



**“ESTUDIO DE ADAPTABILIDAD DE TRES ESPECIES FORESTALES DEL  
GÉNERO *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata* E HÍBRIDO ENTRE *fortunei* x  
*elongata*) A LAS CONDICIONES DE SITIO “BOSQUE HÚMEDO TROPICAL”  
DE LA ESTACIÓN INIAP-PICHILINGUE, CANTÓN QUEVEDO, PROVINCIA  
DE LOS RÍOS”**

**LUIS FABIÁN GUZMÁN CULLAY**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA, que el trabajo de investigación titulado ESTUDIO DE ADAPTABILIDAD DE TRES ESPECIES FORESTALES DEL GÉNERO *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata* E HÍBRIDO ENTRE *fortunei* x *elongata*) A LAS CONDICIONES DE SITIO “BOSQUE HÚMEDO TROPICAL” DE LA ESTACIÓN INIAP-PICHILINGUE, CANTÓN QUEVEDO, PROVINCIA DE LOS RÍOS. De responsabilidad del señor Luis Fabián Guzmán Cullay, ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

**TRIBUNAL DE TESIS**

**ING. Eduardo Cevallos** \_\_\_\_\_

**DIRECTOR**

**ING. Amalia Cabezas** \_\_\_\_\_

**MIEMBRO**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo investigativo está dedicado a mis padres el Sr. Fernando Guzmán y la Sra. Alicia Cullay que son un ejemplo vivo de amor y sacrificio, fueron el pilar fundamental en mi vida, debido a su apoyo incondicional en todo el trayecto de ésta carrera tan noble como es la Agronomía.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por darme salud y vida, por haberme brindado una familia y amigos tan maravillosos quienes me brindaron palabras de aliento día tras día, permitiéndome no caer y seguir de pie.*

*A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la excelente educación recibida durante los años de estudio. También al Ing. Eduardo Cevallos y la Ing. Amalia Cabezas, que fueron parte importante en el desarrollo de la investigación.*

*Al Dr. Jorge Grijalva Ex Líder del Programa Nacional de Forestería del INIAP, de igual manera al Ing. Raúl Ramos, Ing. Roy Vera, Ing. Paulo Barrera, Ing. Franklin Sigcha, por la acogida en esta noble institución, y por el apoyo logístico brindado en el trayecto de la investigación.*

*Al Ing. Carlos Molina director de la Estación Experimental Tropical- Pichilingue en la ciudad de Quevedo, por haberme abierto las puertas de tan prestigiosa institución de investigación.*

*Al equipo técnico y de campo de la EET-P, en especial al Ing. For. Horacio Figueroa quien fue mi guía en todo el desarrollo investigativo, brindándome su conocimiento día tras día, al Sr. Ramón Tacuri, que fue un apoyo importante en campo para que culmine con éxito el proyecto investigativo.*

## TABLAS DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO</b>	<b>PÁG.</b>
LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE CUADROS	ii
LISTA DE GRÁFICOS	v
LISTA DE ANEXOS	vii
<b>I. TÍTULO.....</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>VIII. RESUMEN.....</b>	<b>86</b>
<b>IX. SUMMARY.....</b>	<b>87</b>
<b>X. BILIOGRAFÍA.....</b>	<b>88</b>
<b>XI. ANEXOS.....</b>	<b>96</b>



**LISTA DE TABLAS**

<b>N°</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁG.</b>
	Tabla 1. Principales enfermedades de <i>Paulownia</i> .....	13
	Tabla 2. Caracterización del tipo de daño.....	32
	Tabla 3. Severidad de daño.....	33

**LISTA DE FIGURAS**

<b>N°</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁG.</b>
	Fig. 1. DAP y alturas principales a tomar.....	30
	Fig.2. Lecturas de diámetros de copa.....	30

## LISTA DE CUADROS

N°	CONTENIDO	PÁG.
	Cuadro 1. Tratamientos en estudio.....	23
	Cuadro 2. Esquema análisis de varianza para la compactación y densidad aparente del suelo.....	24
	Cuadro 3. Esquema análisis de varianza para la fertilidad en el suelo.....	25
	Cuadro 4. Esquema análisis de varianza para las variables dasométricas.....	26
	Cuadro 5. ADEVA para la compactación inicial del suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm). EET-P-INIAP, 2015.....	37
	Cuadro 6. ADEVA para la densidad aparente inicial en el suelo a dos profundidades (0-25 cm y 25-50 cm). EET-P-INIAP, 2015.....	39
	Cuadro 7. ADEVA para el pH inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm). EET-P-INIAP, 2015.....	40
	Cuadro 8. ADEVA para el contenido de Amonio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	42
	Cuadro 9. ADEVA para el contenido de Fósforo inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	44
	Cuadro 10. ADEVA para el contenido de Potasio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP 2015.....	46
	Cuadro 11. ADEVA para el contenido de Calcio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	48

Cuadro 12. ADEVA para el contenido de Magnesio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	50
Cuadro 13. ADEVA para el contenido de Azufre inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	52
Cuadro 14. ADEVA para el contenido de Zinc inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	54
Cuadro 15. ADEVA para el contenido de Cobre inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	56
Cuadro 16. ADEVA para el contenido de Hierro inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	58
Cuadro 17. ADEVA para el contenido de Manganeso inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	60
Cuadro 18. ADEVA para el contenido de Boro inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	62
Cuadro 19. ADEVA para el contenido de Materia Orgánica inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.....	64
Cuadro 20. ADEVA para altura total de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	67
Cuadro 21. ADEVA para diámetro a 10 cm del suelo de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	71
Cuadro 22. ADEVA para DAP de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	73
Cuadro 23. ADEVA para área de copa en cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	77

Cuadro 24. Costos de mano de obra en el Establecimiento del ensayo.....	81
Cuadro 25. Costos de insumos en el establecimiento de ensayo.....	81
Cuadro 26. Costos de especies forestales.....	81
Cuadro 27. Costos totales en el establecimiento del ensayo.....	82
Cuadro 28. Costos mano de obra en el mantenimiento del ensayo.....	82
Cuadro 29. Costo total de la plantación.....	82
Cuadro 30. Costo total de la plantación / Especie Forestal.....	83

## LISTA DE GRÁFICOS

N°	CONTENIDO	PÁG.
	Gráfico 1. Compactación inicial según la profundidad del suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	38
	Gráfico 2. Densidad aparente según el marco de plantación y profundidad del suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	39
	Gráfico 3. pH inicial y final del suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	41
	Gráfico 4. Nitrógeno Amoniacal inicial y final del suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	43
	Gráfico 5. Fósforo inicial y final en el suelo de las cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	45
	Gráfico 6. Potasio inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	47
	Gráfico 7. Calcio inicial y final en el suelo de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP 2015.....	49
	Gráfico 8. Magnesio inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	51
	Gráfico 9. Azufre inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	53
	Gráfico 10. Zinc inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	55
	Gráfico 11. Cobre inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	57
	Gráfico 12. Hierro inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	59
	Gráfico 13. Manganeso inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	61

Gráfico 14. Boro inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	63
Gráfico 15. Materia Orgánica inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015.....	65
Gráfico 16. Porcentaje de prendimiento de las cuatro especies forestales, EET-P INIAP, 2015.....	66
Gráfico 17. Altura total de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	68
Gráfico 18. Diámetro a 10 cm del suelo de cuatro especies forestales, EET-P INIAP, 2015.....	72
Gráfico 19. DAP de cuatro especies forestales con relación al marco de plantación, EET-P- 2015.....	74
Gráfico 20. DAP de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	75
Gráfico 21. Área de copa de cuatro especies forestales con relación al marco de plantación, EET-P-INIAP, 2015.....	77
Gráfico 22. Área de copa de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015.....	79

## LISTA DE ANEXOS

N°	CONTENIDO	PÁG.
	Anexo 1. Croquis del ensayo.....	96
	Anexo 2.a Registro del número de lombrices.....	97
	Anexo 2.b Registro para la compactación del suelo.....	98
	Anexo 2.c Registro para la densidad aparente.....	99
	Anexo 3. Registro para las variables dasométricas de las especies forestales.....	100
	Anexo 4. Registro para la incidencia de plagas y enfermedades.....	101
	Anexo 5. Registro de datos económicos.....	102
	Anexo 6. Diagrama de Troug, influencia del pH sobre la disponibilidad de Nutrientes.....	103
	Anexo 7. Interpretación del Nitrógeno Amoniacal en el suelo (ppm).....	103
	Anexo 8. Interpretación del Fósforo en el suelo (ppm).....	103
	Anexo 9. Interpretación del Potasio en el suelo (meq/100g).....	104
	Anexo 10. Interpretación del Calcio en el suelo (meq/100g).....	104
	Anexo 11. Interpretación del Magnesio en el suelo (meq/100g).....	104
	Anexo 12. Interpretación del Azufre en el suelo (ppm).....	105
	Anexo 13. Interpretación del contenido de elementos menores en el suelo (ppm).....	105
	Anexo14. Interpretación de la Materia Orgánica en el suelo (%).....	105



# **I. ESTUDIO DE ADAPTABILIDAD DE TRES ESPECIES FORESTALES DEL GÉNERO *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata* E HÍBRIDO ENTRE *fortunei* x *elongata*) A LAS CONDICIONES DE SITIO “BOSQUE HÚMEDO TROPICAL” DE LA ESTACIÓN INIAP-PICHILINGUE, CANTÓN QUEVEDO, PROVINCIA DE LOS RÍOS**

## **II. INTRODUCCIÓN**

Vitalideas, (2010) indica que el Ecuador tiene records contradictorios, es considerado el país con una de las tasas más altas de biodiversidad en el mundo, pero también la más alta tasa de deforestación en América del Sur con el 1,7% a 2,4 % por año.

Algunas cifras estadísticas revelan que de 9`599.678,7 hectáreas de bosques que posee el Ecuador (34,7 % de la superficie nacional), el 98,5% son bosques naturales, en tanto que las plantaciones no superan el 1,5% restante del patrimonio forestal (Carrión y Chiu, 2011).

Por otra parte, el Ecuador ha experimentado una gran evolución en cuanto a la explotación maderera, que ofrece una excelente perspectiva como fuente de ingresos para la nación. Las estadísticas revelan que en el período 2007-2010, de la madera autorizada para aprovechamiento, el 58,5% correspondió a plantaciones forestales, el 5,8% a bosques naturales y el 35,7% a árboles regenerados naturalmente en cultivos o potreros (MAE, 2010).

La madera fue uno de los productos con mejor desempeño en el año 2014, sus exportaciones aún no tienen un gran peso en el comercio exterior del país, pero representaron ingresos por USD 185 millones, un 29% más respecto al 2013 (El Comercio, 2014).

Adicionalmente la ubicación geográfica y las condiciones bioclimáticas del Ecuador favorece la existencia de varias especies maderables de rápido crecimiento, y de alto valor comercial en el mercado nacional e internacional, posee adicionalmente una capacidad industrial instalada y disponibilidad de tierras para la reforestación, lo cual naturalmente, ofrece ventajas comparativas y competitivas que proyectan al sector forestal productivo con gran potencial de crecimiento y desarrollo (Ecuadorforestal, 2012).

En Ecuador se explotan plantaciones de especies forestales de rápido crecimiento, nativas e introducidas, por ejemplo, la balsa (*Ochroma pyramidale*), con un turno de corte de 4-6 años, pachaco (*Schizolobium parahiba*), turno de corte 6-8 años, melina (*Gmelina arborea*), en promedio 12 años su turno de corte, laurel (*Cordia alliodora*), en promedio 15-20 años para el turno de corte (Ecuadorforestal, 2012). El problema de éstas especies, generalmente se circunscriben al deterioro de la calidad de la madera, causado por insectos plagas y/o enfermedades, el desconocimiento de sus propiedades físico mecánicas y el manejo silvicultural, ejemplo, en balsa se tiene el problemas con las actividades de limpieza, podas, raleos debido a que causan heridas al fuste que son difíciles de sanar y afectan la calidad de la madera, en el caso del pachaco, es una especie sensible a las malezas, que en exceso permiten que su tronco sea colonizado por el hongo *Armillaria mellea* y tiene poca resistencia al ataque de hongos del género: *Ceratocystis*, *Graphium*, *Macrophoma*, y *Fusarium*. También es atacado por la hormiga arriera (*Atta sp.*) (Ecuadorforestal, 2012).

