



**UNAP**



**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DOCTORADO EN AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TESIS**

**EFFECTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN FOLIAR EN  
EL CRECIMIENTO DE CUATRO ESPECIES FORESTALES  
SEMBRADAS EN ÁREAS DEGRADADAS DEL  
CIEFOR, IQUITOS - PERÚ 2020**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PRESENTADO POR: SEGUNDO CORDOVA HORNA**

**ASESOR: ING. RODIL TELLO ESPINOZA. DR.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2020**



**UNAP**

Escuela de Postgrado "JOSÉ TORRES VÁSQUEZ"  
Oficina de Asuntos Académicos



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**027-2020-OAA-EPG-UNAP**

Con **Resolución Directoral N° 0577-2020-EPG-UNAP**, se autoriza la sustentación de la tesis: "EFECTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN FOLIAR EN EL CRECIMIENTO DE CUATRO ESPECIES FORESTALES SEMBRADAS EN ÁREAS DEGRADADAS EN EL CIEFOR, IQUITOS PERÚ 2020", teniendo como jurados a los siguientes profesionales:

Ing. Ronald Manuel Panduro Tejada, Dr.	Presidente
Ing. José Antonio Escobar Díaz, Dr.	Miembro
Ing. Rafael Chávez Vásquez, Dr.	Miembro
Ing. Rodil Tello Espinoza, Dr.	Asesor

A los siete días del mes de Diciembre del 2020, a las 10:00 a.m., en la modalidad virtual zoom institucional de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se constituyó el Jurado Evaluador y dictaminador, para escuchar y evaluar la sustentación de la tesis: "EFECTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN FOLIAR EN EL CRECIMIENTO DE CUATRO ESPECIES FORESTALES SEMBRADAS EN ÁREAS DEGRADADAS EN EL CIEFOR, IQUITOS PERÚ 2020" presentado por el señor SEGUNDO CÓRDOVA HORNA, como requisito para obtener el **Grado Académico de Doctor en Ambiente y Desarrollo Sostenible**, que otorga la UNAP de acuerdo a la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

Después de haber escuchado la sustentación y luego de formuladas las preguntas, éstas fueron:

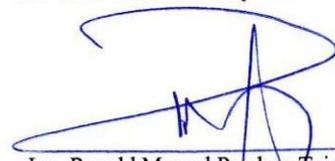
..... *Absueltas* .....

El Jurado, después de la deliberación correspondiente en privado, llegó a las siguientes conclusiones, la sustentación es:

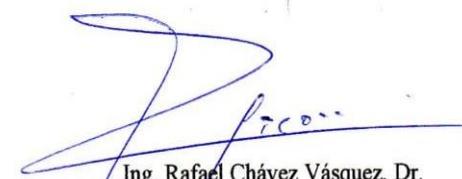
1. Aprobado como: a) Excelente ( ) b) Muy bueno ( ) c) Bueno (X)
2. Desaprobado: ( )

Observaciones : .....

A Continuación, el Presidente del Jurado, da por concluida la sustentación, siendo las *12:15 pm* del siete de diciembre del 2020; con lo cual, se le declara al sustentante *Apto* para recibir el **Grado Académico de Doctor en Ambiente y Desarrollo Sostenible**.

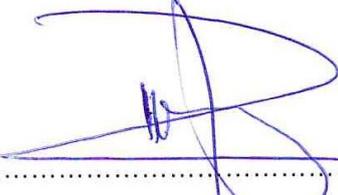
  
Ing. Ronald Manuel Panduro Tejada, Dr.  
**Presidente**

  
Ing. José Antonio Escobar Díaz, Dr.  
**Miembro**

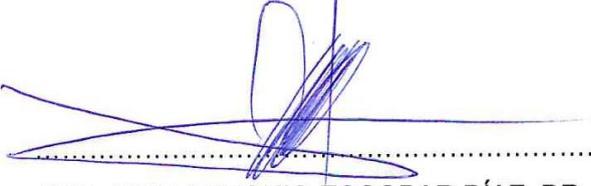
  
Ing. Rafael Chávez Vásquez, Dr.  
**Miembro**

  
Ing. Rodil Tello Espinoza, Dr.  
**Asesor**

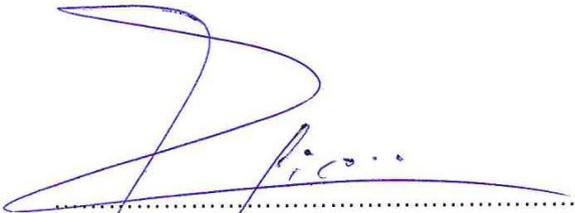
TESIS APROBADA EN SUSTENTACIÓN PÚBLICA EL 07 DE DICIEMBRE DEL 2020, EN LA MODALIDAD VIRTUAL DE LA PLATAFORMA ZOOM DE LA ESCUELA DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA, EN LA CIUDAD DE IQUITOS-PERÚ.



.....  
ING. RONALD MANUEL PANDURO TEJADA, DR.  
PRESIDENTE



.....  
ING. JOSE ANTONIO ESCOBAR DÍAZ, DR.  
MIEMBRO



.....  
ING. RAFAEL CHÁVEZ VÁSQUEZ, DR.  
MIEMBRO



.....  
ING. RODIL TELLO ESPINOZA DR.  
ASESOR

A mis padres Segundo y Socorro, a mis hijas Jhuliana Socorro, Oriana Socorro y Tania Rubi la razón para seguir bregando por el sendero de la superación personal y profesional y a mis hermanos Francisco Javier, Juan Miguel, Margarita, Yoly y Josefa por el apoyo incondicional para el logro de mis objetivos y metas y a Elsita quien no está físicamente conmigo, pero su recuerdo y cariño me inspira a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Rodil Tello Espinoza, asesor de la tesis que gracias a su conocimiento y sabiduría permitió concluir el presente trabajo.

Al Dr. Tedi Pacheco Gómez, Decano de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP, por las facilidades brindadas en campo para ubicar las instalaciones de las parcelas I, II, III y IV en el ámbito del Jardín Botánico Arboreto “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra.

A los señores trabajadores de campo: Segundo Mañes Casanova, Tony Doñes Lozano, Elar Mendoza Vela, Manuel Doñes Mozombite, James Doñes Piña, Josue Nicanor Perez Cachique, entre otros por el apoyo brindado en la Instalación y evaluación de los árboles de estas cuatro parcelas demostrativas.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, por facilitarme el tiempo y la ayuda para dedicarme al estudio y a la investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
Carátula	
Contra carátula	i
Acta de sustentación	ii
Jurado	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenido	vi
Índice de tablas	viii
Índice de gráficos o ilustraciones	xi
Resumen	xiii
Abstract	xiv
Resumo	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
1.1 Antecedentes	4
1.2 Bases teóricas	8
1.3 Definición de términos básicos	21
<b>CAPÍTULO II: VARIABLES E HIPÓTESIS</b>	<b>24</b>
2.1 Variables y su operacionalización	24
2.2 Formulación de la hipótesis	24
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	<b>25</b>
3.1 Tipo y diseño de la investigación	25
3.2 Población y muestra	25
3.3 Técnicas e instrumentos	27
3.4 Procedimientos de recolección de datos	27
3.5 Técnicas de procesamientos y análisis de los datos	29

<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS</b>	31
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	82
<b>CAPÍTULO VI: PROPUESTA</b>	96
<b>CAPITULO VII: CONCLUSIONES</b>	97
<b>CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES</b>	101
<b>CAPITULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	102
<b>ANEXOS</b>	
Fotos del experimento	

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
Tabla 1. Matriz de correlaciones para la especie, dosis de fertilizante foliar, NDVI, ICC, incremento medio anual del DAP, HT y área de copa.	32
Tabla 2. Índice KMO y Bartlett que compara la correlación de variables y sus correlaciones parciales.	33
Tabla 3. Comunalidades asignadas a las variables estudiadas reproducidas por la solución factorial (Extracción).	33
Tabla 4. Varianza total explicada por componentes principales, auto valores iniciales y % de varianza acumulado.	34
Tabla 5. Matriz de componentes extraídos por el método del análisis de componentes principales.	35
Tabla 6. Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la <i>Cedrelinga cateniformis</i> .	38
Tabla 7. Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para <i>Cedrelinga cateniformis</i> .	38
Tabla 8. Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de la <i>Cedrelinga cateniformis</i> .	40
Tabla 9. Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la <i>Cedrelinga cateniformis</i> por dosis de fertilizante foliar.	43
Tabla 10. Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la <i>Cedrelinga odorata</i> .	45
Tabla 11. Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para <i>Cedrelinga odorata</i> .	46
Tabla 12. Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de la <i>Cedrelinga odorata</i> .	48
Tabla 13. Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la	52

	<i>Cedrela odorata</i> por dosis de fertilizante foliar.	
Tabla 14,	Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .	54
Tabla 15,	Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para <i>Calycophyllum spruceanum</i> .	55
Tabla 16,	Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de <i>Calycophyllum spruceanum</i> ,	57
Tabla 17,	Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de <i>Calycophyllum spruceanum</i> por dosis de abono foliar.	61
Tabla 18,	Estadísticas descriptivas para el NDVI, ICC, IMA del DAP y altura total e IMA de la copa de la plantación de <i>Swietenia macrophylla</i> .	63
Tabla 19,	Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para <i>Swietenia macrophylla</i> .	64
Tabla 20,	Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de <i>Swietenia macrophylla</i> .	66
Tabla 21,	Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de <i>Swietenia macrophylla</i> por dosis de fertilizante foliar.	70
Tabla 22,	Estadísticas descriptivas para los promedios de NDVI, ICC, IMA del DAP, altura total y área de copa de la <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Calycophyllum spruceanum</i> , <i>Cedrela odorata</i> y <i>Cedrelinga cateniformis</i> .	74
Tabla 23,	Promedio del incremento medio anual (IMA) del DAP (cm/año) y altura total (cm/año) de las especies <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Calycophyllum spruceanum</i> , <i>Cedrela odorata</i> y <i>Cedrelinga cateniformis</i> por categoría de NDVI.	77
Tabla 24,	Promedio del incremento medio anual (IMA) del DAP (cm/año), altura total (cm/año) y área de copa (m <sup>2</sup> /año) de las especies <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Calycophyllum spruceanum</i> , <i>Cedrela odorata</i> y <i>Cedrelinga cateniformis</i> por categoría del índice crítico de clorofila (ICC),	79

Tabla 25, Promedio del incremento medio anual (IMA) del DAP 81 (cm/año), altura total (cm/año) y área de copa (m<sup>2</sup>/año) de las especies *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrela odorata* y *Cedrelinga cateniformis* por dosis de fertilizante foliar.

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

		Páginas
Gráfico 1,	Mapa de ubicación del área de estudio.	26
Gráfico 2,	Gráfico biplot del primer y segundo componente de las variables usadas en el estudio.	36
Gráfico 3,	Representación tridimensional de las saturaciones factoriales para los tres primeros factores.	37
Gráfico 4,	Gráfico de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques.	41
Gráfico 5,	Gráfico de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar.	44
Gráfico 6,	Gráfico de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques para la <i>Cedrela odorata</i> .	49
Gráfico 7,	Gráfico de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar aplicado a <i>Cedrela odorata</i> .	53
Gráfico 8,	Gráfico de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques para <i>Calycophyllum spruceanum</i> .	58
Gráfico 9,	Gráfico de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar en <i>Calycophyllum spruceanum</i> .	62
Gráfico 10,	Gráfico de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques para <i>Swietenia</i>	67

*macrophylla*.

- Gráfico 11, Diagrama de cajas y prueba de Kruskal-Wallis para 71  
muestras independientes para las variables NDVI (A),  
ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa  
(E) entre dosis de fertilizante foliar en la *Swietenia*  
*macrophylla*.
- Gráfico 12, Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para 75  
muestras independientes para las variables NDVI (A),  
ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la  
copa (E) entre dosis de fertilizante foliar entre especies.

## RESUMEN

El trabajo se desarrolló en el CIEFOR de la UNAP en cuatro tipos de bosques secundarios degradados, con el objetivo de determinar el efecto de 6 dosis de fertilizante foliar con Bayfolan 20-10-1 en el ICC, NDVI y crecimiento de *Cedrela odorata*, *Calicophyllum spruceanum*, *Swietenia macrophylla* y *Cedrelinga cateniformis* en diámetro, altura total y área de copa. Existe fuerte correlación del crecimiento con la dosis de fertilizante foliar ( $p=0,002$ ) y el ICC ( $p=0,002$ ); el tipo de bosque con el ICC ( $p=0,005$ ); la dosis de fertilizante foliar con el NDVI ( $p=0,011$ ), el ICC ( $p=0,015$ ), el IMA del DAP ( $p=0,034$ ), y el IMA de la copa ( $p=0,002$ ). El IMA del DAP esta correlacionada con la altura ( $p=0,000$ ). El análisis de componentes principales muestra grupos correlacionados: 1) el IMA de la copa con el NDVI; 2) la dosis de fertilización foliar con el ICC; 3) El IMA del DAP y altura total (HT) se correlaciona negativamente con el tipo de bosque. *S. macrophylla* en purma baja registro mayor crecimiento diamétrico (0,9 cm/año) y altura (65,9 cm/año); cuando el ICC fue muy alto creció más (DAP=1,4 cm/año y HT=91,2 cm/año). Cuando aumenta la cubierta del dosel el crecimiento disminuye. *C. spruceanum* en el bosque secundario de tierra firme creció más DAP=0,69 cm/año y HT=107,8 cm/año; cuando en ICC supero 40 unidades SPAD creció más DAP=1,4 cm/año y HT=314 cm/año. *C. odorata* en purma alta creció más DAP=0,53 cm/año, con un ICC muy alto creció más en altura (145,2 cm/año). *C. cateniformis* en purma baja creció más en DAP=0,3 cm/año y HT=71,3 cm/año.

**Palabras claves:** fertilización, crecimiento, NDVI, ICC, IMA

## ABSTRACT

In order to determine the effect of six doses the foliar fertilizer Bayfolan 20-10-1 on the Chlorophyll Critical Index (ICC), Normalized Difference Vegetation (NDVI) and growth in diameter, total height and crown area of *Cedrela odorata*, *Calicophyllum spruceanum*, *Swietenia macrophylla* and *Cedrelinga cateniformis*, a study was carried out in four types of degrade forest of the CIEFOR of the UNAP. The results show a strong correlation between growth and the foliar fertilizer ( $p=0,002$ ) and the ICC ( $p=0,002$ ); the type of forest with the ICC ( $p=0,005$ ); the foliar fertilizer dose with the NDVI ( $p=0,011$ ), the ICC ( $p=0,015$ ), the Annual Average Increment (IMA) of diameter at breast height (DBH) ( $p=0,034$ ) and the IMA of the crown ( $p=0,002$ ). The IMA of DBH is correlated with height ( $p = 0,000$ ). The analysis of the main components shows correlated groups: 1) the IMA of the crown with the NDVI; 2) the foliar fertilization dose with the ICC; 3) The IMA of DBH and total height (HT) correlated negatively with the type of forest. *S. macrophylla* in low fallow recorded higher diametric growth (0,9 cm/yr.) and height (65,9 cm/yr.); when the ICC was very high, the growth increased (DBH = 1,4 cm/year and HT = 91,2 cm/year). When the canopy cover increases, the growth slows. *C. spruceanum* in the secondary forest of terra firma increased growth (DBH = 0,69 cm/yr. and HT = 107,8 cm/yr.); when the ICC exceeded 40 units, SPAD increased growth (DBH = 1,4 cm/yr. and HT = 314 cm/yr.). *C. odorata* in high fallow increased growth (DBH = 0,53 cm/yr.), with a very high ICC increased in height (145,2 cm/yr.). *C. cateniformis* in low fallow increased in DBH (0,3 cm/yr.) and HT (71,3 cm/yr.).

**Keywords:** Fertilization, growth, NDVI, ICC, IMA

## RESUMO

O trabalho foi desenvolvido no CIEFOR da UNAP em quatro tipos de florestas secundárias degradadas, com o objetivo de determinar o efeito de 6 doses de fertilizante foliar com Bayfolan 20-10-1 sobre o ICC, NDVI e crescimento de *Cedrela odorata*, *Calicophyllum spruceanum*, *Swietenia macrophylla* e *Cedrelinga cateniformis* em diâmetro, altura total e área da copa. Existe forte correlação do crescimento com a dose de fertilizante foliar ( $p = 0,002$ ) e o ICC ( $p = 0,002$ ); o tipo de floresta com o ICC ( $p = 0,005$ ); a dose do fertilizante foliar com o NDVI ( $p = 0,011$ ), o ICC ( $p = 0,015$ ), o IMA do DAP ( $p = 0,034$ ) e o IMA da coroa ( $p = 0,002$ ). O IMA do DAP está correlacionado com a altura ( $p = 0,000$ ). A análise de componentes principais mostra grupos correlacionados: 1) o IMA da coroa com o NDVI; 2) a dose de fertilização foliar com o ICC; 3) o IMA de DAP e altura total (HT) está negativamente correlacionado com o tipo de floresta. *S. macrophylla* em baixo purma registra maior crescimento em diâmetro (0,9 cm / ano) e altura (65,9 cm / ano); quando o ICC era muito alto, crescia mais (DAP = 1,4 cm / ano e HT = 91,2 cm / ano). Quando a cobertura do dossel aumenta, o crescimento diminui. *C. spruceanum* na floresta secundária de terra firme cresceu mais DAP = 0,69 cm / ano e HT = 107,8 cm / ano; quando o ICC ultrapassou 40 unidades, o SPAD cresceu mais DAP = 1,4 cm / ano e HT = 314 cm / ano. *C. odorata* em purma alto cresceu mais DAP = 0,53 cm / ano, com um ICC muito alto cresceu mais em altura (145,2 cm / ano). *C. cateniformis* em baixo purma cresceu mais em DAP = 0,3 cm / ano e HT = 71,3 cm / ano.

**Palavras-chave:** fertilização, crescimento, NDVI, ICC, IMA.

## INTRODUCCIÓN

Pues Phillips *et al*<sup>(1)</sup>, indica que cambios relativamente pequeños en la estructura y/o función de estos bosques pueden tener consecuencias globales en la biodiversidad, el ciclo del carbono y el cambio climático. Además, se tiene evidencia científica que demuestra que las anomalías climáticas afectan severamente la biodiversidad en diferentes formas y escalas. Morueta *et al*<sup>(2)</sup>, manifiesta que causa degradación del hábitat y modificaciones del paisaje. Evangelista *et al*<sup>(3)</sup>, dicen que esto ocurre no solo en bosques tropicales, sino también en las plantaciones tropicales.

Ante la evidencia científica el proyecto es de interés internacional, pues de cara al 2030 la Asamblea ONU<sup>(4)</sup> creó el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) N°13 “Acción por el clima” y N°15 “Vida de ecosistemas terrestres”.

Según Vela<sup>(5)</sup>, los bosques tienen un papel importante en el ciclo del carbono y se valoran a nivel mundial por los servicios que brindan a la sociedad y es fundamental para garantizar el uso sostenible de los recursos forestales. Para ello se debe tener representatividad de especies en todos los estratos del bosque. Para Moreno<sup>(6)</sup>, que además, alberga una rica diversidad florística de árboles tropicales, y una fracción significativa de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> es asimilada por estos bosques y almacenada como biomasa, lo que desacelera la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, Negrón-Juárez *et al*<sup>(7)</sup>. Pero si se deforesta, emiten dióxido de carbono equivalente, la misma que necesita ser evaluados dentro de la concepción de REDD<sup>(8)</sup>.

Es por ello es necesario que en la cuenca media del río Nanay, donde existen suelos pobres o áreas degradadas por la actividad antrópica (purmas de diferentes años), se evaluó la dinámica forestal basado en crecimiento de las especies forestales tendiente a determinar el efecto de la dosis de fertilizante foliar en estas especies sembradas en áreas degradadas del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) Puerto almendra

que soportan un bosque tipo purma cuya edad oscilan entre 8,10, 15 y 20 años.

Por lo tanto, el desconocimiento de estos aspectos fundamentales, no permite una adecuada planificación y toma de decisiones para mejorar el estado situacional y su respectiva reposición de estas áreas degradadas permitiendo un inadecuado manejo sostenible de estos bosques. Esto implica que su valor científico se traduce en la obtención de nuevos conocimientos a partir de identificar los cambios en la estructura y del crecimiento en altura y diámetro de estas plantas al aplicar una determinada dosis de fertilizante foliar durante un periodo corto.

Por lo antes mencionado es indudable que con estas técnicas y nuevas metodologías innovadoras se planifique la ejecución de sembríos de plantas forestales, fortaleciendo las prácticas en los cursos de inventario, silvicultura, dasimetría entre otras, enriqueciendo el número de plantaciones y la red de parcelas permanentes que se dispone en la cuenca media del rio Nanay y la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

**Problema General.**

¿Cuánto es el efecto de la dosis de fertilizante foliar y tipo de bosques en el crecimiento de cuatro especies forestales sembradas en áreas degradadas del CIEFOR-Iquitos Perú?

**Problemas Específicos.**

¿Cuánto es el incremento medio anual (IMA) en DAP, altura total y área basal de las especies forestales?

¿Cuánto es la influencia del tipo de bosque en los valores del NDVI, ICC e incremento medio anual de las especies forestales?

## **Objetivos**

### **General**

Determinar el efecto de la dosis de fertilizante foliar y tipo de bosque en el crecimiento de cuatro especies forestales sembradas en áreas degradadas del CIEFOR-Iquitos Perú.

### **Específicos**

- a) Determinar el efecto de la dosis de fertilizante foliar en el crecimiento diamétrico, altura total y área de copa, NDVI, ICC.
- b) Determinar el efecto del tipo de bosque en el crecimiento diamétrico, altura total y área de copa, NDVI, ICC.
- c) Contrastar la hipótesis de que la dosis de fertilizante foliar y tipo de bosque tiene efecto en el crecimiento diamétrico, altura, área de la copa, NDVI, ICC en áreas degradadas del CIEFOR-Iquitos Perú.

## CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes.

En el mundo generalmente se reforesta con especies forestales de Pino y Eucalipto para producir madera, celulosa y energía (FAO, 2016, p. xx). FAO<sup>(9)</sup>, la agricultura y su integración en los planes de uso de la tierra resulta esencial para lograr los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), garantizar la seguridad alimentaria y hacer frente al cambio climático”, y de librar al mundo de las lacras de la pobreza y el hambre”. FAO <sup>(9)</sup>.

Por ello en el MINAGRI <sup>(10)</sup>, “se impulsa la reforestación para enfrentar los efectos del cambio climático en la Amazonía. El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) ha promovido la siembra de 150,000 mil plántones de especies forestales en 375 hectáreas, donde en una primera etapa se captará 30,000 mil toneladas de CO<sub>2</sub> en los próximos 10 años. El MINAGRI, a través del Proyecto Especial Datem del Maraón-Alto Amazonas - Loreto-Condorcanqui (PEDAMAALC), ejecuta un vasto programa de atención de las áreas afectadas por la deforestación mediante la producción de plántones de corte forestal, buscando de esa manera recuperar los suelos e impulsar actividades productivas”, “Una de las principales acciones promovidas por el MINAGRI en el último año ha sido el impulso de las plantaciones forestales, en la cual se busca satisfacer la demanda nacional de madera y recuperar la cobertura boscosa en zonas deforestadas y degradadas a nivel nacional” (<http://www.minagri.gob.pe/portal/noticias-antiores/notas-2017/19966-se-impulsa-reforestacion-para-enfrentar-los-efectos-del-cambio-climatico-en-la-amazonia>). Pero esta superficie propuesta por el MINAGRI para la reforestación en las regiones de la selva es insignificante para contrarrestar la deforestación.

En la literatura solo se encontró trabajos de aplicación de fertilización en la *Tectona grandis* “Teca” y *Gmelina arborea* “Melina” donde Rojas *et al*<sup>(11)</sup>; Barrios *et al*<sup>(12)</sup>; Fallas<sup>(13)</sup>; Marín<sup>(14)</sup>; Mollinedo *et al*<sup>(15)</sup>; realizaron la medición correspondiente de 10 ensayos de fertilización en ejecución y estimaron el comportamiento y respuesta de la teca a los distintos tratamientos. Basado en las hipótesis siguientes: (1) la no existencia de diferencias significativas

en cuanto a las clases de crecimiento definidas; (2) la no existencia de relaciones significativas entre los contenidos nutricionales en el suelo y foliares y (3) averiguar la existencia de diferencias entre los tratamientos en los ensayos de fertilización.

La consulta bibliográfica muestra que no hay experiencia reportada sobre el efecto de la fertilización en el crecimiento de las especies de *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrelinga cateniformis* y *Calycophyllum spruceanum* a nivel de plantación.

La literatura aborda sobre el crecimiento de estas especies en plantaciones sin aplicar fertilizante foliar. Así, para plantaciones de *Swietenia macrophylla* Saavedra<sup>(16)</sup> informa, que “para el sector Unihuaqui a los 6,4 años se encontró un diámetro promedio de 2,98 cm, una altura promedio de 3,53 cm, un incremento medio anual en diámetro de 0,46 cm/año, un incremento medio anual en altura de 0,55 cm/año, un área basal promedio de 0,05 m<sup>2</sup>/ha, un volumen promedio de 0,1 m<sup>3</sup>/ha y un incremento medio anual en volumen de 0,02 m<sup>3</sup>/ha/año; y para el sector Guacamayo a los 5,5 años presentó un diámetro promedio de 2,47 cm, una altura promedio de 2,58 cm, un incremento medio anual en diámetro de 0,46 cm/año, un incremento medio anual en altura de 0,48 cm/año, un área basal promedio 0,03 m<sup>2</sup>/ha, un volumen promedio 0,05 m<sup>3</sup>/ha”.

El trabajo realizado en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana con el objetivo de determinar el efecto de la fertilización con NPK en el crecimiento de *Simarouba amara* Aubl. (Marupá), usando Urea agrícola con 16% de nitrógeno, superfosfato de calcio triple con 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y cloruro de potasio con 60% de K<sub>2</sub>O, se encontró al quinto mes de evaluación después, demuestran que los tratamientos N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub> y N<sub>1</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> (0,043- 0,472- 0,471 y 0,543-0,036-0,328 g de N-P-K/planta) se producen las mejores respuestas, con incrementos promedios de 6,48 mm en diámetro y 47,63 cm en altura.

Además, se encontró un elevado porcentaje de sobrevivencia (95%); asimismo, se demuestra que concentraciones superiores a 0,543 gr. de nitrógeno por planta, causan desequilibrios fisiológicos en el normal crecimiento y desarrollo de las plantas <sup>(17)</sup>.

En términos generales la fertilización es aconsejable aplicaciones de 50 a 70 gramos de NPK y 10 gramos de bórax al 68% por árbol, independientemente del análisis del suelo <sup>(18)</sup>.

Esto demuestra, que la fertilización es importante para asegurar el crecimiento de una planta en barbechos forestales. Di Rienzo <sup>(19)</sup>, indica que “el propósito es hallar un modelo apropiado para estos datos teniendo en cuenta que a partir de un cierto nivel de fertilización la producción se estabiliza, para luego, si la fertilización es excesiva, comienza a disminuir”. Aquí la dosis de la fertilización tiene implicancias en el desarrollo de la planta. Por esta razón Di Rienzo (2011, p.39), señala “si la dosis está dentro de niveles razonables de fertilización no es esperable observar una disminución del rendimiento”.

Para el CONAF <sup>(20)</sup>, “algunas especies requieren fertilización; esta actividad busca mejorar la supervivencia y desarrollo adecuado de la planta, debido a que estimula el desarrollo de sus raíces, optimiza el uso eficiente del agua con la captación de nutrientes de manera eficaz y suficiente para asegurar la supervivencia y crecimiento inicial acelerado de la planta garantizando una ocupación óptima del suelo”. Por otro lado, la FAO <sup>(21)</sup> precisa “si bien la fertilización por carbono ya ha aumentado la productividad en algunas zonas tropicales, es probable que este efecto sea temporal”.

La fertilización se puede aplicar al suelo o al follaje; “La fertilización foliar es una herramienta importante para el manejo sostenible y productivo de los cultivos. Sin embargo, la comprensión actual de los factores que influyen para alcanzar la máxima eficacia de las aplicaciones foliares aún sigue siendo incompleta”. Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>. Pero “La fertilización foliar es una práctica efectiva para la corrección de deficiencias

nutricionales en plantas que se encuentran bajo condiciones de estrés o en suelos con baja disponibilidad de nutrientes”, según manifiesta Murillo, Piedra y León <sup>(23)</sup>.

Para el desarrollo de la planta no solo se debe aplicar fertilizantes, también se debe realizar limpieza, en el estudio de dinámica de crecimiento y productividad de especies forestales realizados por el Instituto Nacional de Bosques <sup>(18)</sup> para evitar la competencia de la maleza “recomienda intercalar las limpiezas totales con los plateos, cada vez que la maleza alcance 50 centímetros de altura o las 2/3 partes de la altura del árbol, operación que debe repetirse en los años segundo y tercero”. “Con estas prácticas se garantiza un buen crecimiento de la especie, libre de plagas y de competencia indeseables.

Cuando se aplica fertilizantes, “un informe detallado del establecimiento es una prioridad en cualquier ensayo. Es mejor que estos sean formularios que puedan ser llenados fácil y rápidamente, de manera que no haya retrasos prolongados durante los cuales se pueden perder u olvidar detalles. El informe debe mantenerse en un archivo a prueba de fuego y se debe mantener al menos una copia en otro sitio diferente. El informe de establecimiento debe contener todos los detalles sobre los cuidados en vivero, la fecha de establecimiento, información sobre el sitio, mapas detallados y todas las actividades realizadas tales como fertilización y combate de malezas” <sup>(24)</sup>.

Experiencias de fertilización han demostrado que con la aplicación de 80gr. de la fórmula 0-46-0 durante los primeros 3.5 años, se logra hasta 40% de mayor incremento en altura en relación a los no fertilizados según el INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES <sup>(18)</sup>.

De hecho, es probable que la mayoría de las pulverizaciones de Zn, Mn, Ca y Fe sean de efecto local, con transporte muy limitado fuera de los tejidos pulverizados refiere Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>.

Los siguientes tres factores se combinan para determinar la movilidad de un nutriente en el floema: a) la capacidad de un nutriente para entrar en el floema; b) la capacidad de un nutriente para moverse dentro del floema; y c) la capacidad de un nutriente para salir del floema hacia los tejidos de destino. Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>.

Para maximizar la eficiencia del proceso de absorción de nutrientes a nivel foliar, es necesario considerar tanto las características de la cutícula y epidermis de la planta, como las características físico-químicas de los fertilizantes a utilizar, de tal forma que se favorezca la penetración de estos a través de la epidermis nos dice Murillo, Piedra y León <sup>(23)</sup>.

## **1.2. Bases Teóricas**

“En ecosistemas naturales, la expansión foliar está condicionada por factores ambientales como luz, temperatura y agua, pero en sistemas de producción, es optimizada por la fertilización y la inclusión de reguladores de crecimiento. Éstos, al estimular el aumento de clorofilas, incrementan la tasa fotosintética y como consecuencia de un balance de carbono favorable, permite una mayor expansión foliar. La determinación del área foliar de las plantas tiene gran importancia en los estudios relacionados con su crecimiento y desarrollo, dado que, en las hojas, se sintetizan los carbohidratos que van a repartirse en los diferentes órganos”. CAEM <sup>(25)</sup>.

Según la FAO <sup>(21)</sup>, “el cambio climático afectará el crecimiento y la producción de los bosques directamente mediante un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico («fertilización por carbono») y los cambios en el clima e indirectamente a través de complejas interacciones en los ecosistemas forestales provocados por los cambios de temperatura y las precipitaciones”.

Cornelius y Ugarte-Guerra<sup>(24)</sup> recomiendan que “se deberían conducir estudios sobre dosis de fertilización”. “Que gracias a una correcta fertilización y lucha fitosanitaria ha permitido la reforestación de una amplia zona en el norte del País” <sup>(26)</sup>.

