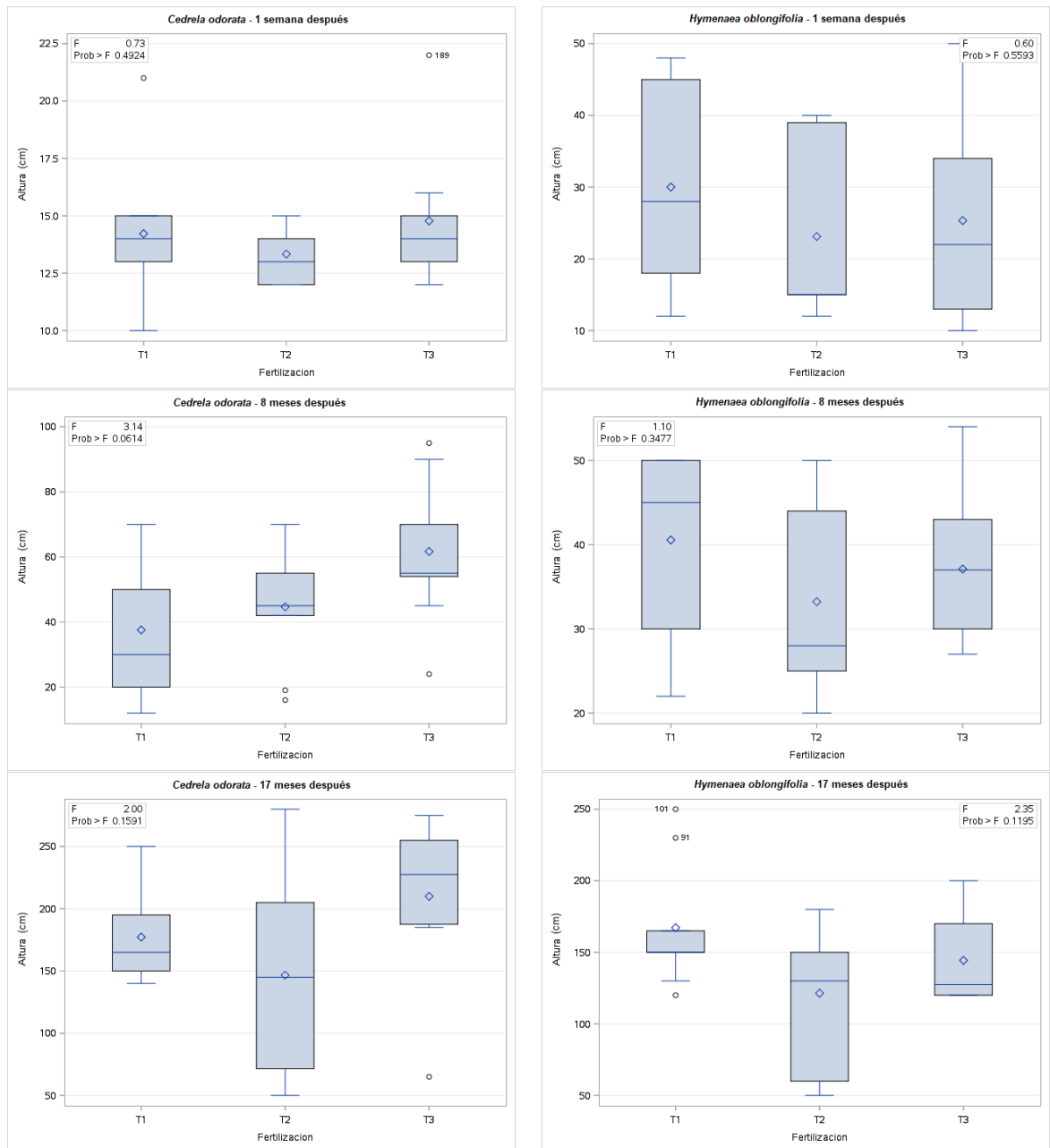


Figura 17: Diagramas de caja (boxplots) mostrando la distribución del conjunto de datos de altura para las especies *Cedrele odorata* y *Hymenaea oblongifolia* en los tratamientos de fertilización por cada periodo evaluado. En esquina superior derecha se indica la significancia de la comparación de medias.

4.3. Efecto de las dosis de fertilización en la sobrevivencia de las plantas

Por último, en relación a la sobrevivencia de las plantas, según el análisis de varianza en modelo de parcelas divididas se observó que, durante los tres periodos evaluados, las diferentes dosis de fertilización aplicadas no tuvieron efecto significativo en la sobrevivencia (Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16).

Tabla 14: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la sobrevivencia (%) de las plantas, 1 semana después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilizacion	2	0,00	0,00		
Especie	3	0,00	0,00	0,00	1,000
Fertilizacion*Especie	6	0,00	0,00	0,00	1,000
Repitición(Fertilización)	6	0,00	0,00	0,00	1,000
Residual	18	0,00	0,00		

Tabla 15: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la sobrevivencia (%) de las plantas, 8 meses después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilizacion	2	246,86	123,43	4,00	0,0787
Especie	3	123,43	41,14	0,57	0,6410
Fertilizacion*Especie	6	246,86	41,14	0,57	0,7479
Repitición(Fertilización)	6	185,15	30,86	0,43	0,8503
Residual	18	1296,04	72,00		

Tabla 16: Análisis de varianza, con modelo parcelas divididas completamente aleatorio, de la sobrevivencia (%) de las plantas, 17 meses después del plantío.

Análisis de varianza de tipo 3 - PROC MIXED					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Fertilizacion	2	0,00	0,00	0,00	1,0000
Especie	3	9136,05	3045,35	3,57	0,0349
Fertilizacion*Especie	6	2715,88	452,65	0,53	0,7783
Repitición(Fertilización)	6	6111,33	1018,56	1,19	0,3540
Residual	18	15370,00	853,88		

En las tres evaluaciones realizadas, el porcentaje de sobrevivencia fue igual entre los diferentes tratamientos de fertilización aplicados (Tabla 17), apenas en la segunda evaluación el tratamiento T3 tuvo menor porcentaje de sobrevivencia, sin embargo, las diferencias fueron no significativas en relación a los tratamientos T1 y T2.

Tabla 17: Media y error estándar (EE) de la sobrevivencia (%) de las plantas, por tratamiento de fertilización y especie, en cada periodo.

Factor	Nivel	Sobrevivencia después de 1 semana		Sobrevivencia después de 8 meses		Sobrevivencia después de 17 meses	
		Media (%)	EE (%)	Media (%)	EE (%)	Media (%)	EE (%)
Fertilización	T1	100,00	0,00	100,00	1,60	77,78	9,21
	T2	100,00	0,00	100,00	1,60	77,78	9,21
	T3	100,00	0,00	94,45	1,60	77,78	9,21
Especie	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	100,00	0,00	96,30	2,62	51,85	9,97
	<i>Cedrela odorata</i>	100,00	0,00	100,00	2,62	92,59	9,97
	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	100,00	0,00	100,00	2,62	88,89	9,97
	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	100,00	0,00	96,30	2,62	77,78	9,97

La Figura 18, muestra gráficamente los resultados del análisis de varianza (Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16). No existieron diferencias significativas entre las diferentes dosis de fertilización NPK respecto a la sobrevivencia de las plantas.