En el caso de melina en plantaciones jóvenes (3 años de edad) se ha presentado ataque por *Atta laevigata*, conocida como hormiga arriera. También se reportan daños por termitas, los cuales barrenan el tallo y las ramas. Los gusanos tierreros (*Spodoptera frugiperda*) ocasionan daños en cogollos y hojas nuevas. Insectos de la familia *Acrididae* producen defoliaciones severas si las poblaciones del insecto son muy altas. La enfermedad de mayor peligro potencial es el “mal del machete” ocasionado por el hongo (*Ceratocystis fimbriata*), que puede ser muy severa en climas húmedos, cerca de cacaotales. Para el caso del laurel en plantaciones recién establecidas menores a dos años es frecuente el ataque de hormiga arriera (*Atta sp.*) que afecta ramas, hojas y flores, presentando síntomas de amarillamiento y defoliación. *Dictyla monontropidia* conocida como la “chinche de encaje del laurel”, se considera como una plaga de importancia, por su amplia distribución y la severidad de los daños causados. En sitios con mal drenaje puede presentarse el cáncer del tronco producido por el hongo *Puccinia cordiae* (Ecuadorforestal, 2012).

Por otra parte *Paulownia spp.*, es una especie forestal de rápido crecimiento, entre sus múltiples beneficios se destacan la excelente calidad y belleza de su madera, considerable producción de biomasa y capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> (cada árbol elimina 21,7 kg de dióxido de carbono por año, 23950 kg / hectárea; cada árbol libera alrededor de 5,9 kg de oxígeno por día, 6486 kg /hectárea), posibilidad de aprovechamiento del

follaje para el ganado, potencial uso para reforestaciones de terrenos agrarios abandonados y/o degradados, valor ornamental, etc. (Wayne y Donald, 2004), lo cual la convierte en una especie con alto potencial productivo.

Estudios al respecto de la silvicultura en *Paulownia*, se centran principalmente desde el este de Asia, principalmente en Japón y Corea, pasando por Austria, Indonesia, España, Estados Unidos (Carolina del Norte y del Sur, California, Indiana y Kentucky), la India, Italia, Turquía, Canadá e Israel, hasta México, Brasil y Guyana en América (Rojas, 2007).

En Ecuador aún no se ha reportado investigaciones, respecto a su comportamiento y potencial productivo, lo cual es fundamental si se pretende promover a esta especie a los productores forestales locales.

## **A. JUSTIFICACIÓN**

Con la presente investigación se pretende contribuir al sector forestal con una nueva alternativa productiva de rápido crecimiento, y que se desarrolle adecuadamente bajo las condiciones edafoclimáticas del Ecuador para abastecer al mercado nacional e internacional, particularmente contribuir con el Cambio de Matriz Productiva (SENPLADES, 2012).

Adicionalmente permitirá disminuir la presión sobre los bosques naturales, restaurar áreas degradadas y mejorar la cobertura vegetal; sobre todo ayudará a dar respuesta a las necesidades de utilizar unas 3,7 millones de ha de tierras con vocación forestal para establecer plantaciones productivas (MAE, 2006).

## **B. OBJETIVOS**

### **1. General**

Estudiar la adaptabilidad de tres especies forestales, de rápido crecimiento del género *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata* e Híbrido entre *fortunei x elongata*) a las condiciones de sitio “Bosque Húmedo Tropical” de la Estación INIAP-Pichilingue, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos

## **2. Específicos**

- a.** Analizar las condiciones edafoclimáticas durante el primer periodo de establecimiento de la plantación de las tres especies forestales.
- b.** Evaluar el comportamiento dasométrico de las especies en estudio al primer año de la fase de establecimiento.
- c.** Determinar los costos de establecimiento y mantenimiento del cultivo durante el primer año de evaluación.

## **C. Hipótesis**

### **1. Hipótesis nula**

Las especies forestales del género *Paulownia* no se adaptan a las condiciones de sitio “Bosque Húmedo Tropical” del Litoral Ecuatoriano.

### **2. Hipótesis alternativa**

Al menos una de las especies forestales del género *Paulownia* se adapta adecuadamente durante el primer año de la fase de establecimiento a las condiciones de sitio “Bosque Húmedo Tropical” del Litoral Ecuatoriano.

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

Antes de empezar con la descripción de las especies forestales en estudio, es necesario conocer el significado de algunos términos científicos utilizados durante esta investigación, los cuales se detallan a continuación:

#### **A. ADAPTABILIDAD**

Se refiere al comportamiento de los genotipos con respecto a los factores ambientales, que cambian de una localidad a otra (Voyses y López, 1986, citado por Cevallos, 2007).

##### **1. Ambiente**

Hernández (2005), manifiesta que el ambiente de cada planta es la totalidad de las condiciones externas que actúan sobre un individuo o comunidad de organismos (biocenosis) en un territorio definido (biotopo).

Es el conjunto de elementos abióticos (agua, aire, suelo, minerales, energía solar, etc.) y bióticos (animales, plantas, microorganismos) que son parte de la delgada capa del planeta Tierra denominada Biósfera (Torres y Magaña, 2001).

##### **2. Clima**

Cuando se habla de clima se hace referencia al estado medio de las características físicas del aire en un momento y lugar determinado. Las condiciones de la atmósfera que determinan el estado físico del tiempo en un sitio y período particular son los elementos del clima, dentro de los cuales se encuentran la radiación solar, el brillo solar, la nubosidad, la temperatura, la precipitación, la humedad, los vientos, la evaporación, la altitud y la presión atmosférica (Torres, 2002).

Es un conjunto de fenómenos meteorológicos que por su duración o repetición caracterizan el medio ambiente de una región (Diccionario Científico y Tecnológico, 2002).

## **B. PLANTACIONES FORESTALES**

Una plantación forestal es un tipo de bosque especial en comparación con muchos bosques naturales, en particular los tropicales, la plantación forestal es simple y uniforme en cuanto a su estructura, la composición de especies y en su capacidad para aprovechar la energía solar y el reciclaje del agua y de los nutrientes. En estas condiciones, el ser humano puede controlarla genética, el crecimiento, la fertilidad, las relaciones hídricas y en general, el desarrollo de los árboles (Richter y Calvo, 1995).

### **1. Objetivos de las plantaciones forestales**

CIAT (2002), coinciden en distinguir en el caso de plantaciones puras 4 objetivos:

Uso industrial (leña/carbón, aserrío, laminado, látex, corcho), uso doméstico (leña/carbón, construcción rural, postes, etc.), protección del medio (erosión, viento recuperación de suelos, de pasturas, fijador de CO<sub>2</sub>) y como parte de otros usos de la tierra (sistemas agroforestales).

### **2. Ventajas y desventajas de las plantaciones forestales**

#### **a. Ventajas**

-Las plantaciones pueden producir madera entre diez o hasta veinte veces más rápido que el bosque nativo, bajo condiciones óptimas (Bowyer 1998 cit. en Withmore, 1998).

-La plantación utiliza el sitio donde está ubicado al máximo, desde el punto de vista comercial, comparado al bosque natural. El primero maximiza la ganancia, con más riesgo, y el segundo minimiza el riesgo, usualmente con menos ganancia (Withmore, 1998).

-El costo de cosechar, por metro cúbico de madera, se minimiza con las plantaciones y por tanto se puede optimizar mejor la superficie (Withmore, 1998).

-Se pueden manipular con facilidad diversos factores, como el espaciamiento, raleo, y rotación en las plantaciones (Withmore, 1998).

-Se pueden aplicar mejoramientos genéticos, para seleccionar genotipos contra insectos, enfermedades, defectos, rapidez de crecimiento, densidad de la madera (Withmore, 1998).

-Las plantaciones en zonas tropicales tienen la ventaja de crecer constantemente durante doce meses al año, donde el agua no es factor limitante (Withmore, 1998).

## **b. Desventajas**

Una de las desventajas principales de las plantaciones es que si se desea cambiar las especies y no se cuentan con árboles semilleros se elevan los costos, ya que se tendrán que comprar material de plantación y por la compra de semillas o plántulas, se corre el riesgo de ataque de plagas y enfermedades, que podrían amenazar el desarrollo óptimo de la plantación (Domínguez, 1998).

## **C. GÉNERO PAULOWNIA**

### **1. Generalidades**

Los árboles pertenecientes al género *Paulownia* poseen un rápido crecimiento 4-5 m / año, siendo especialmente observable los primeros años de desarrollo en su lugar de origen. En condiciones normales de clima y suelo, un árbol de 10 años de edad puede alcanzar los 30 – 40 cm de diámetro normal y un volumen de madera próximo a 0,3 – 0,5 m<sup>3</sup>. Sin embargo, si las condiciones de cultivo son óptimas, se pueden alcanzar volúmenes de madera cercanos a los 4 – 4,5 m<sup>3</sup>, con unos crecimientos anuales en diámetro de 3 – 4 cm (Zhu Zhao-Hua *et al*, 1986).

El nombre de *Paulownia* se debe a la Gran Duquesa Anna Pavlovna de Rusia, hija del Zar Pablo I de Rusia. También se la conoce como árbol de la emperatriz. Aunque es originaria de China, Laos y Vietnam, se cultiva comercialmente desde hace tiempo en Corea y también en Japón, donde se conoce como kiri, shima. En lengua inglesa se la conoce también como *empress tree*, *princess tree*. Por otra parte las especies más utilizadas en explotaciones forestales son *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei* y *Paulownia kawakamii* (Paulownias, 2010).

## 2. Descripción Botánica

Los árboles pertenecientes al género *Paulownia* presentan gran tamaño, crecen comúnmente entre 20 y 30 metros aunque también en algunos sitios alcanzan alturas superiores (Rojas, 2007).

**a. Raíz:** sus raíces son verticales, de 2 a 3 metros, lo convierten en un gran amortiguador de suelos, un recuperador de tierras y estabilizador de suelos agroforestales, a la vez que controla totalmente la erosión, no forma desiertos ecológicos como las maderas de baja calidad, y es resistente a las sequías porque tiene buena captación de agua atmosférica por condensación y porque sus largas raíces le permiten, en edad adulta aprovechar aguas profundas (Rojas, 2007).

**b. Tallo:** Éste género se caracteriza por tener un fuste recto, cilíndrico, de color grisáceo, con suaves estrías longitudinales y casi nunca presentan nudos, los troncos pueden alcanzar entre 1.0 y 2.25 metros de diámetro (Rojas, 2007).

El tallo tiene un rápido crecimiento, según las condiciones del terreno pueden alcanzar 4 m en su primer año, sumando 2-3 m más en el segundo año, pudiendo alcanzar los 12 m a los 5 años, Una de las características notables de estos árboles es que después del corte, presentan brotación con rápido crecimiento, posibilitando turnos de rotación cortos de 2-3 años, con una producción media de 30-35 Ton/Ha/año (CNE, 2007).

Adicionalmente en plantaciones de *Paulownia*, existe un incremento anual del DAP entre 3 – 5 cm (Coll, 2010).

En el país de origen existen árboles que alcanzan los 10 m de altura, con una edad de cuatro años, poseen un tronco limpio de 5 m, y hasta 22 cm de diámetro a la altura del pecho. Al este asiático se pueden encontrar árboles de *Paulownia* de 10 años con 45 – 50 cm de DAP (Coll, 2010).

**c. Hojas:** este género presenta hojas de gran tamaño, color verde oscuro en forma ovalada y acorazonada, de 20 a 40 centímetros de ancho, opuestos en las ramas. Se trata de una especie caducifolia que presenta una copa ancha y ramas de crecimiento horizontal (Lucas *et al*, 2007).

Las hojas se utilizar como forraje para el ganado, además contienen aproximadamente un 20 % de proteínas, parecido a la alfalfa (Paulownia argentina, 2011).

**d. Flores:** son de colores variados según especies y variedades de *Paulownia*, encontrando desde el rosa hasta el azul violáceo, con degradados hacia el blanco, siendo más púrpuras cuando nacen y más claras al alcanzar la madurez, lucen un tono más uniforme por el exterior y un fuerte moteado violeta por el interior, tienen formas de campana o trompetas, entre 5 y 8 cm de longitud, son desde un punto de vista estrictamente botánico, zigomorfo, pentámero y gamopétalo. La flor es hermafrodita con un androceo didínamo. Las flores son muy aromáticas y melíferas. Por otro lado, se las puede consumir como ensalada (Paulownias, 2010).

Un hecho importante que hay que tener en cuenta es que la floración ocurre una vez por año (Lucas *et al*, 2007).

**e. Fruto:** botánicamente el fruto de éste árbol es una cápsula elíptica y puntiaguda, aproximadamente tiene entre 3 y 5 cm de longitud, y en su interior se encuentran muchas semillas aladas, las cuales permite facilitar la difusión por el viento, cuando el fruto se abre mediante una dehiscencia loculicida (Paulownias, 2010).