También se debe tener en cuenta según FAO <sup>(27)</sup>, indicadores (la adopción de sistemas de manejo que promueven el desarrollo y la adopción de métodos no químicos para el control de las plagas, enfermedades y/o fertilización); Verificadores (se favorece la utilización de fertilizantes orgánicos (abonos) en el establecimiento y manejo de la plantación) y el Método. Según Keller y Sherar <sup>(28)</sup>, es fundamental para el “mantenimiento y cuidado después de la siembra: a) Riego, b) Control de plagas, c) Fertilización”.

El objetivo principal de la aplicación de fertilizantes en una plantación es mejorar el crecimiento de los árboles. La fertilización es una actividad costosa y debe aplicarse con sumo cuidado porque los resultados pueden llegar a ser negativos (plantas quemadas). MARENA <sup>(29)</sup>.

La fertilización tiene sus reglas y no consiste en la simple aplicación de cualquier fertilizante nos dice MARENA <sup>(29)</sup>.

Una sugerencia técnica, consiste en recomendar la instalación de ensayos de aplicación en dosis, épocas, frecuencias, de acuerdo a otras experiencias y con base principalmente a los mejores tratamientos emanados de una evaluación en ensayos de fertilización en la misma área de estudio. Mollinedo *et al* <sup>(15)</sup>.

La fertilización foliar es una herramienta importante para el manejo sostenible y productivo de los cultivos. Sin embargo, la comprensión actual de los factores que influyen para alcanzar la máxima eficacia de las aplicaciones foliares aún sigue siendo incompleta, siendo esencial la evaluación experimental de los fertilizantes foliares para asegurar la eficacia y la seguridad, indica Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>.

No solo la fertilización afecta el crecimiento de una planta, según Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>, la luz y la temperatura, la humedad relativa puede afectar múltiples procesos que eventualmente influirán en la velocidad de la absorción foliar de los fertilizantes aplicados. Los principales

procesos afectados por la humedad son 1) la reacción de la solución foliar aplicada durante el transporte aéreo y una vez depositada en la superficie de la planta 2) el efecto de la humedad en la estructura de la cutícula de la hoja y la función de las estomas y 3) el efecto de la humedad en el metabolismo de la hoja y los procesos de transporte.

Por otra parte, “sus efectos directos sobre la absorción metabólica y los procesos de transporte, la temperatura determina el patrón de secado de la gotita y distribución a lo largo de la superficie de la hoja, lo que también tiene un efecto directo sobre la eficacia de las aplicaciones foliares. En última instancia, es la combinación de los efectos del medio ambiente en la planta antes de la aplicación foliar y en la biología de la planta durante y después de la absorción, las que determinan el impacto del ambiente en la eficacia de la fertilización foliar”, nos dice Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>.

Sobre los tipos de crecimiento Calderón <sup>(30)</sup>, indica que el crecimiento total del volumen actual o real, es la suma de los crecimientos anuales; el incremento medio anual, es el crecimiento total dividido por la edad. Este incremento debe incluir todo el volumen que se ha producido en el rodal, es decir, debe incluir los raleos; el incremento anual, es el que se produce en el intervalo de un año. Está muy influido por cuestiones climáticas, y es muy difícil de determinar. Finalmente, el incremento periódico es el que se produce en un determinado número de años.

Para que la fertilización foliar sea exitosa, “la absorción en la hoja se desarrolla mayoritariamente a través de la epidermis, por difusión, debido al gradiente de concentración del nutriente que se establece entre la superficie de la hoja y en el interior de la epidermis. Una vez que el nutriente ha ingresado al citoplasma de las células epidermales, la movilización de este ocurre en forma relativamente expedita. La principal barrera que el nutriente debe atravesar es la cutícula, la cual está compuesta de ceras. Las características físico-químicas del nutriente, tales como tamaño y polaridad controlan la tasa de absorción”. Murillo, Piedra y León <sup>(23)</sup>.

Las especies difieren notablemente en sus características de las superficies de las hojas, por lo que es imposible predecir la respuesta del cultivo a una formulación determinada, eso nos dice Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>.

“La absorción foliar de nutrientes a través de la hoja se puede visualizar como un proceso compuesto de tres etapas: Etapa 1: Retención del producto en la hoja. Etapa 2: Transporte del nutriente a las células. Etapa 3: Movimiento del nutriente hasta los órganos” Murillo, Piedra y León <sup>(23)</sup>.

Es más, “el medio ambiente afecta todos los aspectos de la fertilización foliar; desde las reacciones físicas y químicas de los materiales pulverizados; la arquitectura de la planta; la composición cuticular de la hoja; y el destino de los nutrientes una vez que entran a la planta”. Fernández, Sotiropoulos y Brown <sup>(22)</sup>.

Sin embargo, cuando la cutícula seca se humedece, las moléculas de agua que se internan establecen nuevos enlaces de hidrógeno y provocan que la estructura de la cutícula se abra; lo anterior genera canales, poros y cavidades de diversos tamaños en su estructura con grupos aniónicos que permiten el transporte de nutrientes hacia las células. Murillo, Piedra y León <sup>(23)</sup>.

“Valores bajo el nivel crítico indican que hay mayor probabilidad de una respuesta positivo del cultivo después de una aplicación del nutriente” y “valores sobre el nivel crítico indican poca probabilidad de una respuesta positiva”. McCray y Fernández <sup>(31)</sup>. Pero, aplicaciones sobre el nivel crítico no solo representa un impacto económico negativo, pero también un impacto ambiental. McCray y Fernández <sup>(31)</sup>.

El nitrógeno (N) es requerido en grandes cantidades para la formación de sustancias nitrogenadas, que se mueven con el agua y se almacenan en los tejidos (tallo y raíz), en la mayoría de las especies, la fase juvenil necesita de (N) para formar materia verde en el proceso de crecimiento. Muñoz <sup>(32)</sup>.

El fósforo (P) le da la fuerza necesaria a la planta para que se mantenga rígida y pueda así sostener todas sus partes. También promueve el buen desarrollo de las raíces y fortalece el ciclo de cada planta. Muñoz <sup>(32)</sup>. Para Noriega<sup>(33)</sup>, el crecimiento de la especie es la clave para la planificación del aprovechamiento sostenible.

Sobre el crecimiento del bosque, el INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES<sup>(18)</sup>, indica que el crecimiento de los árboles individuales está determinado por factores internos (genéticos), externos (sitio) y por el tiempo. El modelo de crecimiento de las especies forestales en relación con su edad, generalmente sigue una curva en forma sigmoidea. Inicialmente crecen lento, después crecen rápidamente y luego la velocidad de crecimiento se reduce nuevamente. El crecimiento del árbol y del bosque es similar, sin embargo, no son iguales, pues en el crecimiento del bosque como en toda población interviene un nuevo factor que es la mortalidad, consecuencia de la ley de la competencia.

Vasconcelos *et al.* <sup>(34)</sup>, encontró que el incremento periódico anual en carbono es influenciado por las variables categóricas: iluminación de la copa y forma de la copa. Melo *et al.*<sup>(35)</sup>, evaluaron el hábitat lumínico asociado a la riqueza, abundancia relativa y rareza de especies, en la dinámica del bosque contempló mortalidad, reclutamiento y crecimiento diamétrico para un periodo de 5-25 años.

Coral <sup>(36)</sup>, indica que, “el manejo forestal presente requiere de estimaciones objetivas del crecimiento e incremento de los árboles del bosque. Esta información es clave en la planeación de la cosecha sustentable y en la implementación de las mejores alternativas silvícolas. El crecimiento del bosque puede ser entendido como un proceso dinámico, que incluye una entrada (incorporación), un movimiento (crecimiento) y una salida (mortalidad y cosecha)”.

El incremento es la magnitud del crecimiento y consiste en la diferencia de tamaño entre el comienzo y final de un periodo de crecimiento. El incremento se define como el aumento en volumen, área basal, diámetro o altura de un árbol o de una masa forestal en un periodo de tiempo determinado INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES<sup>(18)</sup>.

Para relacionar las variables, “el análisis de regresión es una de las técnicas estadísticas más utilizadas. Es flexible y permite abordar la modelización de estructuras complejas de datos. Estas notas no pretenden cubrir toda la problemática del análisis de regresión sino servir como una introducción general y tratar con algún nivel de detalle algunas aplicaciones. El software con el que se hace la ejemplificación es InfoStat”. Di Rienzo<sup>(19)</sup>.

Para medir la competencia entre plantas, se usa el modelo de Bella. “el modelo de Bella es una extensión del concepto de “zona de influencia” de un árbol. El modelo considera que árboles cuyas zonas de influencia se traslapen, se hallan en competencia. El efecto relativo de competencia que un árbol competidor ejerce sobre un árbol sujeto, puede expresarse como una razón entre los diámetros (d) de ambos individuos, Mauricio, Vincent y Moret<sup>(37)</sup>.

Los modelos de índice de competencia espacialmente independiente (DI) usan funciones de variables a nivel de sitio y las dimensiones iniciales del árbol sujeto; son fáciles de calcular y requieren poco tiempo de computadora. Por otro lado, los índices de competencia espacialmente dependientes (DD) incorporan, de alguna forma, el número, dimensiones y localización de ciertos vecinos, por lo que son sensibles al arreglo espacial de los árboles en el sitio. Los modelos DD son, en general, más complejos y difíciles de calcular que los DI (Mauricio, Vincent y Moret, 1999, p.5).

Análisis de regresión efectuados para estimar la relación diámetro de copa con el diámetro del fuste bajo condiciones de crecimiento libre.

$$dc = 0,47473997 \times d^{0,84930571}$$

Donde:

dc: Diámetro de copa bajo condiciones decrecimiento libre (m) y d: Diámetro a la altura de pecho (cm).

$$D = b_0 + b_1 (d)^{b_2}$$

Donde: Dc: Diámetro de copa; d: Diámetro a la altura de pecho;  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$  son coeficientes dependientes de la especie.

Se asume que el tamaño máximo de la zona de influencia de un árbol, con un diámetro dado, está relacionado al tamaño máximo que puede alcanzar su copa bajo condiciones de crecimiento libre, por lo cual es necesario estimar la relación existente entre el diámetro ( $d$ ) y el radio de copa en individuos que crecen libres de competencia. Esta relación debe ajustarse por un factor (FE) cuyo valor depende de la especie y que posiblemente es afectado por el sitio y la edad. Bella<sup>(38)</sup>. El radio de la zona de influencia viene definido por la expresión, Mauricio, Vincent y Moret <sup>(37)</sup>.

$$R_c = (DC / 2) * FE$$

Donde:  $R_c$ : Radio de la copa libre; DC: Diámetro de copa libre, siendo DC =  $f(d)$ ; FE: Factor de Expansión del modelo de Bella y d: Diámetro a la altura de pecho, Mauricio, Vincent y Moret <sup>(37)</sup>.

Bajo el concepto del auto-raleo se indica que es posible observar tres etapas en el desarrollo de rodales coetáneos:

a) aquella que ocurre cuando las plantas establecidas están en su fase inicial de establecimiento y crecimiento, y el espacio que utilizan para ello todavía no ha sido completamente utilizado y por tanto no existe competencia entre ellos, ni mortalidad.

b) aquella que ocurre cuando las plantas están en plena competencia y exploración del espacio de crecimiento, donde existe un doble fenómeno de diferenciación de tamaños, supresión de los individuos menos vigorosos y su posterior mortalidad generando así una mayor diferenciación del tamaño de los árboles y finalmente.

c) aquella etapa del desarrollo del rodal en que el sitio ha sido completamente ocupado y la densidad está en su máxima expresión. Producto de ello la única posibilidad de crecimiento de los individuos es mediante la mortalidad de sus competidores.

“La ley de auto-raleo corresponde a un proceso dinámico de disminución de árboles en un rodal debido a los procesos de competencia y posterior aumento del tamaño o volumen de los individuos sobrevivientes”.

El soporte teórico del modelo se basa en la regla del auto aclareo aplicada a poblaciones mezcladas, Torres y Velázquez <sup>(39)</sup>.

Sin embargo, en la práctica la mayoría de los rodales “no manejados” o manejados extensivamente no presentan estas características. Por otro lado, algunos rodales manejados requieren del desarrollo de varias especies, o bien varios estratos, a fin de promover o recuperar la productividad y vigor de los mismos. En ambos casos, cualquier estrategia de manejo del rodal requerirá una medida de densidad relativa que evalúe diferentes condiciones de competencia dentro de éste, independientemente de la composición o estructura del mismo. Torres y Velázquez <sup>(39)</sup>.

Para establecer las relaciones del Diámetro a la altura del pecho (Dap) Diámetro promedio de la copa (Dc) y con el Área máxima de la copa (Ac) se midieron 52 árboles libres. Los análisis se realizaron formando un solo grupo con las tres especies, debido al buen agrupamiento de la nube de puntos y a la utilidad de tener "expresiones generales" para las finalidades de planificación pretendidas para el bosque mixto, Chauchard *et al* <sup>(40)</sup>.

Diéguez-Aranda *et al* <sup>(41)</sup>, evaluaron nueve modelos altura- diámetro compatibles, es decir, que predicen la altura dominante cuando se introduce como diámetro normal, el diámetro dominante de la masa, con el objetivo de incluir el mejor de ellos en un modelo dinámico de crecimiento de la especie en estudio, e indica también que la estimación precisa de esta

relación es importante debido a que la altura es una variable más difícil y costosa de medir en campo que el diámetro, y generalmente se mide sólo en una muestra de árboles.

Las variables necesarias para utilizar el modelo requieren un bajo esfuerzo de muestreo, siendo sólo necesario medir los diámetros y una muestra de alturas. Además, dichas variables se recogen en la mayoría de los inventarios forestales y pueden proyectarse hacia el futuro con ecuaciones de crecimiento de uso habitual, Diéguez-Aranda *et al*<sup>(41)</sup>.

La altura dominante de Assman es un parámetro cuya medición o estimación resulta laboriosa en la práctica, y presenta algunos inconvenientes desde el punto de vista estadístico que le restan operatividad. Teniendo en cuenta que se trata de un parámetro dasométrico de uso muy generalizado en España y con importantes implicaciones silvícolas, se considera adecuado buscar alternativas que solventen las pegas de la citada altura dominante. Bengoa <sup>(42)</sup>.

En cuanto a la colección y análisis de datos, un informe detallado del establecimiento es una prioridad en cualquier ensayo. Es mejor que estos sean formularios que puedan ser llenados fácil y rápidamente, de manera que no haya retrasos prolongados durante los cuales se pueden perder u olvidar detalles. El informe debe mantenerse en un archivo a prueba de fuego y se debe mantener al menos una copia en otro sitio diferente. El informe de establecimiento debe contener todos los detalles sobre los cuidados en vivero, la fecha de establecimiento, información sobre el sitio, mapas detallados y todas las actividades realizadas tales como fertilización y combate de malezas. Cornelius y Ugarte-Guerra<sup>(24)</sup>.

“Las especies difieren en sus necesidades ecológicas en cuanto a recursos ambientales tales como nutrientes del suelo, agua y luz. Las especies arbóreas también varían en otros aspectos, a saber, sus tasas de crecimiento, tiempo de vida, producción de semillas y forma de crecimiento. El conocimiento de dichas diferencias es esencial para el manejo de los bosques tropicales que se caracterizan por su diversidad de especies. No

obstante, sería difícil manejar específicamente cada una de las especies del bosque.” Fredericksen, Contreras y Pariona<sup>(43)</sup>.

El manejo forestal presente requiere de estimaciones objetivas del crecimiento e incremento de los árboles del bosque. Esta información es clave en la planeación de la cosecha sustentable y en la implementación de las mejores alternativas silvícolas. El crecimiento del bosque puede ser entendido como un proceso dinámico, que incluye una entrada (incorporación), un movimiento (crecimiento) y una salida (mortalidad y cosecha). Coral<sup>(36)</sup>.

Para la toma de decisiones durante la planificación y gestión forestal según Coral<sup>(36)</sup>, es que la comprensión de la dinámica del bosque natural es un insumo básico para el modelo conceptual. Por lo anterior, se buscan dar respuestas a las siguientes interrogantes: ¿cuál es la velocidad de crecimiento de las especies forestales?, ¿cuáles son sus tasas de mortalidad y reclutamiento? También puede servir para la selección de rodales con especies para protección y manejo a nivel local o regional. Para poder entender las tendencias actuales y futuras del ciclo global del carbono en este tipo de bosque, se requiere cuantificar los cambios temporales de las reservas y flujos de carbono en los diferentes ecosistemas y, de manera especial en las zonas boscosas.

## **Descripción de las especies**

**Especie Caoba** según Reynel, *et al*<sup>(44)</sup>.

Especie: *Swietenia macrophylla* King

Familia: MELIACEAE

Nombre local: “*Swietenia macrophylla*”

*Sinónimos: Swietenia belizensis* Lundell, *Swietenia candollei* Pittier, *Swietenia krukovii* Gleason, *Swietenia macrophylla* var. *Marabaensis* Ledoux & Lobato, *Swietenia tessmannii* Harms.

Estado de Conservación: En peligro crítico

## Hábitat

Se desarrolla en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, y no tolera las sequías prolongadas; es una especie con tendencia heliófita, presente en bosques disturbados perdurando hasta la condición primaria, usualmente en suelos ligeros, francos a arenosos, de buena fertilidad, bien drenados, con pedregosidad baja a media. Desde México en Centro América a la región Amazónica, hasta Bolivia, mayormente de bajo de los 1200 msnm. Reynel <sup>(44)</sup>.

## Hojas

Compuestas, paripinnadas, alternas, dispuestas en espiral, con tendencia a agruparse en los extremos de las ramitas, de 16-35 cm de largo, el raquis delgado, los folíolos 4-6 pares, opuestos a sub opuestos, ovados, asimétricos, de unos 9-13 x 3-4 cm, el ápice agudo y falcado, la base obtusa o aguda, marcadamente asimétrica, el borde entero, los nervios secundarios 8-11 pares, prominulos en ambas caras, la nerviación terciaria reticulada, los folíolos glabros.

**Especie Capirona** según Reynel, *et al*<sup>(44)</sup>.

Especie: *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook, f, ex K, Schum

Familia: RUBIACEAE

Nombre local: “*Calycophyllum spruceanum*”, “*Calycophyllum spruceanum negra*”, “*Calycophyllum spruceanum del bajo*”

**Sinónimos:** *Calycophyllum spruceanum* fo. *Brasiliensis* K, Schum,; *Calycophyllum spruceanum* fo. *Peruvianum* K, Schum,; *Calycophyllum spruceanum* fo. *Spruceanum*; *Calycophyllum spruceanum* var. *Spruceanum*; *Eukylista spruceana* Benth,

## Hábitat

Se desarrolla en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Es una especie heliófita, característica en bosques secundarios pioneros y tardíos, sobre suelos mayormente limosos a arenosos, aluviales, fértiles, a veces temporalmente

inundables y en las zonas ribereñas; tolera la pedregosidad elevada. Toda la Amazonía, hasta el sur de Brasil y Bolivia, en altitudes de hasta 1200 msnm. Reynel, *et al*<sup>(44)</sup>.

### **Hojas**

Simple, opuestas decusadas, elípticas u oblongas. De 5-10 × 3-5 cm, pecíolos de 1,5-2,5 cm de largo, acanalados, láminas enteras, ápice agudo gruesamente acuminado, base obtusa, nervación pinnada, los nervios secundarios 12-15 pares, levemente impresos en el haz y en relieve en el envés, al igual que el nervio central, las axilas de los nervios secundarios con diminutos mechones de pelos o domatios en el envés (10×), las láminas cartáceas.

**Especie Cedro** según Reynel, *et al*<sup>(44)</sup>.

Especie: *Cedrela odorata* L,

Familia: MELIACEAE

Nombre local: “*Cedrela odorata colorado*”, “*Cedrela odorata*”

*Sinónimos: Cedrela adenophylla* Mart.; *Cedrela brachystachya* (C, DC,) C, DC.; *Cedrela brownii* Loefl.; *Cedrela brownii* Loefl, ex Kuntze; *Cedrela caldasana* C, DC.; *Cedrela ciliolata* S.F, Blake; *Cedrela cubensis* Bisse; *Cedrela dugesii* S. Watson; *Cedrela glaziovii* C, DC.; *Cedrela guianensis* A. Juss.; *Cedrela hassleri* (C, DC,) C, DC.; *Cedrela huberi* Ducke; *Cedrela imparipinnata* C, DC.; *Cedrela longipes* S.F, Blake; *Cedrela longipetiolulata* Harms; *Cedrela mexicana* M, Roem.; *Cedrela mexicana* var. *Puberula* C, DC.; *Cedrela mourae* C, DC.; *Cedrela occidentalis* C, DC, & Rose; *Cedrela odorata* var. *Xerogeiton* Rizzini & Heringer; *Cedrela palustris* Handr.; *Cedrela paraguariensis* Mart.; *Cedrela paraguariensis* var. *Brachystachya* C, DC.; *Cedrela paraguariensis* var. *Hassleri* C, DC, *Cedrela paraguariensis* var. *Multijuga* C, DC.; *Cedrela rotunda* S.F, Blake; *Cedrela sintenisii* C, DC.; *Cedrela velloziana* M, Roem.; *Cedrela whitfordii* S.F, Blake; *Cedrela yucatanana* S.F, Blake; *Surenus brownii* Kuntze; *Surenus glaziovii* (C, DC,) Kuntze; *Surenus guianensis* (A. Juss.) Kuntze; *Surenus mexicana* (M, Roem,) Kuntze; *Surenus paraguariensis* (Mart,) Kuntze; *Surenus velloziana* (M, Roem,) Kuntze.

### **Hábitat**

Se desarrolla en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, aunque también en zonas con una marcada estación seca; es una especie con tendencia heliófita, presente en bosques secundarios tardíos, sobre suelos arcillosos a arenosos, de fertilidad variable y bien drenada, con pedregosidad elevada. Amplia distribución desde Centroamérica a la región Amazónica, hasta Bolivia, mayormente debajo de los 1600 msnm. Reynel, *et al*<sup>(44)</sup>.

**Especie Tornillo** según Reynel, *et al*<sup>(44)</sup>.

Especie: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

Familia: FABACEAE

Nombre local: “*Cedrelinga cateniformis*”, “*pino peruano*”

**Sinónimos:** *Piptadenia cateniformis* Ducke; *Pithecellobium cateniformis* (Ducke) L, Cárdenas

### **Hábitat**

Se desarrolla en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también crece en zonas con clima fuertemente estacional; es una especie con tendencia esciófita, presente en bosques primarios, sobre suelos arcillosos, usualmente ácidos, en zonas bien drenadas y con pedregosidad baja o nula. Región Amazónica, en altitudes de hasta 1200 msnm.

### **Usos**

La madera es de buena calidad y gran durabilidad, semidura y semipesada. Es muy trabajable y tiene amplio mercado en el Perú para construcción, carpintería y ebanistería. Se le comercializa muchas veces bajo el nombre de “pino peruano”,

### **Fuste**

Cilíndrico. La ramificación desde el segundo o tercer tercio. La base del fuste recta. Árbol de 20-40 m de alto y desde 0,5-2 m de diámetro.

## **Hojas**

Compuestas bipinnadas, alternas y dispuestas en espiral, de unos 30- 40 cm de largo, pecíolo de unos 6-30 cm de largo. Las hojas usualmente con 4 pinnas, las zonas de articulación de las pinnas con una glándula de unos 2-5 mm de diámetro, láminas foliares ovadas, asimétricas, de unos 4-15 x 2-9 cm, enteras, el ápice acuminado, la base aguda e inequilátera, la nervación pinnada con 5-7 pares de nervios secundarios, los nervios terciarios muy paralelos y transversales al nervio central, las hojas glabras.

### **1.3. Definición de términos básicos.**

**Reforestación:** Regeneración natural o restablecimiento del bosque a través de la plantación o de la siembra deliberada en tierra que ya es de uso forestal. FAO<sup>(9)</sup>

**Bosque Secundario (Bs):** Son áreas boscosas en proceso de regeneración, después de la tala o alteración del Bosque Primario; principalmente formadas por especies pioneras o colonizadoras que producen una abundancia de pequeñas semillas, que son dispersadas por aves y murciélagos, estos árboles tienen un crecimiento rápido. FAO<sup>(9)</sup>

**Crecimiento de los árboles:** es un proceso complejo de respuesta ante diferentes influencias o condicionantes externos del entorno. Entre los factores naturales que influyen en el crecimiento son las características del clima y del suelo las que determinan, junto con los organismos del ecosistema, el estado físico-químico del entorno en el que se desarrollan dichos organismos. Gadow *et al*<sup>(45)</sup>.

**Incremento medio anual:** es el incremento promedio de todos los años de crecimiento.

<http://ataymes.es.tripod.com/publicaciones/glosario/gp.html>

**Incremento en altura:** Para obtener el resultado de este parámetro se aplicó la siguiente fórmula:  $IH = Af - Ai$  Donde: IH= Incremento de altura de las plántulas. Ai= Altura inicial, Af = Altura final. Vela <sup>(46)</sup>.

**Incremento en diámetro:** Para obtener el resultado de este parámetro se empleó la siguiente fórmula:  $ID = Df - Di$  Donde: ID= Incremento de diámetro de las plántulas. Di = Diámetro inicial, Df = Diámetro final. Vela <sup>(46)</sup>.

**Degradación del bosque:** Disminución de la capacidad del bosque para suministrar bienes y servicios. FAO<sup>(27)</sup>.

**Bosques plantados:** Bosque predominantemente compuesto de árboles establecidos por plantación y/o siembra deliberada. FAO<sup>(27)</sup>.

**Árbol:** Especie leñosa perenne con un solo tronco principal o. en el caso del monte bajo con varios tallos, que tenga una copa más o menos definida. FAO<sup>(27)</sup>.

**Plántulas:** Llamadas también plántulas producidas en vivero o recolectados en el bosque como regeneración natural (Theodore, 1986) citado por Vela<sup>(46)</sup>.

**La degradación forestal;** se define, en términos generales, como una reducción en la capacidad de un bosque para producir servicios ecosistémicos, como el almacenamiento de carbono y los productos de madera, como resultado de cambios antropogénicos y ambientales. Thompson *et al.*<sup>(47)</sup>.

**Crecimiento:** Louman<sup>(48)</sup>, define al crecimiento de un árbol como el aumento de tamaño en el tiempo. Este se puede expresar en términos de diámetro, altura, área basal o volumen. A la magnitud del crecimiento se denomina incremento. El crecimiento es el proceso principal que se pretende influir con la silvicultura pues conlleva al producto deseado: madera de ciertas dimensiones y cierta calidad. El crecimiento implica un estado inicial

mensurable y cambios en ese estado con el paso del tiempo. A partir de ahí se puede hablar de incremento total (diferencia entre un estado en un momento dado y el estado inicial), incremento corriente anual (incremento del último año de medición (ICA), incremento medio anual (promedio por año desde el año (IMA) o periodo anual (promedio por año durante un cierto periodo (IPA), o incremento relativo (en porcentajes del tamaño total promedio entre el comienzo y final del periodo de medición del crecimiento (IR).

## CAPÍTULO II: VARIABLES E HIPÓTESIS

### 2.1 Variables y su operacionalización.

<b>Variables</b>	<b>Operacionalización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>
<b>Independiente</b> X <sub>1</sub> Fertilización	La fertilización se medirá según la dosis y la frecuencia de aplicación	Frecuencia de aplicación Días (1, 2 y 3 veces)	Dosis (ml) (20, 40, 60, 80, 120 y 180)
<b>Dependiente</b> Y <sub>1</sub> Crecimiento	Se medirá el crecimiento en diámetro del fuste y de la copa, altura total, NDVI, ICC.	Diámetro del fuste	IMA del diámetro
		Altura total	IMA Altura total
		Diámetro de la copa	IMA del Área de la copa
		NDVI	-1 a 1
		ICC	Unidades SPAD

### 2.2 Formulación de la hipótesis

#### Hipótesis general

Las dosis de fertilizante foliar y tipo de bosque tienen efecto en el crecimiento de cuatro especies forestales sembradas en áreas degradadas del CIEFOR.

#### Alternativa

Ha: Las dosis de fertilizante foliar y tipo de bosque tienen efecto en el crecimiento diamétrico, altura, área de copa, NDVI, ICC de las plantas de cuatro especies forestales sembradas en áreas degradadas del CIEFOR.

#### Nula

Ho: Las dosis de fertilizante foliar y tipo de bosque no tienen efecto en el crecimiento diamétrico, altura, área de copa, NDVI, ICC de las plantas de cuatro especies forestales sembradas en áreas degradadas del CIEFOR.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación consistió en la colección, síntesis y análisis de los datos mediante el enfoque de la investigación cuantitativa del tipo experimental, sobre las variables principales como fertilizante foliar, tipo de bosque (bloque), 4 especies forestales (*Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum* y *Cedrelinga cateniformis*) y se evaluó el incremento medio anual de plantas en diámetro del tallo, altura total y área de la copa; en áreas degradadas de la cuenca media del río Nanay en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) de la Facultad de Ciencias Forestales - UNAP.

El diseño de la investigación corresponde a un diseño cuasi experimental interviniendo como factores cuatro especies forestales, cuatro tipos de vegetación de bosque secundario, seis dosis de fertilización con abono foliar Bayfolan 20-10-1 (20, 40, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros H<sub>2</sub>O/ semana) y como variables de respuesta el IMA del diámetro del tallo. IMA de la altura total del tallo e IMA del área de la copa.

### 3.2. Población y muestra

La población estuvo constituida por 10 parcelas de 1 ha c/u. de plantación en fajas de enriquecimiento bajo diferentes tipos de cobertura arbórea, tales como purmas bajas, purmas de porte medio, purmas de porte alto. bosque secundario en tierra firme y bosque secundario en tierras con alta saturación de agua dentro del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) de la Facultad de Ciencias Forestales - UNAP.

Grafico 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



Muestra: estuvo constituida por las parcelas I, II, III y IV de plantación en fajas de enriquecimiento bajo diferentes tipos de cobertura arbórea, tales como purmas bajas, purmas de porte medio. bosque secundario en tierra firme y bosque secundario en tierras con alta saturación de agua dentro del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) de la Facultad de Ciencias Forestales - UNAP.

El principal criterio de selección fue el tipo de cobertura, donde no figure el bosque purmas de porte alto para evitar confusión en el momento de realizar la estratificación y que el dosel del bosque permita el mayor ingreso de luz solar porque la unidad experimental corresponde a especies heliófitas. La unidad de análisis fueron los individuos de las especies *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga cateniformis* y *Calycophyllum spruceanum* establecido en las fajas dentro de cada parcela.

El procedimiento de muestreo utilizado fue el de conveniencia.

### **Clima**

El clima de esta zona es propio de los bosques tropicales húmedos, cálidos y lluviosos. Según la estación meteorológica del CIEFOR Puerto Almendra y los proporcionados por SENAMHI Iquitos, la

temperatura media anual fue de 26,4°C, máxima de 31,6°C y mínima de 21,6°C; precipitación media anual de 2,937.47 mm; humedad relativa media anual de 82,1%, meses más lluviosos de marzo a mayo y diciembre, meses más secos julio y agosto. SENAHMI<sup>(49)</sup>.

### **Ecología**

El bosque del sector corresponde al bosque húmedo tropical (Bh-T), cuyas características fisionómicas, estructurales y de composición florística corresponde a los bosques con precipitaciones mayores de 2,000 mm y menores de 4,000 mm al año. Tosi <sup>(50)</sup>.

### **Fisiografía**

Corresponde a la gran unidad fisiográfica denominada “Paisaje aluvial” caracterizada por la topografía relativamente plana (0% – 5%).

### **Suelos**

Los suelos pertenecen a la serie arenosa parda, muy profundos, de textura medianamente gruesa, de color pardo amarillento, parecen excesivamente arenosos y permeabilidad rápida con pH de 0,5 a 5,3 y 70% a 80% de aluminio cambiante; con pendiente entre 0% y 4%.