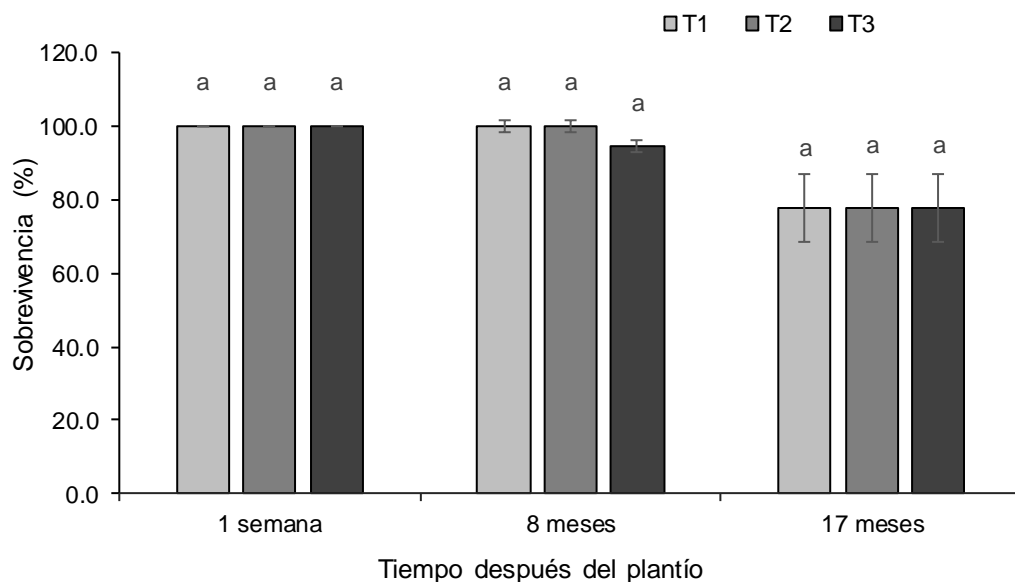


Figura 18: Comparación múltiple de la sobrevivencia (%) media de los tratamientos de fertilización en cada periodo. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p > 0,05$).

Asimismo, análisis por separado para cada especie (Figura 19), mostró el mismo resultado que el análisis de parcelas divididas, las diferencias de

sobrevivencias entre las diferentes dosis de fertilización NPK fueron no significativas dentro de cada especie, en los tres periodos evaluados. Esto confirma la interacción no significativa mostrada en el análisis de varianza.

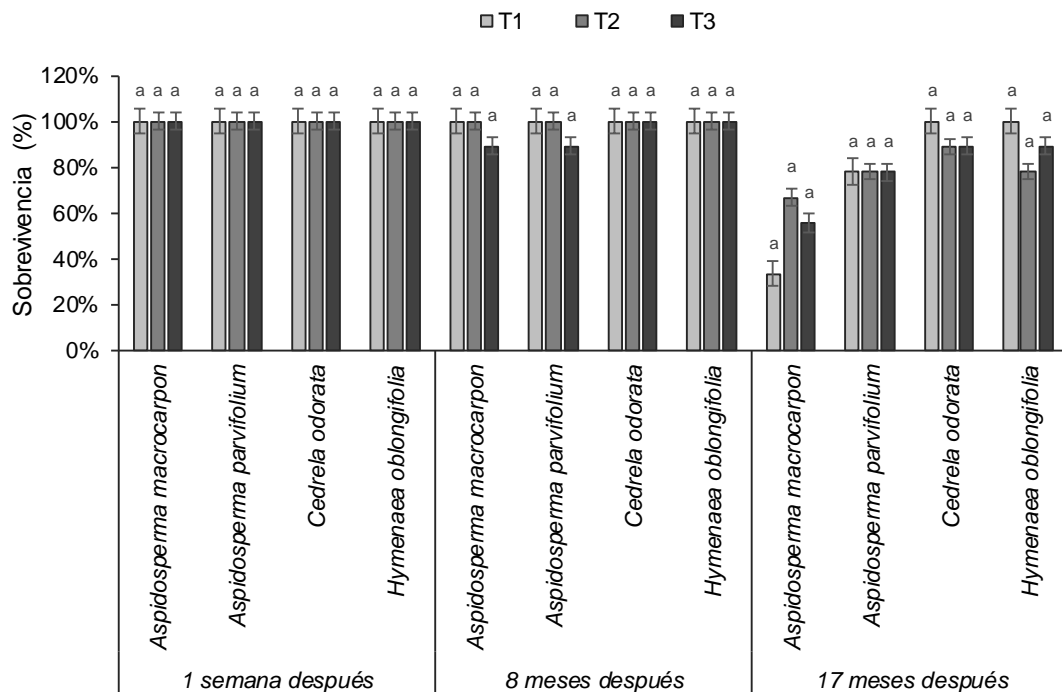


Figura 19: Comparación múltiple de la sobrevivencia (%) media de los tratamientos de fertilización en cada periodo y especie. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras iguales indican diferencia no significativa ($p > 0,05$).

4.4. Discusiones

Los resultados tanto de diámetro, altura y sobrevivencia de las plantas mostraron que las menores dosis de fertilización NPK aplicadas tuvieron similar efecto que las mayores dosis de fertilización NPK. Estos resultados concuerdan con algunas investigaciones realizadas en producción de plantones, así como también son discrepantes con otros, dependiendo de los nutrientes y de las especies estudiadas. Mayores dosis de nitrógeno (N) no aceleraron el crecimiento en diámetro y altura de las plantas de *Tabebuia serratifolia* (Goulart et al. 2017), *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Müell. Arg. (Bataglia y Santos 1999) y *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Gonçalves et al. 2008). Contrariamente mayores dosis de N promovieron incremento de diámetro, altura y biomasa de plantones en *Calophyllum brasiliense* Camb. (Belapart et al. 2013). Asimismo, mayores

dosis de fósforo (P) no resultaron en mayor crecimiento de plántones de *Peltophorum dubium* (Schumacher, Ceconi y Santana 2003), *Ceiba speciosa* y *Guazuma ulmifolia* (Dias, Barreto y Ferreira 2015); sin embargo en plántones de *Anadenanthera macrocarpa*, mayores dosis de P incrementaron significativamente su crecimiento (Gonçalves et al. 2008). Por otro lado, estudios previos también indican que algunas especies como *Hevea brasiliensis* (Bataglia y Santos 1999) y *Anadenanthera macrocarpa* no tuvieron fuerte requerimiento de potasio (K) para su crecimiento por tanto mayores dosis no son necesarias (Gonçalves et al. 2008). Las dosis ideales para acelerar el desarrollo de plantas nativas tropicales son muy variables entre especies, siendo recomendable para *Peltophorum dubium* una dosis de 360 mg kg⁻¹ de P (Schumacher, Ceconi y Santana 2003), en cuanto que dosis de 360 a 540 g de P₂O₅ m⁻³ son ideales para *Ceiba speciosa* y *Guazuma ulmifolia* (Dias, Barreto y Ferreira 2015) asimismo dosis de 150 a 250 mg dm⁻³ en *Anadenanthera macrocarpa* mostraron mejores resultados (Gonçalves et al. 2008). Dosis de 100 mg dm⁻³ de N fueron mejores para *Tabebuia serratifolia* (Goulart et al. 2017), en *Calophyllum brasiliense* dosis de 224 mg L⁻¹ aumentaron considerablemente la altura de los plántones (Belapart et al. 2013).