**f. Semillas:** son pequeñas, aladas y ligeras, para su germinación y crecimiento requiere luz intensa debido a lo cual, esta especie no puede regenerar de forma natural bajo sombra (Lucas *et al*, 2007).

### 3. Requerimientos edafoclimáticos

**a. Suelo:** las especies del género *Paulownia* se desarrollan mejor en suelos con buen drenaje y no muy arcilloso (no más del 20%), con nivel freático a más de 2 - 2,5 m y además con un pH entre 5,5- 8 (UCEDEX, 2007).

Estas especies tienen la capacidad de desarrollarse en suelos pobres o erosionados, siempre y cuando se le apoye con abono orgánico y con un sistema de riego, no es un árbol propio de zonas áridas (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

**b. Clima:** El género *Paulownia*, se adaptan a gran variedad de climas, llegando a soportar mínimas absolutas de -20° C y máximas absolutas de 45° C, diferentes

experiencias demuestran que el rango óptimo de temperaturas para el crecimiento en altura y diámetro se localiza usualmente entre 24°C y 29°C de temperatura media diaria (Zhu Zhao-Hua *et al*, 1986).

Las especies de este género pueden desarrollarse en zonas con precipitación anual próxima a los 150 mm, siendo necesarios algunos riegos estivales semanales, que generalmente deben superar los 100 mm en total (Zhu Zhao-Hua *et al*, 1986).

En relación a la altitud, el rango que normalmente ocupa esta especie varía entre los 600 y 1500 metros sobre el nivel del mar (Lucas *et al*, 2007).

#### **4. Manejo del Cultivo**

##### **a. Espaciamientos Recomendados**

Los marcos de plantación para esta especie pueden oscilar desde los 4x4, 5x5 y 6x6 m, y se debe realizar un raleo a los 5- 6 años (Loewe, 2010). Por su parte Beckjord, (1984) indica que se pueden implementar marcos de plantación desde 2x2 hasta 3x3 m, bastante más estrechos que los citados por otros autores.

##### **b. Preparación del Sitio**

Se recomienda realizar un pase de arado para dejar el suelo suelto, en forma posterior realizar el balizado y el respectivo hoyado, los mismos que deben ser de al menos 0.3 x 0.3 x 0.3 m (Loewe, 2010).

##### **c. Plantación**

La plantación se realiza cuando existe presencia de lluvias para asegurar un alto porcentaje de prendimiento en campo, durante este período las plantas requieren de mucho cuidado, ya que muy sensibles a la competencia de malezas, por lo que hay que controlarlas durante los 3 primeros años de edad, esta operación puede ser realizada en forma mecanizada, manual, mediante la aplicación de herbicidas de contacto (Donald, 1990).

Al momento de la plantación se pueden aplicar fertilizante, diversos factores van a determinar la necesidad de fertilizaciones sucesivas (Beckjord, 1984).

## **5. Manejo Silvícola**

Para favorecer un crecimiento rápido de esta especie, se debe cuidar y manejar la plantación establecida especialmente durante los primeros 3-4 años (Loewe, 2010) para lograr esto se debe cumplir las siguientes actividades en campo:

### **a. Protección**

La corteza de las plántulas es muy delgada, por lo que hay que protegerlas de los agentes dañinos (animales, frío, heridas etc). En las áreas sujetas a vientos, es necesario emplear tutores para enderezar los fustes (Loewe, 2010).

### **b. Riego**

Los respectivos riegos deben ser proporcionados en la estación seca, se recomienda de 7 u 8 días después de la plantación (Zhu Zhao-Hua *et al*, 1986).

Además se debe considerar que el agua es el elemento crítico y determinante para la sobrevivencia de estas especies (Beckjord, 1984).

### **c. Podas**

Las podas se los realiza con el fin de mejorar las características del fuste y favorecer un rápido crecimiento en altura, durante la época inicial de crecimiento se desarrollan yemas vegetativas en la porción axial del fuste y alrededor de los pecíolos también, estas yemas pueden ser desprendidas manualmente evitándose así el desarrollo de ramas así evitando podas posteriores (Beckjord, 1984).

#### **d. Raleos**

Estos árboles son de rápido crecimiento e incapaces de tolerar la sombra, por lo que un raleo oportuno es importante para mantener un incremento diamétrico máximo del tallo (Loewe, 2010).

### **6. Plagas y Enfermedades**

#### **a. Plagas en China**

Las especies del género *Paulownia* pueden ser atacadas por algunas plagas, en Asia los principales insectos fitófagos que atacan son: *Agrotis ypsilon* (Rott.) *Gryllotalpa unispina*, *Empoasca flavescens*, *Cicadalla viridis* L. (Agrodesierto, 2004).

#### **b. Enfermedades en China**

En este país las principales enfermedades de *Paulownia* son: micoplasmas, las cuales afectan toda la planta (hojas, ramas, troncos, flores y raíces) y producen la enfermedad llamada “escoba de bruja”, que se propaga por el empleo de material contaminado y por insectos chupadores de savia. Esta enfermedad supuestamente está localizada en las áreas de distribución natural de *Paulownia* en Asia, aunque también ha aparecido en Estados Unidos (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

**Tabla 1. Principales enfermedades de *Paulownia***

Hongo causal	Daños	Control
<i>Phytophthora ssp.</i>	Pudrición de tejido en el cuello de la raíz y estrangulamiento	Vapam ½ L en 10 L de agua para 10 m <sup>2</sup>
<i>Armillaria stumprot</i>	Pudrición de la base del tronco	
<i>Rhizoctonia solani</i>	Pudrición del cuello, marchites y muerte en partes aéreas	PCNB 75% 8-10 g/m <sup>2</sup>
<i>Fusarium sp.</i>	Acaparamiento, las hojas se marchitan, mueren y caen al suelo	Captafol 0,56 L/Ha
<i>Sphacelloma sp</i> y <i>S. paulowniae</i>	Ataca tallos, hojas y brotes, especialmente árboles jóvenes	

Fuente: Gutiérrez y Ocaña, (2009).

## 7. Propagación

La propagación principal del árbol es por vía asexual, uno de los más utilizados es el método *in vitro*. Ya que al obtenerse por semilla, germinarían árboles con escaso vigor, sin uniformidad de crecimiento y con un rendimiento inaceptable, debido a ciertas características de la planta, como la autofecundación, que debe ser corregida mediante técnicas de fecundación dirigida a árboles de diferentes clones para obtener semillas viables. Además de que los árboles provenientes de semilla salen tan caros o más que los obtenidos *in vitro* (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

## 8. Características de la Madera

La madera de *Paulownia* se distingue por tener características organolépticas tales como: color muy claro, muy resistente, ultraligera, fácil de trabajar y de grano fino, que la han posicionado como una madera semipreciosa. Además esta madera es preferida para la construcción por sus excelentes características de trabajo y alta resistencia al fuego pues su temperatura de ignición está entre los 420 y 430 °C, comparada con el promedio de las maderas duras que va de 220 a 225 °C, también posee una baja densidad cuyos valores están entre 300 y 400 Kg/m<sup>3</sup>. Además es resistente a la

deformación, torsión y agrietamiento, posee una gran capacidad aislante y un tiempo de secado muy corto (24 – 48 horas en hornos para madera y 30 – 60 días al aire libre) (Lucas *et al*, 2007).

Otra característica de esta madera es su costo en el mercado internacional, ya que oscila entre los 800 y 1200 dólares por metro cúbico al mayoreo (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

## **9. Usos de la Madera**

La madera de *Paulownia* debido a su resistencia, ligereza, estabilidad y alta calidad, es ideal para la producción de mobiliario, instrumentos musicales y el revestimiento de interiores. También es usada en carpintería general, armarios, puertas, ventanas, molduras, marcos, embalajes, cajas, madera contrachapada y en juguetes, así como para la obtención de fibra de madera, pulpa para papel, madera en rollo y para biomasa (Rojas, 2007).

## **D. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO**

### **1. *Paulownia elongata***

Esta especie se caracteriza por no tener un crecimiento uniforme en su altura, es decir crece a ritmos bianuales, verificándose cada 2-4 años, por lo que un individuo de 10 años de edad ha pasado por 3-4 períodos rítmicos de crecimiento. Donde el primer período es el de mayor crecimiento alcanzando 3-4 m, siendo los sucesivos de menor incremento bajo condiciones normales. Además la tasa máxima de incremento volumétrico se alcanza entre los 8 y los 13 años (Loewe, 2010).

### **2. *Paulownia fortunei***

Esta especie se identifica porque una de las dos ramas dicotómicas es más vigorosa que la otra, siendo la principal la responsable del crecimiento del fuste, debido a este fenómeno los individuos poseen un tronco recto y durante los primeros años el incremento en altura es rápido. Se ha visto que el incremento volumétrico máximo en *P.*

*fortunei* es generalmente 18-36% mayor que en *P. elongata* para un mismo diámetro (Gardencenterejea, 2010).

### 3. *Paulownia* HÍBRIDO (*fortunei x elongata*)

La especie se caracteriza por ser muy fragante, además de un rápido crecimiento pudiendo llegar hasta los 30 m de altura. Debemos tener en cuenta al momento de la poda, debido a que si nos excedemos suprimiremos la floración. Esta especie prefiere los terrenos fértiles y bien drenados (Gardencenterejea, 2010).

### 4. *Gmelina arborea* (Gmelina)

Obregón, (2005) clasifica a esta especie de la siguiente manera:

#### 1. Clasificación Taxonómica

**Reino:** Vegetal

**Tipo:** Espermatofita

**Clase:** Dicotiledónea

**Orden:** Tubifloras

**Familia:** Verbenaceae

**Género:** Gmelina

**Especie:** arborea

**Nombre Científico:** *Gmelina arborea* Roxb

#### 2. Origen

Rizzo, (2006) menciona que *Gmelina arborea* es nativa de los bosques húmedos tropicales (bh-T) del sureste asiático. Esta especie se encuentra distribuida ampliamente en América Central, considerándose como una alternativa importante de manejo de suelos debido a que produce la mayor biomasa en bosques húmedos cultivados. Además es una especie muy comercializable.

### 3. Descripción Botánica

Según Obregón, (2005) la principal característica de *Gmelina arborea* es su acelerado crecimiento que se nota hasta los cinco o seis años de haber sido plantada, ya que cuando alcanza la altura de los ejemplares adultos, su crecimiento disminuye. Un aspecto destacable es su potente rendimiento, al transformar el agua en biomasa, pues no hay que olvidar que es una especie de crecimiento rápido.

Esta especie puede crecer hasta los 30 m de altura, tienen un fuste recto y cónico. A los 20 años de edad pueden alcanzar los 30 m de altura y entre 60 y 80 cm de diámetro a la altura del pecho (Betancourt, 1987).

A continuación se describe cada uno de los elementos que constituyen la *Gmelina arborea*

**a. Raíz.-** presenta un sistema radical profundo, aunque en ocasiones puede ser superficial debido a la compactación del suelo (Betancourt, 1987).

**b. Fuste.-** se caracteriza por tener un fuste marcadamente cónico, engrosado en su base, tiene por lo general diámetros a la altura del pecho entre 50 y 80 cm, en ocasiones puede llegar hasta 143 cm (Betancourt, 1987).

**c. Copa.-** presenta una copa amplia en sitios abiertos, pero en plantación su copa es densa y compacta (Rojas, *et al.* 2004).

**d. Corteza.-** tiene las siguientes características es lisa también puede ser escamosa, de color marrón pálida a grisácea. Por otra parte en árboles de 6 – 8 años de edad se exfolia la parte engrosada de la base del tronco y aparece una nueva corteza, de color más pálido y lisa (Rojas, *et al.* 2004).

**e. Hojas.-** las hojas son grandes (10-20 cm de largo y 5-18cm de ancho) simples, opuestas, enteras, dentadas, usualmente acorazonadas, el haz es verde intenso y lisa, mientras que el envés es verde pálido y aterciopelado, posee una nerviación reticulada, y estípulas ausentes (Rojas, *et al.* 2004).

**f. Flores.-** son numerosas, de color amarillo–anaranjadas, se presentan en racimos, monoicas perfectas, cáliz tubular, corola con 4 – 5 sépalos soldados a la base del ovario, de color amarillo brillante, cáliz 2.5 cm de largo y 4 estambres (Rojas, *et al.* 2004).

**g. Fruto.-** según Betancourt, (1987) su fruto es carnosos tipo drupa, de forma ovoide u oblonga, carnosos, suculentos, con pericarpio coriáceo y endocarpio óseo, de color verde lustroso, tornándose amarillo brillante al madurar.