## **3.3. Técnica e instrumentos**

Para la evaluación del experimento en la plantación dentro del bosque secundario degradado se diseñó el instrumento para la recolección de los datos de la plantación que se muestra en el anexo 01, que contiene campos como Lugar de evaluación, fecha de evaluación, parcela, faja, especie, número de la planta, tipo de bosque secundario, diámetro del tallo, altura total, diámetro de la copa, dosis de fertilizante foliar. NDVI. ICC, observación.

## **3.4. Procedimiento de recolección de datos**

Las parcelas fueron debidamente delimitadas con jalones de madera en los cuatro vértices y en los intermedios. Las parcelas fueron cuadradas con un tamaño de 100 m x 100 m, donde se abrió 11 líneas

de 2 metros de ancho para la plantación, con una separación entre líneas de 10 metros. En la línea se colocó un jalón auxiliar cada 5 metros, en la que fueron sembradas plantas provenientes del vivero forestal de las especies *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga cateniformis* y *Calycophyllum spruceanum*.

El diámetro del individuo de la especie sembrada se midió a 10 cm a ras del suelo en milímetros. La altura total se midió desde la base del suelo hasta el ápice terminal del individuo en centímetros. Para obtener el diámetro de la copa se realizó se promediaron dos medidas, la primera medida (d<sub>1</sub>) se realizó de norte a sur y la segunda medida (d<sub>2</sub>) se realizó de este a oeste.

a) Cálculo del diámetro de la copa

$$D_{\text{Copa}} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{Ec, 1}$$

b) Cálculos del incremento medio anual (IMA) del diámetro

Para el incremento medio anual fue:

$$IMA_{\text{D}} = \frac{(D_{\text{Final}} - D_{\text{Inicial}})}{n} \quad \text{Ec, 2}$$

c) Cálculos del incremento medio anual (IMA) de la altura total

Para el incremento medio anual fue:

$$IMA_{\text{H}} = \frac{(HT_{\text{Final}} - HT_{\text{Inicial}})}{n} \quad \text{Ec, 3}$$

d) Cálculos del incremento medio anual (IMA) del área de la copa

Para el incremento medio anual fue:

$$IMA_{\text{A}} = \frac{(A_{\text{Final}} - A_{\text{Inicial}})}{n} \quad \text{Ec, 4}$$

## Índice crítico de clorofila (ICC)



Se usó el medidor de clorofila SPAD 502 Plus para medir instantáneamente el contenido de clorofila o “verdor” de las plantas. Es un método de medición no-invasiva. Cuya lectura dura menos de 2 segundos. Sus valores variaron entre 0 a 60 unidades SPAD. A mayor unidad SPAD mayor concentración de clorofila en las hojas de las plantas. El contenido de clorofila se incrementa en proporción a la cantidad de nitrógeno en la hoja.

Se usó el medidor de clorofila SPAD 502 Plus para medir instantáneamente el contenido de clorofila o “verdor” de las plantas. Es un método de medición no-invasiva. Cuya lectura dura menos de 2 segundos. Sus valores variaron entre 0 a 60 unidades SPAD. A mayor unidad SPAD mayor concentración de clorofila en las hojas de las plantas. El contenido de clorofila se incrementa en proporción a la cantidad de nitrógeno en la hoja.

## e) Índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI)



El NDVI de las hojas de las plantas de *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrelinga cateniformis* y *Calycophyllum spruceanum* se realizó el FieldScout CM 1000 NDVI Meter. Las mediciones NDVI pueden tener un rango de -1 a 1, donde los valores más altos indican mayor salud de las plantas. Es una herramienta para manejar efectivamente su programa de nitrógeno.

## 3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

### 3.5.1. Técnicas de procesamiento

En este estudio se evaluaron los variables diámetro de copa (Dc), diámetro a la altura del pecho (Dap), altura total, dosis de fertilizante foliar, Índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI), Índice crítico de clorofila (ICC) y tipo de purmas que influye en la cantidad de luz que llega a las plantas sembradas en campo definitivo. Las relaciones de estas variables se realizaron usando el método del análisis factorial de

componentes principales, basado en la técnica de reducción de datos, para encontrar grupos homogéneos entre dichas variables.

Con este método se identificó dentro del conjunto de variables estudiadas un grupo pequeño de factores que expliquen la mayoría de la varianza observada.

Este análisis factorial consta de cuatro fases características: a) cálculo de una matriz capaz de expresar la variabilidad conjunta de todas las variables; b) la extracción del número óptimo de factores; c) la rotación de la solución para facilitar su interpretación y d) la estimación de las puntuaciones de los sujetos en nuevas dimensiones.

### 3.5.2. Análisis estadístico

Los datos colectados previa revisión de su consistencia fueron digitados en una hoja electrónica de Microsoft Excel 13 generándose una base de datos, luego se procedió a la limpieza de la data, previa evaluación minuciosa de los datos, para detectar valores del diámetro a la altura de la base (DAB) y altura total que estaban dentro del rango teórico para esta plantación.

Para generar las tablas principales de resultados, el análisis estadístico se realizó en dos grupos:

- a) La data SPSS fueron procesados en el IBM SPSS v.25, donde se verificó primero que los datos de las variables estén distribuidos normalmente mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, así como se cumpla con el supuesto de igualdad de varianzas que realizó con el test de "Levene".
- b) Como los datos de crecimiento no se distribuyeron normalmente y no tuvieron homogeneidad de varianzas, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (H) para contrastar las diferentes hipótesis de trabajo.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Análisis multivariado: método de componentes principales de las especies, dosis de fertilizante foliar. ICC, NDVI. IMA del DAP. IMA de la copa y altura de la planta.

El análisis factorial de componentes principales en este estudio se centra en la matriz de correlaciones entre las variables observadas (Tabla 1); observándose que las especies usadas en la plantación forestal están correlacionadas significativamente con la dosis de fertilizante foliar ( $p = 0,002$ ), con el índice crítico de clorofila ICC ( $p = 0,002$ ); el tipo de bosque estuvo correlacionada con el índice crítico de clorofila ICC ( $p = 0,005$ ), Están correlacionadas la dosis de fertilizante foliar con el NDVI ( $p = 0,011$ ) con el ICC ( $p = 0,015$ ), con el IMA del DAP ( $p = 0,034$ ) y con el IMA de la copa ( $p$  valor=  $0,002$ ), También estuvo correlacionada el IMA de DAP con la altura de la planta ( $p = 0,000$ ), Aquí se observa que las variables están más o menos correlacionadas, pero la correlación entre dos de ellas puede estar influenciadas por las otras variables. Por ello se ha usado la correlación parcial para medir la relación entre dos variables eliminando el efecto del resto.

Tabla 1.- Matriz de correlaciones para la especie, dosis de fertilizante foliar, NDVI, ICC, incremento medio anual del DAP, HT y área de copa.

	Variable	Especie	tipo de bosque	DOSIS	NDVI	ICC	IMA DAP	IMA HT	IMA copa
Correlación	Especie	1,000	-0,037	0,306	-0,037	0,314	-0,149	-0,152	-0,056
	tipo de bosque	-0,037	1,000	0,009	0,002	-0,280	-0,082	-0,028	0,038
	DOSIS	0,306	0,009	1,000	-0,251	0,239	-0,201	0,011	-0,317
	NDVI	-0,037	0,002	-0,251	1,000	-0,035	-0,011	-0,312	0,106
	ICC	0,314	-0,280	0,239	-0,035	1,000	-0,002	0,176	0,053
	ima dap	-0,149	-0,082	-0,201	-0,011	-0,002	1,000	0,432	0,101
	Ima HT	-0,152	-0,028	0,011	-0,312	0,176	0,432	1,000	0,142
	ima copa	-0,056	0,038	-0,317	0,106	0,053	0,101	0,142	1,000
	Sig., (unilateral)	Especie		0,369	0,002	0,371	0,002	0,089	0,086
tipo de bosque		0,369		0,468	0,493	0,005	0,231	0,402	0,368
DOSIS		<b>0,002</b>	0,468		0,011	0,015	0,034	0,459	0,002
NDVI		0,371	0,493	<b>0,011</b>		0,375	0,459	0,002	0,170
ICC		<b>0,002</b>	<b>0,005</b>	<b>0,015</b>	0,375		0,492	0,056	0,318
ima dap		0,089	0,231	<b>0,034</b>	0,459	0,492		0,000	0,181
Ima HT		0,086	0,402	0,459	0,002	0,056	<b>0,000</b>		0,100
ima copa		0,307	0,368	<b>0,002</b>	0,170	0,318	0,181	0,100	

El índice KMO de la tabla 2 compara los valores de las correlaciones entre las variables y sus correlaciones parciales. La medida de adecuación muestral KMO para los datos de este estudio y el valor en la escala fue Coeficiente KMO = 0,505, Con el test de Bartlett se trata de conocer si se puede factorizar las variables originales de forma eficiente (tabla 2), cuyo valor es 80,058 indicaría que el modelo factorial es inadecuado ( $p = 0,000$ ).

Tabla 2.- Índice KMO y Bartlett que compara la correlación de variables y sus correlaciones parciales.

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,505
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox, Chi-cuadrado	80,058
	GI	28
	Sig,	0,000

Las comunalidades asignadas inicialmente a las variables como especie, tipo de bosque, dosis de fertilizante foliar. NDVI; ICC, Incremento medio anual del DAP, Altura total (HT) y área de la copa se muestra en la tabla 3, así como las comunalidades de una variable reproducidas por la solución factorial (Extracción), Para las comunalidades del incremento medio anual (IMA) en altura total muestra que la proporción de su varianza explica el 77,1% en el análisis de componentes principales, el índice crítico de clorofila (ICC) explica el 72,2% de la varianza del modelo. Los mayores valores de las comunalidades corresponden para el IMA en altura total, del ICC, dosis de fertilizante foliar y NDVI. Los valores de la proporción de varianza varían entre 0,629 y 0,771, pero las variables no quedan muy bien explicadas a través de los componentes extraídos.

Tabla 3.- Comunalidades asignadas a las variables estudiadas reproducidas por la solución factorial (Extracción).

Variable	Inicial	Extracción
Especie	1,000	0,519
tipo de bosque	1,000	0,395
Dosis	1,000	0,684
NDVI	1,000	0,629
ICC	1,000	0,722
Ima dap	1,000	0,562
Ima HT	1,000	0,771
Ima copa	1,000	0,415

Método de extracción: análisis de componentes principales.

La tabla 4 muestra el porcentaje de la varianza explicada y el listado de auto valores de la matriz varianza-covarianza y del porcentaje de varianza que representan cada uno de ellos. Se observa que en el componente 1, 2 y 3 los auto valores iniciales fueron superiores a 1, por lo que se tomó la decisión de seleccionar tres (3) factores (componentes) que deben extraerse. Los auto valores expresan la cantidad de la varianza total que está explicada por cada factor, y por defecto se extraen tanto factores como auto valores mayores que 1 en la matriz asociada. El primer componente explica el 22,57% de la varianza de los datos originales, el segundo componente el 20,32% y el tercer componente el 15,80% de la varianza de los datos originales. En conjunto los tres componentes principales recogieron el 58,69% de la varianza de las variables originales.

Tabla 4.- Varianza total explicada por componentes principales, auto valores iniciales y % de varianza acumulado.

Componente	Varianza total explicada		
	Total	Auto valores iniciales	% de varianza
1	1,805		22,566
2	1,626		20,322
<b>3</b>	<b>1,264</b>		<b>15,802</b>
4	0,983		12,290
5	0,792		9,897
6	0,642		8,030
7	0,494		6,174
8	0,394		4,920
			<b>58,690</b>

Método de extracción: análisis de componentes principales.

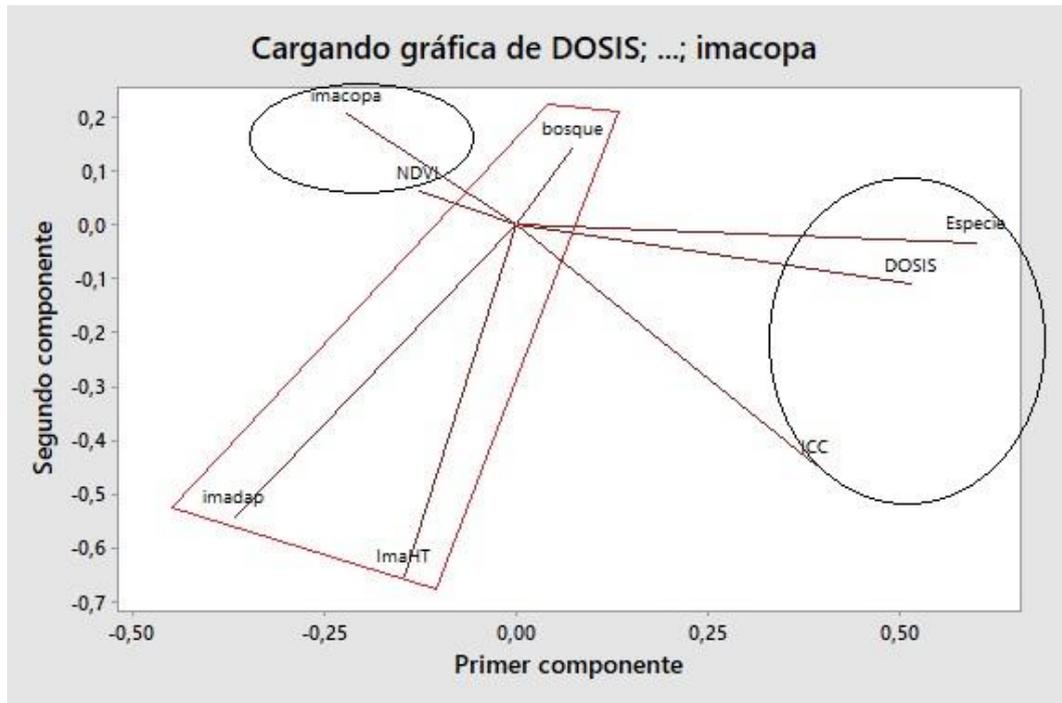
La tabla 5 muestra la solución factorial propiamente dicha y contiene las correlaciones entre las variables originales (o saturaciones) que se muestra en la matriz de componentes principales. Comparando las saturaciones relativas de cada variable en cada uno de los tres factores (componentes) se observa que el primer factor está constituido por las variables dosis de fertilizante foliar (0,757) y especie (0,654), El segundo factor está constituido por las variables IMA altura (0,813) e IMA del DAP (0,566) y en el tercer factor está constituida por el NDVI (0,571), el ICC (0,519) y el tipo de bosque (-0,518).

Tabla 5.- Matriz de componentes extraídos por el método del análisis de componentes principales.

Variable	Matriz de componente		
	Componente		
	1	2	3
DOSIS	0,757	0,172	-0,286
Especie	0,654	0,038	0,298
Ima copa	-0,460	0,124	0,434
Ima HT	-0,260	0,813	-0,204
Ima dap	-0,491	0,566	0,013
NDVI	-0,239	-0,495	0,571
ICC	0,455	0,495	0,519
Tipo de bosque	-0,143	-0,326	-0,518

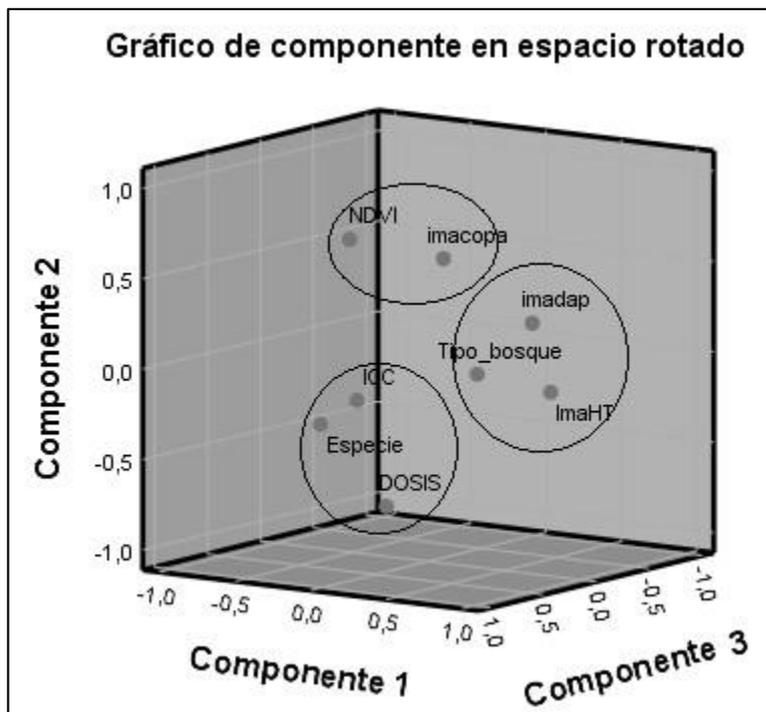
El Gráfico 2 muestra el gráfico biplot donde se buscan las direcciones que presentan las variables estudiadas en la plantación forestal, Por las direcciones que siguen las variables se percibe tres agrupamientos importantes: El primer grupo está constituida por las variables correlacionadas entre el IMA copa con el NDVI. El segundo grupo indica que la especie forestal reacciona con la dosis de fertilizante foliar usada en el experimento y con el valor SPAD del índice crítico de clorofila y el tercer grupo lo conforma el incremento medio anual del DAP y de la altura total (HT) que se correlaciona negativamente con el tipo de bosque del área experimental.

Gráfico 2.- Gráfico biplot del primer y segundo componente de las variables usadas en el estudio.



El Gráfico 3, muestra los factores de carga representados en un gráfico que permite la interpretación visual de las relaciones de las variables estudiadas, y que hubo 3 grupos diferenciados en el modelo, el primer grupo lo representa el NDVI con el Incremento medio de la copa (IMA copa), el segundo grupo fuertemente relacionado está el IMA en DAP y Altura total (HT) con el tipo de bosque y el tercer grupo lo conforma la especie que está correlacionado con índice crítico de clorofila (ICC), la dosis de fertilizante foliar con la especies empleada.

Gráfico 3.- Representación tridimensional de las saturaciones factoriales para los tres primeros factores.



#### 4.2 Efecto del tipo de bosque y dosis de fertilizante foliar en los valores del NDVI, ICC, DAP, HT y área copa en la especie *Cedrelinga cateniformis*.

La tabla 6 muestra que en las hojas de la *Cedrelinga cateniformis* los valores del NDVI variaron entre 0,5 a 0,9; con un promedio de 0,747 medido con el FieldScout CM 1000 que es una herramienta para manejar efectivamente un programa de nitrógeno. Los resultados indican valores medio alto y alto de nitrógeno en las hojas, los valores cercanos a uno (1) indican alta vigorosidad de la planta. El 65% de las hojas de las plantas tuvieron un valor de NDVI entre 0,7 a 1 indicando alta concentración de nitrógeno (tabla 7).

En promedio las plantas de *Cedrelinga cateniformis* tuvieron un valor de 39,9 unidades SPAD con un rango máximo del valor del índice crítico de clorofila de 60 unidades SPAD, esto indica la existencia de un máximo contenido de clorofila (tabla 6), en la tabla 7, se observa que el 77,59% de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), demostrando buena concentración de clorofila en la hoja. Lo que repercutió en un incremento medio anual del diámetro de la planta de 0,56 cm/año, incremento medio

anual en altura de 40,3 cm/año y un IMA de la copa de 0,26 m<sup>2</sup>/año (Tabla 6).

Tabla 6.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la *Cedrelinga cateniformis*.

Variables	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
NDVI	12	0,747	0,110	0,505	0,900
ICC	12	39,900	10,393	23,133	53,400
ima dap (cm/año)	12	0,565	0,836	0,130	3,172
Ima HT (m/año)	12	40,316	29,739	3,219	96,567
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	12	0,265	0,214	0,004	0,720

Tabla 7.- Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para *Cedrelinga cateniformis*.

Clase NDVI	N	Porcentaje N	% > que
0,1	1	1,72	100
0,4	3	5,17	98,28
0,5	5	8,62	93,11
0,6	11	18,97	84,49
0,7	19	32,76	65,52
0,8	12	20,69	32,76
0,9	7	12,07	12,07
Total	58	100,00	

Clase ICC	N	Porcentaje N	% > que
10 a 19,9	3	5,17	100
20 a 29,9	10	17,24	94,83
30 a 39,9	19	32,76	77,59
40 a 49,9	17	29,31	44,83
50 a 59,9	9	15,52	15,52
Total	58	100,00	

En la tabla 8 muestra el valor promedio, desviación estándar y número de repeticiones del NDVI, ICC, Incremento medio anual (IMA) del diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT) y área de copa diferenciado por tipo de bosque. En promedio del valor del NDVI varió entre 0,7 y 0,8; el menor valor se registró en el bosque secundario de tierra firme 0,718, en las zonas más libre (purma baja) el promedio del NDVI fue 0,753 y en la purma alta 0,777 indicando que las plantas tuvieron hojas verdes (Tabla 8), El diagrama de cajas muestra fluctuaciones del valor del NDVI (figura 3 A) y

con el valor de la prueba para muestras independientes de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =0,590; gl=3; p valor =0,899).

En la tabla 8 se observa que el promedio del valor del índice crítico de clorofila (ICC) varió entre 33,4 a 48,66 unidades SPAD; el menor valor se registró en la purma alta, en el bosque secundario inundable el ICC fue 39,11 unidades SPAD, en el bosque secundario de tierra firme fue 39,4 unidades SPAD, el más alto valor se registró en las especies plantadas en la purma baja con un ICC=48,66 indicando mayor concentración de clorofila en las hojas (Tabla 8), En la figura 3 B, el diagrama de cajas muestra fluctuaciones del valor del ICC y el valor de la prueba para muestras independientes de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución del ICC es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =2,599; gl=3; p valor =0,458).

En promedio el IMA del DAP varió entre 0,244 y 1,91 cm/año (tabla 8); el menor valor se registró en el bosque secundario de tierra firme (0,244 cm/año), en la purma baja el valor promedio del IMA fue 0,349 cm/año y en la purma alta fue 0,399 cm/año y en el bosque secundario inundable fue 1,91 cm/año en la especie *Cedrelinga cateniformis* (Tabla 8). En la figura 3 C, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. Con la prueba de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis nula de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre categorías del tipo de bosque (H =6,077; gl=3; p=0,108).

En la tabla 8 se observa que en promedio del valor del IMA de la altura total varió entre 24,12 a 79,39 cm/año; el menor valor se registró en el bosque secundario de tierra firme con un IMA de 24,123 cm/año, en la purma alta el IMA en altura fue 39,34 cm/año, en el bosque secundario inundable 50,78 cm/año y en la purma baja fue 79,39 cm/año. En la figura 3 D, el diagrama de cajas muestra fluctuaciones del valor del IMA en altura total, Pero la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la

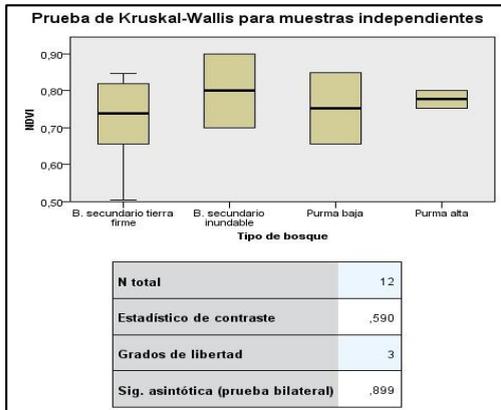
distribución de IMA en altura total es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =4,744; gl=3; p =0,192).

En la tabla 8 se observa que en promedio del IMA del área de la copa varió entre 0,035 y 0,576 m<sup>2</sup>/año; el menor valor se registró en el bosque secundario inundable con un IMA de 0,035 m<sup>2</sup>/año, en el bosque secundario de tierra firme el IMA del área de copa fue 0,217 m<sup>2</sup>/año, el IMA en la purma alta fue 0,33 m<sup>2</sup>/año y en la purma baja fue mayor que en los demás (0,676 m<sup>2</sup>/año). En la figura 3 E el diagrama de cajas muestra mayores fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques, pero la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de la distribución de IMA en área de copa de *Cedrelinga cateniformis* es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =6,974; gl=3; p =0,073).

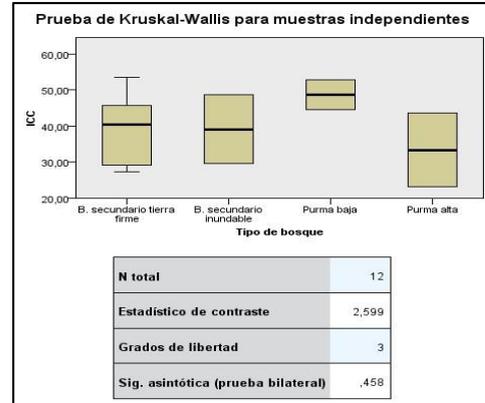
Tabla 8.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de la *Cedrelinga cateniformis*.

Variable	Tipo de bosque	Media	Desv. Est.	N
INDVI	B, secundario tierra firme	0,718	0,126	6
	B, secundario inundable	0,800	0,141	2
	Purma baja	0,753	0,138	1
	Purma alta	0,777	0,033	2
IUC	B, secundario tierra firme	39,408	10,206	6
	B, secundario inundable	39,117	13,459	2
	Purma baja	48,660	5,901	2
	Purma alta	33,400	14,519	2
ima DAP (cm/año)	B, secundario tierra firme	0,244	0,081	6
	B, secundario inundable	1,910	1,785	2
	Purma baja	0,349	0,023	2
	Purma alta	0,399	0,296	2
Ima HT (cm/año)	B, secundario tierra firme	24,123	16,583	6
	B, secundario inundable	50,787	52,603	2
	Purma baja	79,399	24,278	2
	Purma alta	39,342	12,139	2
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	B, secundario tierra firme	0,217	0,137	6
	B, secundario inundable	0,035	0,044	2
	Purma baja	0,576	0,203	2
	Purma alta	0,330	0,209	2

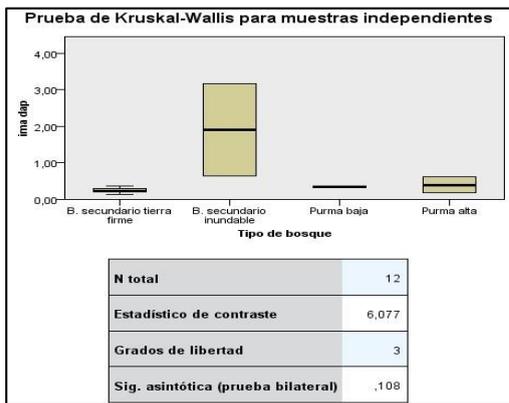
Gráfico 4.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques.



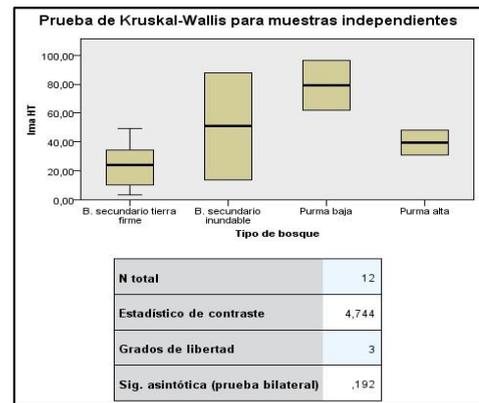
A



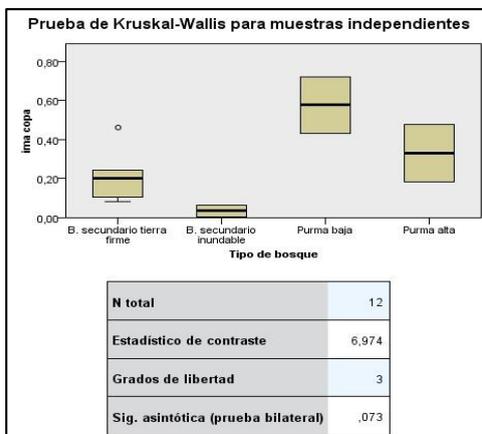
B



C



D



E

En la tabla 9 se observa que el valor del NDVI varió entre 0,69 y 0,8; el menor valor se registró cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 60 mL/litro. Al aumentar la dosis de fertilizante foliar disminuye valor del NDVI. A la dosis de 120 el NDVI fue 0,776 y a una dosis de 180 el NDVI fue 0,696. En la figura 4 A el diagrama de cajas muestra fluctuaciones del valor del NDVI y con la prueba de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis de que la distribución de NDVI es la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $H = 2,038$ ;  $gl=2$ ;  $p \text{ valor} = 0,361$ ).

En la tabla 9 se observa el promedio del índice crítico de clorofila (ICC) aumenta cuando aumenta la dosis de fertilizante foliar, para una dosis de 60 de fertilizante foliar el ICC fue 29,32 unidades SPAD, para una dosis de 120 de fertilizante foliar el ICC fue 38,29 unidades SPAD y para una dosis de 180 de fertilizante foliar el ICC fue 45,738 unidades SPAD, En la figura 4 B el diagrama de cajas muestra fluctuaciones del valor del índice crítico de clorofila (ICC), pero con la prueba de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis nula de que la distribución de ICC es la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $H \text{ de Kruskal-Wallis} = 3,644$ ;  $gl=2$ ;  $p \text{ valor} = 0,161$ ).

En la tabla 9 se observa que el IMA del DAP cuando aumenta la dosis de fertilizante foliar disminuye el valor del IMA, para una dosis de 60 de fertilizante foliar el IMA fue 1,735 cm/año, para una dosis de 120 de fertilizante foliar el IMA fue 0,356 cm/año y para una dosis de 180 de fertilizante foliar el IMA fue 0,305, En la figura 4 C el diagrama de cajas muestra fluctuaciones del valor del índice crítico de clorofila, pero con la prueba de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis de que la distribución de IMA del DAP es la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $H \text{ de Kruskal-Wallis} = 1,646$ ;  $gl=2$ ;  $p \text{ valor} = 0,439$ ).