En nuestro estudio la falta de respuesta de las especies *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium* e *Hymenaea oblongifolia* puede deberse a la influencia del ritmo de crecimiento; siendo conocido que estas especies son de lento crecimiento (Reynel et al. 2003) pueden no reaccionar a mayores dosis de fertilizantes, debido a que los nutrientes existentes en el suelo son suficientes para mantener una lenta tasa de crecimiento, no siendo necesario mayor requerimiento de nutrientes. En este punto algunas investigaciones han reportado que especies de lento crecimiento son menos sensibles a incrementos de la disponibilidad de nutrientes (De Paiva et al. 2009), en contraste especies pioneras de rápido crecimiento demandan alta disponibilidad de nutrientes por su alta tasa de crecimiento en el periodo inicial de desarrollo (Paiva y Poggiani 2005; Gonçalves et al. 2000). Asimismo, otras especies altamente utilizadas en la silvicultura intensiva como *Eucalyptus sp.* y *Pinus sp.* responden positivamente a mayores dosis de fertilización debido

a su alta tasa de crecimiento (Pezzuti, Schumacher y Hoppe 1999; Gonçalves y Benedetti 2000).

En este contexto, el efecto positivo de la dosis T3 comparado con T2 y T1 en el crecimiento de *Cedrela odorata*, otra especie evaluada en el presente estudio, puede explicarse por la tasa de crecimiento media de esta especie, mayor que *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium* e *Hymenaea oblongifolia*, que tienen menor tasa de crecimiento (Reynel et al. 2003).

Sin embargo, inclusive en *Cedrela odorata*, las diferencias fueron no significativas en la tercera evaluación (17 meses después del plantío) (Figura 8 y Figura 15), no obstante, las medias de diámetro y altura con la dosis T3 fueron levemente mayores a T1 y T2, y debido a la alta variabilidad de los valores (Figura 9, Figura 10, Figura 16 y Figura 17) los tests estadísticos no detectaron efecto significativo (Tabla 7 y Tabla 12). Estos resultados fueron inesperados pues era razonable que a mayor tiempo la dosis T3 continuaría manteniendo un mayor crecimiento en las plantas de *Cedrela odorata*.

Investigaciones en campo definitivo en *Cedrela odorata* encontraron respuesta significativa de plantas en terreno definitivo a la fertilización con mayores dosis de P en North Queensland - Australia: 250 kg ha⁻¹ de P incrementó significativamente el crecimiento de las plantas comparado con menores dosis de 50, 100 y 150 kg ha⁻¹ de P (Keenan et al. 1998). Sin embargo, en otro estudio en Veracruz, México, *Cedrela odorata* tuvo mayor crecimiento en diámetro con 2 dosis de 5 g de N (úrea), en comparación a dosis que incluían P y K (Calixto et al. 2015). En general, los antecedentes indican que la fertilización respecto a las dosis y tipos de nutrientes, dependerán además de la especie, de las condiciones iniciales del suelo, es decir de la disponibilidad de nutrientes, tipo y textura del suelo (Gonçalves y Benedetti 2000). Por tanto, es de esperarse resultados contradictorios de diferentes estudios.

Por otro lado, en base a anteriores estudios, es probable que la ausencia de efecto significativo a mayores dosis de fertilización en el crecimiento de las plantas, sean causados por alteraciones químicas como la acidificación del

suelo, producidas por mayores concentraciones de uréa, pues se ha reportado que altas concentraciones de urea producen intensa acidificación del suelo (Bataglia y Santos 1999). Sin embargo, son necesarios mayores estudios incluyendo análisis de la composición química del suelo y balance nutricional para conocer el impacto de la fertilización en los suelos tropicales.

No obstante, otro aspecto a destacar que puede haber afectado los resultados del experimento, es el ineficiente control de malezas que podría haber competido por el recurso mineral con las plantas evaluadas, pues se observó que éstas eran abundantes durante las dos últimas evaluaciones realizadas, a pesar de los esfuerzos por mantenerlo controlado, las constantes precipitaciones y la ausencia de sombra generaron un ambiente propicio para el rápido crecimiento de malezas; similar acontecimiento se reporta en otra investigación (Calixto et al. 2015).

Por otro lado, observase que las dosis aplicadas en el tratamiento T1 (26 kg ha⁻¹ de úrea, 17,6 kg ha⁻¹ de SFT y 13,2 kg ha⁻¹ de KCl), en el tratamiento T2 (34,6 kg ha⁻¹ de úrea, 21,9 kg ha⁻¹ de SFT y 12,3 kg ha⁻¹ de KCl) y en el tratamiento T3 (43,3 kg ha⁻¹ de úrea, 26,4 kg ha⁻¹ de SFT y 25,6 kg ha⁻¹ de KCl) (Tabla 3), reflejan poca diferencia de una dosis a otra principalmente entre las dosis T1 y T2, en las que las cantidades SFT y KCl aplicadas apenas es mayor en 4,3 kg ha⁻¹ en T2, e inclusive menor en 0,9 kg ha⁻¹ comparado a T1. Así entonces, la estrecha diferencia de las dosis se reflejó en los resultados mostrados en altura y diámetro de las plantas con valores muy similares entre T1 y T2 sin diferencias significativas. Por tanto, es probable que una mayor diferencia de las dosis aplicadas pueda mostrar diferencias significativas en el crecimiento.

Por último, otro factor a tener en cuenta es la cantidad de aplicaciones de las dosis en el tiempo; en este punto en las diversas investigaciones citadas, las dosis de fertilizantes se aplicaron mas de una vez durante el periodo de evaluación del crecimiento de las plantas (Keenan et al. 1998; Bataglia y Santos 1999; Paula 2014), en contraste, en el presente estudio los fertilizantes en sus diferentes dosis se aplicarán por única vez al momento del plantío de las plantas en campo definitivo.

Estudios similares en *Aspidosmerma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium* e *Hymenaea oblongifolia* en etapas iniciales de desarrollo son inexistentes, debido a que, por su lento crecimiento, estas especies aún no son de interés para su establecimiento en plantaciones comerciales (Flores 2011). Por tanto, la presente investigación marca un importante precedente para futuras investigaciones en estas especies.

CONCLUSIONES

La presente investigación a lo largo de los 17 meses de evaluación, en términos generales, no hubo efecto significativo de las dosis de fertilización NPK aplicadas tanto en diámetro, altura total y sobrevivencia de las plantas; es decir mayores dosis de NPK aplicadas no incrementaron el diámetro, altura y la sobrevivencia de las plantas.