#### **4. Requerimientos Ambientales**

Betancourt, (1987) sugiere plantar *Gmelina arborea* en suelos profundos, húmedos pero bien drenados. Aunque existen reportes de excelentes crecimientos en suelos pobres en bases, alcalinos o ligeramente ácidos de textura arcillosa o franco arcilloso, esto debido al fuerte crecimiento inicial que tiene la especie de establecerse en cualquier tipo de suelo, pero para mantener la tasa de crecimiento elevada y llegar a dimensiones satisfactorias requiere las condiciones de suelo óptimas.

En cuanto a la topografía, los mejores sitios son los planos u ondulados con una pendiente no mayor al 30%, sin pedregosidad y una profundidad efectiva mínima de 60 cm y óptima mayor a 100 cm, y con baja humedad.

Betancourt, (1987) afirma que las mejores condiciones climáticas para esta especie, varían entre 18°C, como promedio del mes más frío, y 35°C como promedio del mes más cálido, con una estación seca muy estable. La precipitación debe exceder los 1500 mm anuales; la óptima se sitúa entre 1780 mm y 2300 mm.

#### **5. CRECIMIENTO**

El CATIE, (1986) afirma que el incremento medio anual en diámetro es superior a 1,4 cm/año para los primeros ocho años de vida y 1,4 m/año o más en altura para el mismo periodo. Para edades superiores a los ocho años disminuyeron los incrementos medios anuales en diámetro y altura, en plantaciones sin raleo.

En general los incrementos medios son superiores a 2 cm de diámetro y 2 m en altura en los primeros cuatro años de vida, lo que indica un crecimiento muy rápido en las primeras etapas de vida.

Además la melina tiene un crecimiento inicial muy rápido durante los primeros cuatro años, empezando a disminuir a partir del sexto año (CATIE, 1986).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **A. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO**

#### **1. Localización**

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, ubicada en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos.

#### **2. Ubicación geográfica del lugar**

##### **Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17S, Datum WGS84**

x = 671167,34 E

y = 9878372,68 N

**Altitud:** 75 m.s.n.m.

*Fuente:* Estación Meteorológica EETP- INIAP (2012)

##### **Características Meteorológicas**

Precipitación media anual: 2000 mm

Temperatura media anual: 24,5°C.

Temperatura media mínima: 19°C.

Temperatura media máxima: 32°C.

Humedad relativa: 83%.

Heliofanía: 900 horas de sol al año.

*Fuente:* Estación Meteorológica EETP- INIAP (2012)

#### **3. Características del Suelo**

##### **a. Fertilidad**

pH = 6,5 LAc

NH<sub>4</sub> (ppm) = 7 B

P (ppm) =	11 M
S (ppm) =	15 M
K (Meq/100ml) =	0,41 A
Ca (Meq/100ml) =	11 A
Mg (Meq/100ml) =	2,8 A
Zn (ppm) =	2,5 M
Cu (ppm) =	6,7 A
Fe (ppm) =	115 A
Mn (ppm) =	2,1 B
B (ppm) =	0,34 B
MO (%) =	3,2 M

**Fuente:** Laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, 2014

#### **Interpretación de Fertilidad**

**LAc**= Ligeramente ácido

**B**=Bajo

**M**=Medio

**A**= Alto

#### **b. Taxonomía**

Los suelos del área de ubicación del experimento pertenecen al orden Inceptisol, suborden Eutrodepts, grupo Typic Eutrodepts (MAGAP, 2014).

#### **c. Textura**

Franco

Arena (%) = 40

Limo (%) = 42

Arcilla (%) = 18

**Fuente:** Laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, 2014

#### 4. Clasificación ecológica

Según Holdridge (1982) el sitio corresponde a Bosque Húmedo Tropical (bh – T)

### B. MATERIALES Y EQUIPOS

#### 1. Materiales y equipos de campo

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global Garmin Vista HCX)
- Flexómetro
- Cuerda o piola, estacas
- Plántulas de tres especies forestales del género *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata*, híbrido (*P. fortunei* x *P. elongata*), y testigo *Gmelina arborea* (Melina)
- Machete, baldes, pala de desfonde, hoyadora manual
- Tijeras de podar, balanza de precisión
- Fertilizante de liberación controlada SUMICOAT N-P-K-Mg (19-8-12-2)
- Hidrogel (hidrokeeper), materia orgánica
- Sistema de riego: bomba, mangueras, válvulas, goteros
- Matrices de recolección de información de campo (Anexos)
- Forcípula digital, regla telescópica
- Etiquetas (placas de aluminio)
- Penetrómetro, barreno de suelo (para análisis de fertilidad)
- Barreno de suelo para densidad aparente (Da)
- Cuaderno/libro de campo
- Cámara fotográfica digital

#### 2. Materiales de Oficina

- Computadora, procesador de texto (Word 2010), hoja de cálculo, programa de análisis estadístico InfoStat.
- Suministros de oficina.

## C. METODOLOGÍA

### 1. Características y especificación del diseño de campo experimental.

Forma de las parcelas: Rectangulares

Área neta de la unidad experimental por marco de plantación (3x3 y 4x4 m): 81 y 144 m<sup>2</sup>

Área total del ensayo: 8726m<sup>2</sup>

Número de tratamientos: 8

Número de bloques: 3

Número total de unidades experimentales: 24

Número promedio de plantas por unidad experimental: 32

Número de plantas totales de *Paulownia*: 563

Número de plantas totales del Testigo: 183

Número de plantas a evaluar en la unidad experimental: 9

Número de plantas totales a evaluar: 216(9x24)

### 2. Factores en estudio

#### a. *Especies forestales*

EF1: *P. fortunei*

EF2: *P. elongata*

EF3: Híbrido (*P. fortunei* x *P. elongata*)

EF4: *Gmelina arborea* (Testigo)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Especie de rápido crecimiento de la zona

### ***b. Marco de plantación***

MP1: 3x3m (1111 árboles/ha)

MP2: 4x4m (625 árboles/ha)

**Cuadro 1. Tratamientos en estudio**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
T1	EF1MP1	<i>P. fortunei</i> en un marco de plantación de 3x3m
T2	EF2MP1	<i>P. elongata</i> en un marco de plantación de 3x3m
T3	EF3MP1	Híbrido ( <i>P. fortunei</i> x <i>P. elongata</i> ) en un marco de plantación de 3x3m
T4	EF4MP1	Testigo ( <i>Gmelina arbórea</i> ) en un marco de plantación de 3x3m
T5	EF1MP2	<i>P. fortunei</i> en un marco de plantación de 4x4m
T6	EF2MP2	<i>P. elongata</i> en un marco de plantación de 4x4m
T7	EF3MP2	Híbrido ( <i>P. fortunei</i> x <i>P. elongata</i> ) en un marco de plantación de 4x4m
T8	EF4MP2	Testigo ( <i>Gmelina arbórea</i> ) en un marco de plantación de 4x4m

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

### **3. Diseño experimental**

#### **a. Tipo de diseño**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar factorial con arreglo combinatorio.

**b. Esquema del análisis de varianza**

**CUADRO 2. Esquema del análisis de varianza para la compactación y densidad aparente en el suelo.**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Fórmula</b>	<b>G.L.</b>
Bloque (B)	$(B-1)(3-1)$	2
M. plantación (MP)	$(MP-1)(2-1)$	1
Especie (E)	$(E-1)(4-1)$	3
Profundidad (P)	$(P-1)(2-1)$	1
M. plantación*Especie (MP*E)	$(1*3)$	3
M. plantación*Profundidad (MP*P)	$(1*1)$	1
Especie*Profundidad (E*P)	$(3*1)$	3
M. plantación*Especie*Profundidad (MP*E*P)	$(1*3*1)$	3
Error	$glT-glB-gl(MP)-gl(E)-gl(P)-gl(MP*E)-gl(MP*P)-gl(E*P)-gl(MP*E*P)$	30
Total	$(B)(MP)(E)(P)-1=48-1$	47

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**Cuadro 3. Esquema del análisis de varianza para la fertilidad en el suelo**

Fuente de Variación	Fórmula	GL
<b>Bloques (B)</b>	$(B-1)=(3-1)$	2
<b>Marco de Plantación (MP)</b>	$(MP-1)= (2-1)$	1
<b>Especie forestal (EF)</b>	$(EF-1)=(4-1)$	3
<b>Profundidad (P)</b>	$(P-1)= 2-1$	1
<b>Evaluación (E)</b>	$(E-1) = 2-1$	1
<b>M. Plantación * Especie (MP*E)</b>	$(3*1)$	3
<b>M. plantación*Profundidad (MP*P)</b>	$(1*1)$	1
<b>M. plantación*Evaluación (MP*E)</b>	$(1*1)$	1
<b>Especie*Profundidad (E*P)</b>	$(3*1)$	3
<b>Especie*Evaluación (EF*E)</b>	$(3*1)$	3
<b>Profundidad*Evaluación (P*E)</b>	$(1*1)$	1
<b>M. plantación*Especie*Profundidad (MP*E*P)</b>	$(1*3*1)$	3
<b>M. plantación*Especie*Evaluación (MP*EF*E)</b>	$(1*3*1)$	3
<b>M. plantación*Profundidad*Evaluación (MP*P*E)</b>	$(1*1*1)$	1
<b>Especie*Profundidad*Evaluación (EF*P*E)</b>	$(3*1*1)$	3
<b>M. plantación*Especie*Profundidad (MP*E*P)</b>	$(1*3*1)$	3
<b>ERROR</b>	$glT-(B)-(MP)-(EF)-(P)-(E)-$ $(MPxE)-(MP*P)-(MP*E)-$ $(E*P)-(EF*E)-(P*E)-$ $(MP*E*P)-(MP*EF*E)-$ $(MP*P*E)-(EF*P*E)-$ $(MP*E*P)$	62
<b>TOTAL</b>	$(B)(MP)(EF)(P)(E)-1=96-1$	95

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**CUADRO 4. Esquema del análisis de varianza para las variables dasométricas**

<b>F.V</b>	<b>Fórmula</b>	<b>GL</b>
<b>Bloque (B)</b>	$(B-1)(3-1)$	2
<b>M. plantación(MP)</b>	$(MP-1)(2-1)$	1
<b>Especie(E)</b>	$(E-1)(4-1)$	3
<b>Edad (T)</b>	11	11
<b>M plantación*Especie (MP*E)</b>	$(1*3)$	3
<b>M plantación*Edad (MP*T)</b>	$(1*11)$	11
<b>Especie*Edad(E*T)</b>	$(3*11)$	33
<b>M. plantación*Especie*Edad (MP*E*T)</b>	$(1*3*11)$	33

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

#### **4. Análisis Estadístico**

Para las variables de altura total, diámetro a 10 cm del suelo, diámetro a la altura del pecho, área de copa, que fueron registradas en el tiempo, se utilizó un modelo mixto, esto para corregir la heterogeneidad de las varianzas y la dependencia temporal al registrar datos en el tiempo sobre el mismo individuo.

En el caso de las variables del suelo se utilizó el análisis de varianza factorial para: la profundidad, especies forestales, marco de plantación, y edad (comparación de resultados al inicio y final de la plantación). Adicionalmente, se utilizó las pruebas de comparación de medias Fisher 5% para las fuentes de variación e interacción en función del nivel de discriminación esperado.

Para los datos meteorológicos registrados se realizó una descripción en función de las variables de crecimiento.

En lo referente a plagas y enfermedades no se realizó ningún análisis, debido a que no se presentaron durante el desarrollo de la investigación.

En lo concerniente a sobrevivencia se realizó un análisis descriptivo.

Para el caso de los costos se realizó un análisis descriptivo de la parte económica en el establecimiento que incluyó el análisis de los rubros de mano de obra, insumos

agrícolas, herramientas, equipos e instalaciones, maquinaria y herramientas, materiales y equipos de oficina.

Para aquellas variables registradas en el tiempo, la evaluación del modelo del análisis de la varianza se realizó comprobando los supuestos: normalidad, homocedasticidad e independencia.

## **D. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y DATOS REGISTRADOS**

### **1. En el suelo**

#### **a. Compactación del suelo**

Se registró datos de compactación del suelo, al inicio del periodo de evaluación de la plantación (año 1). Siguiendo un transecto en zig – zag; se realizó cuatro observaciones en la parcela neta de cada UE. La evaluación se realizó a dos profundidades (0 a 25 cm y 25.1 a 50 cm) con la ayuda de un penetrómetro de lectura directa. Y se expresó en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado ( $\text{kg fcm}^{-2}$ ).