En la tabla 9 se observa que el IMA de la altura total cuando aumenta la dosis de fertilizante foliar disminuye el valor del IMA de la HT, para una dosis de 60 de fertilizante foliar el IMA altura fue 49,142 cm/año, para una dosis de 120 de fertilizante foliar el IMA en HT fue 48,99 cm/año y para una dosis de 180 de fertilizante foliar el IMA fue 28,112 cm/año. En la figura 4 D el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA del HT, pero

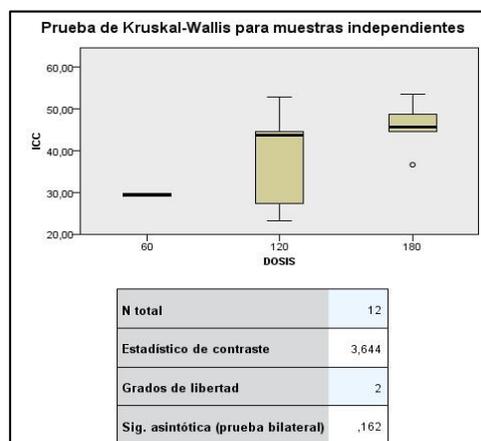
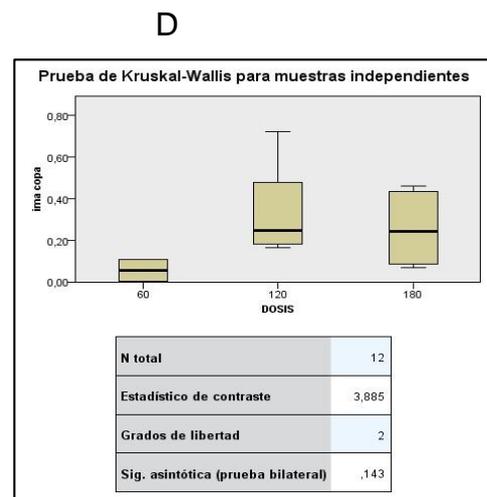
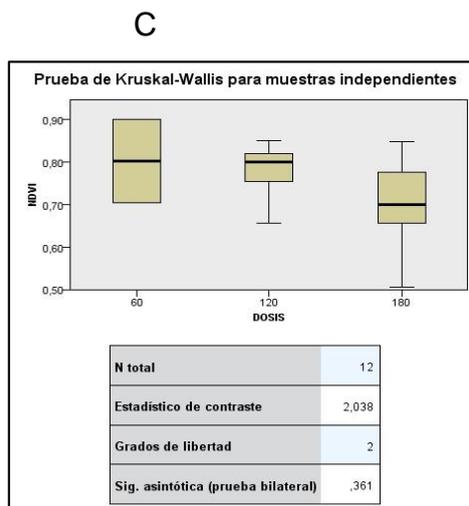
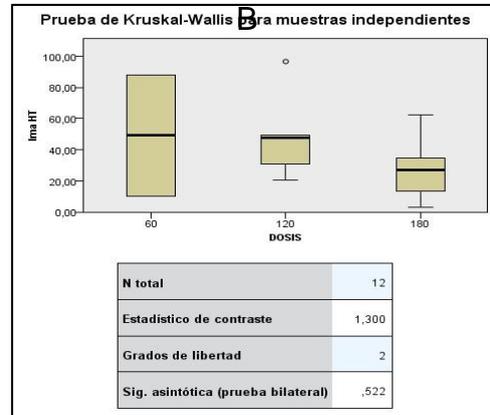
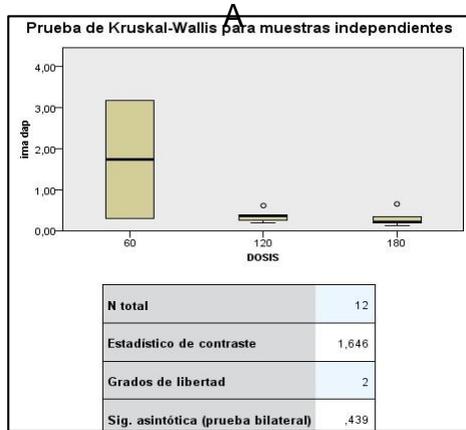
la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis de que la distribución de IMA en altura es la misma entre las dosis de fertilizante foliar (H de Kruskal-Wallis =1,300; gl=2; p valor =0,522).

En la tabla 9 se observa que el IMA del área de la copa a una dosis de 60 mL/litro de fertilizante foliar fue 0,055 m<sup>2</sup>/año, para una dosis de 120 de fertilizante foliar el IMA en área de copa fue 0,358 m<sup>2</sup>/año y para una dosis de 180 mL/litro el IMA fue 0,257 m<sup>2</sup>/año. En la figura 4 E el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del índice crítico de clorofila (ICC), pero con la prueba de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis de que la distribución de IMA en área de la copa es la misma entre las dosis de fertilizante foliar (H de Kruskal-Wallis =3,885; gl=2; p valor =0,143).

Tabla 9.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la *Cedrelinga cateniformis* por dosis de fertilizante foliar.

<b>Variable</b>	<b>Dosis fertiliz. foliar</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>N</b>
NDVI	60	0,802	0,139	2
	120	0,776	0,076	5
	180	0,696	0,130	5
ICC	60	29,327	0,387	2
	120	38,293	12,534	5
	180	45,738	6,180	5
ima dap (cm/año)	60	1,735	2,032	1
	120	0,356	0,159	2
	180	0,305	0,204	5
Ima HT (m/año)	60	49,142	54,930	2
	120	48,991	29,155	5
	180	28,112	22,551	5
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	60	0,055	0,071	2
	120	0,358	0,238	5
	180	0,257	0,187	5

Gráfico 5.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar.



#### 4.3 Efecto del tipo de bosque y dosis de fertilizante foliar en los valores del NDVI, ICC, DAP, HT y área copa en la especie *Cedrela odorata*.

La tabla 10 muestra que en las hojas de la *Cedrela odorata* los valores del NDVI variaron entre 0,64 a 0,94; con un promedio de 0,783, Con los resultados de la tabla 11, se confirma que el 90% de las plantas tuvieron un valor de NDVI entre 0,7 a 1 indicando que las hojas tuvieron alta concentración de nitrógeno. Por la tabla 10 se observa que el promedio las plantas de *Cedrela odorata* tuvieron un valor promedio de 35,716 unidades SPAD con un valor máximo del índice crítico de clorofila de 50,8 unidades SPAD, esto un buen contenido de clorofila en las plantas. En la tabla 11, se observa que el 76,56% de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), indicando una buena concentración de clorofila en la hoja. Lo que repercutió en incremento medio anual de las plantas de *Cedrela odorata* fue 0,36 cm/año, el IMA en altura fue 36,24 cm/año y el IMA en área de la copa fue -0,252 m<sup>2</sup>/año por la pérdida de follaje (Tabla 10).

Tabla 10.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la *Cedrela odorata*.

Variable	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
NDVI	21	0,783	0,065	0,640	0,940
ICC	21	35,716	6,881	26,567	50,800
ima dap (cm/año)	21	0,360	0,235	0,039	0,766
Ima HT (m/año)	21	36,244	26,921	-2,682	106,223
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	21	-0,252	0,712	-1,843	1,733

Tabla 11.- Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para *Cedrela odorata*.

Clase NDVI	N	Porcentaje N	% >que
0,4	1	0,78	100,00
0,5	3	2,34	99,21
0,6	8	6,25	96,87
0,7	51	39,84	90,62
0,8	57	44,53	50,78
0,9	8	6,25	6,25
total	128	100,00	

Clase ICC	N	Porcentaje N	% >que
10	6	4,69	100,00
20	24	18,75	95,31
30	58	45,31	76,56
40	25	19,53	31,25
50	13	10,16	11,72
60	2	1,56	1,56
Total	128	100,00	

En la tabla 11 se observa que el promedio del valor del NDVI varió entre 0,72 y 0,81; el mayor valor se registró en el bosque secundario de tierra firme (NDVI=0,813), en zonas más libres como en la purma baja, el valor promedio del NDVI fue 0,775 y en la purma alta fue NDVI=0,767 y en el bosque secundario inundable 0,728; indicando que las plantas tuvieron hojas verdes. En la figura 5 A el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del NDVI y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre las categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =2,387; gl=3; p valor =0,496).

En la tabla 12 se observa que en promedio del valor del índice crítico de clorofila (ICC) varió entre 30,415 a 38,725 unidades SPAD; el menor valor se registró en la purma alta con 30,415 unidades SPAD, en la purma baja fue 34,87 unidades SPAD, en el bosque secundario de tierra firme fue 38,355 unidades SPAD, en el bosque secundario inundable fue 38,725 unidades SPAD indicando mayor concentración de clorofila en las hojas. En la figura 5 B el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del ICC y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución del ICC

es la misma entre las categorías del tipo de bosque (H de Kruskal- Wallis =4,098; gl=3; p valor =0,251).

En la tabla 12 se observa que el menor valor del incremento medio anual (IMA) del DAP se registró en el bosque secundario inundable, el IMA fue 0,199 cm/año, en la zona más libre como en la purma baja el valor promedio del IMA fue 0,270 cm/año, en la purma alta fue IMA=0,328 cm/año y en el bosque secundario de tierra firme (IMA=0,494 cm/año), En la figura 5 C el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre las categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =5,679; gl=3; p valor =0,128).

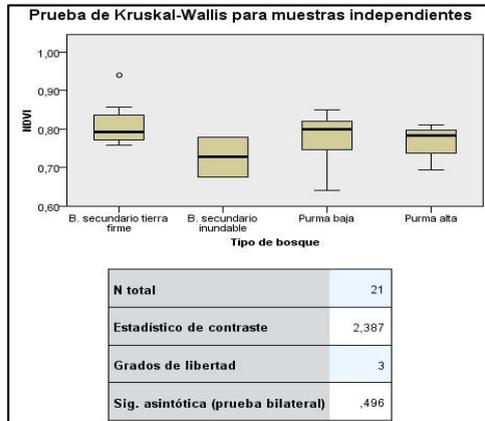
En la tabla 12 se observa que el menor valor del incremento medio anual (IMA) de la altura total se registró en la purma baja, las plantas de *Cedrela odorata* tuvieron el mayor IMA en altura (29,187 cm/año), en el bosque secundario de tierra firme (IMA=34,183 cm/año), en la purma alta el IMA en altura fue 39,454 cm/año y en el bosque secundario inundable el IMA fue 62,768 cm/año. En la figura 5 D, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA en altura total, El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA en altura total de la *Cedrela odorata* es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal- Wallis =2,358; gl=3; p valor =0,501).

En la tabla 12 se observa que el IMA del área de la copa fue negativo tanto en el bosque secundario de tierra firme. En el bosque inundable y en la purma baja, excepto en el bosque de purma alta que fue positivo (0,293 m<sup>2</sup>/año), En la figura 5 E. el diagrama de cajas muestra mayores fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución de IMA en área de copa de la especie *Cedrela odorata* es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =9,799; gl=3; p valor =0,023).

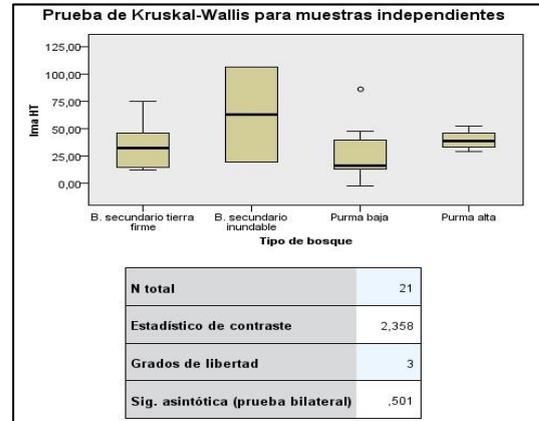
Tabla 12.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de *Cedrela odorata*

<b>Variable</b>	<b>Tipo de bosque</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Ets.</b>	<b>N</b>
NDVI	B, secundario tierra firme	0,813	0,060	8
	B, secundario inundable	0,728	0,074	2
	Purma baja	0,775	0,072	7
	Purma alta	0,767	0,051	4
ICC	B, secundario tierra firme	38,355	7,779	8
	B, secundario inundable	38,725	4,137	2
	Purma baja	34,871	6,158	7
	Purma alta	30,415	5,397	4
ima dap (cm/año)	B, secundario tierra firme	0,494	0,191	8
	B, secundario inundable	0,199	0,137	2
	Purma baja	0,270	0,250	7
	Purma alta	0,328	0,259	4
Ima HT (cm/año)	B, secundario tierra firme	34,183	21,861	8
	B, secundario inundable	62,768	61,455	2
	Purma baja	29,187	29,620	7
	Purma alta	39,454	9,625	4
ima copa (m2/año)	B, secundario tierra firme	-0,072	0,765	8
	B, secundario inundable	-1,266	0,815	2
	Purma baja	-0,479	0,493	7
	Purma alta	0,293	0,154	4

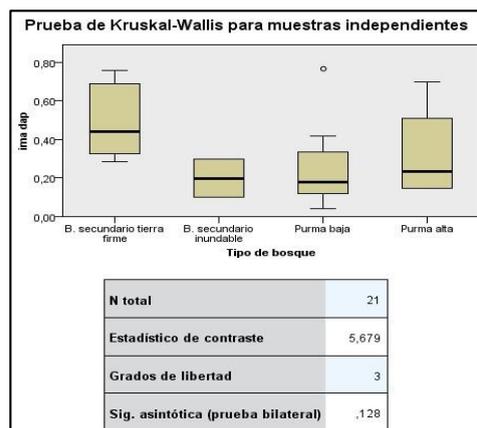
Gráfico 6.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques para *Cedrela odorata*.



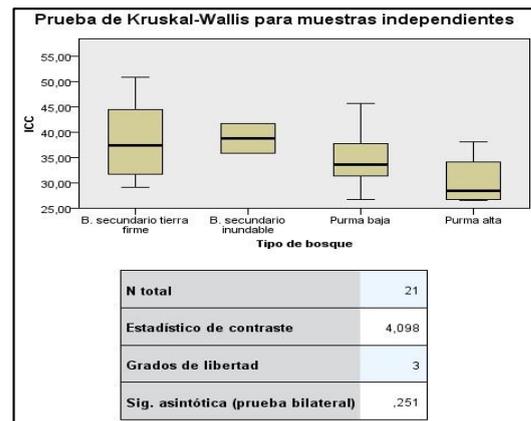
A



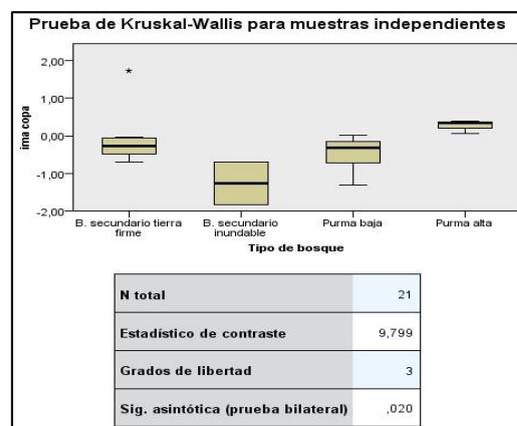
B



C



D



E

En tabla 13 se observa que el promedio del valor del NDVI varió al aumentar la dosis del fertilizante, el mayor valor del NDVI se registró a 60 ml/20 litros/semana (NDVI=0,878), cuando se aumenta la dosis a 80, 120 y 180 mL/20 litros H<sub>2</sub>O/ semana el valor del NDVI disminuye (Figura 6 A). Esto indica que el verdor de las hojas disminuye cuando se excede con la dosis de fertilizante foliar. En términos generales a las dosis de 40, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Cedrela odorata* fue 0,8; 0,88; 0,80; 0,75 y 0,74 valores del NDVI respectivamente. En la figura 6 A. el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del NDVI y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado (H de Kruskal-Wallis =5,870; gl=4; p valor =0,209).

En la tabla 13 se observa que en promedio el ICC varió entre 28,347 a 47,013 unidades SPAD; el menor valor se registró cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 80 ml/20 Litros de H<sub>2</sub>O con 28,347 unidades SPAD, el valor más alto fue 47,013 unidades SPAD, indicando que mejora el índice crítico de clorofila (ICC) hasta cuando se aplica una dosis de fertilizante foliar de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O, a partir de esta dosis la concentración de clorofila en las hojas disminuye. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 40, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Cedrela odorata* fue 40,48; 47,01; 28,35; 33,54 y 39,08 unidades SPAD respectivamente. En la figura 6 B, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del ICC y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución del ICC es la misma entre dosis de fertilizante foliar en la especie de *Cedrela odorata* (H de Kruskal-Wallis =15,707; gl=4; p valor =0,003) porque son diferentes.

En la tabla 13 se observa que el menor valor del IMA del DAP se registró a una dosis de fertilizante foliar de 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O donde creció 0,29 cm/año y el mayor valor de crecimiento (0,55 cm/año) se observó cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de

60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 40, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento en diámetro de las plantas de *Cedrela odorata* fue 0,49; 0,55; 0,299; 0,306 y 0,290 cm/año respectivamente. En la figura 6 C, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. El valor de la prueba para muestras independientes de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre dosis de fertilizante foliar en *Cedrela odorata* (H de Kruskal-Wallis =3,356; gl=4; p valor =0,500).

En la tabla 13 se observa que el IMA de la altura total se registró con una dosis de fertilizante foliar de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O una altura de 12,4 cm/año y el mayor valor de crecimiento (44,75 cm/año) se obtuvo cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 40 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 40, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento en altura de las plantas de *Cedrela odorata* fue 44,7; 12,4; 33,3; 37,9 y 42,1 cm/año respectivamente. En la figura 6 D, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA en altura total, El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA en altura total del *Cedrela odorata* es la misma entre dosis de fertilizante foliar en *Cedrela odorata* (H de Kruskal-Wallis =3,631; gl=4; p valor =0,458).

En la tabla 13 se observa que el menor valor del IMA del área de la copa se registró a una dosis de fertilizante foliar de 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O donde creció -1,08 m<sup>2</sup>/año y el mayor valor de crecimiento (0,85 m<sup>2</sup>/año) se obtuvo cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 40, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Cedrela odorata* en área de la copa fue -0,15; 0,85; 0,004; -0,415 y -1,08 m<sup>2</sup>/año respectivamente En la figura 6 E. el diagrama de cajas muestra mayores fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre dosis de fertilizante foliar. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a aceptar la hipótesis nula de que la distribución de IMA

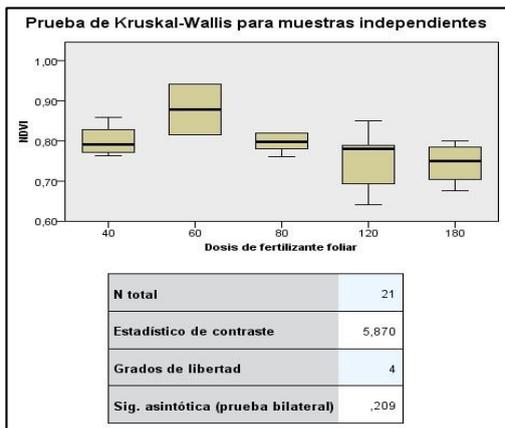
en área de copa de la especie de *Cedrela odorata* es la misma entre dosis de fertilizante foliar (H de Kruskal-Wallis =10,129; gl=4; p valor =0,038).

Tabla 13.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de *Cedrela odorata* por dosis de fertilizante foliar.

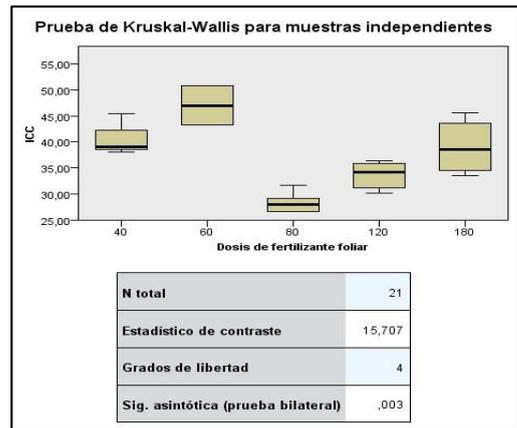
<b>Variable</b>	<b>Dosis</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>N</b>
NDVI	40	0,800	0,041	4
	60	0,878	0,088	2
	80	0,795	0,025	6
	120	0,750	0,083	5
	180	0,743	0,054	4
ICC	40	40,480	3,399	4
	60	47,013	5,355	2
	80	28,347	2,022	6
	120	33,538	2,741	5
	180	39,081	5,545	4
ima dap (cm/año)	40	0,491	0,270	4
	60	0,554	0,204	2
	80	0,299	0,091	6
	120	0,306	0,278	5
	180	0,290	0,314	4
Ima HT (cm/año)	40	44,747	26,977	4
	60	12,367	0,719	2
	80	33,298	15,304	6
	120	37,858	28,298	5
	180	42,082	45,848	4
ima copa (m2/año)	40	-0,153	0,413	4
	60	0,846	1,254	2
	80	0,004	0,325	6
	120	-0,415	0,414	5
	180	-1,077	0,620	4

Grafico 7.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar aplicado a la especie de *Cedrela odorata*.

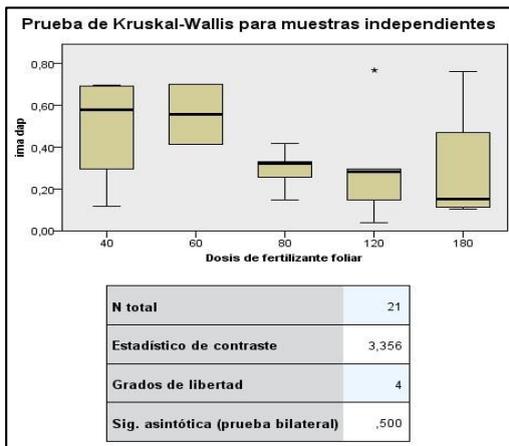
A



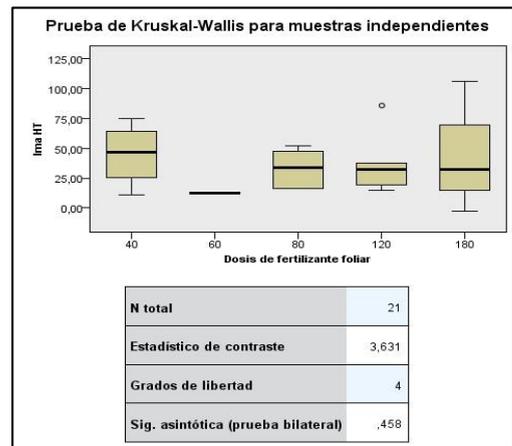
B



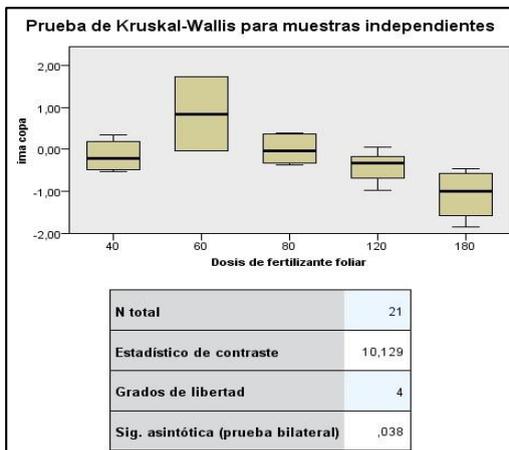
C



D



E



4.4 Efecto del tipo de bosque y dosis de fertilizante foliar en los valores del NDVI. ICC, DAP. HT y área copa en la especie *Calycophyllum spruceanum*.

La tabla 14 muestra que en las hojas de *Calycophyllum spruceanum* los valores del NDVI variaron entre 0,5 a 0,94; estos valores varían entre 0,00 y 1, con un promedio de 0,766, esto indica valores medio alto y alto de nitrógeno en las hojas, los valores cercanos a 1 indican alta vigorosidad de la planta. Con los resultados de la tabla 15, se confirma que el 72,29% de las plantas tuvieron un valor de NDVI entre 0,7 a 1 indicando que las hojas tuvieron alta concentración de nitrógeno.

En la tabla 14 se observa que en promedio las plantas de *Calycophyllum spruceanum* tuvieron un valor de 28 unidades SPAD con un rango máximo del valor crítico del índice de clorofila de 52,1 unidades SPAD y un promedio 35,47 unidad SPAD, esto indica la existencia de un máximo contenido de clorofila en las plantas. En la tabla 15, se observa que el 77,11% de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), demostrando una alta cantidad de plantas con muy buena concentración de clorofila en la hoja. Lo que repercutió en un incremento medio anual de crecimiento del diámetro de la planta de 0,494 cm/año, incremento medio anual en altura de 57,49 cm/año y un IMA de la copa de - 0,06 m<sup>2</sup>/año (Tabla 14).

Tabla 14.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de *Calycophyllum spruceanum*.

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
NDVI	32	0,766	0,101	0,500	0,940
ICC	32	35,473	8,645	28,0	52,100
ima dap (cm/año)	32	0,494	0,377	0,009	1,672
Ima HT (m/año)	32	57,497	59,632	-64,378	277,897
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	32	-0,060	0,357	-0,947	1,075

Tabla 15.- Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para *Calycophyllum spruceanum*.

Clase	NDVI	N	Porcentaje N	% >que
	0,2	1	1,2	100,00
	0,3	4	4,82	98,80
	0,5	4	4,82	93,98
	0,6	14	16,87	89,16
	0,7	16	19,28	72,29
	0,8	36	43,37	53,01
	0,9	8	9,64	9,64
Total		83	100	
Clase	ICC	N	Porcentaje N	% >que
	0	1	1,2	99,99
	10	1	1,2	98,79
	20	17	20,48	97,59
	30	37	44,58	77,11
	40	24	28,92	32,53
	50	3	3,61	3,61
Total		83	100	

En la tabla 16 se observa que el promedio del valor del NDVI varió entre 0,76 y 0,786; el mayor valor se registró en el bosque secundario de tierra firme (NDVI=0,757), en las zonas más libre como en la purma baja el valor promedio del NDVI fue 0,786 y en el bosque secundario inundable fue 0,76; indicando que las plantas tuvieron hojas verdes. En la figura 7 A. el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del NDVI y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre las categorías del tipo de bosque en *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =0,124; gl=2; p valor =0,94).

En la tabla 16 se observa que en promedio del valor del ICC varió entre 30,420 a 37,98 unidades SPAD; el menor valor se registró en la purma baja con 30,420 unidades SPAD, en el bosque secundario de tierra firme el ICC fue 37,978 unidades SPAD, en el bosque secundario inundable fue 36,76 unidades SPAD indicando mayor concentración de clorofila en las hojas. En la figura 7 B, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del ICC y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis

nula de que la distribución del ICC es la misma entre las categorías del tipo de bosque en *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =2,285; gl=2; p valor =0,319).

En la tabla 16 se observa que el menor valor del IMA del DAP se registró en la purma baja con 0,396 cm/año, en el bosque secundario de tierra firme fue 0,556 cm/año y en el bosque secundario inundable (IMA=0,498 cm/año), En la figura 7 C, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre las categorías del tipo de bosque en *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =1,128; gl=2; p valor =0,569).

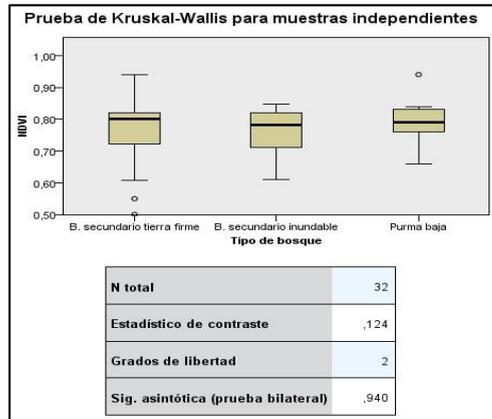
En la tabla 16 se observa que el menor valor del IMA de la altura total se registró en el bosque secundario inundable las plantas de *Swietenia macrophylla* tuvieron el mayor IMA en altura (39,73 cm/año), en la purma baja 55,88 cm/año y en el bosque secundario de tierra firme 72,29 cm/año. En la figura 7 D, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA en altura total, El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA en altura total de *Calycophyllum spruceanum* es la misma entre las categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =1,668; gl=2; p valor =0,434).

En la tabla 16 se observa que el IMA del área de la copa en el bosque secundario inundable el IMA fue -0,266 m<sup>2</sup>/año, en el bosque purma baja fue 0,027 m<sup>2</sup>/año y en el bosque secundario de tierra firme 0,038 m<sup>2</sup>/año. En la figura 7 E. el diagrama de cajas muestra mayores fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA en área de copa de *Calycophyllum spruceanum* es la misma entre las categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =4,471; gl=2; p valor =0,107).

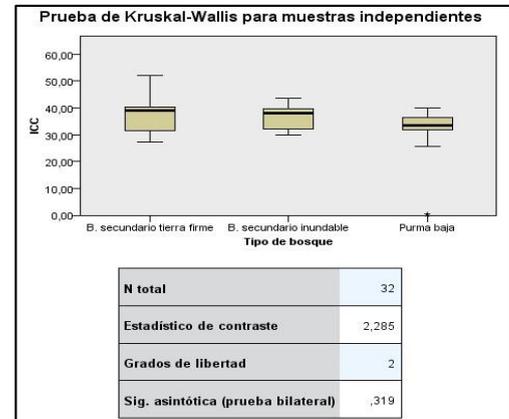
Tabla 16.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de *Calycophyllum spruceanum*.

Variable	Tipo de bosque	Media	Desv.Est.	N
NDVI	B, secundario tierra firme	0,757	0,130	13
	B, secundario inundable	0,759	0,077	10
	Purma baja	0,786	0,083	9
ICC	B, secundario tierra firme	37,978	7,279	13
	B, secundario inundable	36,763	4,456	10
	Purma baja	30,420	12,116	9
ima dap (cm/año)	B, secundario tierra firme	0,559	0,385	13
	B, secundario inundable	0,498	0,459	10
	Purma baja	0,396	0,271	9
Ima HT (m/año)	B, secundario tierra firme	72,287	76,865	13
	B, secundario inundable	39,728	40,298	10
	Purma baja	55,877	48,343	9
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	B, secundario tierra firme	0,038	0,417	13
	B, secundario inundable	-0,266	0,307	10
	Purma baja	0,027	0,220	9

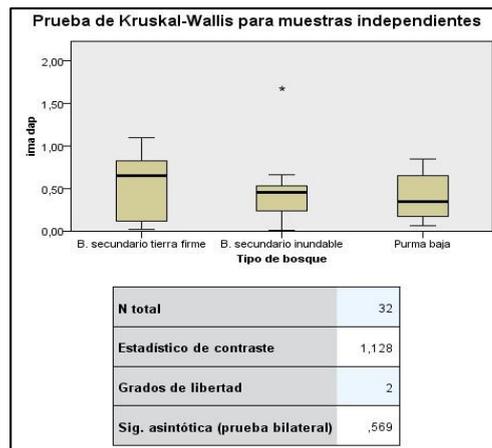
Gráfico 8.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques para *Calycophyllum spruceanum*.



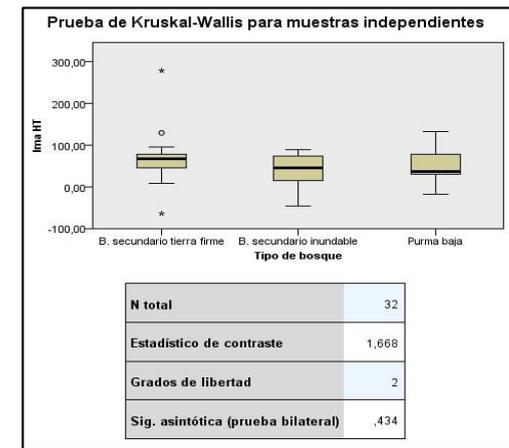
A



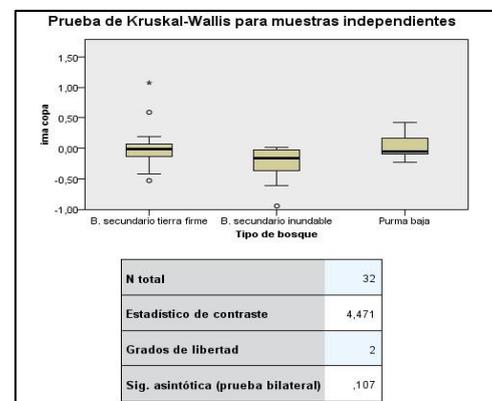
B



C



D



E

En la tabla 17 se observa que el promedio del valor del NDVI varió al aumentar la dosis del fertilizante foliar, el mayor valor del NDVI se registró cuando la dosis de fertilizante foliar fue 40 ml/20 litros/semana (NDVI=0,84), cuando se aumenta la dosis fertilizante foliar a 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros H<sub>2</sub>O/semana el valor del NDVI disminuye (Figura 8 A), Esto indica que el verdor de las hojas disminuye cuando se excede con la dosis de fertilizante foliar. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 40, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Calycophyllum spruceanum* fue 0,828; 0,84; 0,733; 0,784 y 0,753 valores del NDVI respectivamente. En la figura 8 A. el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del NDVI y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =2,977; gl=4; *p* valor =0,562).

En la tabla 17 se observa que el promedio del valor del ICC varió entre 35,92 a 45,1 unidades SPAD; el menor valor se registró cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 80 ml/20 Litros de H<sub>2</sub>O con 35,92 unidades SPAD, el valor más alto fue 45,1 unidades SPAD, indicando que mejora el índice crítico de clorofila cuando se aplica una dosis de fertilizante foliar de 20 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. A partir de esta dosis la concentración de clorofila en las hojas disminuye. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Calycophyllum spruceanum* fue 45,1; 35,95; 35,92 y 36,2 unidades SPAD respectivamente. En la figura 8 B, el diagrama de caja muestra fluctuaciones del valor del ICC y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución del ICC es la misma entre las diferentes dosis de fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =7,053; gl=4; *p* valor =0,133).