Sin embargo, los análisis por especie, indicaron apenas efecto significativo en las plantas de *Cedrela odorata* después de 8 meses del plantío, para las variables diámetro y altura, siendo que la dosis T3 (43,3 kg ha⁻¹ de úrea, 26,4 kg ha⁻¹ de SFT y 25,6 kg ha⁻¹ de KCl) incrementó significativamente el diámetro y la altura de las plantas, comparado con las dosis T2 (34,6 kg ha⁻¹ de úrea, 21,9 kg ha⁻¹ de SFT y 12,3 kg ha⁻¹ de KCl) y T1 (26 kg ha⁻¹ de úrea, 17,6 kg ha⁻¹ de SFT y 13,2 kg ha⁻¹ de KCl). En las especies *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma parvifolium* e *Hymenaea oblongifolia* no se presentaron diferencias significativas en el diámetro, altura y sobrevivencia de las plantas entre las diferentes dosis de fertilización aplicadas.

Los resultados de la presente investigación son apenas referenciales para las condiciones del experimento, siendo que estudios con mayor diferencia de cantidad de fertilizantes entre las dosis, aplicaciones múltiples en el tiempo, evaluación del impacto en el suelo, y mayor tiempo de monitoreo del crecimiento de las plantas, podrían reflejar diferencias significativas no encontradas en el presente estudio.

SUGERENCIAS

Se sugiere para futuras investigaciones, probar diferentes dosis de NPK con mayor diferencia entre de cantidades de nutrientes, y la inclusión de un grupo control.

Asimismo, se debe considerar experimentar con combinaciones de N, P y K, es decir con la ausencia o apenas la incorporación de alguno de ellos, para conocer el efecto de la omisión de estos nutrientes en el desarrollo de las plantas.

Se recomienda realizar un eficiente control de malezas para evitar factores externos que afecten los efectos de los tratamientos.

En otros estudios debe considerarse la evaluación inicial de las características del suelo, así como de las alteraciones producidas por los fertilizantes aplicados, para conocer el impacto de las dosis en las relaciones suelo-planta.

Finalmente se sugiere la aplicación de fertilizantes en diferentes etapas de desarrollo de las plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTAR, G. y TREJO-TELLEZ, L., 2015. *Nutrición de cultivos*. S.I.: Mundi Prensa-Universidad Autónoma de Chapingo. ISBN 9789687462486.
- ALCÁNTAR GONZÁLEZ, G. y TREJO-TELLEZ, L.I., 2007. *Nutrición de cultivos*. S.I.: Mundi Prensa. ISBN 9687462485.
- BARIBAULT, T.W., KOBE, R.K. y FINLEY, a O., 2012. Tropical tree growth is correlated with soil phosphorus, potassium, and calcium, though not for legumes. *Ecological Monographs*, vol. 82, no. 2, pp. 189–203. ISSN 0012-9615. DOI 10.1890/11-1013.1.
- BATAGLIA, O.C. y SANTOS, W.R., 1999. Efeitos da adubação NPK na fertilidade do solo , nutrição e crescimento. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 23, no. 1, pp. 881–890.
- BATTIE-LACLAU, P., LACLAU, J.P., DOMECH, J.C., CHRISTINA, M., BOUILLET, J.P., DE CASSIA PICCOLO, M., DE MORAES GONÇALVES, J.L., MOREIRA, R.M., KRUSCHE, A.V., BOUVET, J.M. y NOUVELLON, Y., 2014. Effects of potassium and sodium supply on drought-adaptive mechanisms in *Eucalyptus grandis* plantations. *New Phytologist*, vol. 203, no. 2, pp. 401–413. ISSN 14698137. DOI 10.1111/nph.12810.
- BATTIE-LACLAU, P., LACLAU, J.P., PICCOLO, M. de C., ARENQUE, B.C., BERI, C., MIETTON, L., MUNIZ, M.R.A., JORDAN-MEILLE, L., BUCKERIDGE, M.S., NOUVELLON, Y., RANGER, J. y BOUILLET, J.P., 2013. Influence of potassium and sodium nutrition on leaf area components in *Eucalyptus grandis* trees. *Plant and Soil*, vol. 371, no. 1–2, pp. 19–35. ISSN 0032079X. DOI 10.1007/s11104-013-1663-7.
- BELAPART, D., LEITE, S.Me.M., GIROTTO, M.D. y PEDRONE, L.P., 2013. Efeito de diferentes doses de nitrogênio e cálcio no desenvolvimento inicial do Guanandi. *UNIMAR CIÊNCIAS*, vol. 22, no. 1–2, pp. 71–77.
- BENITEZ, C.G., PECE, M.G. y GALINDEZ, M.J. de, 2010. Análisis de la Varianza en Experimentos Factoriales: Cátedra de Estadística Forestal.

Serie Didáctica Nro 21. S.I.:

- CALIXTO, C.G., LÓPEZ, M.A., EQUIHUA, A., LIRA, D.E. y CETINA, V.M., 2015. Crecimiento de *Cedrela odorata* e incidencia de *Hypsipyla grandetta* en respuesta al manejo nutrimental. *Bosque (Valdivia)*, vol. 36, no. 2, pp. 265–273. ISSN 0717-9200. DOI 10.4067/S0717-92002015000200012.
- CHAMBI LEGOAS, R., 2016. *Efeito do potássio e do sódio no crescimento e nas propriedades do lenho de árvores de Eucalyptus grandis sob duas condições de regime hídrico*. S.I.: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- CORNEJO PÁVEZ, B.A., 1982. *Respuesta de una plantación de Eucalyptus globulus (Labill) a la fertilización con urea y superfosfato triple en la comuna de Litueche en la Sexta Región*. S.I.: Universidad de Chile.
- DE PAIVA, A.V., POGGIANI, F., DE MORAES GONÇALVES, J.L. y DE VICENTE FERRAZ, A., 2009. Crecimiento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, no. 84, pp. 499–511. ISSN 14139324.
- DIAS, I.M., BARRETO, Í.D. de C. y FERREIRA, R.A., 2015. Efeito de diferentes recipientes e dosagens de fertilizante fosfatado no crescimento de espécies florestais nativas. *RevIPI*, vol. 1, pp. 1–10.
- FLORES, Y.B., 2011. Crecimiento y productividad de plantaciones forestales en la amazonía peruana. . S.I.:
- GAVA, J.L., 1997. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. *Série Técnica IPEF*, vol. 11, no. 30, pp. 89–94.
- GESTIÓN, 2017. Perú registró 1.8 millones de hectáreas de bosques deforestados en 15 años | Economía | Gestion. *Newspaper*. Lima, Perú, 13 agosto 2017. pp. 1.
- GONÇALVES, E.O., PAIVA, H.N., NEVES, J.C.L. y GOMES, J.M., 2008.

Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. *Revista Árvore*, vol. 32, no. 6, pp. 1029–1040. ISSN 0100-6762. DOI 10.1590/S0100-67622008000600008.