#### **b. Densidad Aparente**

Se tomó muestras de suelo al inicio del estudio, utilizando el método del barreno de cilindro de volumen conocido (Ramos, 2003). Para lo cual se tomó muestras de suelo a dos profundidades (0 a 25 cm y 25,1 a 50 cm), en la parcela neta de cada UE, ubicando el cilindro en el tercio medio de la profundidad en cuestión, luego se pasó el suelo a una bolsa plástica etiquetada para llevar al laboratorio de Suelos y Agua de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP; dónde, se registró el peso de la caja (g), peso fresco del suelo y se colocará en una estufa a 105 °C de temperatura por 24 horas, luego de lo cual se colocó la muestra en desecadores para enfriarla y pesarla.

La densidad aparente se expresó en  $\text{g cm}^{-3}$  y se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{Ms}{Vt}$$

Dónde:

Da= densidad aparente en  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Ms= masa del suelo seco en g

Vt= volumen total del cilindro en  $\text{cm}^3$

### **c. Fertilidad**

Se tomaron datos de fertilidad de suelo al inicio y al final del periodo de evaluación de la plantación de *Paulownia*, a dos profundidades (0 a 25 cm y 25.1 a 50 cm); mediante muestreo en forma de zig – zag en la parcela neta de cada unidad experimental. Con la ayuda de un barreno de tubo, se tomaron 20 submuestras de suelo por cada profundidad, formando una muestra compuesta. Cada una de las muestras de suelo se colocaron en una bolsa plástica bien etiquetada y se llevaron al laboratorio de suelos de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP donde se determinó: Textura, pH, materia orgánica (%), Amonio (ppm), Fósforo (ppm), Azufre (ppm), Potasio (meq/100 ml), Calcio (meq/100 ml), Magnesio (meq/100 ml), Zinc (ppm), Cobre (ppm), Hierro (ppm), Manganeso (ppm), Boro (ppm).

### **d. Número y biomasa de lombrices**

Se realizó evaluaciones durante dos épocas del año: en la época seca (mayo hasta diciembre) y en la época lluviosa (enero a abril) para ello se muestreó en un cuadrante de 0,25 m x 0,25 m y se exploró hasta una profundidad de 0,2 m, realizando tres observaciones por unidad experimental. Se cuantificó el número y el peso de lombrices encontradas y se expresarán en kg y número de lombrices por hectárea (Anexo 2. a).

## **2. En las especies forestales**

### **a. Porcentaje de prendimiento en campo**

Se cuantificó el número de plantas prendidas en el área neta de cada unidad experimental, donde se realizó la primera evaluación a los 15 días después del trasplante, y las posteriores cada 30 días, hasta los 120 días de la plantación. Esta variable se reportó en porcentaje (%) y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Prendimiento} = \frac{\text{No. de plantas prendidas}}{\text{No. total de individuos plantados}} * 100$$

(Domínguez, 2011)

#### **b. Altura de la planta**

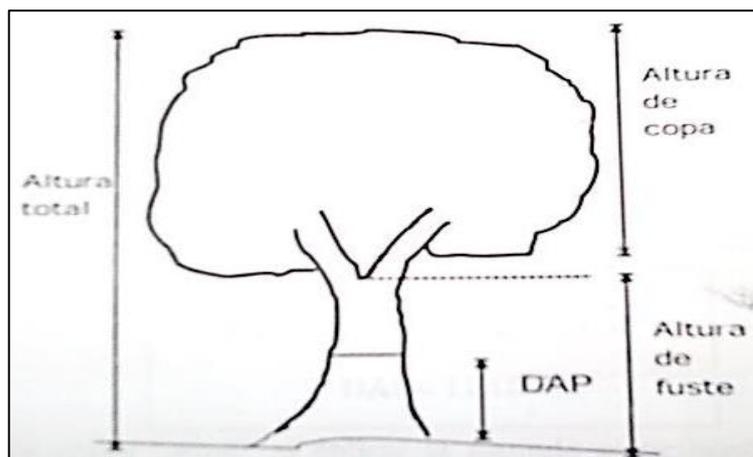
A los 15 días del trasplante, en cada parcela neta se registró la altura de planta de cada uno de los individuos a evaluar ( $n=9$ ) utilizando una regla graduada en cm, se midió desde la base del árbol hasta su yema apical, posteriormente se evaluó cada 30 días durante el primer año de ejecución del experimento.

#### **c. Diámetro de tallo de la planta**

En cada parcela neta, a los 15 días del trasplante, se registró el diámetro del tallo a 10 cm del suelo, de cada una de las plantas a evaluar ( $n=9$ ), con la ayuda de un calibrador digital graduado en mm. Posteriormente se evaluó cada 30 días, hasta que alcanzaron una altura de 1,5 m, 90 días aproximadamente.

#### **d. Diámetro a la altura del pecho (DAP)**

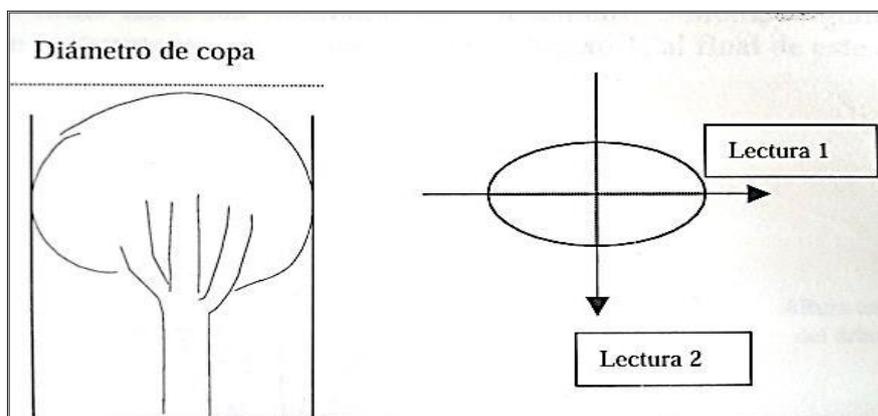
Esta variable se registró en cada una de las plantas de la parcela neta de cada UE ( $n=9$ ), luego que éstas alcanzaron 1,5 m de altura. Se tomó como diámetro el valor promedio de dos mediciones registradas perpendicularmente a 1,3 m desde la base del árbol (Fig. 1) con ayuda de una forcípula digital. El diámetro a la altura del pecho se registró en cm.



**Fig. 1.** DAP y alturas principales a tomar (Morales, *et al* 2002).

### e. Área de copa

Para la estimación del área de la copa, se requirió medir dos diámetros de la copa, uno en el lado más angosto y otro en el lado más ancho, formando una cruz y tomando como vértice el fuste del árbol. Para la estimación de éstos diámetros se utilizó la proyección de la copa en el suelo; se midió en dos direcciones (puntos cardinales Norte-Sur y Este-Oeste) (Fig. 2). Esta estimación se realizó cada 30 días y el área de copa se calculó mediante la siguiente fórmula:



**Fig. 2.** Lecturas de diámetros de copa (Morales, *et al*. 2002).

$$\text{Área} = \pi * \frac{d_1}{2} * \frac{d_2}{2}$$

Donde:

$d_1$ : diámetro N - S

$d_2$ : diámetro E - O

#### **f. Incidencia de insectos plagas y enfermedades**

Con apoyo del Departamento de Protección Vegetal del INIAP, se evaluó, la presencia de insectos plaga y enfermedades así como de los organismos benéficos. Esta variable se evaluó identificando el síntoma o daños presente en el órgano específico del árbol (hoja, rama, fuste, raíz) y se llevó al laboratorio para su identificación. Las evaluaciones se realizaron durante los primeros 120 días del cultivo, y luego se realizaron observaciones cada 15 días.

La evaluación de los daños se realizó de la siguiente manera:

Caracterización del tipo de daño: según la localización del daño y las características del mismo se le otorgó un código atendiendo a la siguiente clasificación (Junta de Andalucía, 2009), adaptada para las enfermedades que cita la bibliografía que se pueden encontrar en el género *Paulownia*.

a) **Tabla 2.** Caracterización del tipo de daño.-

LOCALIZACIÓN	CÓDIGO	SÍNTOMAS O SIGNOS	DESCRIPCIÓN
Copa	C1	Copa defoliada	Falta de hojas en copa.
	C2	Decoloración de hojas	Apariencia de colores anómalos en la copa.
	C3	Muerte regresiva de brotes y ramas	Puntisecado; carencia de hojas en los extremos de ramas o desecación de brotes.
	C4	Escobas de bruja	Gran número de brotes axilares y accesorios con pequeños tallos que no caen en el invierno (forma de escoba), estrechamiento de entrenudos. Hojas arrugadas, pequeñas, finas y amarillentas con nerviación marcada. Pétalos de las flores con apariencia de hoja.
Hojas	H1	Microfilia	Hojas inusualmente pequeñas.
	H2	Enrollamiento de hojas	Hojas enrollada en canutillo en cuyo interior puede encontrarse una larva.
	H3	Presencia de agujeros en limbo de las hojas	Hojas taladradas en pequeños agujeros circulares.
	H4	Hojas sin limbo, donde solo quedan peciolo y nervios	Hojas parcial o totalmente carentes de limbo.
	H5	Hojas con pequeñas manchas amarillas y/o marrones	Manchas en hojas, donde pueden distinguirse pequeñas manchas de color y tamaño variable.
	H6	Mildew	Hojas cubiertas de polvillo blanco que se quita al frotarlas.
	H7	Muerte y caída de hojas	Hojas marchitas.
	H8	Puntos blancos o marrones en hojas	Puntos blancos en las hojas que evolucionan a colores marrones. Puntos rodeados de tejido verde amarillento que se rompen por el medio. Las hojas infectadas no tardan en caer. Después de lluvias o en climas húmedos, aparecen grupos de clamideas de color rojizo encima de estos puntos. (puede tratarse de Antracnosis).
	H9	Presencia de huevos en hojas	Puesta en hojas
Tallo /tronco	T1	Adelgazamiento y quebradura	Adelgazamiento del tallo, posteriormente se dobla y acaba quebrándose (damping off).
	T2	Heridas en tronco	Heridas en tronco.
	T3	Puesta de huevos en tronco	Presencia de puestas en tronco
	T4	Presencia de pequeños orificios	Tallo taladrado. Pequeños agujeros circulares
Ramas	R1	Heridas en ramas	Heridas en ramas
	R2	Orificios en ramas	Orificios en ramas
	R3	Ramas secas	Aparición de ramas secas en la planta (lo mas probable que sea causado por ataque fúngico)
Raíz	Rz	Pudrición de la raíz	Pudrición del cuello de raíz, estrangulamiento y marchitamiento

Fuente: Junta de Andalucía, (2009).

b) Cuantificación del daño:

1. Por tratamiento: Se evaluó la incidencia de daño como porcentaje de plantas enfermas. Se consideró planta enferma toda aquella que sufra algún daño por pequeño que éste sea. Por el contrario, se denominó planta sana aquella que no tenga ningún tipo de tejido dañado. Así se obtuvo datos de % de plantas enfermas respecto al total de plantas de cada tratamiento.

$$\% \text{ plantas afectadas (por parcela neta)} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ plantas afectadas}}{\text{Número de plantas de total}} \times 100$$

2. Por planta: para evaluar la severidad del daño sufrido en cada planta enferma, se estableció una escala en función del porcentaje de tejido dañado. El daño producido en hojas, ramas o brotes; el % de tejido dañado se calculó como número de hojas afectadas en relación al número total. En caso de ser sobre raíces o tallo se calculó como cm afectados sobre longitud total.

**Tabla 3.** Severidad de daño

Valor	% de tejido dañado
0	0%
1	0,1 – 25%
2	25,1 – 50%
3	50,1 – 75%
4	>75,1%

*Fuente:* Departamento Fitopatología del INIAP (2014).

### 3. Para el análisis económico

Se registró los egresos o gastos durante toda la investigación: valor de la mano de obra, precios de los insumos. Para ello, se consideraron las diferentes actividades (preparación del terreno, balizado, ahoyado, fertilización, plantado, control de malezas, podas y riegos) (Pilapaña, 2013). Los insumos (fertilizante, materia orgánica, hidrokeeper, otros), equipos (herramientas manuales, equipo de riego, otros), materiales (baldes, cuerda, otros), servicios (análisis de suelo, análisis de plagas y enfermedades) y mano de obra durante el primer año de plantación.

Para cuantificar la cantidad de mano de obra utilizada en cada actividad de la instalación y manejo del experimento, se registró el número total de jornales/ha utilizados durante el periodo de investigación. Igualmente se registraron costos sobre insumos, materiales y equipos o servicios utilizados en cada actividad (Anexo 5).

## **E. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO**

### **1. Reconocimiento del área en estudio**

Con información previa determinada en el proyecto, se realizó un recorrido del lugar (Estación Experimental Tropical Pichilingue) y con la ayuda de un GPS se delimitó el área para el experimento. Como producto del recorrido se obtuvo un croquis del área del terreno (Anexo 1).