En la tabla 17 se observa que el menor valor del IMA del DAP en *Calycophyllum spruceanum* se registró a una dosis de fertilizante foliar de 40 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O creciendo 0,17 cm/año y el mayor valor de crecimiento

(0,68 cm/año) se obtuvo cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento en diámetro de las plantas de *Calycophyllum spruceanum* fue 0,31; 0,68; 0,40 y 0,51 cm/año respectivamente. En la figura 8 C, el diagrama de caja muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =2,987; gl=4; p valor =0,560).

En la tabla 17 se observa que el menor valor del IMA de la altura total de la *Calycophyllum spruceanum* se registró a una dosis de fertilizante foliar de 20 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O creciendo 26,8 cm/año y el mayor valor de crecimiento (85,01 cm/año) se obtuvo cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento en altura de las plantas de *Calycophyllum spruceanum* fue 26,8; 85; 46,95 y 60,9 cm/año respectivamente. En la figura 8 D, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA en altura total de la *Calycophyllum spruceanum*, Con la prueba de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis nula de que la distribución de IMA en altura total de la especie *Calycophyllum spruceanum* es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =5,487; gl=4; p valor =0,241).

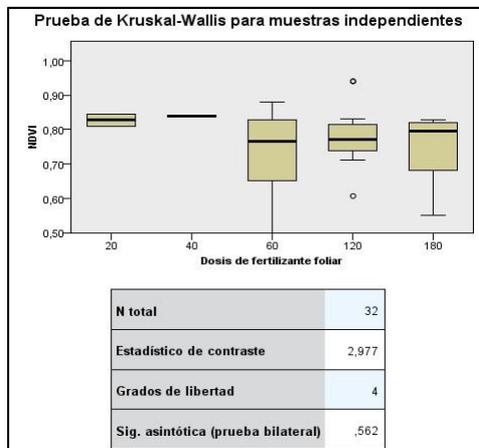
En la tabla 17 se observa que el menor valor del IMA del área de la copa en *Calycophyllum spruceanum* se registró a una dosis de fertilizante foliar de 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O donde creció -0,263 m<sup>2</sup>/año y el mayor valor de crecimiento (0,102 m<sup>2</sup>/año) se obtuvo a una dosis de fertilizante foliar de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Calycophyllum spruceanum* en área de la copa fue 0,084; 0,102; -0,023 y -0,263 m<sup>2</sup>/año respectivamente. En la figura 8 E. el diagrama de caja muestra fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre dosis de fertilizante

foliar. Por el valor de la prueba para muestras independientes de Kruskal-Wallis conlleva a aceptar la hipótesis que la distribución de IMA en área de copa de la especie de *Calycophyllum spruceanum* es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Calycophyllum spruceanum* (H de Kruskal-Wallis =5,018; gl=4; p valor =0,286).

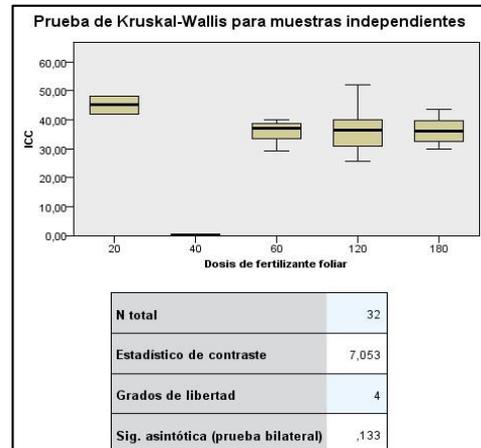
Tabla 17.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de *Calycophyllum spruceanum* por dosis de fertilizante foliar.

Variable	Dosis	Media	Desv. Est.	N
NDVI	20	0,828	0,025	2
	40	0,840		1
	60	0,733	0,129	8
	120	0,784	0,097	11
	180	0,753	0,093	10
ICC	20	45,100	4,525	2
	40	0,280		1
	60	35,946	3,814	8
	120	35,921	7,562	11
	180	36,195	4,590	10
ima dap (cm/año)	20	0,312	0,309	2
	40	0,170		1
	60	0,681	0,498	8
	120	0,403	0,328	11
	180	0,513	0,324	10
Ima HT (m/año)	20	26,824	25,796	2
	40	-19,313		1
	60	85,010	79,485	8
	120	46,950	55,364	11
	180	60,905	46,567	10
ima copa (m2/año)	20	0,084	0,143	2
	40	-0,024		1
	60	0,102	0,488	8
	120	-0,023	0,228	11
	180	-0,263	0,343	10

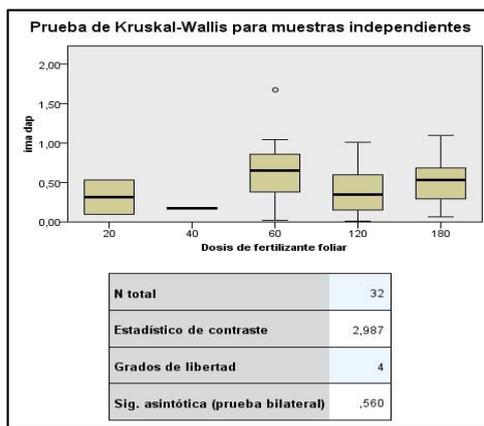
Gráfico 9.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar en *Calycophyllum spruceanum*.



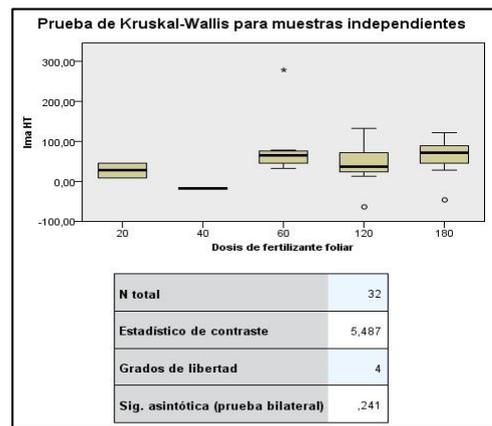
A



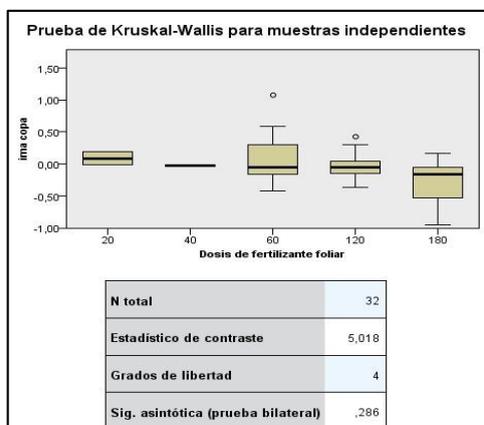
B



C



D



E

4.5 Efecto del tipo de bosque y dosis de fertilizante foliar en los valores del NDVI. ICC, DAP. HT y área copa en la especie *Swietenia macrophylla*.

La tabla 18 muestra que en las hojas de *Swietenia macrophylla* los valores del NDVI variaron entre 0,5 a 0,87, con un promedio de 0,77 que indica valores medio alto y alto de nitrógeno en las hojas, los valores cercanos a 1 indican alta vigorosidad de la planta. Con los resultados de la tabla 19, se confirma que el 82,15% de las plantas tuvieron un valor de NDVI entre 0,7 a 1 indicando que las hojas tuvieron alta concentración de nitrógeno.

Por la tabla 18 se observa que en promedio las plantas de *Swietenia macrophylla* tuvieron un valor que varía de 20,7 a 42,5 unidades SPAD con un promedio de 30,39 unidades SPAD, Esto indica la presencia de un buen contenido de clorofila en las plantas; y en la tabla 19, se observa que el 49,29% de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), demostrando una alta cantidad de plantas con muy buena concentración de clorofila en la hoja, que repercutió en el incremento medio anual de crecimiento del diámetro de la planta de 0,271 cm/año, incremento medio anual en altura de 29,69 cm/año y un IMA de la copa de 0,157 m<sup>2</sup>/año (Tabla 18).

Tabla 18.- Estadísticas descriptivas para el NDVI. ICC, IMA del DAP y altura total e IMA de la copa de la plantación de *Swietenia macrophylla*.

	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
NDVI	18	0,771	0,083	0,515	0,865
ICC	18	30,394	6,707	20,733	42,500
ima dap (cm/año)	18	0,692	0,271	0,202	1,102
Ima HT (m/año)	18	52,619	29,694	5,657	109,442
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	18	0,188	0,157	-0,059	0,508

Tabla 19.- Número y porcentaje de plantas según el rango de NDVI y valores SPAD del ICC para *Swietenia macrophylla*.

Clase NDVI	N	Porcentaje N	% >que
0,2	1	0,71	100,00
0,3	1	0,71	99,29
0,4	2	1,43	98,58
0,5	8	5,71	97,15
0,6	13	9,29	91,44
0,7	39	27,86	82,15
0,8	63	45	54,29
0,9	13	9,29	9,29
Total	140	100	
Clase ICC	N	Porcentaje N	% >que
10	24	17,14	100,00
20	47	33,57	82,86
30	56	40	49,29
40	13	9,29	9,29
Total	140	100	

En la tabla 20 se observa que en promedio el valor del NDVI varió entre 0,73 y 0,789; el mayor valor se registró en el bosque secundario de tierra firme (NDVI=0,789), en las zonas más libres como en la purma baja el valor promedio del NDVI fue 0,77 y en la purma alta fue NDVI=0,75 y en el bosque secundario inundable fue 0,73; indicando que las plantas tuvieron hojas verdes. En la figura 9 A el diagrama de cajas muestra fluctuaciones del valor del NDVI y por el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre las categorías del tipo de bosque en *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =1,208; gl=3; p valor =0,751).

En la tabla 20 se observa que en promedio del ICC varió entre 27,67 a 42,5 unidades SPAD; el menor valor se registró en la purma baja con 30,415 unidades SPAD, en la purma alta fue 29,69 unidades SPAD, en el bosque secundario de tierra firme el ICC fue 31,38 unidades SPAD, en el bosque secundario inundable fue 42,5 unidades SPAD indicando mayor concentración de clorofila en las hojas. En la figura 9 B el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del ICC y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución del

ICC es la misma entre las categorías del tipo de bosque en *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =3,884; gl=3; p valor =0,274).

En la tabla 20 se observa que el menor valor del IMA del DAP se registró en la purma alta con 0,576 cm/año, en la purma baja el valor promedio del IMA fue 0,763 cm/año, en el bosque secundario de tierra firme fue 0,663 cm/año y en el bosque secundario de tierra firme (IMA=0,702 cm/año). En la figura 9 C el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis se retiene la hipótesis de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre las categorías del tipo de bosque en *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =1,458; gl=3; p valor =0,692).

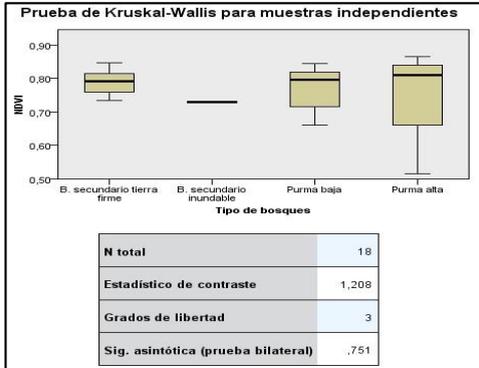
En la tabla 20 se observa que el menor valor del IMA de la altura total se registró en la purma alta: Las plantas de *Swietenia macrophylla* tuvieron el mayor IMA en altura (41,26 cm/año), en el bosque secundario de tierra firme (IMA=47,27 cm/año), en la purma baja el IMA la altura de la *Swietenia macrophylla* fue 66,27 cm/año y en el bosque secundario inundable el IMA fue 53,65 cm/año. En la figura 9 D el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA en altura total. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA en altura total de *Swietenia macrophylla* es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =1,318; gl=3; p valor =0,725).

En la tabla 20 se observa que el IMA del área de la copa en el bosque secundario tierra firme el IMA 0,195 m<sup>2</sup>/año, en el bosque inundable 0,283 m<sup>2</sup>/año; en la purma baja 0,188 m<sup>2</sup>/año y en el bosque de purma alta fue 0,154 m<sup>2</sup>/año. En la figura 9 E el diagrama de cajas muestra mayores fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA en área de copa de *Swietenia macrophylla* es la misma entre categorías del tipo de bosque (H de Kruskal-Wallis =1,007; gl=3; p valor =0,800).

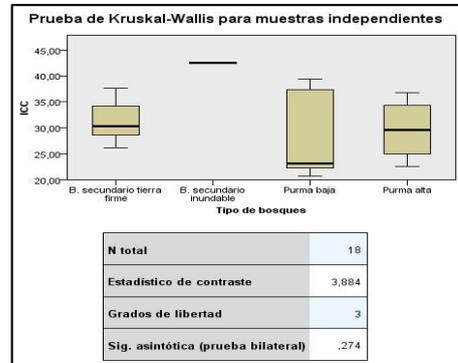
Tabla 20.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento y tipo de bosque de *Swietenia macrophylla*.

Variable	Tipo de bosque	Media	Desv.Est.	N
NDVI	B, secundario tierra firme	0,789	0,040	7
	B, secundario inundable	0,730		1
	Purma baja	0,772	0,071	6
	Purma alta	0,750	0,159	4
ICC	B, secundario tierra firme	31,375	4,194	7
	B, secundario inundable	42,500		1
	Purma baja	27,699	8,361	6
	Purma alta	29,691	6,082	4
ima dap	B, secundario tierra firme	0,702	0,250	7
	B, secundario inundable	0,663		1
	Purma baja	0,763	0,334	6
	Purma alta	0,576	0,279	4
Ima HT	B, secundario tierra firme	47,268	30,203	7
	B, secundario inundable	53,648		1
	Purma baja	66,265	34,276	6
	Purma alta	41,255	24,540	4
ima copa	B, secundario tierra firme	0,195	0,133	7
	B, secundario inundable	0,283		1
	Purma baja	0,188	0,230	6
	Purma alta	0,154	0,108	4

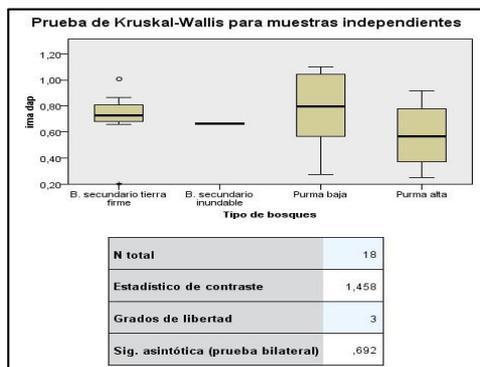
Gráfico 10.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre tipos de bosques para la *Swietenia macrophylla*.



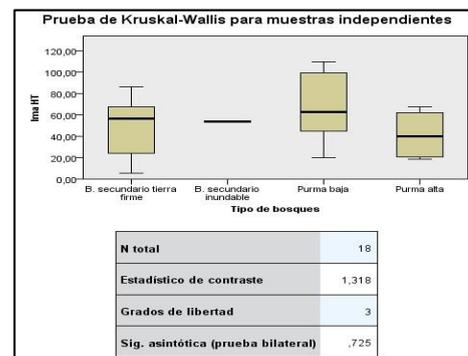
A



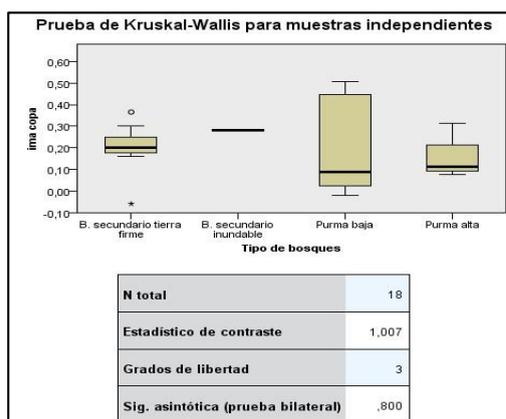
B



C



D



E

En tabla 21 se observa que el promedio del valor del NDVI varió al aumentar la dosis del fertilizantefoliar. El mayor valor del NDVI se registró cuando la dosis de fertilizante foliar fue 40 ml/20 litros/semana (NDVI=0,82), cuando se aumenta la dosis de fertilizante foliar a 60, 80, 120 y 180 mL/20 litros H<sub>2</sub>O por semana el valor del NDVI disminuye (Figura 10 A), Esto indica que el verdor de las hojas disminuye cuando se excede con la dosis de fertilizante foliar. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 40, 60, 80 y 120 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Swietenia macrophylla* fue 0,78; 0,82; 0,77; 0,82 y 0,70 valores del NDVI respectivamente. En la figura 10 A el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del NDVI y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =6,022; gl=4; *p* valor =0,197).

En la tabla 21 se observa que en promedio del valor del ICC varió entre 25,89 a 37,38 unidades SPAD; el menor valor se obtuvo al aplicar una dosis de fertilizante foliar de 80 ml/20 Litros de H<sub>2</sub>O con 25,89 unidades SPAD, el valor más alto fue 37,38 unidades SPAD, indicando que mejora el índice crítico de clorofila (ICC) cuando se aplica una dosis de fertilizante foliar de 20 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. A partir de esta dosis la concentración de clorofila en las hojas disminuye. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 40, 60, 80 y 120 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Swietenia macrophylla* fue 37,38; 26,09; 29,2 y 33,04 unidades SPAD respectivamente. En la figura 10 B el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del ICC y el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución del ICC es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =6,84; gl=4; *p* valor =0,145).

En la tabla 21 se observa que el menor valor del IMA del DAP en la *Swietenia macrophylla* se registró a una dosis de fertilizante foliar de 40 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O creciendo 0,36 cm/año y el mayor valor de crecimiento (0,92 cm/año) se obtuvo cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 20 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante

foliar de 20, 40, 60, 80 y 120 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento en diámetro de las plantas de *Swietenia macrophylla* fue 0,92; 0,364; 0,87; 0,62 y 0,751 cm/año respectivamente. En la figura 10 C, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =9,114; gl=4; p valor =0,058).

En la tabla 21 se observa que el menor valor del IMA de la altura total de *Swietenia macrophylla* se registró a una dosis de fertilizante foliar de 40 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O creciendo 14,37 cm/año y el mayor valor de crecimiento (74,43 cm/año) se obtuvo cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 20 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 40, 60, 80 y 120 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento en altura de las plantas de *Swietenia macrophylla* fue 74,43; 14,367; 69,53; 35,74 y 70,115 cm/año respectivamente. En la figura 10 D, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA en altura total de la *Swietenia macrophylla*. El valor de la prueba para muestras independientes de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución de IMA en altura total es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =12,59; gl=4; p valor =0,013).

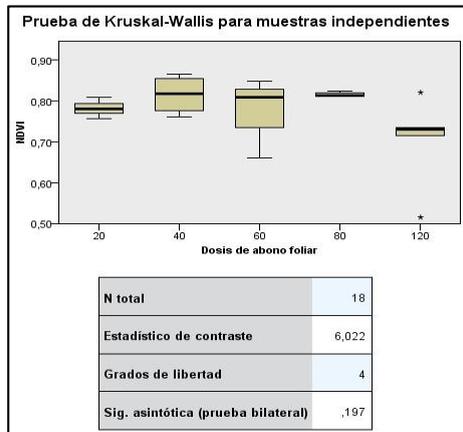
En la tabla 21 se observa que el menor valor del IMA del área de la copa en la *Swietenia macrophylla* se registró a una dosis de fertilizante foliar de 40 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O creciendo 0,078 m<sup>2</sup>/año y el mayor valor de crecimiento (0,274 m<sup>2</sup>/año) se obtuvo cuando se aplicó una dosis de fertilizante foliar de 20 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. En términos generales a las dosis de fertilizante foliar de 20, 40; 60, 80 y 120 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O el crecimiento de las plantas de *Swietenia macrophylla* en área de la copa fue 0,274; 0,078; 0,197; 0,15 y 0,243 m<sup>2</sup>/año respectivamente. En la figura 10 E. el diagrama de cajas muestra mayores fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre dosis de fertilizantes. El valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a aceptar la hipótesis nula de que la distribución de IMA en área de

copa es la misma entre las diferentes dosis del fertilizante foliar utilizado en las plantas de *Swietenia macrophylla* (H de Kruskal-Wallis =3,715; gl=4; *p* valor =0,446).

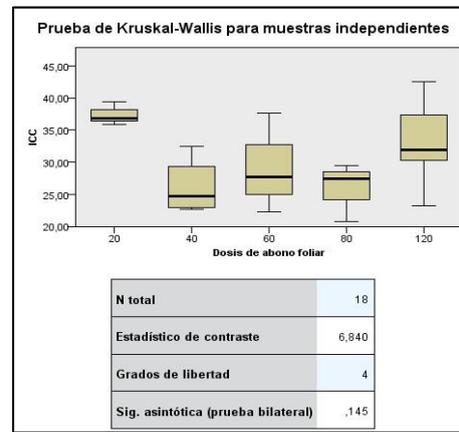
Tabla 21.- Estadísticas descriptivas para las principales variables de la plantación en fajas de enriquecimiento de la *Swietenia macrophylla* por dosis de abono foliar.

Variable	Dosis	Media	Desv.Est.	N
NDVI	20	0,782	0,026	3
	40	0,815	0,048	4
	60	0,772	0,099	3
	80	0,816	0,006	3
	120	0,703	0,113	5
ICC	20	37,383	1,807	3
	40	26,094	4,521	4
	60	29,219	7,750	3
	80	25,897	4,583	3
	120	33,043	7,322	5
ima dap	20	0,923	0,176	3
	40	0,364	0,245	4
	60	0,870	0,169	3
	80	0,624	0,050	3
	120	0,751	0,239	5
Ima HT	20	74,428	22,155	3
	40	14,367	6,304	4
	60	69,528	5,052	3
	80	35,744	14,431	3
	120	70,115	26,918	5
ima copa	20	0,274	0,207	3
	40	0,078	0,098	4
	60	0,197	0,171	3
	80	0,150	0,136	3
	120	0,243	0,173	5

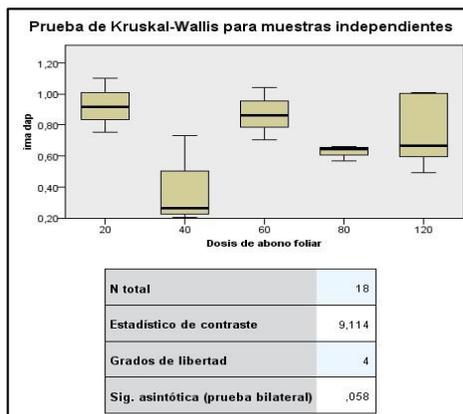
Gráfico 11.- Diagrama de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar en la *Swietenia macrophylla*.



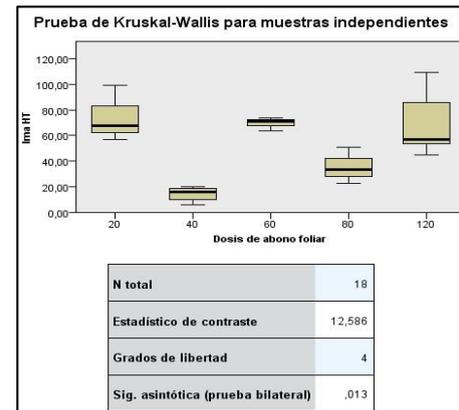
A



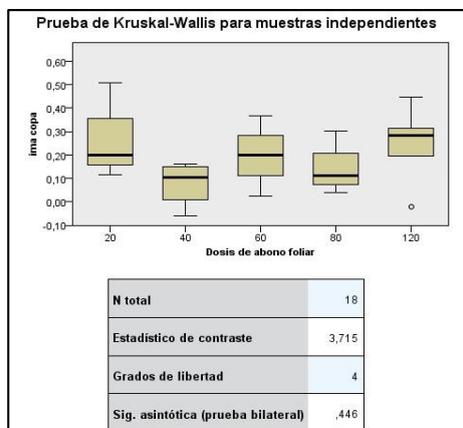
B



C



D



E

4.6 Efecto del tipo de bosque y dosis de fertilizante foliar en los valores del NDVI. ICC, DAP. HT y área copa en cuatro especies de la plantación.

El promedio del valor del NDVI entre especies varió muy poco. El promedio en la *Swietenia macrophylla* fue 0,771; *Calycophyllum spruceanum* 0,766; en *Cedrela odorata* 0,783 y en *Cedrelinga cateniformis* 0,747 (tabla 22), En la figura 11 A. el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del NDVI y por la prueba para muestras independientes de Kruskal-Wallis conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre especies ( $H$  de Kruskal-Wallis =0,538;  $gl=3$ ;  $p$  valor =0,910).

En la tabla 22 se observa que el promedio del valor del ICC entre especies varió entre 30,39 y 39,9 unidades SPAD; en la *Swietenia macrophylla* fue 30,39; *Calycophyllum spruceanum* 35,47; en *Cedrela odorata* 35,72 y en *Cedrelinga cateniformis* 39,9 unidades SPAD, En la figura 11 B, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del ICC y por el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución del ICC es la misma entre las diferentes especies ( $H$  de Kruskal- Wallis =10,052;  $gl=3$ ;  $p$  valor =0,018).

En la tabla 22 se observa que el menor valor del incremento medio anual (IMA) del DAP entre especies varió entre 0,36 y 0,69 cm/año; en la *Swietenia macrophylla* fue 0,69 cm/año; *Calycophyllum spruceanum* 0,49 cm/año; en *Cedrela odorata* 0,36 cm/año y en *Cedrelinga cateniformis* 0,57 cm/año. En la figura 11 C, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA diamétrico. Por el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución de IMA diamétrico es la misma entre las diferentes especies ( $H$  de Kruskal-Wallis =11,512;  $gl=3$ ;  $p$  valor =0,009).

En la tabla 22 se observa que el menor valor del incremento medio anual (IMA) de la altura total entre especies varió entre 36,24 y 57,50 cm/año; en la *Swietenia macrophylla* fue 52,62 cm/año; en *Calycophyllum spruceanum* 57,49 cm/año; en *Cedrela odorata* 36,24 cm/año y en *Cedrelinga cateniformis* 40,32 cm/año. En la figura 11 D, el diagrama de cajas muestra las fluctuaciones del valor del IMA en altura total de *Swietenia macrophylla*.

Por el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a aceptar la hipótesis nula de que la distribución de IMA en altura total de la especie *Cedrelinga cateniformis* es la misma entre las diferentes especies (H de Kruskal-Wallis =5,432; gl=3; *p* valor =0,143).

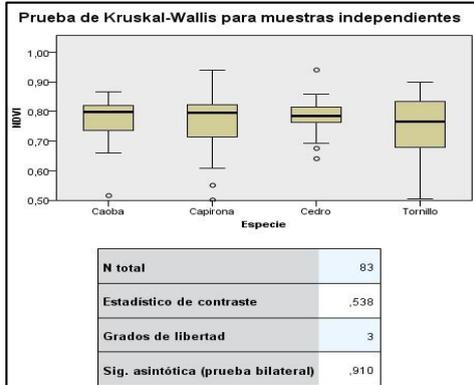
En la tabla 22 se observa que el menor valor del incremento medio anual (IMA) del área de la copa entre especies varió entre -0,25 y 0,27 m<sup>2</sup>/año; en la *Swietenia macrophylla* fue 0,188 m<sup>2</sup>/año; en *Calycophyllum spruceanum* y en *Cedrela odorata* el crecimiento fue negativo por la pérdida de hojas y en *Cedrelinga cateniformis* 0,265 m<sup>2</sup>/año. En la figura 11 E. el diagrama de cajas muestra mayores fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre especies. Por el valor de la prueba de Kruskal-Wallis conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución de IMA en área de copa es diferente entre especies (H de Kruskal-Wallis =25,844; gl=3; *p* valor =0,000).

Tabla 22.- Estadísticas descriptivas para los promedio de NDVI, ICC, IMA del DAP, altura total y área de copa de la *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrela odorata* y *Cedrelinga cateniformis*.

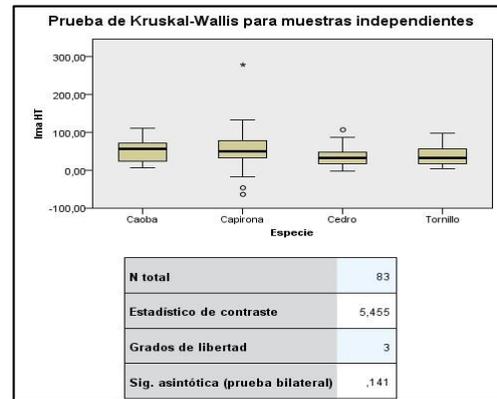
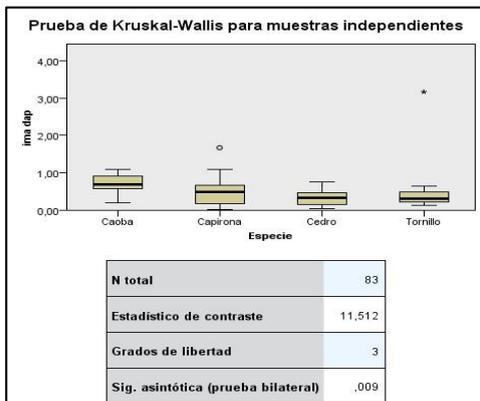
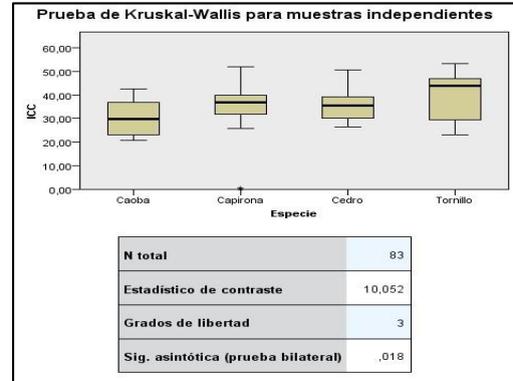
Variable	Especie	Media	Desv. Est.	N
NDVI	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,771	0,083	18
	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	0,766	0,101	32
	<i>Cedrela odorata</i>	0,783	0,065	21
	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	0,747	0,110	12
ICC	<i>Swietenia macrophylla</i>	30,394	6,707	18
	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	35,473	8,645	32
	<i>Cedrela odorata</i>	35,716	6,881	21
	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	39,900	10,393	12
ima dap (cm/año)	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,692	0,271	18
	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	0,494	0,377	32
	<i>Cedrela odorata</i>	0,360	0,235	21
	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	0,565	0,836	12
Ima HT (cm/año)	<i>Swietenia macrophylla</i>	52,619	29,694	18
	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	57,497	59,632	32
	<i>Cedrela odorata</i>	36,244	26,921	21
	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	40,316	29,739	12
ima copa (m <sup>2</sup> /año)	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,188	0,157	18
	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	-0,060	0,357	32
	<i>Cedrela odorata</i>	-0,252	0,712	21
	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	0,265	0,214	12

Gráfico 12.- Gráfico de cajas y prueba de Kruskal- Wallis para muestras independientes para las variables NDVI (A), ICC (B), IMA DAP (C), IMA altura total (D), IMA de la copa (E) entre dosis de fertilizante foliar entre especies.