GONÇALVES, J.L., BARROS, N.F., NAMBIAR, E.K.S. y NOVAIS, R.F., 1997. Soil and stand management for short-rotation plantations. *Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests.*, pp. 379–417.

GONÇALVES, J.L. de M. y BENEDETTI, V., 2000. *Nutrição e fertilização florestal*. S.l.: IPEF. ISBN 8590135810.

GONÇALVES, J.L. de M., SANTARELLI, E.G., MORAES NETO, S.P. y MANARA, M.P., 2000. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. En: J.L. de M. GONÇALVES y V. BENEDETTI (eds.), *Nutrição e fertilização florestal*. S.l.: s.n., pp. 309–350.

GONÇALVES, J.L. de M., STAPE, J.L., LACLAU, J.-P., SMETHURST, P. y GAVA, J.L., 2004. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, vol. 193, no. 1, pp. 45–61. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2004.01.022.

GONCALVES, J.L.M., STAPE, J.L., LACLAU, J.P., BOUILLET, J.P. y RANGER, J., 2008. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. *Southern Forests*, vol. 70, no. 2, pp. 105–118. ISSN 2070-2620. DOI 10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.6.534.

GOREMAD y IIAP, 2009. Propuesta de Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios. . Puerto Maldonado:

GOULART, L.M.L., DE PAIVA, H.N., LEITE, H.G., XAVIER, A. y DUARTE, M.L., 2017. Produção de Mudas de Ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) em resposta a fertilização nitrogenada. *Floresta e Ambiente*, vol. 24.

ISSN 21798087. DOI 10.1590/2179-8087.137315.

GUARIGUATA, M.R., ARCE, J., AMMOUR, T. y CAPELLA, J.L., 2017. *Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro*. Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional. ISBN 6023870538.

HOLDRIDGE, L.R., 1971. *Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study*. S.I.: Pergamon Press.

IUSS GRUPO DE TRABAJO WRB, 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos*. Roma:

KEENAN, R., HAMBLETON, A., ROBSON, K. y WEBB, M., 1998. Growth response of rainforest cabinet timber species to fertiliser application in North Queensland plantations. *Soils of Tropical Forest Ecosystems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 107–114.

LÓPEZ, L. y ESTAÑOL, E.B., 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*, vol. 25, no. 1, pp. 9–15.

MADEIRA, M., ARAÚJO, M.C. y PEREIRA, J.S., 1995. Effects of water and nutrient supply on amount and on nutrient concentration of litterfall and forest floor litter in *Eucalyptus globulus* plantations. *Plant and Soil*, vol. 168–169, no. 1, pp. 287–295. ISSN 0032-079X. DOI 10.1007/BF00029340.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2009. Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana 2000. *Memoria Descriptiva*. Lima, Perú:

MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2016. MAPA DE DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA PERUANA PERIODO 2014 - 2015. . Lima, Perú:

MOHR, H. y SCHOPER, P., 1995. *Plant Physiology*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 9783642081965.

NOVAIS, R.F., BARROS, N.F. y NEVES, J.C.L., 1986. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. Níveis críticos de implantação e de manutenção.

Revista Árvore, vol. 10, pp. 105–111.

OCAÑA BUENO, L., DOMINGUEZ-LERENA, S., CARRASCO MANZANO, I., PEÑUELAS-RUBIRA, J.L. y HERRERO SIERRA, N., 1997. Influencia Del Tamaño De La Semilla Y Diferentes Dosis De Fertilización Sobre El Crecimiento Y Supervivencia En Campo De Cuatro Especies. // *Congreso Forestal Español*. Pamplona: s.n., pp. 461–466.

OEHLERT, G.W., 2003. *A First Course in Design and Analysis of Experiments*. S.I.: s.n. ISBN 0716735105.

PAIVA, A.V. de y POGGIANI, F., 2005. *Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento e nutrição mineral de mudas de quatro espécies florestais nativas utilizadas na arborização urbana*. S.I.: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.

PAULA, I.F. de, 2014. *Crecimiento de mudas de Ipê Rosa e Cedro submetidas à calagem e omissão de nutrientes*. S.I.: Universidade Federal do Amazonas.

PEZZUTI, R.V., SCHUMACHER, M.V. y HOPPE, J.M., 1999. Crecimiento de mudas de *Eucalyptus globulus* em resposta à fertilização NPK. *Ciência Florestal*, vol. 9, no. 2, pp. 117–125.

RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. y FURLANI, A.M.C., 1996. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC, 1996. (IAC. Boletim 100). S.I.: s.n.

REYNEL, C., PENNINGTON, R., PENNINGTON, T., FLORES, C. y DAZA, A., 2003. *Arboles útiles de la Amazonía peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies*. S.I.: Tarea Gráfica Educativa. ISBN 9789972973314.

ROOK, D.A., 2000. Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. En: R. VAN DEN DRIESSCHE (ed.), *Conifer Seedling Mineral Nutrition*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, pp. 85–111.

RUIZ, F., SORIA, F., PARDO, M. y TOVAL, G., 2001. Ensayos factoriales de fertilización en masas de en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de

mediana edad. Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización.
Congresos Forestales,

SANTIAGO, L.S., WRIGHT, S.J., HARMS, K.E., YAVITT, J.B., KORINE, C.,
GARCIA, M.N. y TURNER, B.L., 2012. Tropical tree seedling growth
responses to nitrogen, phosphorus and potassium addition. *Journal of
Ecology*, vol. 100, no. 2, pp. 309–316. ISSN 00220477. DOI
10.1111/j.1365-2745.2011.01904.x.

SCHUMACHER, M.V., CECONI, D.E. y SANTANA, C.A., 2003. Influência de
diferentes doses de fósforo no crescimento de plantas de *Peltophorum
dubium* (Sprengel) Taubert. *Boletim de Pesquisa Florestal*, vol. 1, no.
47, pp. 99–114.

SENAMHI, 2008. Tourist Climate Guide. . Lima, Perú:

SERFOR, 2016. Anuario Forestal 2015 “Perú Forestal en Números 2015”. .
Lima, Perú:

SERFOR, 2017. Plantaciones forestales. *Servicio Nacional Forestal y de
Fauna Silvestre* [en línea]. [Consulta: 14 diciembre 2017]. Disponible en:
<http://www.serfor.gob.pe/bosques-productivos/servicios-forestales/plantaciones-forestales>.

SMETHURST, P.J. y WANG, B., 1998. Soil solution phosphorus and
Eucalyptus nitens roots in NP-treated microsites in highly phosphorus-
fixing soil. *New Zealand Journal of Forestry Science*, vol. 28, no. 2, pp.
140–151. ISSN 00480134.

SUTTON, R.O.Y.F., 1979. There are other problems . (a) The act of grading
presumes an ability to distinguish between trees that differ in
performance potential , yet grading criteria have seldom been secure- ly
related to field performance . The acid test , ideally , is perfor. *Forest
Ecology and Management*, vol. 2, pp. 123–132.