Para la selección del área experimental se tomó en cuenta los siguientes criterios: 1) representatividad, 2) área disponible, 3) accesibilidad, 4) topografía, 5) disponibilidad de agua para riego y 6) seguridad.

### **2. Medición del área experimental**

Para el replanteo en campo de las parcelas en estudio, se realizó el levantamiento topográfico con la ayuda de un GPS, flexómetro, estacas y cuerda. Se procedió a delimitar el área total de los tratamientos, donde se ubicaron las 24 parcelas de investigación o unidades experimentales.

### **3. Registro Climático**

Con el fin de registrar datos e información climática, que sirvió para correlacionar con el comportamiento de las especies en estudio durante el periodo experimental, Se registró información de temperatura ambiental en grados centígrados, humedad relativa en %, velocidad del viento en m/s y precipitación en mm, además de la radiación total.

#### **4. Preparación del Suelo**

Previo a la instalación del experimento se realizó la respectiva adecuación del lote, realizando limpieza del material vegetal que se encuentre en el terreno

#### **5. Balizado**

De acuerdo con el marco de plantación en estudio, se señaló con estacas el lugar donde fueron ubicados los individuos en campo.

#### **6. Hoyado**

Una vez que se tuvo el terreno balizado, se realizó la apertura de los hoyos con las siguientes dimensiones: 40 cm de ancho x 40 cm de largo x 40 cm de profundidad. Para esto, se utilizó hoyadoras manuales.

#### **7. Fertilización y abonadura**

Al fondo de cada uno de los hoyos se colocó 50 g de SUMICOAT (19-8-12-2), fertilizante de lenta liberación y 500 g de materia orgánica.

#### **8. Plantación**

Se ubicaron los individuos en campo de acuerdo al diseño experimental y a los marcos de plantación respectivos. Se utilizó el sistema de siembra conocido como rectangular o cuadrangular.

#### **9. Riego**

Luego de la plantación, se realizó un riego con 2 litros de agua por planta, particularmente en la en la época seca.

#### **10. Control de malezas**

El experimento permaneció sin maleza para evitar competencia por nutrientes entre la maleza y la especie forestal y evitar posibles hospederos de plagas. Para ello, se realizó

la limpieza manual de la corona y chapia; dicha labor se efectuó cada 15 días en todos los tratamientos en estudio.

## **11. Podas**

Se eliminaron todos los brotes laterales (solo ramas, nunca las hojas), una vez por semana durante los primeros 120 días de la plantación. Los brotes laterales se eliminó con el uso de tijeras de podar (Agrodesierto, 2004).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. EN EL SUELO

#### 1. Compactación del suelo

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la compactación del suelo se encontró al establecimiento de la plantación diferencias altamente significativas para la profundidad del suelo, para los demás factores no existieron diferencias significativas.

(Cuadro 5)

**Cuadro 5. ADEVA para la compactación inicial del suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm). EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	969,53	2	484,77	13,11	0,0001**
M. Plantación	56,53	1	56,53	1,53	0,2259ns
Especie	37,45	3	12,48	0,34	0,7983 ns
Profundidad	888,47	1	888,47	24,02	<0,0001 **
M. Plantación*Especie	88,99	3	29,66	0,8	0,5025 ns
M. Plantación*Profundidad	10,67	1	10,67	0,29	0,5952 ns
Especie*Profundidad	141,16	3	47,05	1,27	0,3016 ns
M. Plantación*Especie*Prof.	8,15	3	2,72	0,07	0,9737 ns
Error	1109,48	30	36,98		
Total	3310,43	47			

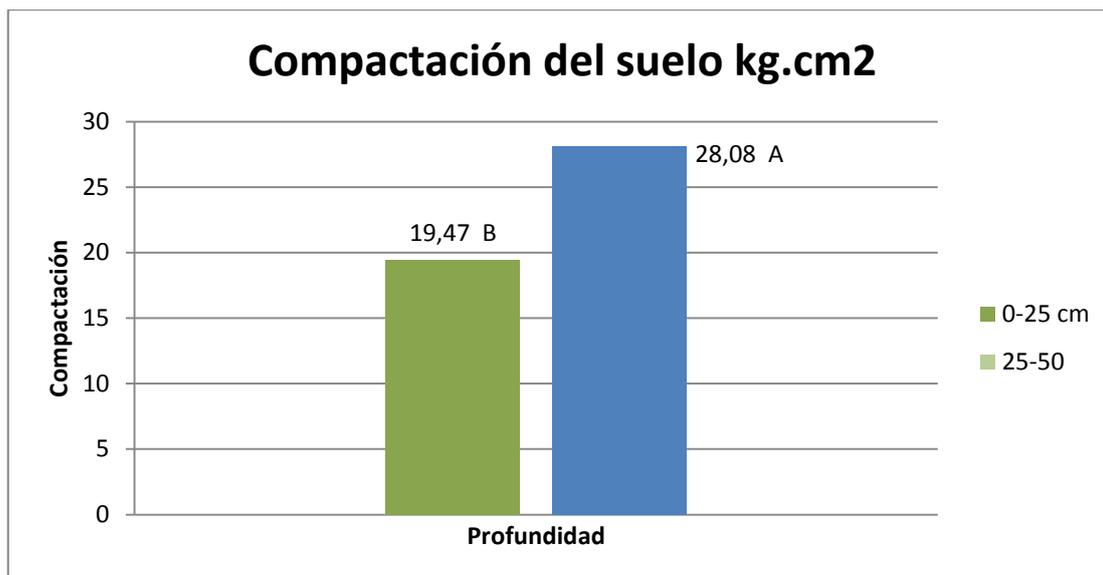
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Durante el establecimiento del ensayo se encontró una menor compactación del suelo a una profundidad de 0-25cm, con un valor de 19,47 kgf.cm<sup>-2</sup>, mientras que se encontró mayor compactación del suelo a una profundidad de 25-50 cm, con un valor de 28,08 kgf.cm<sup>-2</sup>. (Gráfico 1)



**Gráfico 1. Compactación inicial del suelo**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Este aumento de compactación se puede atribuir al peso de la maquinaria agrícola que se utilizó para la preparación del suelo ya que influye directamente, debido a que mayor peso de la maquinaria, mayor posibilidad de compactar el suelo a mayor profundidad (ABCAGRO, 2012). Adicionalmente Sánchez, (2003) manifiesta que además del uso de la maquinaria agrícola, otra causa para que el suelo profundo (25-50cm) sea más compacto, se debe al sobrepastoreo del ganado, debido a que esta área fue utilizada como pradera.

## 2. Densidad aparente del suelo

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la densidad aparente del suelo se encontró en el establecimiento de la plantación diferencias significativas para la interacción Marco de Plantación \* Profundidad, para los demás factores no existieron diferencias significativas. (**Cuadro 6**)

**Cuadro 6. ADEVA para la densidad aparente inicial en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25-50 cm). EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	1,14	2	0,57	28,46	<0,0001**
Especie	0,02	3	0,01	0,32	0,8097ns
M. plantación	0,16	1	0,16	8,02	0,0082*
Profundidad	0,06	1	0,06	3,14	0,0865 ns
Especie*M. plantación	0,12	3	0,04	2,05	0,1275 ns
Especie*Profundidad	0,01	3	0,0037	0,18	0,9063 ns
M. plantación*Profundidad	0,14	1	0,14	6,8	0,0141*
Especie*M. plantación*Prof.	0,02	3	0,01	0,26	0,8508 ns
Error	0,6	30	0,02		
Total	2,28	47			

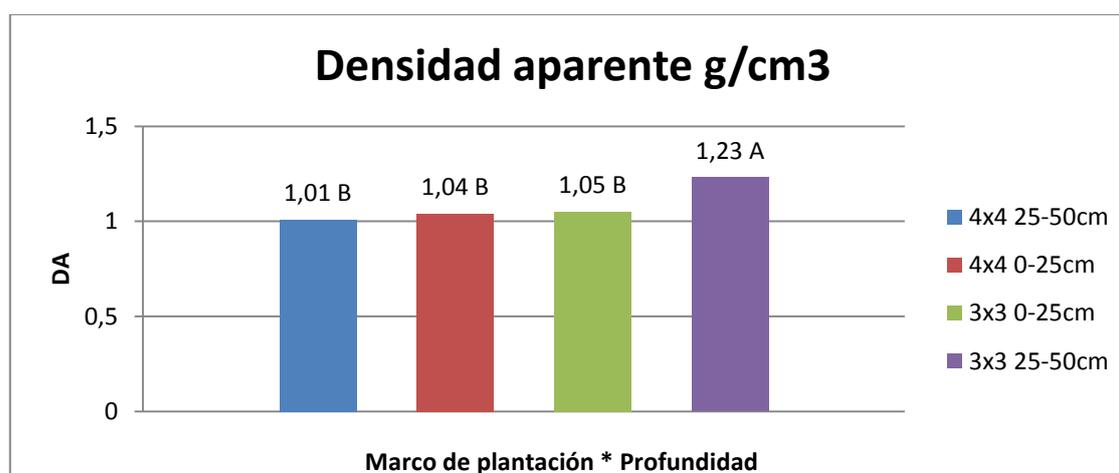
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Durante el establecimiento del ensayo se determinó una menor densidad aparente en el marco de plantación 4x4 a la profundidad de 25-50 y 0-25 cm con valores de 1,01 y 1,04 g.cm<sup>-3</sup> respectivamente, mientras que la mayor densidad se encuentra en el marco de plantación 3x3 a una profundidad de 0-25 y 25-50 cm con valores de 1,05 y 1,23 g.cm<sup>-3</sup> respectivamente. (Gráfico 2)



**Gráfico 2. Densidad aparente según el marco de plantación y profundidad del suelo**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Los rangos de densidad aparente para este tipo de suelo Franco se mantiene, es así como lo señala Mora, (2014) que la densidad para suelos francos varía de 1,0 a 1,4 g.cm<sup>-3</sup>, adicionalmente esto puede indicar que el sitio no es del todo uniforme, al establecimiento del ensayo, algunos tratamientos han coincidido con sitios con mayor densidad aparente que otros.

### 3. Fertilidad

#### a) pH

De acuerdo al análisis de varianza realizado, para el pH del suelo al establecimiento de la plantación no se determinó diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación si se encontró diferencias significativas. (**Cuadro 7**)

**Cuadro 7. ADEVA para el pH inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25-50 cm). EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p-inicial
Bloque	1,11	2	0,56	5,6	0,0058*	0,0008**
M plantación	0,07	1	0,07	0,66	0,4209ns	0,1108ns
Especie	0,19	3	0,06	0,63	0,5994ns	0,828ns
Profundidad	0,01	1	0,01	0,05	0,8213ns	0,8281 ns
Evaluación	0,9	1	0,9	9,08	0,0037*	
M. plantación*Especie	0,36	3	0,12	1,2	0,3184ns	0,0933 ns
M. plantación*Profundidad	0,09	1	0,09	0,88	0,351ns	0,1108 ns
M. plantación*Evaluación	0,13	1	0,13	1,29	0,261ns	
Especie*Profundidad	0,07	3	0,02	0,22	0,8805ns	0,9065 ns
Especie*Evaluación	0,46	3	0,15	1,54	0,2127ns	
Profundidad*Evaluación	0,0001	1	0,0001	0,0010	0,9743ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,04	3	0,01	0,13	0,942ns	0,6226 ns
M. plantación*Especie*Eval.	0,67	3	0,22	2,26	0,0898ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	0,1	1	0,1	1,01	0,319ns	
Especie*Profundidad*Eval.	0,0010	3	0,00038	0,0039	0,9997ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,11	3	0,04	0,37	0,7764ns	
Error	6,15	62	0,1			
Total	10,44	95				