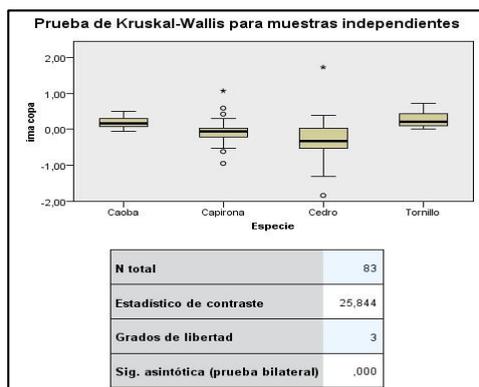
A



B



C



D

E

En la Tabla 23 se observa que los valores del NDVI en las plantas refleja indirectamente la salud de esta, y está relacionada con el tipo de bosque (bosque secundario tierra firme, bosque secundario inundable, bosque purma baja y bosque purma media). El mayor crecimiento en diámetro (1,09 cm/año) y en altura (71,4 cm/año) de la *Swietenia macrophylla* ocurrió en las zonas con purma baja donde la entrada de luz llega hasta al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque. A medida que aumenta la cubierta del dosel el crecimiento disminuye, así en el bosque de purma media el IMA en DAP fue 0,57 cm/año y en altura 44,1 cm/año, mientras que bajo el bosque secundario tierra firme la *Swietenia macrophylla* creció en DAP 0,67 cm/año y en altura 50,3 cm/año. En *Calycophyllum spruceanum* el mayor crecimiento en diámetro (0,72 cm/año) y en altura (64,4 cm/año) bajo el bosque secundario tierra firme en la que la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en los demás tipos de bosque. Bajo el bosque secundario inundable disminuye el crecimiento, el IMA en DAP fue 0,51 cm/año y en altura 41,1 cm/año, mientras que bajo purma de porte bajo creció en DAP 0,41 cm/año y en altura 67,1 cm/año. En la especie de *Cedrela odorata* el mayor crecimiento en diámetro (0,46 cm/año) y en altura (36,7 cm/año) bajo el bosque de purma media en la que la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en la purma baja, donde el crecimiento en diámetro (0,17 cm/año) y en altura (18,9 cm/año) fue notoriamente más bajo. Cuando está bajo el bosque secundario de tierra firme crece más en DAP (0,56 cm/año) y en altura 27,4 cm/año. En la especie *Cedrelinga cateniformis*, el mayor crecimiento en diámetro (0,3 cm/año) y en altura (68,1 cm/año) ocurrió cuando se planta en el bosque con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque.

Tabla 23.- Promedio del incremento medio anual (IMA) del DAP (cm/año) y altura total (cm/año) de las especies *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrela odorata* y *Cedrelinga cateniformis* por categoría de NDVI.

Especie	Clase NDVI	Tipo de bosque Secundario							
		En tierra firme		En zona inundable		Purma baja		Purma media	
		dap	HT	dap	HT	dap	HT	Dap	HT
<i>Swietenia macrophylla</i>	0,2					2,63	160,94		
	0,3	0,66	72,96						
	0,4							0,23	34,34
	0,5	0,55	20,74			0,94	57,94	0,65	36,48
	0,6	0,79	61,69			0,95	62,23	0,64	80,47
	0,7	0,66	35,57	0,66	53,65	0,62	48,71	0,81	51,50
	0,8	0,71	44,67			0,82	60,28	0,65	39,16
	0,9	0,68	66,17			0,59	38,20	0,46	22,53
Promedio		0,67	50,30	0,66	53,65	1,09	71,38	0,57	44,08
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	0,2	0,00	30,04						
	0,3	0,39	35,05	0,84	40,77				
	0,5	0,75	-2,15	0,69	87,98	0,76	145,92		
	0,6	1,42	148,07	0,32	38,01	0,38	60,09		
	0,7	1,56	141,63	0,52	31,33	0,28	22,89		
	0,8	0,39	56,45	0,61	44,45	0,34	59,61		
	0,9	0,49	41,49	0,09	4,29	0,30	47,21		
Promedio		0,72	64,37	0,51	41,14	0,41	67,14		
<i>Cedrela odorata</i>	0,4					0,01	10,73		
	0,5			0,11	47,21	0,15	27,90		
	0,6	0,50	12,88			0,16	20,03	0,48	27,90
	0,7	0,52	27,41	0,19	92,28	0,24	2,50	0,45	46,14
	0,8	0,56	46,10			0,29	42,26	0,45	36,12
	0,9	0,65	23,18			0,19	10,01		
Promedio		0,56	27,39	0,15	69,74	0,17	18,91	0,46	36,72
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	0,1	0,28	34,34						
	0,4	0,58	111,59			0,23	-19,31		
	0,5	0,20	10,01			0,56	145,92		
	0,6	0,21	8,11	0,21	23,61			0,06	-12,88
	0,7	0,33	30,40	0,87	8,58	0,57	79,40	0,48	57,94
	0,8	0,32	23,91			0,15	80,83	0,64	57,94
	0,9	0,23	9,66	3,17	87,98	0,00	53,65	0,08	17,17
Promedio		0,31	32,57	1,42	40,06	0,30	68,10	0,32	30,04

En la tabla 24 se observa que los valores del crecimiento según las unidades SPAD del índice crítico de Clorofila. En las plantas de *Swietenia macrophylla* el mayor crecimiento en diámetro (0,9 cm/año) y en altura (65,9 cm/año) ocurrió en las zonas con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque; por otra parte cuando el valor del ICC es muy alto la *Swietenia macrophylla* crece más (DAP=1,4 cm/año y 91,2 cm/año en altura). A medida que aumenta la cubierta del dosel el crecimiento disminuye, así en el bosque con purma media el IMA en DAP fue 0,62 cm/año y en altura 41,5 cm/año, mientras que en el bosque secundario de tierra firme la *Swietenia macrophylla* creció en DAP 0,7 cm/año y en altura 48,9 cm/año. En *Calycophyllum spruceanum* el mayor crecimiento en diámetro (0,69 cm/año) y en altura (107,8 cm/año) bajo el bosque secundario de tierra firme en la que la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en los demás tipos de bosque como una estrategia de competencia para llegar al dosel superior. Bajo purma de porte bajo creció en DAP 0,26 cm/año y en altura 50,5 cm/año; por otra parte. cuando el valor del ICC es muy alto las plantas de *Calycophyllum spruceanum* crecen más (DAP=1,4 cm/año y 314 cm/año en altura cuando el valor del ICC es superior a 40 unidades SPAD, En la especie de *Cedrela odorata* el mayor crecimiento en diámetro (0,53 cm/año) fue bajo el bosque de purma media donde la luz que llega al suelo fue menor: En la purma baja el crecimiento en diámetro (0,17 cm/año) y en altura (42,1 cm/año) fue levemente más alto que en el anterior. Por otra parte, cuando el valor del ICC es muy alto las plantas de *Cedrela odorata* crecen más (DAP=0,01 cm/año y 145,2 cm/año en altura. indicando que se favorece el crecimiento en altura. En la especie *Cedrelinga cateniformis*. El mayor crecimiento en diámetro (0,3 cm/año) y en altura (71,3 cm/año) ocurrió cuando se planta en el bosque con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosques.

Tabla 24.- Promedio del incremento medio anual (IMA) del DAP (cm/año), altura total (cm/año) y área de copa (m<sup>2</sup>/año) de las especies *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrela odorata* y *Cedrelinga cateniformis* por categoría del índice crítico de clorofila (ICC).

Especie	ICC	Tipo de bosque secundario							
		tierra firme		inundable		Purma baja		Purma media	
		dap	HT	dap	HT	dap	HT	dap	HT
<i>Swietenia macrophylla</i>	10	0,64	42,31			0,86	51,86	0,44	18,88
	20	0,68	39,97			0,72	45,39	0,54	37,55
	30	0,68	44,19			0,71	75,11	0,59	57,33
	40	0,84	69,28	0,66	53,65	1,36	91,20	0,89	52,22
	Prom,	0,712	48,94	0,66	53,65	0,91	65,89	0,62	41,49
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	0					0,17	-19,31		
	10	0,07	55,79						
	20	0,74	75,97	0,15	-12,88	0,11	28,97		
	30	0,74	21,89	0,64	55,49	0,50	62,56		
	40	0,52	71,25	0,58	56,65	0,24	53,65		
	50	1,42	314,38			0,26	126,61		
Prom,	0,69	107,85	0,46	33,09	0,26	50,49			
<i>Cedrela odorata</i>	10	0,44	35,94			0,18	38,63	0,38	45,06
	20	0,49	25,75			0,279	29,09	0,24	44,53
	30	0,49	24,56	0,19	92,28	0,27	26,39	0,52	39,49
	40	0,65	50,22	0,11	47,21	0,21	-4,72		
	50	0,59	54,56			0,01	145,92	0,74	23,61
	60					0,12	17,17		
Prom,	0,53	38,21	0,15	69,74	0,18	42,08	0,47	38,17	
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	10	0,10	-40,77					0,43	87,98
	20	0,28	19,58	3,17	87,98			0,08	17,17
	30	0,34	27,36			0,32	66,52	0,29	7,51
	40	0,21	22,07	0,30	9,66	0,37	65,81	0,64	57,94
	50	0,26	38,09	1,34	21,46	0,31	81,55		
Prom,	0,24	13,27	1,60	39,70	0,33	71,29	0,36	42,65	

En la tabla 25 se observa que en la *Swietenia macrophylla* se necesita mayor dosis de fertilizante foliar cuando la especie está debajo de un bosque secundario, así a una dosis de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O se logra un crecimiento diámetro de 1,07 cm/año y una altura de 86 cm/año, pero la planta muere por falta de luz. En la purma baja donde la entrada de luz hasta que llega al suelo fue mayor solo se necesita unos 20 mL de fertilizante foliar y se logra un crecimiento en DAP de 1,1 cm/año y en altura 99,2 cm/año, en los otros tipos de bosque el crecimiento disminuye al aumenta la dosis de fertilizante foliar. En *Calycophyllum spruceanum* el mayor crecimiento en altura (118,6 cm/año) se logra con una dosis de 60 mL de fertilizante foliar y en los demás tipos de bosque y dosis el crecimiento es menor. En la especie de *Cedrela odorata* el mayor crecimiento en diámetro (0,40 cm/año) y en altura (50,4 cm/año) ocurrió en el bosque de purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en los demás tipos de bosques. En la especie *Cedrelinga cateniformis*. El mayor crecimiento en altura (96,56 cm/año) ocurrió cuando se planta en el bosque con purma baja en la que la entrada de luz que llegó al suelo fue mayor.

Tabla 25.- Promedio del incremento medio anual (IMA) del DAP (cm/año), altura total (cm/año) y área de copa (m<sup>2</sup>/año) de las especies *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrela odorata* y *Cedrelinga cateniformis* por dosis de fertilizante foliar.

Especie	DOSIS	Tipo de bosque							
		Secundario tierra		Secundario		Purma baja		Purma media	
		firme		inundable					
		dap	HT	dap	HT	dap	HT	dap	HT
<i>Swietenia macrophylla</i>	20	0,751	56,652			1,102	99,249	0,916	67,382
	40	0,548	11,065			0,273	19,671	0,252	18,240
	60	0,731	70,011			1,042	73,498		
	80	0,660	33,554			0,567	51,144	0,646	22,532
	120	1,007	86,032	0,663	53,648	0,960	51,073	0,491	56,867
	Prom,	0,739	51,463	0,663	53,648	0,789	58,927	0,576	41,255
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	20	0,239	20,744						
	40					0,170	19,313		
	60	0,680	118,562	0,714	51,502	0,644	32,189		
	120	0,704	52,115	0,276	21,459	0,302	68,908		
	180	0,806	62,017	0,473	45,259	0,360	48,283		
	Prom,	0,607	63,360	0,488	39,407	0,369	32,517		
<i>Cedrela odorata</i>	40	0,626	59,315			0,116	10,730	0,697	39,431
	60	0,684	11,910						
	80	0,325	28,648			0,343	33,164	0,252	42,918
	120	0,283	31,921	0,296	19,313	0,402	50,429	0,147	37,196
	180	0,758	32,904	0,102	106,223	0,141	19,313		
	Prom,	0,535	32,940	0,199	62,768	0,251	28,409	0,365	39,849
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	60	0,299	10,300	3,172	87,983				
	120	0,307	33,906			0,365	96,567	0,399	39,342
	180	0,187	22,379	0,647	13,591	0,333	62,232		
	Prom,	0,264	22,195	1,910	50,787	0,349	79,399	0,399	39,342

## CAPITULO V: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Según Galván <sup>(51)</sup>, existen otras variables más importantes que la iluminación de copa, como la forma de copa, el diámetro de copa, DAP, posición topográfica, infestación de lianas y densidad circundante del bosque que afectan en el bosque. En este estudio se evaluaron los variables diámetro de copa, DAP, altura total, dosis de fertilizante foliar, NDVI, ICC y tipo de purmas que influye en la iluminación de copa de las plantas sembradas en campo definitivo. Melo *et al.*<sup>(35)</sup>, observaron que la estructura, diversidad y dinámica del bosque fueron correlacionadas con el hábitat lumínico, mostrando diferencias en la arquitectura del dosel y su papel en la captura y absorción de radiación. Por otro lado, Caballero Cruz y Treviño Garza <sup>(52)</sup> indican que las variables ambientales que afectan su dinámica son la altitud, precipitación, temperatura, evapotranspiración, humedad y pH. Como existen muchas variables evaluadas se realizó el análisis factorial de componentes principales, basado en la técnica de reducción de datos, encontrando grupos homogéneos entre las variables estudiadas. Por la matriz de correlaciones entre las variables observadas (Tabla 1), se percibió que el crecimiento de las plantas estuvieron correlacionadas con la dosis de fertilizante foliar ( $p = 0,002$ ), con el índice crítico de clorofila- ICC ( $p = 0,002$ ), mientras que el tipo de bosque está correlacionada con el índice crítico de clorofila- ICC ( $p = 0,005$ ), porque el ICC depende de la cantidad de luz que llega a la planta y si las hojas de las plantas están adaptadas a estas condiciones del umbral lumínico que impone el dosel arbóreo. El hecho de que la dosis de fertilizante foliar esté correlacionada con el NDVI ( $p = 0,011$ ) y el ICC ( $p = 0,015$ ), con el IMA del DAP ( $p = 0,034$ ) y con el IMA de la copa ( $p = 0,002$ ), indica que el índice crítico de clorofila depende de la salud de la hoja, a mayor verdor de las hojas, mayor es el valor del NDVI y por consiguiente el contenido de Nitrógeno (N) aumenta en las hojas, que se refleja en el aumento del valor del ICC. Un aumento en el ICC aumenta el área de la copa y el diámetro de la planta. El diámetro de la planta esta correlacionada con el IMA de la altura ( $p = 0,000$ ). Sobre el particular Brien <sup>(53)</sup>, indica que en el crecimiento de las especies es muy importante las condiciones de luz.

“El crecimiento es producido en los meristemas secundarios y se localiza debajo de la corteza del árbol”, Higuchi, Dos Santos, Tribuzy, et al<sup>(54)</sup>.

Con el análisis de componentes principales (ACP) se factorizaron las variables originales de forma eficiente (tabla 2), puesto que el índice de Kaiser-Meyer-Olkin, conocida como medida de adecuación muestral (KMO) que fue superior a 0,5. Por los valores de las comunalidades (tabla 3), la proporción de la varianza explicada por el modelo factorial, de las comunalidades del IMA de la altura explica el 77,1% en el análisis de componentes principales, el índice crítico de clorofila (ICC) explica el 72,2% de la varianza del modelo. Las comunalidades de la dosis de fertilizante foliar y NDVI sus valores de la proporción de varianza no quedaron muy bien explicadas a través de las componentes extraídas. Por los auto valores de la matriz varianza-covarianza y del porcentaje de varianza que representan cada uno de ellos (tabla 4), se seleccionaron 3 componentes cuyo auto valor expresan la cantidad la varianza total que está explicada por cada factor. El componente 1 explica el 22,57% de la varianza de los datos originales, el componente 2 el 20,32% y el componente 3 el 15,80% de la varianza de los datos originales. En conjunto estos tres (3) componentes principales recogieron el 58,69% de la varianza de las variables originales.

Por las saturaciones relativas de cada variable en cada uno de los tres componentes principales, el primer componente principal muestra que las variables dosis de fertilizante foliar (0,757) y la especie (0,654) son las más influyentes, indicando que la especies necesitan suministros adicionales de nutrientes para su desarrollo. En el segundo componente principal las variables más influyentes fueron el IMA en altura (0,813) y el IMA del DAP (0,566) e indican que en la fase inicial de la plantación prevalece el crecimiento en altura principalmente para aprovechar la luz solar que pasa por el dosel del bosque, y que repercute en el crecimiento en DAP. El tercer componente que estuvo constituida por el NDVI (0,571), el ICC (0,519) y el tipo de bosque (-0,518) muestra la importancia que tiene el tipo de bosque (edad) en el vigor de la planta, y que tienen efectos en el NDVI y el ICC de las hojas, las cuatro especies plantadas crecen más cuando se siembra en purmas jóvenes. Por el gráfico biplot (figura 1) y factores de carga (figura 2),

se percibe tres agrupamientos importantes, el primer agrupamiento indica que el IMA de la copa está correlacionada con el NDVI, sobre el particular Ritchie (2003), los índices de reflectancia de la vegetación son útiles para identificar el estado de salud de un cultivo. Meneses<sup>(56)</sup>, indicó que el NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. El segundo agrupamiento indica que la especie forestal es sensible a la dosis de fertilizante foliar y al índice crítico de clorofila y el tercer agrupamiento indica que el incremento medio anual del DAP y de la altura total (HT) se correlaciona negativamente con el tipo de bosque. Este tipo de estudios en el Perú, básicamente, con relación al estado nutricional de las plantas y por especie es poco estudiado. López *et al* <sup>(56)</sup>, inciden en que el crecimiento mide el cambio en diámetro del tronco (mm/año), resultando en una relación entre el tamaño y tiempo. Por otra parte, según Meneses<sup>(56)</sup>, en el caso de los cultivos anuales, las observaciones de las variaciones en las imágenes son sencillas, donde los cambios en la fotorreflectancia durante un largo ciclo del ciclo de crecimiento son evidentes y ocurren durante períodos breves. Mientras que, en el caso de los ecosistemas forestales, los procesos naturales y los métodos para observarlos son prolongados.

Un análisis más detallado en *Cedrelinga cateniformis* (tabla 6 y 7), muestra que en el 65% de las plantas el valor del NDVI varió entre 0,7 a 1, es decir las hojas tuvieron alta concentración de nitrógeno. Además, como el 77,59% de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), sugieren que la mayoría de las plantas tuvieron muy buena concentración de clorofila en la hoja que repercutió en el incremento medio anual del diámetro (0,56 cm/año), en altura 40,3 cm/año y área de la copa 0,26 m<sup>2</sup>/año. El valor del NDVI entre tipos de bosques fueron similares ( $p > 0,8$ ), en el bosque secundario de tierra firme el NDVI fue 0,72, en la purma baja 0,75 y en la purma alta 0,78 indicando que las plantas tuvieron hojas verdes (Tabla 8). El menor valor del ICC se registró en la purma alta con 33,4 unidades SPAD, en el bosque secundario inundable 39,11, en el bosque secundario de tierra firme 39,4 y en la purma de porte bajo 48,66 unidades SPAD indicando que tuvieron mayor concentración de clorofila en las hojas (Tabla 8), pero estos

valores entre categorías del tipo de bosque fueron similares ( $p > 0,45$ ). El crecimiento del diámetro en el bosque secundario de tierra firme fue 0,244 cm/año, en la zona más libre como en la purma baja fue 0,349 cm/año y en la purma alta 0,399 cm/año y en el bosque secundario inundable 1,91 cm/año (Tabla 8), sin embargo el promedio de IMA diamétrico fue la misma entre las categorías del tipo de bosque ( $p > 0,108$ ), de acuerdo a Brienen <sup>(53)</sup>, este resultado puede deberse a daño físico en los árboles, lianas, herbívora o enfermedades y no necesariamente por la dinámica del dosel. Los árboles tropicales muestran gran variación en sus tasas de crecimiento, entre especies y entre individuos de la misma especie; algunos árboles crecen persistentemente más rápido que otros y las tasas de crecimiento tienden a ser similares de un año a otro. Brienen <sup>(53)</sup>, De igual manera el menor valor del IMA en altura que en el bosque secundario de tierra firme fue 24,123 cm/año, en purma alta 39,34 cm/año, en el bosque secundario inundable 50,78 cm/año y en la purma baja 79,39 cm/año, pero estadísticamente fue similar entre categorías del tipo de bosque ( $p > 0,192$ ). Entre tipos de purmas, varía el pase de luz que afecta el crecimiento de la planta, según Hernández *et al* <sup>(57)</sup>, la luz son los recursos más importantes que habrían influido en el crecimiento de las 15 especies que ellos estudiaron. Estos valores fueron menores a lo reportada por Flores <sup>(58)</sup>, donde indica que en plantaciones puras a la edad de 20 años *Cedrelinga cateniformis* obtuvo un crecimiento 1,96 cm/año.

En el área de copa (tabla 8), el menor valor se registró en el bosque secundario inundable con un IMA de 0,035 m<sup>2</sup>/año, en el bosque secundario de tierra firme 0,217 m<sup>2</sup>/año, en la purma alta 0,33 m<sup>2</sup>/año y en la purma baja el IMA 0,676 m<sup>2</sup>/año, según el diagrama de cajas (figura 3 E), existen fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques, pero estadísticamente fueron similares ( $p > 0,07$ ).

El índice crítico de clorofila (ICC) aumenta con el incremento de la dosis de fertilizante foliar (tabla 9), el diagrama de cajas (figura 4 B) muestra fluctuaciones del valor del índice crítico de clorofila (ICC), pero estadísticamente la distribución de ICC fue la misma entre las dosis de

abono foliar ( $p > 0,16$ ). Cuando aumenta la dosis de fertilizante foliar disminuye el valor del IMA del DAP (tabla 9) el diagrama de cajas (figura 4 B) muestra fluctuaciones del crecimiento en diámetro, pero estadísticamente la distribución de IMA del DAP fue la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,439$ ). Algo similar ocurre en el incremento medio anual en altura (tabla 9) y las fluctuaciones del crecimiento observado en el diagrama de cajas de la figura 4D no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,5$ ). Pero el incremento del área de la copa fue similar entre las dosis de abono foliar ( $p > 0,14$ ).

*Cedrela odorata* (tabla 10 y 11) muestra que en el 90% de las plantas el valor del NDVI varió entre 0,64 a 0,94; es decir las hojas tuvieron alta concentración de nitrógeno. Además, como el 76,56% de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), sugieren que la mayoría de las plantas tuvieron muy buena concentración de clorofila en la hoja que repercutió en el incremento medio anual del diámetro (0,36 cm/año), en altura 36,24 cm/año y área de la copa - 0,25 m<sup>2</sup>/año por la pérdida de follaje. El valor del NDVI entre tipos de bosques fueron similares ( $p > 0,49$ ) (Tabla 12). El menor valor del ICC se registró en la purma alta con 30,42 unidades SPAD, en el bosque secundario inundable 38,73, en el bosque secundario de tierra firme 38,34 y en la purma de porte bajo 38,36 unidades SPAD indicando que tuvieron mayor concentración de clorofila en las hojas (Tabla 12), pero estos valores entre categorías del tipo de bosque fueron similares ( $p > 0,25$ ). El crecimiento del diámetro en el bosque secundario de tierra firme fue 0,244 cm/año. En la zona más libre como en la purma baja fue 0,349 cm/año y en la purma alta 0,399 cm/año y en el bosque secundario inundable 1,91 cm/año (Tabla 12). Sin embargo, el promedio de IMA diamétrico fue la misma entre las categorías del tipo de bosque ( $p > 0,12$ ). De igual manera el menor valor del IMA en altura que en el bosque secundario de tierra firme fue 34,18 cm/año, en purma alta 39,45 cm/año. En el bosque secundario inundable 62,77 cm/año y en la purma baja 29,19 cm/año, pero estadísticamente fueron similares entre categorías del tipo de bosque ( $p > 0,50$ ). La *Cedrela odorata* es una especie que requiere de alta luminosidad, por lo que antes de la plantación se debe realizar la

eliminación total de todo tipo de vegetación que se encuentre en el terreno (<https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-5-cedro/>). El crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata* es mayor a lo reportado por Hernández *et al.*<sup>(59)</sup>, con un IMA de 0,17 m/año.

En el área de copa (tabla 12), el incremento medio anual fue negativo excepto en el bosque de purma alta (0,29 m<sup>2</sup>/año), según el diagrama de cajas (figura 5 E), existen fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques, pero estadísticamente fueron diferentes ( $p < 0,05$ ).

Cuando aumenta la dosis del fertilizante foliar el valor del NDVI tiende a disminuir. Pero sus promedios fueron similares ( $p > 0,20$ ) a pesar de las fluctuaciones del valor del NDVI que se observó en *Cedrela odorata* en la Figura 6 A (tabla 13). El índice crítico de clorofila (ICC) mejora cuando se aplica hasta una dosis de fertilizante de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O. A partir de esta dosis la concentración de clorofila en las hojas disminuye (tabla 13), el diagrama de cajas (figura 6 B) muestra fluctuaciones del valor del índice crítico de clorofila (ICC) y estadísticamente la distribución de ICC fue diferente entre las dosis de abono foliar ( $p < 0,01$ ). Cuando aumenta la dosis de abono foliar (tabla 13) no se encontró estadísticamente cambios sustanciales en el valor del IMA del DAP (figura 6 C) ( $p > 0,439$ ) el diagrama de cajas (figura 6 C) muestra fluctuaciones del crecimiento en diámetro, pero estadísticamente la distribución de IMA del DAP fue la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,439$ ). Algo similar ocurre en el incremento medio anual en altura (tabla 13) y las fluctuaciones del crecimiento observado en el diagrama de cajas de la figura 6 D no fueron estadísticamente diferentes ( $p > 0,4$ ). Pero el incremento en el área de la copa fueron diferentes entre las dosis de abono foliar ( $p < 0,05$ ). Gloria *et al* (2015, p. 267) en *C. odorata* no observaron los incrementos de altura diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización en las diferentes fechas de muestreo ( $p > 0,05$ ), mientras que en el diámetro si se mostraron algunas diferencias de crecimiento ( $p \leq 0,03$ ), por la influencia del potasio y la interacción fósforo/potasio.

Un análisis más detallado en *Calycophyllum spruceanum* (tabla 14 y 15), muestra que en el 72,29% de las plantas un valor del NDVI entre 0,7 a 1 es decir las hojas tuvieron alta concentración de nitrógeno. Además, como el 77,11% (tabla 15) de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), sugieren que la mayoría de las plantas tuvieron muy buena concentración de clorofila en la hoja que repercutió en el incremento medio anual del diámetro (0,49 cm/año), en altura 57,49 cm/año y el IMA del área de la copa -0,06 m<sup>2</sup>/año (tabla 14). El valor del NDVI entre tipos de bosques fueron similares ( $p > 0,9$ ), en el bosque secundario de tierra firme el NDVI fue 0,76 en la purma baja 0,79 indicando que las plantas tuvieron hojas verdes (Tabla 16). El menor valor del ICC se registró en la purma baja con 30,42 unidades SPAD, en el bosque secundario de tierra firme 37,98 en el bosque secundario inundable 36,76 indicando que tuvieron mayor concentración de clorofila en las hojas (Tabla 16), pero estos valores entre categorías del tipo de bosque fueron similares ( $p > 0,3$ ). El crecimiento del diámetro en el bosque secundario de tierra firme fue 0,56 cm/año, en el bosque secundario inundable 0,49 cm/año, en la zona más libre como en la purma baja fue 0,39 cm/año (Tabla 16), sin embargo, el promedio de IMA diamétrico fue la misma entre las categorías del tipo de bosque ( $p > 0,50$ ). De igual manera el menor valor del IMA en altura que en el bosque secundario inundable fue 39,73 cm/año. En purma baja 55,88 cm/año, en el bosque secundario de tierra firme 72.29 cm/año, pero estadísticamente fue similar entre categorías del tipo de bosque ( $p > 0,43$ ).

El área de copa (tabla 16) en el bosque secundario inundable tuvo un IMA negativo -0,266 m<sup>2</sup>/año, en el bosque de purma baja 0,027 m<sup>2</sup>/año, en el bosque secundario de tierra firme el IMA 0,038 m<sup>2</sup>/año, según el diagrama de cajas (figura 7 E), existen fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques, pero estadísticamente fueron similares ( $p > 0,107$ ). El área de la copa tiene que ver con la forma de la copa, éste es otro factor que influye en el crecimiento de los árboles según Quirós (2001, p. 143), es una buena indicación del vigor del árbol, porque la condición básica para el crecimiento arbóreo es la asimilación de CO<sub>2</sub> que tiene lugar en la copa; según Gadow, Sánchez y Álvarez <sup>(45)</sup>, está ligada con la

transpiración de manera directa y a causa de dicha asimilación se mantiene el flujo de savia vertical que garantiza que el agua y los nutrientes lleguen a las hojas.

Por la tabla 17 se verifica que cuando aumenta la dosis de abono foliar el valor del NDVI disminuye y por la figura 8 A no existe diferencia estadística del valor del NDVI entre dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,56$ ). El índice crítico de clorofila (ICC) disminuye con el incremento de la dosis de fertilizante foliar (tabla 17), el diagrama de cajas (figura 8 B) muestra fluctuaciones del valor del índice crítico de clorofila (ICC), pero estadísticamente la distribución de ICC fue la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,13$ ). Según Murillo. Piedra y León<sup>(23)</sup>, la fertilización foliar es una práctica efectiva para la corrección de deficiencias nutricionales en plantas que se encuentran bajo condiciones de estrés o en suelos con baja disponibilidad de nutrientes. Consiste en aplicar disoluciones de nutrientes directamente sobre las hojas. Esta absorción en la hoja se desarrolla mayoritariamente a través de la epidermis, por difusión. Debido al gradiente de concentración del nutriente que se establece entre la superficie de la hoja y en el interior de la epidermis. Una vez que el nutriente ha ingresado al citoplasma de las células epidermales, la movilización de este ocurre en forma relativamente expedita. La principal barrera que el nutriente debe atravesar es la cutícula, la cual está compuesta de ceras. Las características físico-químicas del nutriente, tales como tamaño y polaridad controlan la tasa de absorción. El presente artículo provee una descripción detallada del proceso de absorción foliar de nutrientes y su influencia en el desarrollo y uso de fertilizantes foliares. Murillo. Piedra y León<sup>(23)</sup>, el diagrama de cajas (figura 8 C) muestran fluctuaciones del crecimiento en diámetro, pero estadísticamente la distribución de IMA del DAP fue la misma entre las dosis de abono foliar ( $p > 0,56$ ). Similar ocurre en el incremento medio anual en altura (tabla 17) y las fluctuaciones del crecimiento observado en el diagrama de cajas de la figura 8 D no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,2$ ). Pero el incremento del área de la copa fue similar entre las dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,28$ ).

Un análisis más detallado en *Swietenia macrophylla* ((tabla 18 y 19), muestra que en el 82,15% de las plantas un valor del NDVI entre 0,7 a 1 es decir las

hojas tuvieron alta concentración de nitrógeno. Además, como el 49,29% (tabla 19) de las plantas tuvieron un valor superior de 30 unidades SPAD (ICC), sugieren que la mayoría de las plantas tuvieron muy buena concentración de clorofila en la hoja que repercutió en el incremento medio anual del diámetro (0,27 cm/año), en altura 29,69 cm/año y el IMA del área de la copa 0,16 m<sup>2</sup>/año (tabla 18). El valor del NDVI (tabla 20) entre tipos de bosques fueron similares ( $p>0,7$ ), en el bosque secundario de tierra firme el NDVI fue 0,79; en la purma de porte bajo fue 0,77; en la purma alta fue 0,75 y en el bosque secundario inundable con 0,73 indican que las plantas tuvieron hojas verdes (Tabla 20). El menor valor del ICC se registró en la purma baja con 30,42 unidades SPAD, en purma alta 29,7, el bosque secundario de tierra firme 31,38 y en el bosque secundario inundable 42,5 unidades SPAD indican que tuvieron mayor concentración de clorofila en las hojas (Tabla 20), pero estos valores entre categorías del tipo de bosque fueron similares ( $p>0,27$ ). El incremento en diámetro se registró en la purma alta con 0,57 cm/año, en la purma baja 0,76 cm/año, en el bosque secundario de tierra firme 0,66 cm/año, en el bosque secundario inundable 0,702 cm/año (Tabla 20), sin embargo, el promedio de IMA diamétrico fue la misma entre las categorías del tipo de bosque ( $p>0,60$ ). De igual manera el menor valor del IMA en altura se registró en la purma alta con 41,26 cm/año, en el bosque secundario de tierra firme fue 47,27 cm/año, en purma baja 66,27 cm/año, en el bosque secundario inundable 53,65 cm/año, pero estadísticamente fue similar entre categorías del tipo de bosque ( $p>0,72$ ). Este tipo de cobertura del bosque no fue uniforme en algunos sectores hubo mayor pase de luz que en otros, lo que aumentó la variabilidad en el crecimiento. De Godoy Goergen *et al.* <sup>(60)</sup>, indica que los valores de NDVI están directamente asociados al mayor vigor y densidad de la cobertura forestal.