TANNER, E.V.J. y KAPOS, V., 1992. Nitrogen and Phosphorus Fertilization
Effects on Venezuelan Montane Forest Trunk Growth and Litterfall
Author (s): E . V . J . Tanner , V . Kapos and W . Franco Published by :
Ecological Society of America NITROGEN AND PHOSPHORUS

FERTILIZATION EFFECTS O. *Ecology*, vol. 73, no. 1, pp. 78–86.

VOLKE, T.S. y VELASCO, J.A.T., 2002. *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. S.I.: SEMARNAP, Instituto Nacional de Ecología. ISBN 9789688175576.

WRIGHT, S.J., YAVITT, J.B., WURZBURGER, N., TURNER, B.I., TANNER, E.V.J., SAYER, E.J., SANTIAGO, L.S., KASPARI, M., HEDIN, L.O., HARMS, K.E., GARCIA, M.N. y CORRE, M.D., 2011. Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest. *Ecology*, vol. 92, no. 8, pp. 1616–1625. ISSN 00129658. DOI 10.1890/10-1558.1.

XU, D.P. y DELL, B., 2003. Nutrient management of eucalypt plantations in South China. En: R. WEI y D. XU (eds.), *Eucalyptus plantations research, management and development: proceedings of the international symposium, Guangzhou, China*. Singapore: World Scientific Pub. Co, pp. 269–289.

ANEXOS

Anexo 1: Base de Datos de las evaluaciones realizadas:

Fertilización	Repetición	Especie	Planta	Tiempo después del plantío	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Sobrevivencia
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,42	17	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,57	18	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,64	15	Sí
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,65	14	Sí
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,63	15	Sí
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,42	10	Sí
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,76	46	Sí
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,74	45	Sí
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,65	48	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,32	10	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,62	16	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,45	10	Sí
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,64	14	Sí
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,25	12	Sí
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,43	13	Sí
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,43	12	Sí
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,66	13	Sí
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,62	15	Sí
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,71	12	Sí
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,66	40	Sí
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,87	40	Sí
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,35	12	Sí
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,44	12	Sí
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,41	13	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,42	18	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,63	16	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,57	17	Sí
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,35	14	Sí
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,63	13	Sí
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,72	16	Sí
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,85	34	Sí
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	2	40	Sí
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,78	50	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,27	14	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,38	10	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,25	12	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,66	16	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,65	14	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,45	12	Sí

T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,84	21	Si
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,46	12	Si
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,63	14	Si
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,58	12	Si
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,67	38	Si
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,54	20	Si
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,85	48	Si
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,52	11	Si
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,45	10	Si
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,45	14	Si
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,46	15	Si
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,54	14	Si
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,55	14	Si
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,57	15	Si
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,67	14	Si
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,47	14	Si
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,48	15	Si
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,47	15	Si
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,43	13	Si
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,42	12	Si
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,35	12	Si
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,46	14	Si
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,53	15	Si
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,66	15	Si
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,67	15	Si
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,76	12	Si
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,53	15	Si
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,55	12	Si
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,48	30	Si
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,43	17	Si
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,42	12	Si
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,43	12	Si
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,73	14	Si
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,63	15	Si
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,56	14	Si
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,44	13	Si
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,42	13	Si
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,42	14	Si
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,53	15	Si
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,51	15	Si
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,72	28	Si
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,52	18	Si
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,53	13	Si
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,68	16	Si
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,72	19	Si

T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,32	14	Si
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,45	15	Si
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,43	12	Si
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,52	12	Si
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,42	13	Si
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,53	12	Si
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,66	39	Si
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,48	15	Si
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,54	18	Si
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,45	12	Si
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,35	13	Si
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,45	12	Si
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	1 semana	0,42	13	Si
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	1 semana	0,42	13	Si
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	1 semana	0,57	14	Si
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	1 semana	0,58	14	Si
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	1 semana	0,43	12	Si
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	1 semana	0,83	22	Si
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	1 semana	0,35	10	Si
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	1 semana	0,56	22	Si
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	1 semana	0,32	13	Si
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	1 semana	0,43	12	Si
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	1 semana	0,42	13	Si
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	1 semana	0,45	12	Si
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,64	18	Si
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,44	16	Si
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,67	19	Si
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	0,82	45	Si
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	0,61	16	Si
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	0,91	12	Si
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,8	50	Si
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,63	22	Si
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,98	30	Si
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,72	14	Si
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,85	20	Si
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,62	18	Si
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,84	26	Si
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,63	18	Si
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,73	24	Si
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	1,08	70	Si
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	0,84	19	Si
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	1,01	67	Si
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,54	25	Si
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	1	50	Si
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,6	28	Si

T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,62	16	Si
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	1	27	Si
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,75	18	Si
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,45	18	Si
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,66	18	Si
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,5	17	Si
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	2	95	Si
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	1	54	Si
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	0,92	45	Si
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,83	30	Si
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,76	30	Si
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,67	27	Si
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,52	19	Si
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,85	24	Si
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,94	28	Si
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,66	20	Si
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,85	60	Si
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,52	16	Si
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	0,75	70	Si
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	2	70	Si
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	1,08	50	Si
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,76	30	Si
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,85	50	Si
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,64	40	Si
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,57	30	Si
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,88	50	Si
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,66	40	Si
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,52	17	Si
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,54	18	Si
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,67	26	Si
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	1	45	Si
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	1	55	Si
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	0,95	45	Si
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,72	25	Si
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,63	20	Si
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,75	22	Si
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,65	18	Si
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,54	16	Si
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,76	19	Si
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,63	19	Si
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,78	18	Si
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,75	18	Si
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	2	70	Si
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	2	90	Si
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	1	55	Si

T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,84	40	Sí
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,76	28	Sí
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,83	37	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,62	18	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,66	20	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses			No
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,65	20	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,55	20	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,56	16	Sí
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	0,92	30	Sí
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	0,72	20	Sí
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	0,85	25	Sí
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,73	45	Sí
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,94	50	Sí
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,92	48	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,52	10	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,85	23	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,65	17	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,54	15	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,56	17	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses	0,68	22	Sí
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	0,82	16	Sí
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	1,5	42	Sí
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	1	43	Sí
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,77	40	Sí
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,85	44	Sí
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,84	45	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,52	15	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,73	24	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,72	22	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	8 meses	0,73	26	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	8 meses	0,62	20	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	8 meses			No
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	8 meses	1,57	24	Sí
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	8 meses	1,66	55	Sí
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	8 meses	1,36	67	Sí
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	8 meses	0,94	43	Sí
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	8 meses	0,92	45	Sí
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	8 meses	0,95	54	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	8 meses	0,92	22	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	8 meses	0,63	12	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	8 meses	0,87	25	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses			No
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses			No
T1	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses			No