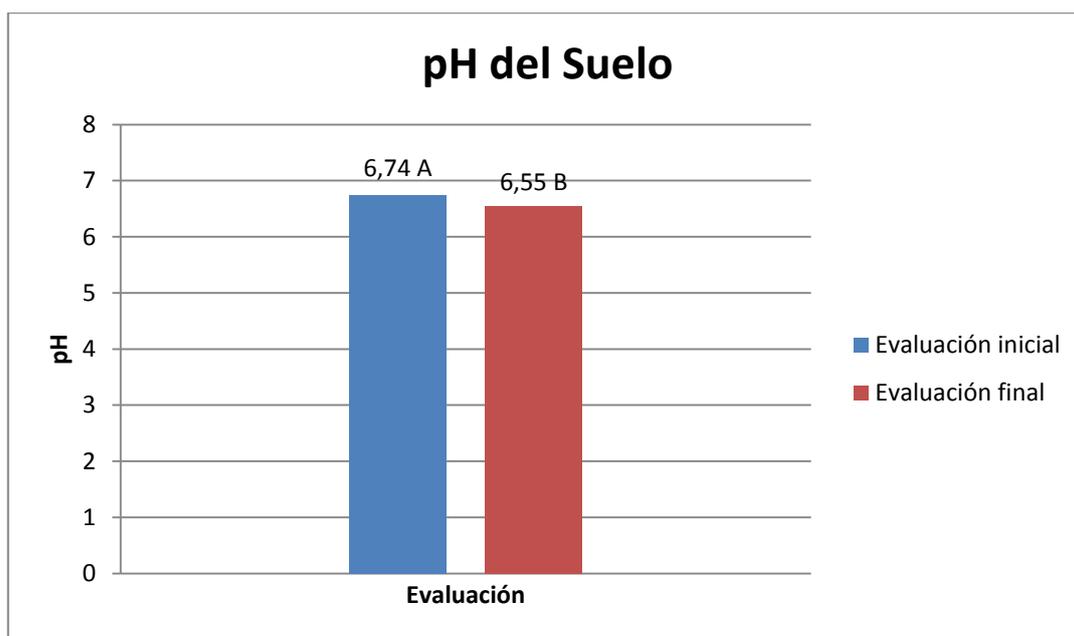
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación, el sitio tenía un pH de 6,74; lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es homogéneo, sin embargo, en el análisis realizado al año de plantación, el pH mostró resultados de 6,55 es decir, estadísticamente existe acidificación en todo el sistema al reducirse en 0,19 puntos (**Gráfico 3**)



**Gráfico 3. pH inicial y final del suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

La disminución del pH en el primer año de la plantación de 6,74 a 6,55 en todo el ensayo probablemente se produjo por la aportación de materia orgánica a través de las podas naturales, limpiezas, al suelo, esto lo confirma INFORGANIC, 2014 donde menciona que la materia orgánica suele acidificar el suelo, lo cual favorece indirectamente la absorción de nutrientes por las plantas.

#### **b) Nitrógeno Amoniacal (NH<sub>4</sub>)**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Nitrógeno Amoniacal del suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al término del primer año de plantación se determinó diferencias altamente significativas en todo el sistema. (**Cuadro 8**)

**Cuadro 8. ADEVA para el contenido de Amonio (NH<sub>4</sub>) inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p-inicial
Bloque	0,65	2	0,32	0,01	0,9908ns	0,7857ns
M. plantación	1,5	1	1,5	0,04	0,8367ns	0,7544 ns
Especie	44,88	3	14,96	0,43	0,7343ns	0,3735 ns
Profundidad	8,17	1	8,17	0,23	0,6309ns	0,4183 ns
Evaluación	4482,67	1	4482,67	128	<0,0001**	
M. plantación*Especie	320,25	3	106,75	3,05	0,0352*	0,1871 ns
M. plantación*Profundidad	0,37	1	0,37	0,01	0,9179 ns	0,851 ns
M. plantación*Evaluación	0,04	1	0,04	0,0012	0,9726 ns	
Especie*Profundidad	54,08	3	18,03	0,51	0,6736ns	0,5203 ns
Especie*Evaluación	71,25	3	23,75	0,68	0,5687 ns	
Profundidad*Evaluación	0,04	1	0,04	0,0012	0,9726 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	90,71	3	30,24	0,86	0,465 ns	0,7785 ns
M. plantación*Especie*Eval.	130,04	3	43,35	1,24	0,3037 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	1,5	1	1,5	0,04	0,8367 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	12,21	3	4,07	0,12	0,9503 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	68,25	3	22,75	0,65	0,5862 ns	
Error	2171,35	62	35,02			
Total	7457,96	95				

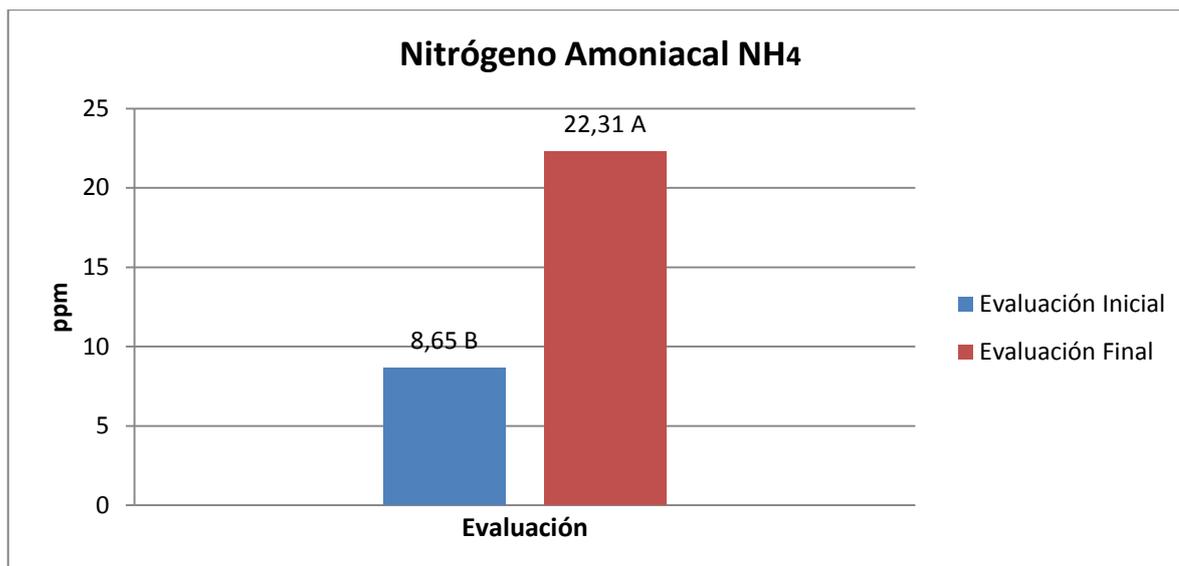
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación se tenía un contenido de Nitrógeno Amoniacal de 8,65 ppm; lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es homogéneo para este elemento, mientras que al final de la evaluación se tuvo un contenido de Nitrógeno Amoniacal de 22,31 ppm, es decir un aumento altamente significativo de 13,66 ppm. (**Gráfico 4.**)



**Gráfico 4. Nitrógeno Amoniacal inicial y final del suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

El aumento del contenido de Nitrógeno Amoniacal en el primer año de la plantación de 8,65 ppm a 22,31 ppm en todo el ensayo, probablemente se produjo por el fertilizante de fondo utilizado, también por el aporte de materia orgánica, principalmente de la hojarasca de los individuos plantados. Esto lo confirma MANUAL DE LOMBRICULTURA, (2010), donde manifiesta que la materia orgánica en el suelo sufre una mineralización, esto significa la transformación del nitrógeno orgánico en Amonio, gracias a la acción de microorganismos existentes en el suelo.

### c) Fósforo

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Fósforo en el suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se encontraron diferencias significativas, sin embargo al término del primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para la especie y altamente significativa en el tiempo. **(Cuadro 9)**

**Cuadro 9. ADEVA para el contenido de Fósforo inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p-inicial
Bloque	397,31	2	198,66	1,68	0,1948ns	0,2042ns
M. plantación	290,51	1	290,51	2,46	0,1221 ns	0,7485 ns
Especie	1509,86	3	503,29	4,26	0,0685ns	0,7009 ns
Profundidad	61,76	1	61,76	0,52	0,4726 ns	0,2919 ns
Evaluación	4774,26	1	4774,26	40,37	<0,0001**	
M. plantación*Especie	408,36	3	136,12	1,15	0,3357 ns	0,0516ns
M. plantación*Prof.	213,01	1	213,01	1,8	0,1845 ns	0,2492 ns
M. plantación*Evaluación	437,76	1	437,76	3,7	0,059 ns	
Especie*Profundidad	41,28	3	13,76	0,12	0,9502 ns	0,6169 ns
Especie*Evaluación	613,28	3	204,43	1,73	0,1704 ns	
Profundidad*Evaluación	25,01	1	25,01	0,21	0,6472 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	62,53	3	20,84	0,18	0,9121 ns	0,8376 ns
M. plantación*Especie*Eval.	1698,61	3	566,2	4,79	0,0046 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	0,26	1	0,26	0,0022	0,9627 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	108,53	3	36,18	0,31	0,821 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	44,11	3	14,7	0,12	0,9454 ns	
Error	7332,69	62	118,27			
Total	18019,16	95				

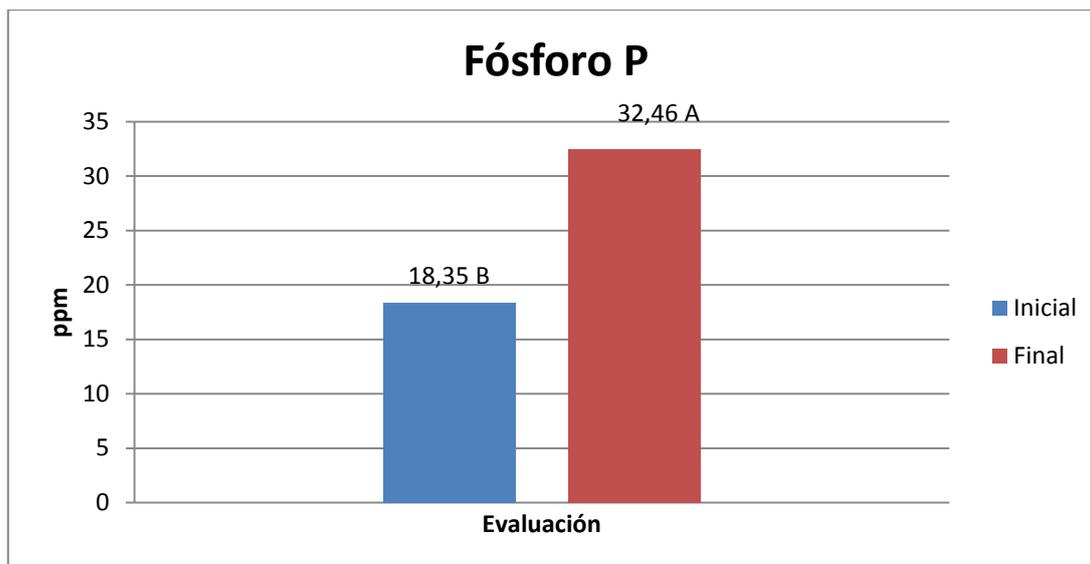
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación se tenía un contenido de Fósforo fue de 18,35 ppm, mientras que al final de la evaluación se tuvo un contenido de Fósforo de 32,46 ppm, es decir un aumento altamente significativo de 14,11 ppm (**Gráfico 5**)



**Gráfico 5. Fósforo inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

El aumento de niveles de Fósforo en el suelo se podría deber al fertilizante de fondo utilizado, así como también a la incorporación de la materia orgánica, debido a los productos de las labores culturales tales como: las podas, control de malezas, también a la caída natural de hojas senescentes tanto de *Paulownia* y *Gmelina*. Esto lo ratifica INFORGANIC, (2014) donde manifiesta que la materia orgánica mediante la formación de complejos arcillo-húmicos contribuyan a solubilizar los fosfatos inorgánicos insolubles que se encuentran en el suelo.