El área de copa (tabla 20) en el bosque secundario de tierra firme el IMA fue 0,19 m<sup>2</sup>/año, en el bosque secundario inundable 0,29 m<sup>2</sup>/año, en la purma baja 0,19 m<sup>2</sup>/año, en la purma alta 0,154 m<sup>2</sup>/año, según el diagrama de cajas (figura 9 E), existen fluctuaciones del valor del IMA del área de la copa entre tipo de bosques, pero estadísticamente fueron similares ( $p>0,80$ ). Según Hernández, López y Sánchez<sup>(59)</sup>, *Swietenia macrophylla* tuvo un incremento

medio anual en altura de 1,79 m/año y en diámetro 0,20 m/año similar a lo encontrado en este estudio.

Por la tabla 21 se verifica que cuando aumenta la dosis de fertilizante foliar el valor del NDVI disminuye a partir de 40 ml/20 litros/semana y por la figura 10 A no existe diferencia estadística del valor del NDVI entre dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,19$ ). El índice crítico de clorofila (ICC) disminuye con el incremento de la dosis de fertilizante foliar (tabla 21), el diagrama de cajas (figura 10 B) muestra fluctuaciones del valor del índice crítico de clorofila (ICC), pero estadísticamente la distribución de ICC fue la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,14$ ). Según Gadow, Sánchez y Álvarez <sup>(45)</sup>, la tasa de crecimiento de los árboles está directamente relacionada con su tasa fotosintética. El diagrama de cajas (figura 10 C) muestran fluctuaciones del crecimiento en diámetro, pero estadísticamente la distribución de IMA del DAP fue la misma entre las dosis de fertilizante foliar ( $p > 0,05$ ). Similar ocurre en el incremento medio anual en altura (tabla 21) y las fluctuaciones del crecimiento observado en el diagrama de cajas de la figura 10 D son estadísticamente diferentes ( $p < 0,01$ ). Al respecto de Godoy Goergen *et al.* <sup>(60)</sup>, indicaron que está asociado a valores mayores de NDVI y, por lo tanto, mayor vigor vegetativo. Para comprender mejor la razón de este comportamiento, se deben realizar investigaciones explorando la fisiología de cada especie. Pero el incremento del área de la copa fue similar entre las dosis de abono foliar ( $p > 0,44$ ).

Un análisis conjunto de las cuatro especies estudiadas (tabla 22) muestra que el valor del NDVI varió muy poco. El promedio en *Swietenia macrophylla* fue 0,771; *Calycophyllum spruceanum* 0,766; en *Cedrela odorata* 0,783 y en *Cedrelinga cateniformis* 0,747; por la 11 A. el diagrama de cajas muestra que las fluctuaciones del valor del NDVI estadísticamente son similares entre especies ( $p > 0,91$ ). El índice crítico de clorofila (ICC) (tabla 22) entre especies también son diferentes ( $p = 0,018$ ) el promedio del ICC en *Swietenia macrophylla* fue 30,39; *Calycophyllum spruceanum* 35,47; en *Cedrela odorata* 35,72 y en *Cedrelinga cateniformis* 39,9 unidades SPAD. De igual manera difiere el valor promedio del IMA en DAP ( $p < 0,01$ ); el promedio en *Swietenia macrophylla* fue 0,57 cm/año; *Calycophyllum spruceanum* 0,49

cm/año; en *Cedrela odorata* 0,36 cm/año y en *Cedrelinga cateniformis* 0,57 cm/año (tabla 22), De acuerdo a Hernández, Gagnon y Davidson<sup>(57)</sup>, la clorofila es un pigmento propio de las plantas y de algunas cianobacterias que cumple un papel crítico en el proceso de fotosíntesis, debido a que, las moléculas de clorofila catalizan la conversión de energía luminosa en energía química. Para la *Swietenia macrophylla* Saavedra <sup>(16)</sup>, indicó que el valor del Incremento medio Anual del DAP en ambos casos es de 0,46 cm/año que es un crecimiento modesto. Mientras que el incremento medio en altura de las especies fue similar ( $p>14$ ), el promedio en *Swietenia macrophylla* fue 52,6 cm/año; *Calycophyllum spruceanum* 57,5 cm/año; en *Cedrela odorata* 36,2 cm/año y en *Cedrelinga cateniformis* 40,3 cm/año. El valor de estos incrementos en diámetros está dentro del rango reportado por Tello<sup>(61)</sup>, que en un bosque aluvial el incremento medio anual (IMA) fue 0,43 cm/año y a nivel de especies varió entre 0,23 y 0,88 cm/año. Estas cuatro especies son heliófitas, según Hernández, Gagnon y Davidson <sup>(57)</sup>, en las especies heliófilas durables y las heliófilas efímeras, la capacidad de fotosíntesis es intermedia y el crecimiento es más o menos rápido. La especie de *Calycophyllum spruceanum* por sus características silviculturales es una especie heliófita efímera, que, según Hernández, Gagnon y Davidson <sup>(57)</sup>, su ciclo de vida lo cumplen en sitios abiertos y tienen una vida relativamente corta (10 - 15 años), en la que la fotosíntesis es muy eficaz a plena luz, Mientras que la *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla* y *Cedrelinga cateniformis* son especies heliófitas durables (Hernández, Gagnon y Davidson<sup>(57)</sup>; Tello<sup>(61)</sup>). Según Hernández, Gagnon y Davidson <sup>(57)</sup>, estas especies “mantienen un conjunto de características que les permite la explotación de sitios abiertos y los ocupan durante períodos más largos que las heliófilas efímeras, la capacidad de fotosíntesis es intermedia y el crecimiento es más o menos rápido”.

Un análisis cruzado del valor del NDVI con la especie y tipo de bosque muestra que las plantas reflejan indirectamente la salud de las especies y está relacionada con el tipo de bosque (bosque secundario tierra firme. bosque secundario inundable. bosque purma baja y bosque purma media). Según Barrantes Madrigal *et al* <sup>(62)</sup>, esto supone una mejor capacidad de las

plantas a fin de captar la energía lumínica que repercutiría en maximizar el proceso fotosintético. La concentración de nitrógeno se asocia de forma directa a variaciones en la capacidad fotosintética de la hoja. El mayor crecimiento en diámetro (1,09 cm/año) y en altura (71,4 cm/año) de la *Swietenia macrophylla* ocurrió en las zonas con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque. A medida que aumenta la cubierta del dosel el crecimiento disminuye. Así en el bosque purma media el IMA en DAP fue 0,57 cm/año y en altura 44,1 cm/año, mientras que bajo el bosque secundario tierra firme la *Swietenia macrophylla* creció en DAP 0,67 cm/año y en altura 50,3 cm/año. En *Calycophyllum spruceanum* el mayor crecimiento en diámetro (0,72 cm/año) y en altura (64,4 cm/año) bajo el bosque secundario tierra firme donde la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en los demás tipos de bosque. Bajo el bosque secundario inundable disminuye el crecimiento, el IMA en DAP fue 0,51 cm/año y en altura 41,1 cm/año, mientras que bajo purma de porte bajo creció en DAP 0,41 cm/año y en altura 67,1 cm/año. En la especie *Cedrela odorata* el mayor crecimiento en diámetro (0,46 cm/año) y en altura (36,7 cm/año) bajo el bosque de purma media en la que la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en la purma baja, observándose que el crecimiento en diámetro (0,17 cm/año) y en altura (18,9 cm/año) fue notoriamente más bajo. Cuando está bajo el bosque secundario de tierra firme crece más en DAP (0,56 cm/año) y en altura 27,4 cm/año. En la especie *Cedrelinga cateniformis*, el mayor crecimiento en diámetro (0,3 cm/año) y en altura (68,1 cm/año) ocurrió cuando se planta en el bosque con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque. Tello (2011, p. 124) informó que heliófitas durables aprovechan los claros naturales del bosque; la regeneración, densidad y crecimiento se favorecería con el aumento de claros.

Torres *et al* <sup>(63)</sup>, observaron entre muestreos sucesivos el incremento de la temperatura, altura e ICC combinado con menor NDVI. Por la tabla 24 los valores del crecimiento según el índice crítico de clorofila, en las plantas de *Swietenia macrophylla* el mayor crecimiento en diámetro (0,9 cm/año) y en altura (65,9 cm/año) ocurrió en las zonas con purma baja

donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque. Cuando el valor del ICC es muy alto la *Swietenia macrophylla* crece más (DAP=1,4 cm/año y 91,2 cm/año en altura). A medida que aumenta la cubierta del dosel el crecimiento disminuye, así en el bosque con purma media el IMA en DAP fue 0,62 cm/año y en altura 41,5 cm/año, mientras que bajo el bosque secundario tierra firme la *Swietenia macrophylla* creció en DAP 0,7 cm/año y en altura 48,9 cm/año. En la especie de *Calycophyllum spruceanum* el mayor crecimiento en diámetro (0,69 cm/año) y en altura (107,8 cm/año) se observó en el bosque secundario tierra firme donde la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en los demás tipos de bosque. Bajo purma de porte bajo creció en DAP 0,26 cm/año y en altura 50,5 cm/año; por otra parte, cuando el valor del ICC es muy alto las plantas de *Calycophyllum spruceanum* crece más (DAP=1,4 cm/año y 314 cm/año en altura cuando el valor del ICC es superior a 40 unidades SPAD. En la especie *Cedrela odorata* el mayor crecimiento en diámetro (0,53 cm/año) fue bajo el bosque de purma media donde la luz que llega al suelo fue menor: En la purma baja el crecimiento en diámetro (0,17 cm/año) y en altura (42,1 cm/año) fue levemente más alto que en el anterior. Por otra parte, cuando el valor del ICC fue muy alto la *Cedrela odorata* crece más (DAP=0,01 cm/año y 145,2 cm/año en altura. indicando que se favorece el crecimiento en altura a esta especie heliófita. En la especie *Cedrelinga cateniformis*, el mayor crecimiento en diámetro (0,3 cm/año) y en altura (71,3 cm/año) ocurrió cuando se planta en el bosque con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosques, es una especie heliófita. Finalmente, las plantas de *Swietenia macrophylla* dentro de un bosque secundario necesita una dosis de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O para lograr un crecimiento en diámetro de 1,07 cm/año y en altura 86 cm/año, la planta muere por falta de luz por ser una especie heliófita. En la purma baja la entrada de luz que llega al suelo es mayor y necesita unos 20 mL de fertilizante foliar para lograr un crecimiento en DAP de 1,1 cm/año y en altura 99,2 cm/año, en los otros tipos de bosque el crecimiento disminuye cuando aumenta la dosis del fertilizante. En la *Calycophyllum spruceanum* el mayor crecimiento en altura (118,6 cm/año) se logra con una dosis de fertilizante foliar de 60 mL y en los demás tipos de bosque y dosis de fertilizante foliar el

crecimiento es menor. En la especie *Cedrela odorata* el mayor crecimiento en diámetro (0,40 cm/año) y en altura (50,4 cm/año) ocurrió en el bosque de purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue menor que en los demás tipos de bosques. En la especie *Cedrelinga cateniformis*, el mayor crecimiento en altura (96,56 cm/año) ocurrió cuando se planta en el bosque con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque.

## **CAPITULO VI: PROPUESTA**

Después del análisis de los resultados obtenidos y basado en los resultados del presente estudio de plantación que forma parte del CIEFOR – Puerto Almendra de la Universidad Nacional de Amazonía Peruana, se propone:

1. Que la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. formule el plan integral de plantaciones forestales orientada a la recuperación de las áreas degradadas del Centro de Investigación y enseñanza forestal CIEFOR para constituir módulo sui géneris de plantaciones demostrativas con fines de enseñanza y de fortalecimiento de capacidades a profesiones a nivel nacional.
2. Que Universidad Nacional de la Amazonía Peruana oficialice esta nueva área experimental y que la Facultad de Ciencias Forestales destine los recursos humanos y financieros para su mantenimiento. considerando dentro de su plan de trabajo como una actividad propia del desarrollo de la Facultad, que aparte de iniciar el proceso de manejo sostenible de los bosques del CIEFOR – Puerto Almendra. se formen facilitadores y extensionistas para el desarrollo de planes comunitarios de manejo sostenible orientado a la recuperación de las zonas de influencia con similar característica y hábitat.
3. Incorporar la dimensión socio ambiental en el manejo de las plantaciones para apoyar a las comunidades aledañas.

## CAPITULO VII: CONCLUSIONES

1. El crecimiento de las cuatro especies forestales está correlacionado significativamente con la dosis de fertilizante foliar (p valor=0,002), con el índice crítico de clorofila- ICC (p valor= 0,002), el tipo de bosque está correlacionada significativamente con el índice crítico de clorofila- ICC (p valor = 0,005). La dosis de fertilizante foliar está correlacionada significativamente con el NDVI (p valor=0,011), con el ICC (p valor=0,015), con el IMA del DAP (p valor=0,034) y con el IMA de la copa (p valor= 0,002), El IMA de DAP está correlacionada significativamente con la altura de la planta (p valor= 0,000).
2. Las comunalidades del IMA de la altura total muestra que la proporción de su varianza explica el 77,1% en el análisis de componentes principales. seguido del índice crítico de clorofila (ICC) que explica el 72,2% de la varianza del modelo.
3. De acuerdo a las saturaciones relativas de cada variable en cada uno de los tres factores (componentes) se observa que el primer factor está constituido por la dosis de fertilizante foliar (0,757) y la especie (0,654). El segundo factor está constituido por IMA de la altura (0,813) y el IMA del DAP (0,566) y en el tercer factor estuvo constituida por el NDVI (0,571), el ICC (0,519) y el tipo de bosque (-0,518).
4. Por el Análisis de componentes principales. el primer grupo estuvo constituido por las correlaciones de las variables entre el IMA de la copa con el NDVI. El segundo grupo indica que la especie forestal reacciona con la dosis de abono foliar usada en el experimento y con el valor SPAD del índice crítico de clorofila. El tercer grupo lo conforma el incremento medio anual del DAP y de la altura total (HT) que se correlaciona negativamente con el tipo de bosque del área experimental.
5. La *Swietenia macrophylla* en purma baja registró el mayor crecimiento diamétrico (1,09 cm/año) y una altura total de 71,38 cm/año

6. La *Calycophyllum spruceanum* en tierra firme registró el mayor crecimiento diamétrico de 0,72 cm/año y un crecimiento en altura de 67,14 cm/año en purma baja.
7. La especie *Cedrela odorata* en tierra firme registró el mayor crecimiento diamétrico con 0,56 cm/año y una altura de 27,39 cm/año.
8. La especie *Cedrelinga cateniformis* en purma baja registró el mayor crecimiento diamétrico de 0,30 cm/año y una altura de 68,10 cm/año.
9. La especie *Swietenia macrophylla* en la purma baja registró el mayor crecimiento diamétrico (0,9 cm/año) y un crecimiento en altura de 65,9 cm/año. Cuando el valor del ICC fue muy alto la especie *Swietenia macrophylla* creció más (DAP=1,4 cm/año y 91,2 cm/año en altura), A medida que aumenta la cubierta del dosel el crecimiento disminuyó, así en el bosque de purma media el IMA en DAP fue 0,62 cm/año y en altura 41,5 cm/año. mientras que bajo el bosque secundario de tierra firme la *Swietenia macrophylla* creció en DAP 0,7 cm/año y en altura 48,9 cm/año.
10. La especie de *Calycophyllum spruceanum* en el bosque secundario tierra firme registró el mayor crecimiento en diámetro (0,69 cm/año) y en altura (107,8 cm/año), Bajo purma de porte bajo el crecimiento en DAP fue 0,26 cm/año y en altura 50,5 cm/año. Cuando el valor del ICC es muy alto (superior a 40 unidades SPAD) las plantas de *Calycophyllum spruceanum* crecieron más (DAP=1,4 cm/año y 314 cm/año) en altura.
11. La especie *Cedrela odorata* en la purma alta registró el mayor crecimiento en diámetro (0,53 cm/año), en la purma baja el crecimiento en diámetro fue 0,17 cm/año y en altura fue 42,1 cm/año. Cuando el valor del ICC fue muy alto las plantas de *Cedrela odorata* crecieron más en altura (145,2 cm/año).

12. La especie *Cedrelinga cateniformis*. en bosque de purma baja registró el mayor crecimiento en diámetro (0,3 cm/año) y en altura (71,3 cm/año), que ocurrió cuando la entrada de luz que llega al suelo es mayor que en los demás tipos de bosques.
13. La *Swietenia macrophylla* plantada debajo de un bosque secundario necesita de una mayor dosis de fertilizante foliar. a una dosis de 60 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O se logra un crecimiento diámetro de 1,07 cm/año y en altura 86 cm/año. pero la planta muere por falta de luz. En la purma baja cuando la entrada de luz llega al suelo fue mayor. solo que se necesita 20 mL de fertilizante foliar para lograr un crecimiento en DAP de 1,1 cm/año y en altura 99,2 cm/año. en los otros tipos de bosque el crecimiento disminuye cuando aumenta la dosis de fertilización foliar.
14. En la especie de *Calycophyllum spruceanum* el mayor crecimiento en altura (118,6 cm/año) se logra con una dosis de 60 mL de fertilizante foliar y en las demás dosis el crecimiento fue menor.
15. La especie *Cedrela odorata*. en tierra firme obtuvo el mayor crecimiento en diámetro (0,40 cm/año) y en altura (50,4 cm/año), ocurrió en un bosque de purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor y con una dosis de 120 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O.
16. La especie *Cedrelinga cateniformis*. obtuvo el mayor crecimiento en altura (96,56 cm/año) cuando se plantó en el bosque de purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque.
17. La *Swietenia macrophylla* plantada debajo de un bosque secundario necesita de una mayor dosis de fertilizante foliar. a una dosis de 120 mL/20 litros de H<sub>2</sub>O se logró un crecimiento diámetro de 1,07 cm/año y en altura 86 cm/año. pero la planta muere por falta de luz. En la purma baja cuando la entrada de luz llega al suelo fue mayor. solo se necesita 20 mL de fertilizante foliar para lograr un crecimiento en DAP de 1,1

cm/año y en altura 99,2 cm/año. en los otros tipos de bosque el crecimiento disminuye cuando aumenta la dosis de fertilizante foliar.

18. La especie de *Calycophyllum spruceanum* obtuvo el mayor crecimiento en altura (118,6 cm/año) se logra con una dosis de 60 mL de fertilizante foliar y en las demás dosis el crecimiento fue menor.
19. La especie *Cedrela odorata* obtuvo el mayor crecimiento en diámetro (0,40 cm/año) y en altura (50,4 cm/año) en un bosque de purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor.
20. La especie *Cedrelinga cateniformis*. obtuvo el mayor crecimiento en altura (96,56 cm/año) cuando se planta en el bosque con purma baja donde la entrada de luz que llega al suelo fue mayor que en los demás tipos de bosque.
21. La distribución de NDVI conlleva a retener la hipótesis nula de que la distribución de NDVI es la misma entre especies.
22. La distribución del ICC conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución del ICC es la misma entre las diferentes especies.
23. La distribución del IMA diamétrico conlleva a rechazar la hipótesis nula de que la distribución del IMA diamétrico es la misma entre las diferentes especies.
24. La distribución del IMA en altura total de la caoba conlleva a aceptar la hipótesis nula de que la distribución del IMA en altura total de la caoba es la misma entre las diferentes especies.
25. La distribución del IMA del área de la copa entre especies conlleva a rechazar la hipótesis nula entre las diferentes especies.

## **CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES**

1. Realizar trabajos de investigación con otros tipos de abonos foliares en otras especies forestales. evaluando las mismas variables en estudio y utilizando diferente dosis.
2. Es importante realizar remediciones de la plantación para evaluar su comportamiento silvicultural en el tiempo.
3. Es importante generar un plan de raleo de la plantación con datos evaluados durante un mayor número de años.

## CAPITULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1)Phillips. O. Baker. T; Feldpausch. T. and Brienen. R. (2016). Manual de Campo para la Remedición y Establecimiento de Parcelas. The Royal Society. Primera edición. 2001/esta edición 2016. RAINFOR.20p.
- (2)Morueta-Holme N., Engemann K., Sandoval P., Jonas J., Svenning J., (2015). Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt. PNAS 112: 12741-12745. Proc Natl Acad Sci U S A. 2015 Oct 13; 112(41): 12741–12745.
- (3)Evangelista. A; Frate. L.; Carranza. M. L.; Giovanni P.F.A AND Stanisci. A. (2016). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: a re-visitation study over 42 years. AoB Plants. 2016; 8: plw004
- (4)ONU (2015). <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/20/01/2016>.
- (5) Vela. G. D. (2013). Composición estructural de un bosque primario y un bosque secundario de 12 años en la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana.
- (6)Moreno. C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA)*. 1-83p.
- (7)Negrón-Juárez, R. I., Koven. C. D., Riley, W. J., Knox, R. G., & Chambers. J. Q. (2015). Observed allocations of productivity and biomass and turnover times in tropical forests are not accurately represented in CMIP5 Earth system models. *Environmental Research Letters*. 10(6), 064017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/6/064017>

- (8) GFOI (2016), Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en los bosques: Métodos y Orientación de la Iniciativa Mundial de Observación de los Bosques. Edición 2.0, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 236 p.
- (9) FAO. (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma. 137p
- (10) MINAGRI. Tratamientos silviculturales. In Louman. B; Quirós. D; Nilsson. M. Eds. In Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba. Cr. CATIE. p.131-153. (Serie Técnica. Manual técnico no. 46).
- (11) Rojas R. F; Arias. A. D.; Moya R. R.; Meza M. A; Murillo G. O. Y Arguedas. G. M. (2004). Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica. Cartago. 314p
- (12) Barrios. A.; López, Ana M; Nieto. Víctor; Burgos. Natalia; Yaya. Manuel; et al. 2011. Efecto del control de malezas y fertilización sobre el crecimiento inicial de una plantación de *Gmelina arborea* roxb. en el departamento del Tolima. Colombia. Colombia Forestal; Bogota Vol. 14, Iss. 1: 31-40.
- (13) Fallas Z. J. L. (2014). Respuesta a la fertilización de la teca (*Tectona grandis* L.f) con NPK en ultisoles de la zona norte de Costa Rica. Cartago. Costa Rica junio. Tesis de graduación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. 65 p.
- (14) Marín R. M. G. 2016. Efecto de la fertilización de la Teca (*Tectona grandis* L. f.) con fosfato diamónico (18-46-0) y nitrato de amonio (34.4-0-0). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras noviembre. 27p.

- (15) Mollinedo et al. (2005). Relación suelo-árbol y factores de sitio en plantaciones jóvenes de Teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1): 67-75. ISSN: 0377-9424 /2005,
- (16) Saavedra M. L. E. (2008). Evaluación ecológico - silvicultural y socio-económica de las plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en la comunidad indígena Sinchi Roca - Ucayali". Tesis para optar el grado de magíster scientiae. UNA La Molina. 136 p.
- (17) Hurtado. P. G. (1989). Efectos de la aplicación de NPK en el crecimiento de Simarouba amara Aubl. (Marupá) en condiciones de vivero. Iquitos – Perú". Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 62p
- (18) INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. (2014). Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies forestales en plantaciones en Guatemala. Serie Técnica No. DT-002(2015). Guatemala 212 p
- (19) Di Rienzo. J. A. Análisis de regresión. (2011). Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Córdoba. 1-45 p.  
<http://sites.google.com/site/dirienzojulio>
- (20) CORPORACION NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2013). Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios. Chile. 1-93p.
- (21) FAO. (2013). Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes N ° 172. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 130p.
- (22) Fernández, V.; Sotiropoulos. T. y Brown. P. (2015). Fertilización Foliar: Principios Científicos y Práctica de Campo. Primera edición. Versión revisada. IFA. Paris. Francia. 159 p.

- (23) Murillo C. R.G., Piedra M. G y, León. R.G. (2013), Absorción de nutrientes a través de la hoja. REVISTA UNICIENCIA Vol. 27, No. 1, [232-244]. Enero – junio 2013
- (24) Cornelius. J. y Ugarte-Guerra. L. 2010. Introducción a la Genética y domesticación forestal para la Agroforestería y Silvicultura. Lima. Perú. Centro mundial para la agroforestería (ICRAF). 2010. 124 p.
- (25) CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL-CAEM. (2014). Crecimiento, biomasa acumulada y carbono capturado de 25 especies de árboles y arbustos nativos de la cordillera oriental colombiana. Fundación Natura. Bogotá. 122p.
- (26) Arcos. A. y Papa. E. (2011). Cooperación al desarrollo y lucha contra el cambio climático: una estrategia de buenas prácticas en la Amazonía Ecuatoriana y en el Sahel Senegales. En: Hernando Bernal et al. 2011. Bosques del Mundo Cambio climático y Amazonía. Cátedra/Unesco: 287-295 p.
- (27) FAO. (2012). FRA 2015: términos y definiciones. Roma (disponible en:[www.fao.org/docrep/017/ap862s/ap862s00.pdf](http://www.fao.org/docrep/017/ap862s/ap862s00.pdf)).
- (28) Keller. PE. G Y Sherar. PE. J. (2008). Ingeniería de caminos rurales. Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Gestión de Caminos Rurales. Tercera revisión. Versión en español producida por Instituto Mexicano del Transporte Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México-2005. 191 p.
- (29) MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES- MARENA. (2005). Establecimiento y manejo de plantaciones forestales. Programa Socio ambiental y Desarrollo Forestal. 1a ed. Managua: MARENA-POSAF II. 72 p.

- (30) Calderón. A. D. (2013). Mensura forestal dasometría. Cuadernos de dasonomía. Serie Didáctica N° 18. Departamento de Producción Agropecuaria Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. 31p.
- (31) Mccray, M y Fernandez, J.V. 2016. Buenas Prácticas de Manejo de Nutrientes. University of Florida. Power point 25p. [http://erec.ifas.ufl.edu/BMP\\_Workshops/2016/BMP\\_training\\_9\\_22\\_16/09222016\\_Fernandez\\_Buenas\\_Practicas\\_de\\_Manejo\\_de\\_Nutrientes.pdf](http://erec.ifas.ufl.edu/BMP_Workshops/2016/BMP_training_9_22_16/09222016_Fernandez_Buenas_Practicas_de_Manejo_de_Nutrientes.pdf)
- (32) Muñoz S. R del C. (2014). "Efecto de un fertilizante foliar en tres especies forestales producidas con sustrato espuma agrícola en vivero". Tesis para optar el título profesional de ingeniero en recursos naturales renovables. Mención: forestales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables.
- (33) Noriega P.A.Y. (2017). Determinación del incremento del volumen de madera y estructura diamétrica total en la Comunidad Nativa de Santa Mercedes. Río Putumayo. Loreto. Perú Tesis para Título de Ingeniero Forestal. 95 P.
- (34) Vasconcelos. Dos S. R; De Azevedo. C. P.; De Souza. R. C; Carreire. F. M.B.; Neto. V. E. L. (2016). Dinámica do carbono em uma floresta manejada comercialmente no amazonas. FLORESTA. Curitiba. PR. v. 46, n. 2, p. 197 - 205.
- (35) Melo. O., Fernández-Méndez, F. & Villanueva. B. (2017). Hábitat lumínico, estructura, diversidad y dinámica de los bosques secos tropicales del Alto Magdalena. Colombia Forestal, 20(1) ,19-30.
- (36) Coral R. S. (1999). Tecnologías matemáticas para el desarrollo de modelos de crecimiento de bosques mixtos e irregulares de Durango. México Tesis de maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. UANL 162 p.

- (37) Mauricio. J. R.; Vincent, L Y Moret, A. Y. (1999). Un modelo de competencia para las plantaciones de teca del área experimental de la Reserva Forestal Caparo (BARINAS-VENEZUELA). Rev. Fores. Venez. 43(2) 1999, 157-171.  
[http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24203/1/articulo43\\_2\\_4.pdf](http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24203/1/articulo43_2_4.pdf)
- (38) Bella. I.E. 1971. A new competition model for individual trees. Forest Science.17: 364-372.  
[http://www.cfs.nrcan.gc.ca/bookstore\\_pdfs/23771.pdf](http://www.cfs.nrcan.gc.ca/bookstore_pdfs/23771.pdf)
- (39) Torres R. J. M. Y Velázquez M.A. 2000. Índice de densidad relativa para rodales coetáneos mezclados. Agrociencia. julio-agosto. año/vol. 34, número 004. 497-507pp.
- (40) Chauchard L.; Sbrancia. R.; González P. M., Maresca. L.; Rabino. R.; Mazzuchelli. M. (2011). Aplicación de leyes fundamentales de la densidad a bosques de Nothofagus: II. Línea de inicio de competencia y diagramas de manejo de la densidad. BOSQUE 22(1): 3-10 pp.
- (41) Diéguez-Aranda et al. (2005). Relación altura-diámetro generalizada para masas de Pinus sylvestris L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. Invest Agrar: Sist Recur For (2005) 14(2), 229-241.
- (42) Bengoa. M. J.L. 1999. Estimación de la altura dominante de la masa a partir de la "altura dominante de parcela". Ventajas frente a la altura dominante de Assman. Invest. Agr.: Sist. Recur. For.: Fuera de Serie n° 1: 311-321 pp.
- (43) Fredericksen. T.; Contreras. F.; Pariona. W. (2001). "Guía de Silvicultura para Bosques Tropicales de Bolivia". Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 156p.

- (44) Reynel, C. (2003). Árboles útiles de la Amazonia peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. [Perú: s.n.].
- (45) Gadow K. V, Sánchez O. S, Álvarez G. J. G. (2007). Estructura y Crecimiento del Bosque. ISBN: 978-84-690-7535-7. 1-140p. [www.usc.es/uxfs/IMG/pdf/Estructura\\_y\\_crecimiento\\_del\\_bosque1-2.pdf](http://www.usc.es/uxfs/IMG/pdf/Estructura_y_crecimiento_del_bosque1-2.pdf).
- (46) Vela. A. J. V, (2016). "Crecimiento, sobrevivencia y calidad de plántula de *Ocotea aciphylla* Mez, en vivero - CIEFOR Puerto Almendras. Loreto. Perú. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonía peruana. 72 p.
- (47) Thompson. I. D., M. R. Guariguata. K. OKABE. C. Bahamondez, R. Nasl. V. Heymell, and Sabogal, C. (2013). An operational framework for defining and monitoring forest degradation. *Ecology and Society* 18(2): 20. <https://www.ecologyandsociety.org/vol18/iss2/art20/>.
- (48) Louman. B. (2001). Bases ecológicas. En: Louman Bastiaan. David Quirós Dávila y Margarita Nilsoon (editores). *Silvicultura de bosques latifoliados con énfasis en América Central*. Turrialba – Costa Rica. Serie técnica. Manual técnico/Catie; N° 46, 265 p.
- (49) Senahmi. (2016). BOLETIN REGIONAL DEL SENAHMI – LORETO. Edición 9. Iquitos. Perú. 21 p.
- (50) Tosl. J. (1980). Zonas de vida natural en el Perú. Memoria Explicativa sobre el mapa ecológico del Perú. IICA de la OEA. Proyecto 371 p.
- (51) Galván G. O.F.J. (2003). Efecto de la iluminación de la copa sobre el crecimiento de *Pentaclethra macroloba* y *Goethalsia meiantha* e implicaciones para la silvicultura de los bosques tropicales húmedos. Tesis *MAGISTER SCIENTIAE*. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 1-80 p.