T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	4,16	160	Sí
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	5,52	165	Sí
T1	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses	6,71	200	Sí
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	4,37	165	Sí
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	4,21	160	Sí
T1	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses	4,24	150	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	1,23	40	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	1,45	50	Sí
T1	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses			No
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses			No
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses			No
T2	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses			No
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	3,35	63	Sí
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	5,54	160	Sí
T2	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses	7,18	230	Sí
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	4,11	150	Sí
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	3,16	130	Sí
T2	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses			No
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	1,4	50	Sí
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses			No
T2	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses			No
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses			No
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses			No
T3	1	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses			No
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	6,53	228	Sí
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	2,38	65	Sí
T3	1	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses			No
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	4,29	200	Sí
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	3,45	120	Sí
T3	1	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses	4,57	150	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	1,59	55	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	3,41	50	Sí
T3	1	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses	3,31	50	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses	1,45	50	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses			No
T1	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses			No
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	7,37	250	Sí
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	4,58	145	Sí
T1	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses	6,82	195	Sí
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	5,53	230	Sí
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	3,6	150	Sí
T1	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses	3,4	130	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	4,27	120	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	2,21	50	Sí
T1	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses	1,25	45	Sí

T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses	1,73	80	Sí
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses	1,23	40	Sí
T2	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses	1,54	50	Sí
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	4,1	130	Sí
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	6,31	180	Sí
T2	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses	5,33	280	Sí
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	4,1	180	Sí
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	2,63	130	Sí
T2	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses			No
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	1,54	60	Sí
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	1,86	65	Sí
T2	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses	1,41	40	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses	1,51	135	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses	1,35	50	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses	1,6	45	Sí
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	6,81	185	Sí
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	6,62	227	Sí
T3	2	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses	7,51	270	Sí
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	4,12	190	Sí
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	2,23	130	Sí
T3	2	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses			No
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	1,61	65	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	1,45	48	Sí
T3	2	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses			No
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses	2,21	90	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses	1,35	45	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses			No
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	6,43	190	Sí
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	4,22	140	Sí
T1	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses	4,72	150	Sí
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	2,51	120	Sí
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	5,71	250	Sí
T1	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses	3,68	150	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	2,33	50	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	2,45	40	Sí
T1	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses			No
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses	1,82	130	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses	2,42	150	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses	1,38	130	Sí
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	2,55	80	Sí
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	2,83	50	Sí
T2	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses			No
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	2,75	60	Sí
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	3,38	150	Sí
T2	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses	2,31	50	Sí

T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	1,82	65	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	1,38	50	Sí
T2	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses	1,45	45	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	17 meses	1,65	65	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	17 meses	1,72	60	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3	17 meses			No
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	1	17 meses	7,23	190	Sí
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	2	17 meses	7,62	240	Sí
T3	3	<i>Cedrela odorata</i>	3	17 meses	7,41	275	Sí
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1	17 meses	2,61	120	Sí
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	2	17 meses	2,63	120	Sí
T3	3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	3	17 meses	2,74	125	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	1	17 meses	2,43	75	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	2	17 meses	2,84	85	Sí
T3	3	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	3	17 meses			No

Anexo 2: Datos originales y transformados por cada variable,

Fertilización	Bloque	Especie	Planta	Diámetro 1 semana	Altura 1 semana		Diámetro 8 meses		Altura 8 meses		Diámetro 17 meses	Altura 17 meses
				Original	Original	Transformado (recíproco)	Original	Transformado (potencial 0,2)	Original	Transformado (potencial 0,2)	Original	Original
1	1	1	1	0,42	17	0,0588	0,64	0,9146	18	1,7826		
1	1	1	2	0,57	18	0,0556	0,44	0,8486	16	1,7411		
1	1	1	3	0,64	15	0,0667	0,67	0,9230	19	1,8020		
1	1	2	1	0,65	14	0,0714	0,82	0,9611	45	2,1411	4,16	160
1	1	2	2	0,63	15	0,0667	0,61	0,9059	16	1,7411	5,52	165
1	1	2	3	0,42	10	0,1000	0,91	0,9813	12	1,6438	6,71	200
1	1	3	1	0,76	46	0,0217	0,8	0,9564	50	2,1867	4,37	165
1	1	3	2	0,74	45	0,0222	0,63	0,9117	22	1,8556	4,21	160
1	1	3	3	0,65	48	0,0208	0,98	0,9960	30	1,9744	4,24	150
1	1	4	1	0,32	10	0,1000	0,72	0,9364	14	1,6952	1,23	40
1	1	4	2	0,62	16	0,0625	0,85	0,9680	20	1,8206	1,45	50
1	1	4	3	0,45	10	0,1000	0,62	0,9088	18	1,7826		
2	1	1	1	0,64	14	0,0714	0,84	0,9657	26	1,9186		
2	1	1	2	0,25	12	0,0833	0,63	0,9117	18	1,7826		
2	1	1	3	0,43	13	0,0769	0,73	0,9390	24	1,8882		
2	1	2	1	0,43	12	0,0833	1,08	1,0155	70	2,3389	3,35	63
2	1	2	2	0,66	13	0,0769	0,84	0,9657	19	1,8020	5,54	160
2	1	2	3	0,62	15	0,0667	1,01	1,0020	67	2,3185	7,18	230
2	1	3	1	0,71	12	0,0833	0,54	0,8841	25	1,9037	4,11	150
2	1	3	2	0,66	40	0,0250	1	1,0000	50	2,1867	3,16	130
2	1	3	3	0,87	40	0,0250	0,6	0,9029	28	1,9473		
2	1	4	1	0,35	12	0,0833	0,62	0,9088	16	1,7411	1,4	50
2	1	4	2	0,44	12	0,0833	1	1,0000	27	1,9332		
2	1	4	3	0,41	13	0,0769	0,75	0,9441	18	1,7826		
3	1	1	1	0,42	18	0,0556	0,45	0,8524	18	1,7826		
3	1	1	2	0,63	16	0,0625	0,66	0,9203	18	1,7826		
3	1	1	3	0,57	17	0,0588	0,5	0,8706	17	1,7623		
3	1	2	1	0,35	14	0,0714	2	1,1487	95	2,4862	6,53	228
3	1	2	2	0,63	13	0,0769	1	1,0000	54	2,2206	2,38	65
3	1	2	3	0,72	16	0,0625	0,92	0,9835	45	2,1411		
3	1	3	1	0,85	34	0,0294	0,83	0,9634	30	1,9744	4,29	200
3	1	3	2		40	0,0250	0,76	0,9466	30	1,9744	3,45	120
3	1	3	3	0,78	50	0,0200	0,67	0,9230	27	1,9332	4,57	150
3	1	4	1	0,27	14	0,0714	0,52	0,8774	19	1,8020	1,59	55
3	1	4	2	0,38	10	0,1000	0,85	0,9680	24	1,8882	3,41	50
3	1	4	3	0,25	12	0,0833	0,94	0,9877	28	1,9473	3,31	50
1	2	1	1	0,66	16	0,0625	0,66	0,9203	20	1,8206	1,45	50
1	2	1	2	0,65	14	0,0714	0,85	0,9680	60	2,2679		
1	2	1	3	0,45	12	0,0833	0,52	0,8774	16	1,7411		
1	2	2	1	0,84	21	0,0476	0,75	0,9441	70	2,3389	7,37	250
1	2	2	2	0,46	12	0,0833	2	1,1487	70	2,3389	4,58	145
1	2	2	3	0,63	14	0,0714	1,08	1,0155	50	2,1867	6,82	195
1	2	3	1	0,58	12	0,0833	0,76	0,9466	30	1,9744	5,53	230
1	2	3	2	0,67	38	0,0263	0,85	0,9680	50	2,1867	3,6	150
1	2	3	3	0,54	20	0,0500	0,64	0,9146	40	2,0913	3,4	130
1	2	4	1	0,85	48	0,0208	0,57	0,8937	30	1,9744	4,27	120
1	2	4	2	0,52	11	0,0909	0,88	0,9748	50	2,1867	2,21	50
1	2	4	3	0,45	10	0,1000	0,66	0,9203	40	2,0913	1,25	45
2	2	1	1	0,45	14	0,0714	0,52	0,8774	17	1,7623	1,73	80
2	2	1	2	0,46	15	0,0667	0,54	0,8841	18	1,7826	1,23	40
2	2	1	3	0,54	14	0,0714	0,67	0,9230	26	1,9186	1,54	50
2	2	2	1	0,55	14	0,0714	1	1,0000	45	2,1411	4,1	130
2	2	2	2	0,57	15	0,0667	1	1,0000	55	2,2288	6,31	180

2	2	2	3	0,67	14	0,0714	0,95	0,9898	45	2,1411	5,33	280
2	2	3	1	0,47	14	0,0714	0,72	0,9364	25	1,9037	4,1	180
2	2	3	2	0,48	15	0,0667	0,63	0,9117	20	1,8206	2,63	130
2	2	3	3	0,47	15	0,0667	0,75	0,9441	22	1,8556		
2	2	4	1	0,43	13	0,0769	0,65	0,9175	18	1,7826	1,54	60
2	2	4	2	0,42	12	0,0833	0,54	0,8841	16	1,7411	1,86	65
2	2	4	3	0,35	12	0,0833	0,76	0,9466	19	1,8020	1,41	40
3	2	1	1	0,46	14	0,0714	0,63	0,9117	19	1,8020	1,51	135
3	2	1	2	0,53	15	0,0667	0,78	0,9515	18	1,7826	1,35	50
3	2	1	3	0,66	15	0,0667	0,75	0,9441	18	1,7826	1,6	45
3	2	2	1	0,67	15	0,0667	2	1,1487	70	2,3389	6,81	185
3	2	2	2	0,76	12	0,0833	2	1,1487	90	2,4595	6,62	227
3	2	2	3	0,53	15	0,0667	1	1,0000	55	2,2288	7,51	270
3	2	3	1	0,55	12	0,0833	0,84	0,9657	40	2,0913	4,12	190
3	2	3	2	0,48	30	0,0333	0,76	0,9466	28	1,9473	2,23	130
3	2	3	3	0,43	17	0,0588	0,83	0,9634	37	2,0589		
3	2	4	1	0,42	12	0,0833	0,62	0,9088	18	1,7826	1,61	65
3	2	4	2	0,43	12	0,0833	0,66	0,9203	20	1,8206	1,45	48
3	2	4	3	0,73	14	0,0714						
1	3	1	1	0,63	15	0,0667	0,65	0,9175	20	1,8206	2,21	90
1	3	1	2	0,56	14	0,0714	0,55	0,8873	20	1,8206	1,35	45
1	3	1	3	0,44	13	0,0769	0,56	0,8905	16	1,7411		
1	3	2	1	0,42	13	0,0769	0,92	0,9835	30	1,9744	6,43	190
1	3	2	2	0,42	14	0,0714	0,72	0,9364	20	1,8206	4,22	140
1	3	2	3	0,53	15	0,0667	0,85	0,9680	25	1,9037	4,72	150
1	3	3	1	0,51	15	0,0667	0,73	0,9390	45	2,1411	2,51	120
1	3	3	2	0,72	28	0,0357	0,94	0,9877	50	2,1867	5,71	250
1	3	3	3	0,52	18	0,0556	0,92	0,9835	48	2,1689	3,68	150
1	3	4	1	0,53	13	0,0769	0,52	0,8774	10	1,5849	2,33	50
1	3	4	2	0,68	16	0,0625	0,85	0,9680	23	1,8722	2,45	40
1	3	4	3	0,72	19	0,0526	0,65	0,9175	17	1,7623		
2	3	1	1	0,32	14	0,0714	0,54	0,8841	15	1,7188	1,82	130
2	3	1	2	0,45	15	0,0667	0,56	0,8905	17	1,7623	2,42	150
2	3	1	3	0,43	12	0,0833	0,68	0,9258	22	1,8556	1,38	130
2	3	2	1	0,52	12	0,0833	0,82	0,9611	16	1,7411	2,55	80
2	3	2	2	0,42	13	0,0769	1,5	1,0845	42	2,1118	2,83	50
2	3	2	3	0,53	12	0,0833	1	1,0000	43	2,1217		
2	3	3	1	0,66	39	0,0256	0,77	0,9491	40	2,0913	2,75	60
2	3	3	2	0,48	15	0,0667	0,85	0,9680	44	2,1315	3,38	150
2	3	3	3	0,54	18	0,0556	0,84	0,9657	45	2,1411	2,31	50
2	3	4	1	0,45	12	0,0833	0,52	0,8774	15	1,7188	1,82	65
2	3	4	2	0,35	13	0,0769	0,73	0,9390	24	1,8882	1,38	50
2	3	4	3	0,45	12	0,0833	0,72	0,9364	22	1,8556	1,45	45
3	3	1	1	0,42	13	0,0769	0,73	0,9390	26	1,9186	1,65	65
3	3	1	2	0,42	13	0,0769	0,62	0,9088	20	1,8206	1,72	60
3	3	1	3	0,57	14	0,0714						
3	3	2	1	0,58	14	0,0714	1,57	1,0944	24	1,8882	7,23	190
3	3	2	2	0,43	12	0,0833	1,66	1,1067	55	2,2288	7,62	240
3	3	2	3	0,83	22	0,0455	1,36	1,0634	67	2,3185	7,41	275
3	3	3	1	0,35	10	0,1000	0,94	0,9877	43	2,1217	2,61	120
3	3	3	2	0,56	22	0,0455	0,92	0,9835	45	2,1411	2,63	120
3	3	3	3	0,32	13	0,0769	0,95	0,9898	54	2,2206	2,74	125
3	3	4	1	0,43	12	0,0833	0,92	0,9835	22	1,8556	2,43	75
3	3	4	2	0,42	13	0,0769	0,63	0,9117	12	1,6438	2,84	85
3	3	4	3	0,45	12	0,0833	0,87	0,9725	25	1,9037		

Donde: Fertilización: 1 (dosis T1), 2 (dosis T2), 3 (dosis T3); Especie: 1 (*Aspidosperma macrocarpon*), 2 (*Cedrela odorata*), 3 (*Hymenaea oblongifolia*), 4 (*Aspidosperma parvifolium*),