- (52) Caballero Cruz P. Treviño Garza E. (2018). Análisis de la pertinencia de las plantaciones forestales en Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Forestales [Internet]. 27nov.2018 [citado 10jul.2020];9(50). Available from: <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/252>
- (53) Brienen. R.J.W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. PROMAB Scientific Series 10.PROMAB-Riberalta. Bolivia. ISBN: 90-393-4036-6. 1-144p
- (54) Higuchi. N. Dos Santos. J; Tribuzy, E.S; et al. (2005). Noções básicas sobre manejo florestal. INPA. Manaus- AM, 306 p.
- (55) López, W, Pérez, R. A., del Valle. A. J. I., González-Caro. S., Esteban Álvarez D. E. (2015). Sobre la tasa de crecimiento de árboles neotropicales vía modelos mixtos no-lineales. XXV Simposio Internacional de Estadística 2015. Armenia. Colombia. 5, 6, 7 y 8 de agosto de 2015.
- (56) Meneses T., C. M. (2012). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales Unasyva 62(238): 39-46.
- (57) Hernández, H., Gagnon. D., Robert Davidson. R. (2015). Crecimiento y producción inicial de 15 especies de árboles tropicales de la Amazonía ecuatoriana de estados sucesionales diferentes. Siembra 2 (2015) 069–075. ISSN: 1390-8928.
- (58) Flores B. Y. (2007). Crecimiento y productividad de plantaciones forestales en la Amazonía peruana. INIA. 1-60 p.

- (59) Hernández M. E, López A. J.L. y Sánchez M. V. (2011). Crecimiento en diámetro y altura de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. *Rev. Mex. Cien. For.* Vol. 2 Núm. 7. 27-42.
- (60) De Godoy Goergen. L. C., Silva. M. N., Silva. E. A., & Pereira. R. S. (2016). Comparación de NDVI para dos diferentes especies de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha.* 22(1/2), 39-48.
- (61) Tello E. R. (2008). Estructura, composición, crecimiento y potencial del bosque aluvial del río Nanay, Iquitos - Perú, con fines de manejo sostenible. 2007-2008. Tesis Doctorado. Universidad Nacional de Trujillo. 1-126 p.
- (62) Barrantes Madrigal K, Avila Arias C, Murillo Cruz R. Solís Ramos L, Porras Murillo R. Herrera Vargas P. Relación de la clorofila y el nitrógeno foliar de *Gmelina arborea* Roxb. en vivero y en campo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [Internet]. 14mar.2018 [citado 10jul.2020];9(46). Available from: <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/124>
- (63) Torres T. M. A; Zamora V. V. M. Colín R. M., Foroughbakhch P. R y Ngangyo H. M. (2019). Caracterización y agrupamiento de cebadas imberbes mediante sensores infrarrojos y rendimiento de forraje. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 10 (5).

# **ANEXOS**



Figura 1.- Medición de diámetro a la altura de la base de la especie *Swietenia macrophylla*.



Figura 2.- Medición de la altura total de la especie *Swietenia macrophylla*.



Figura 3.- Medición del diámetro de la copa de la especie *Swietenia macrophylla*.



Figura 4.- Medición de NDVI de la especie *Swietenia macrophylla*.



Figura 5.- Medición de ICC de la especie *Swietenia macrophylla*.



Figura 6.- Medición de diámetro a la altura de la base de la especie *Calicophyllum spruceanum*.



Figura 7.- Medición de la altura total de la especie *Calicophyllum spruceanum*



Figura 8.-- Medición de diámetro de la copa de de la especie *Calicophyllum spruceanum*.



Figura 9.- Medición de NDVI de la especie *Calicophyllum spruceanum*.



Figura 10.- Medición de ICC de la especie *Calicophyllum spruceanum*.



Figura 11.- Medición de diámetro a la altura de la base de la especie *Cedrela odorata*.



Figura 12.- Medición de altura total de la especie *Cedrela odorata*.



Figura 13.- Medición del diámetro de la copa de de la especie *Cedrela odorata*



Figura 14.- Medición de NDVI de la especie *Cedrela odorata*.



Figura 15.- Medición del ICC de la especie *Cedrela odorata*.



Figura 16.- Medición de diámetro a la altura de la base de la especie *Cedrelinga cateniformis*.



Figura 17.- Medición de la altura total de de la especie *Cedrelinga cateniformis*.



Figura 18.- Medición de diámetro de la copa de de la especie *Cedrelinga cateniformis*.



Figura 19.- Medición de NDVI de la especie *Cedrelinga cateniformis*.



Figura 20.- Medición de ICC de la especie *Cedrelinga cateniformis*.

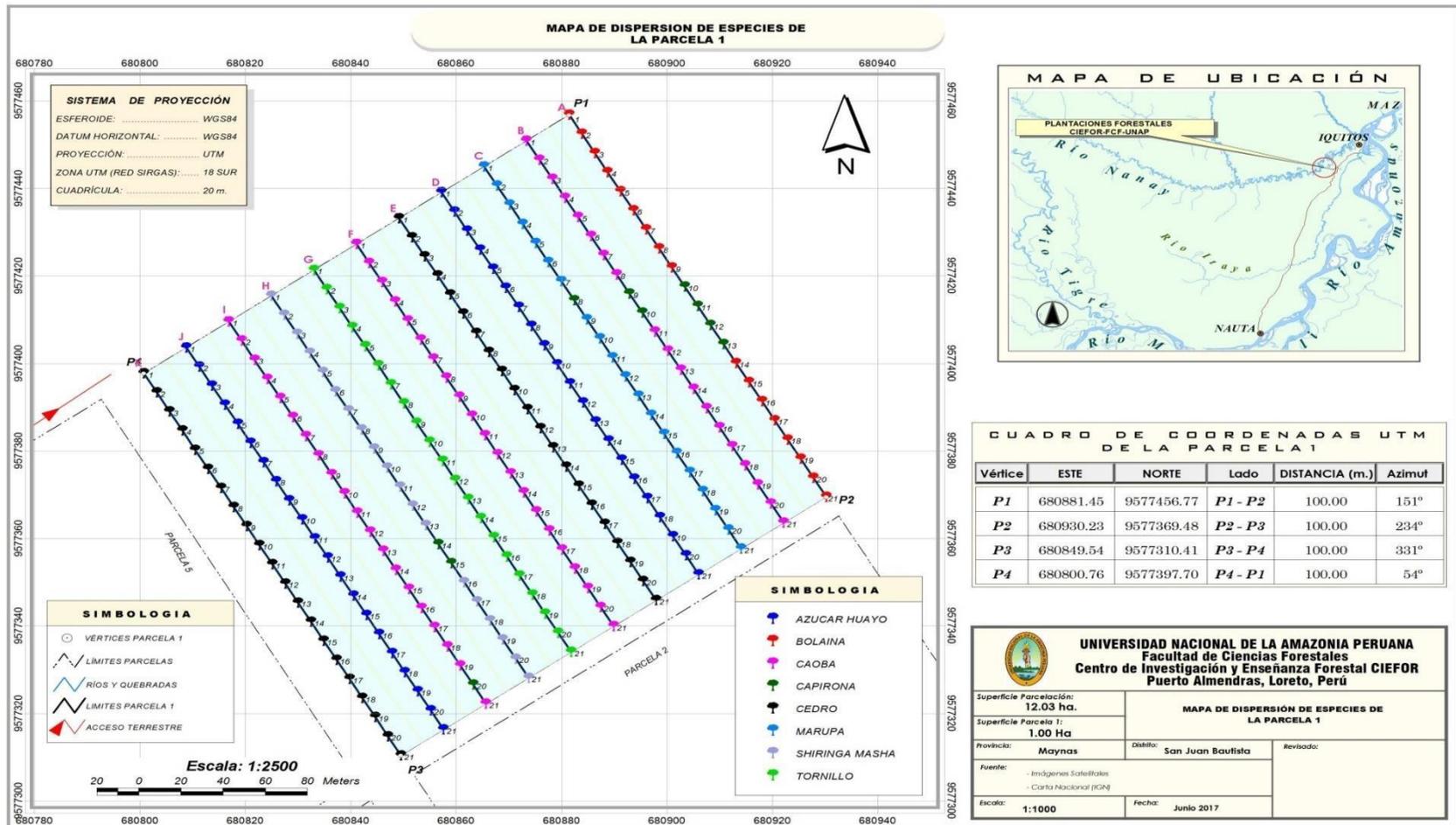


Figura 21: Plano de ubicación de la parcela I

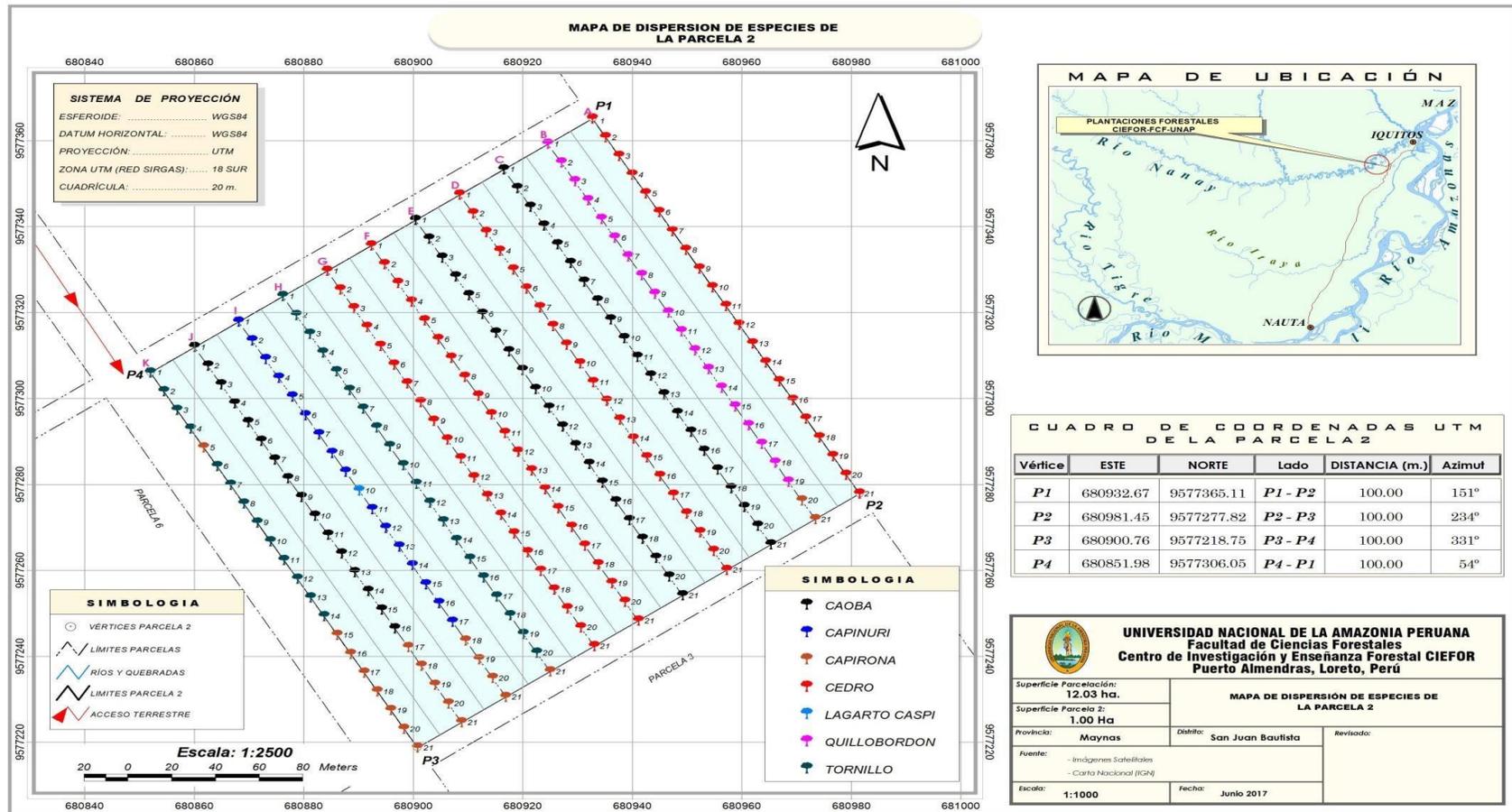


Figura 22.- Plano de ubicación de la parcela II

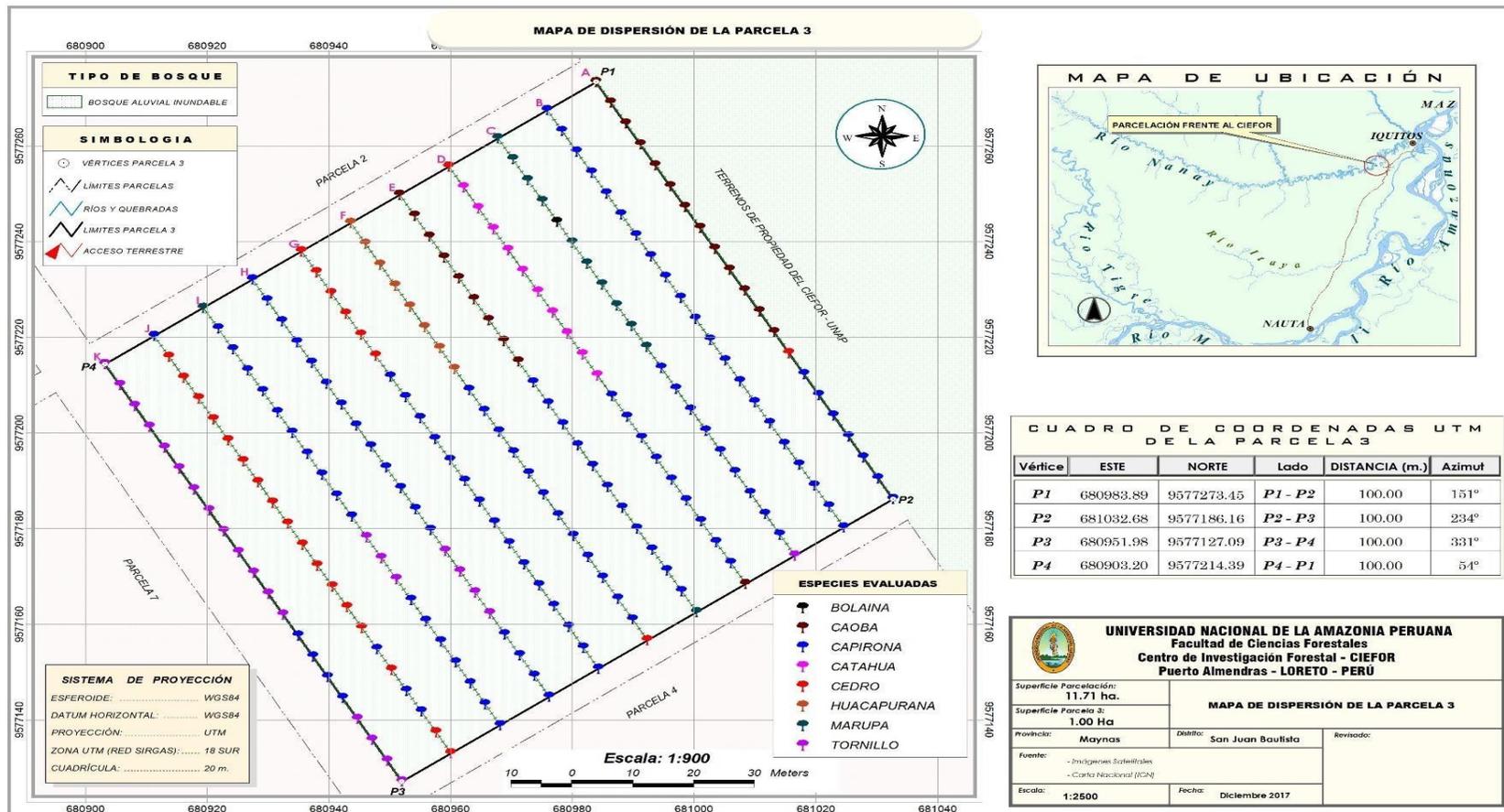


Figura 23.- Plano de ubicación de la parcela III

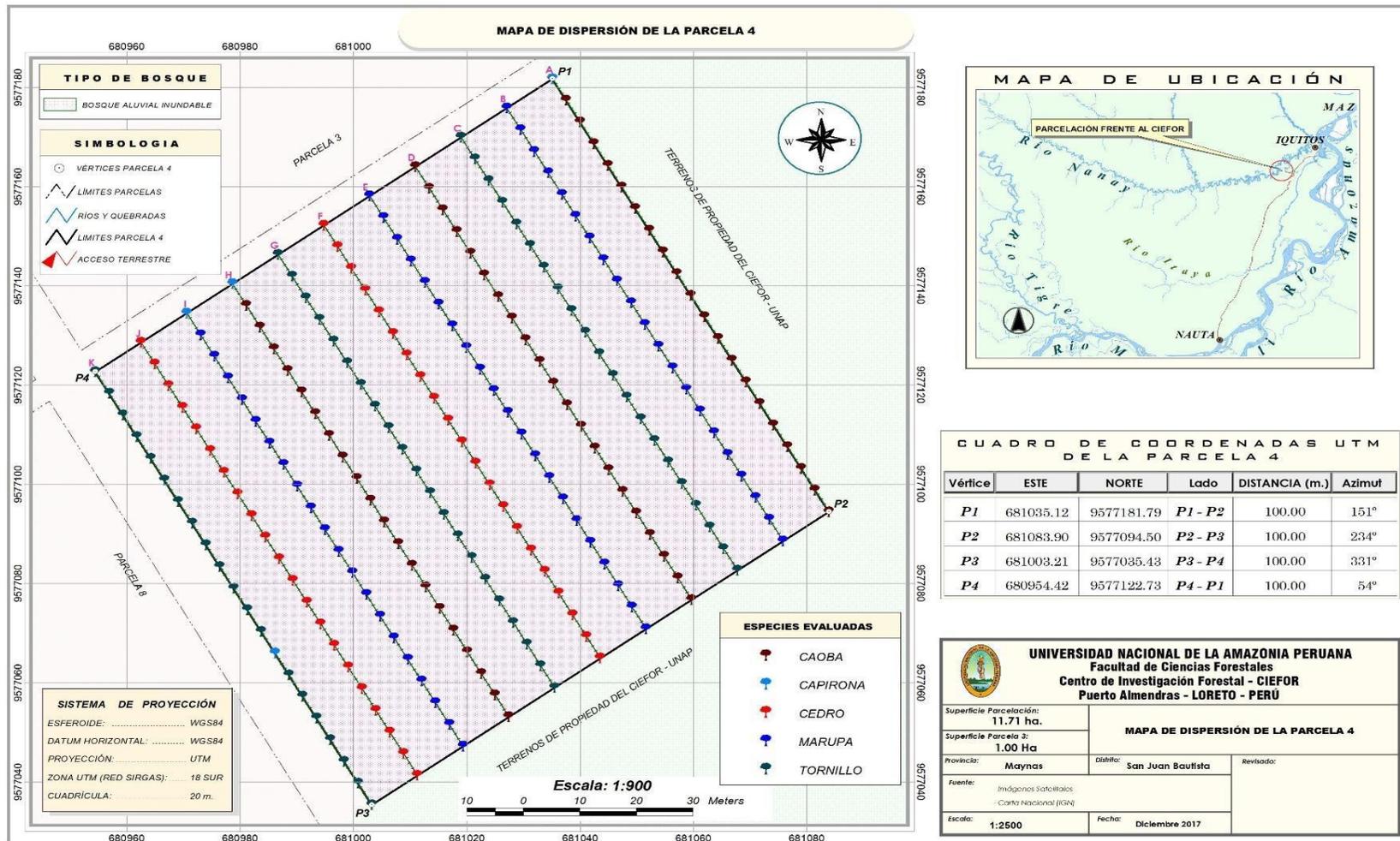


Figura 24.- Plano de ubicación de la parcela IV

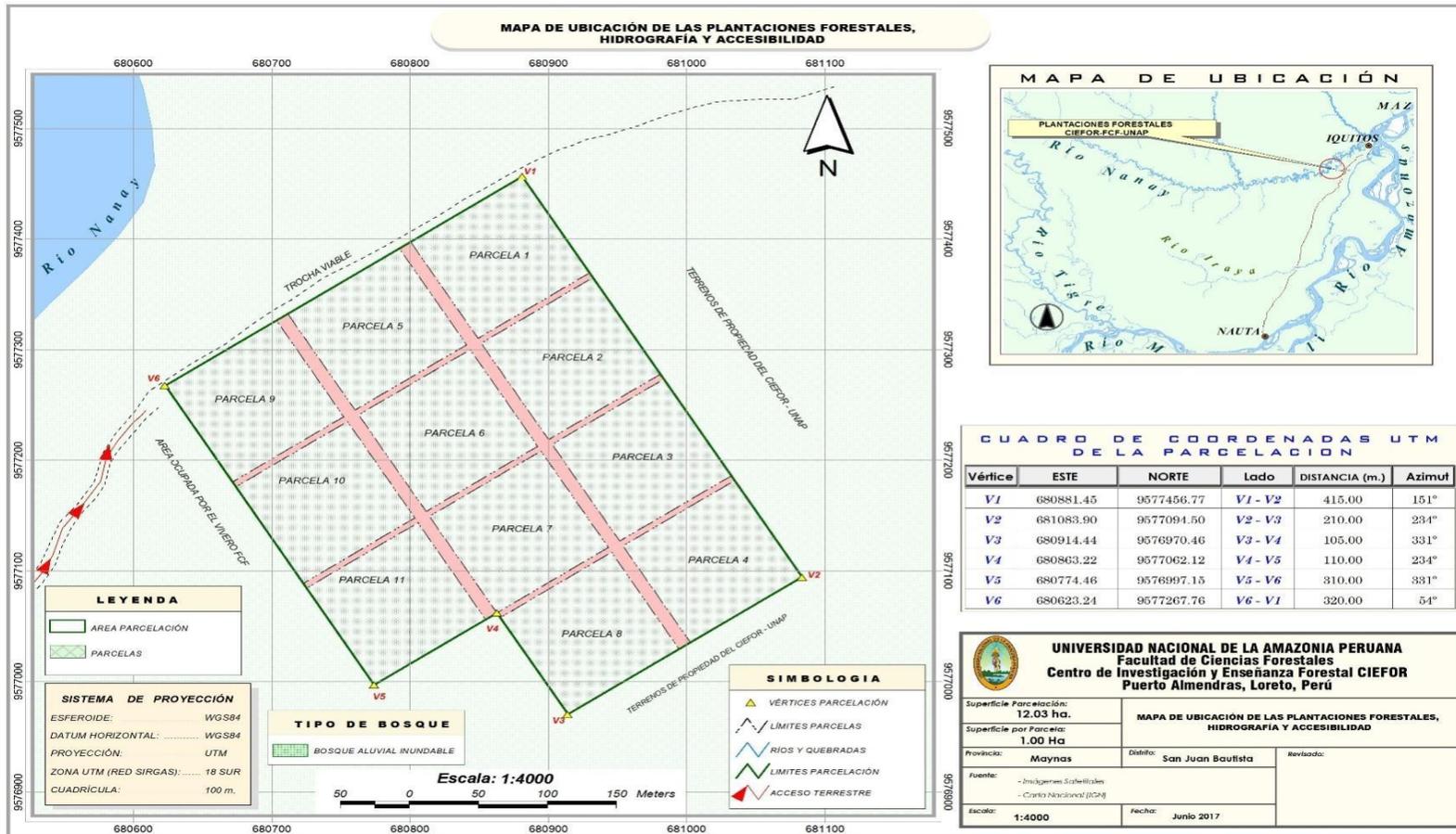


Figura 25.- Plano de ubicación de las parcelas del CIEFOR-Puerto Almendra

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Ficha de toma de datos para la evaluación de las plantaciones forestales –FCF-UNAP

Parcela N° :					Sup Parcela:			Fecha:							
REPETICION:					RESPONSABLE: Segundo Córdova Horna										
N°	Especie	Diámetro de fuste (mm)	Altura Total (cm)	Diámetro de Copa (cm)		Vigor			Intensidad de luz			Segmento de crecimiento (cm)	N°Hojas	Observación	
				D1	D2	B	R	M	B	R	M				
1.															
2.															
3.															
4.															
5.															
6.															
7.															
8.															
9.															
10.															
11.															
12.															
13.															
14.															
15.															
16.															
17.															
18.															
19.															

Figura 26.- Formato de toma de datos

Tabla 26.- Resumen de los datos de campo por especie, dosis fertilización foliar. NDVI. ICC, incremento medio anual del DAP. HT y área de la copa.

Especie	Tipo bosqu	DOSIS	faja	NDVI	ICC	imadap	ImaHT	imacopa
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta	60	G	0,70	29,05	0,30	10,30	0,11
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta	120	H	0,66	27,34	0,36	49,05	0,16
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta	120	K	0,82	44,49	0,26	20,65	0,25
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta	180	H	0,51	53,40	0,20	34,33	0,24
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta	180	I	0,78	45,60	0,13	3,22	0,08
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta	180	K	0,85	36,57	0,21	27,18	0,46
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta_bajeal	60	C	0,90	29,60	3,17	87,98	0,00
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Alta_bajeal	180	K	0,70	48,63	0,65	13,59	0,07
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Baja	120	H	0,85	52,83	0,36	96,57	0,72
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Baja	180	K	0,66	44,49	0,33	62,23	0,43
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Media	120	H	0,75	23,13	0,19	30,76	0,18
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Media	120	K	0,80	43,67	0,61	47,93	0,48
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	40	A	0,86	45,53	0,47	75,00	-0,52
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	40	E	0,80	39,17	0,68	53,82	-0,46
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	60	A	0,94	50,80	0,41	12,88	1,73
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	60	K	0,82	43,23	0,70	11,86	-0,04
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	80	D	0,78	29,23	0,33	16,45	-0,36
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	80	F	0,76	29,16	0,32	38,63	-0,06
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	120	G	0,79	34,23	0,28	31,92	-0,17
<i>Cedrela odorata</i>	Alta	180	J	0,77	35,50	0,76	32,90	-0,70
<i>Cedrela odorata</i>	Alta_bajeal	120	F	0,78	35,80	0,30	19,31	-0,69
<i>Cedrela odorata</i>	Alta_bajeal	180	J	0,68	41,65	0,10	106,22	-1,84
<i>Cedrela odorata</i>	Baja	40	A	0,76	39,10	0,12	10,73	0,02
<i>Cedrela odorata</i>	Baja	80	D	0,82	31,62	0,25	16,31	-0,32
<i>Cedrela odorata</i>	Baja	80	F	0,82	26,70	0,42	47,21	0,00
<i>Cedrela odorata</i>	Baja	120	D	0,85	31,20	0,77	85,84	-0,32
<i>Cedrela odorata</i>	Baja	120	G	0,64	36,30	0,04	15,02	-0,97
<i>Cedrela odorata</i>	Baja	180	G	0,80	33,58	0,18	-2,68	-1,30
<i>Cedrela odorata</i>	Baja	180	J	0,73	45,60	0,12	31,88	-0,47
<i>Cedrela odorata</i>	Media	40	A	0,78	38,13	0,70	39,43	0,35
<i>Cedrela odorata</i>	Media	80	D	0,79	26,80	0,15	28,97	0,36
<i>Cedrela odorata</i>	Media	80	F	0,81	26,57	0,32	52,22	0,40
<i>Cedrela odorata</i>	Media	120	G	0,69	30,17	0,15	37,20	0,06
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	20	A	0,85	41,90	0,09	8,58	0,19
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	20	B	0,81	48,30	0,53	45,06	-0,02
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	60	A	0,81	29,20	0,65	68,67	0,01
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	60	B	0,72	38,30	0,67	61,70	-0,43
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	60	C	0,50	31,50	1,04	277,90	0,59
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	60	I	0,88	40,10	0,02	77,25	1,07
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	120	D	0,77	36,30	0,49	50,43	-0,14
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	120	E	0,61	38,93	1,00	66,52	-0,06

Continuación tabla 26

Especie	Tipo bosqu	DOSIS	faja	NDVI	ICC	imadap	ImaHT	imacopa
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	120	F	0,94	27,20	0,12	-64,38	-0,26
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	120	K	0,80	52,10	0,82	128,76	0,06
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	180	G	0,79	40,48	1,10	45,42	-0,06
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	180	H	0,82	39,35	0,06	78,33	-0,53
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta	180	K	0,55	30,05	0,68	95,49	0,06
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	60	A	0,61	37,60	0,43	43,63	-0,08
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	60	B	0,85	35,30	0,33	46,49	-0,02
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	60	C	0,81	39,17	1,67	72,25	-0,22
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	120	D	0,76	30,05	0,24	12,88	-0,36
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	120	E	0,71	40,80	0,48	31,47	0,01
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	120	F	0,72	32,25	0,01	15,02	-0,02
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	180	G	0,83	38,36	0,52	48,93	-0,10
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	180	I	0,82	31,05	0,11	-47,21	-0,29
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	180	J	0,68	39,55	0,66	85,84	-0,62
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Alta_bajeal	180	K	0,82	43,50	0,53	87,98	-0,95
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	40	B	0,84	0,28	0,17	-19,31	-0,02
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	60	B	0,69	36,40	0,64	32,19	-0,10
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	120	H	0,76	25,70	0,17	30,04	-0,05
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	120	I	0,94	39,90	0,06	35,41	-0,16
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	120	J	0,79	40,00	0,35	77,25	0,30
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	120	K	0,83	31,90	0,70	133,05	0,42
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	180	H	0,80	33,56	0,35	28,43	-0,09
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	180	I	0,77	32,44	0,29	65,67	-0,23
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Baja	180	J	0,66	33,60	0,85	120,17	0,17
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta	20	B	0,76	35,91	0,75	56,65	0,20
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta	40	C	0,76	26,17	0,20	5,66	0,16
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta	40	F	0,79	32,45	0,73	13,90	-0,06
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta	60	A	0,85	37,60	0,86	63,84	0,20
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta	60	I	0,81	27,75	0,70	71,24	0,37
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta	80	E	0,82	29,48	0,66	33,55	0,30
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta	120	J	0,73	30,26	1,01	86,03	0,19
<i>Swietenia macrophylla</i>	Alta_bajeal	120	D	0,73	42,50	0,66	53,65	0,28
<i>Swietenia macrophylla</i>	Baja	20	B	0,78	39,40	1,10	99,25	0,51
<i>Swietenia macrophylla</i>	Baja	40	C	0,85	23,15	0,27	19,67	0,13
<i>Swietenia macrophylla</i>	Baja	60	A	0,66	22,31	1,04	73,50	0,02
<i>Swietenia macrophylla</i>	Baja	80	E	0,81	20,73	0,57	51,14	0,04
<i>Swietenia macrophylla</i>	Baja	120	E	0,72	23,20	1,00	44,59	-0,02
<i>Swietenia macrophylla</i>	Baja	120	J	0,82	37,40	0,59	109,44	0,45
<i>Swietenia macrophylla</i>	Media	20	B	0,81	36,84	0,92	67,38	0,11
<i>Swietenia macrophylla</i>	Media	40	C	0,87	22,60	0,25	18,24	0,08
<i>Swietenia macrophylla</i>	Media	80	E	0,81	27,48	0,65	22,53	0,11
<i>Swietenia macrophylla</i>	Media	120	J	0,52	31,85	0,49	56,87	0,31