#### **d) Potasio**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Potasio en el suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, lo mismo pasa al final de la evaluación. (**Cuadro 10**)

**Cuadro 10. ADEVA para el contenido de Potasio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm).EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p-inicial
Bloque	5,77	2	2,89	19,74	<0,0001**	0,0147*
M. plantación	0,08	1	0,08	0,57	0,4538ns	0,7085 ns
Especie	0,34	3	0,11	0,77	0,5166 ns	0,1514 ns
Profundidad	0,06	1	0,06	0,42	0,5214 ns	0,2574 ns
Evaluación	0,22	1	0,22	1,52	0,2226 ns	
M. plantación*Especie	1,1	3	0,37	2,51	0,0669 ns	0,0815 ns
M. plantación*Profundidad	0,01	1	0,01	0,09	0,7652 ns	0,8604 ns
M. plantación*Evaluación	0,0042	1	0,0042	0,03	0,8658 ns	
Especie*Profundidad	0,29	3	0,1	0,67	0,5734 ns	0,4614 ns
Especie*Evaluación	0,84	3	0,28	1,91	0,1379 ns	
Profundidad*Evaluación	0,19	1	0,19	1,3	0,2581 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,13	3	0,04	0,3	0,8243 ns	0,7918 ns
M. plantación*Especie*Eval.	0,67	3	0,22	1,54	0,2134 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	0,000096	1	0,000096	0,00066	0,9796 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	0,18	3	0,06	0,42	0,7408 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,06	3	0,02	0,15	0,9323 ns	
Error	9,07	62	0,15			
Total	19,03	95				

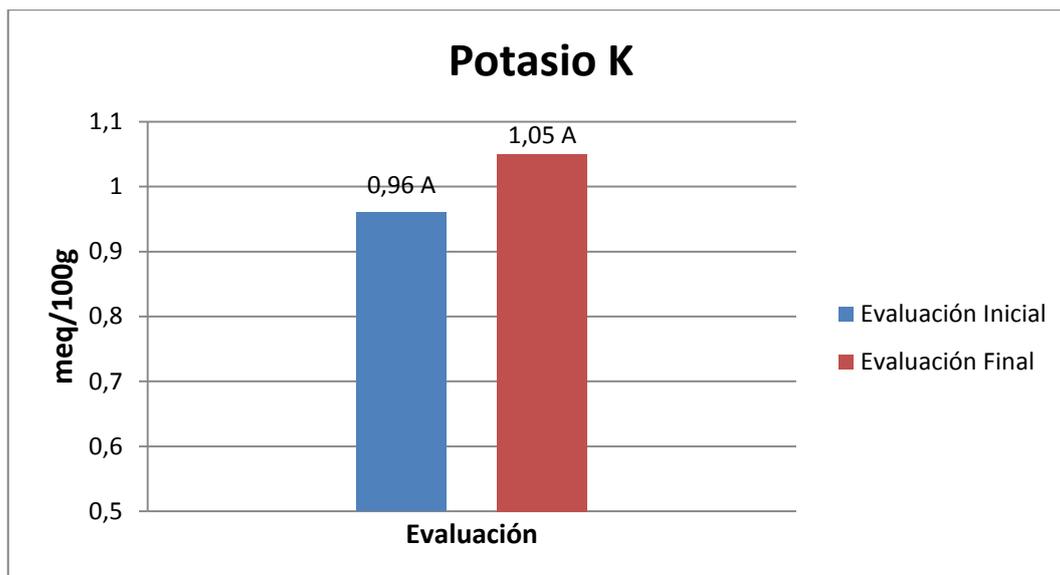
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

A pesar que estadísticamente no hay diferencia significativa al final de la evaluación, si existió un ligero cambio en el contenido de este elemento, ya que en la evaluación inicial el contenido de Potasio fue 0,96 meq/100g, mientras que en la evaluación final el contenido aumentó a 1,05 meq/100g. (**Gráfico 6**), probablemente se produjo por la aplicación del fertilizante de fondo utilizado, también por la aportación de materia orgánica al suelo, a través de las podas naturales, limpiezas. Esto lo ratifica INFORGANIC, 2014 donde menciona que al parecer las sustancias húmicas aumentan la liberación de potasio fijado a las arcillas.



**Gráfico 6. Potasio inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**e) Calcio**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Calcio en el suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se encontraron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para la especie y tiempo. (**Cuadro 11**)

**Cuadro 11. ADEVA para el contenido de Calcio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm). EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p-inicial
Bloque	260,65	2	130,32	11,42	0,0001**	0,4177ns
M. plantación	61,76	1	61,76	5,41	0,0533ns	0,2087 ns
Especie	107,61	3	35,87	3,14	0,0514ns	0,3711 ns
Profundidad	0,09	1	0,09	0,01	0,9281ns	0,5255 ns
Evaluación	102,09	1	102,09	8,95	0,004*	
M. plantación*Especie	112,11	3	37,37	3,28	0,0568ns	0,166 ns
M. plantación*Profundidad	1,76	1	1,76	0,15	0,6958 ns	0,4154 ns
M. plantación*Evaluación	4,59	1	4,59	0,4	0,5281 ns	
Especie*Profundidad	3,95	3	1,32	0,12	0,9508 ns	0,9506 ns
Especie*Evaluación	24,78	3	8,26	0,72	0,5415 ns	
Profundidad*Evaluación	10,01	1	10,01	0,88	0,3525 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	8,61	3	2,87	0,25	0,8598 ns	0,9297 ns
M. plantación*Especie*Eval.	3,95	3	1,32	0,12	0,9508 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	5,51	1	5,51	0,48	0,4897 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	0,7	3	0,23	0,02	0,996 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,2	3	0,07	0,01	0,9994 ns	
Error	707,35	62	11,41			
Total	1415,74	95				

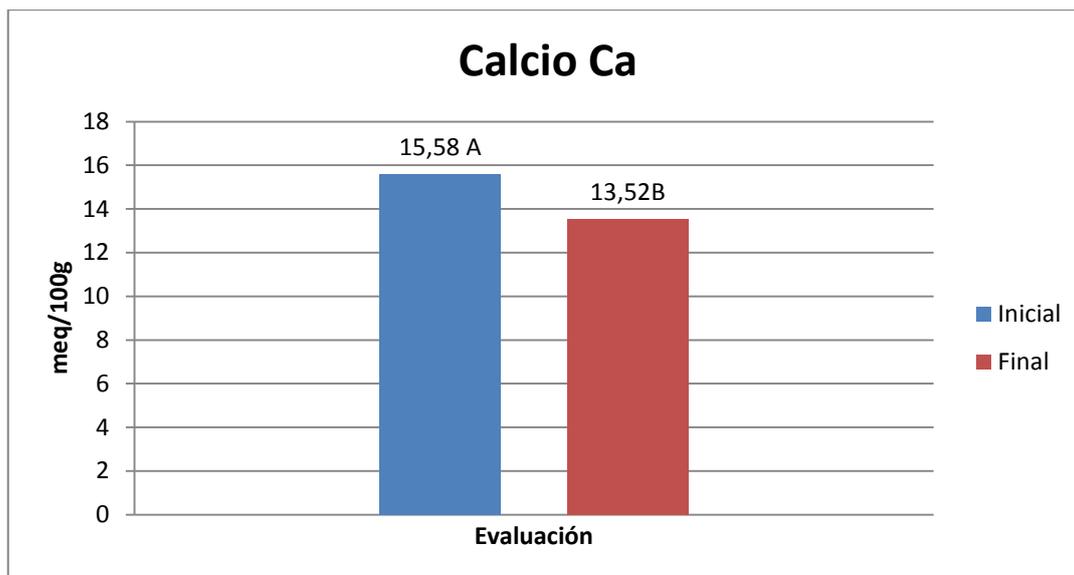
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación se tenía un contenido de Calcio de 15,58 meq/100g, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es homogéneo, mientras que al final de la evaluación se tuvo un contenido de Calcio de 13,52 meq/100g, es decir, a nivel de todo el sistema existió una extracción de este nutriente (**Gráfico 7**)



**Gráfico 7. Calcio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0-25 cm y 25-50 cm), EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Esto quiere decir que disminuyó el nivel de Calcio en el suelo, se podría deber a que las especies de *Paulownia* y *Gmelina* están extrayendo más de lo que aportan con la hojarasca, y labores culturales tales como control de malezas, podas.

#### f) Magnesio

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Magnesio del suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para el Magnesio. (**Cuadro 12**)

**Cuadro 12. ADEVA para el contenido de Magnesio inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p-inicial
Bloque	7,37	2	3,68	0,8	0,4542ns	0,2739ns
M. plantación	2,31	1	2,31	0,5	0,4813 ns	0,4482 ns
Especie	11,35	3	3,78	0,82	0,4873ns	0,4076 ns
Profundidad	6,36	1	6,36	1,38	0,2447ns	0,342 ns
Evaluación	21,76	1	21,76	4,72	0,0336*	
M. plantación*Especie	8,12	3	2,71	0,59	0,6256 ns	0,5498 ns
M. plantación*Profundidad	3,72	1	3,72	0,81	0,3723 ns	0,3371 ns
M. plantación*Evaluación	2,77	1	2,77	0,6	0,4413 ns	
Especie*Profundidad	12,36	3	4,12	0,89	0,4492 ns	0,3946 ns
Especie*Evaluación	15,87	3	5,29	1,15	0,3367 ns	
Profundidad*Evaluación	2,19	1	2,19	0,48	0,4931 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	15,27	3	5,09	1,1	0,3542 ns	0,352 ns
M. plantación*Especie*Eval.	11,01	3	3,67	0,8	0,5004 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	4,46	1	4,46	0,97	0,3288 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	14,47	3	4,82	1,05	0,3783 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	14,01	3	4,67	1,01	0,3929 ns	
Error	285,67	62	4,61			
Total	439,05	95				

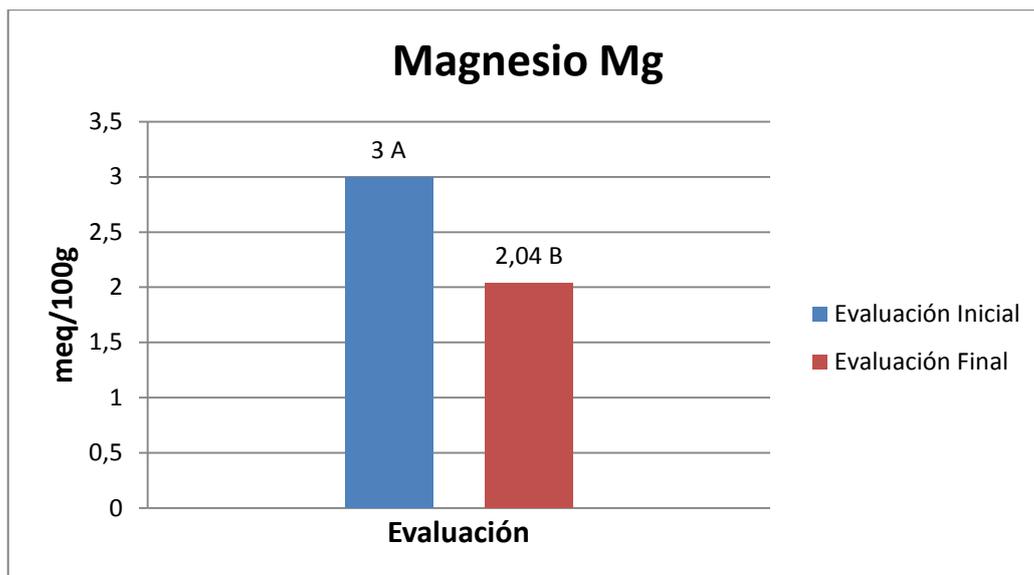
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación se tenía un contenido de Magnesio de 3,0 meq/100g, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es homogéneo, mientras que al final de la evaluación se tuvo un contenido de Magnesio de 2,04 meq/100g, es decir, a nivel de todo el sistema existió una extracción de este nutriente. (**Gráfico 8**)



**Gráfico 8. Magnesio inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Esto quiere decir que disminuyó el nivel de Magnesio en el suelo, se podría deber a que las especies de *Paulownia* y *Gmelina* están extrayendo más de lo que aportan con la hojarasca, y labores culturales tales como control de malezas, podas.

#### g) Azufre

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Azufre en el suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para este elemento. (Cuadro 13)

**Cuadro 13. ADEVA para el contenido de Azufre inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm). EET-P-INIAP, 2015**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-final</b>	<b>p-inicial</b>
Bloque	267,58	2	133,79	9,25	0,0003*	0,0002*
M. plantación	2,67	1	2,67	0,18	0,6691 ns	0,3693 ns
Especie	58,75	3	19,58	1,35	0,265 ns	0,2682 ns
Profundidad	10,67	1	10,67	0,74	0,3937 ns	0,5885 ns
Evaluación	1768,17	1	1768,17	122,29	<0,0001**	
M. plantación*Especie	72,25	3	24,08	1,67	0,1836 ns	0,6899 ns
M. plantación*Profundidad	8,17	1	8,17	0,56	0,4552 ns	0,5885 ns
M. plantación*Evaluación	6	1	6	0,41	0,5218 ns	
Especie*Profundidad	22,42	3	7,47	0,52	0,6722 ns	0,9627 ns
Especie*Evaluación	80,42	3	26,81	1,85	0,1467 ns	
Profundidad*Evaluación	32,67	1	32,67	2,26	0,1379 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	53,58	3	17,86	1,24	0,3045 ns	0,5575 ns
M. plantación*Especie*Eval.	42,25	3	14,08	0,97	0,4108 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	0,17	1	0,17	0,01	0,9148 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	31,42	3	10,47	0,72	0,5413 ns	
M plantación*Especie*Prof.	24,25	3	8,08	0,56	0,644 ns	
Error	896,42	62	14,46			
Total	3377,83	95				

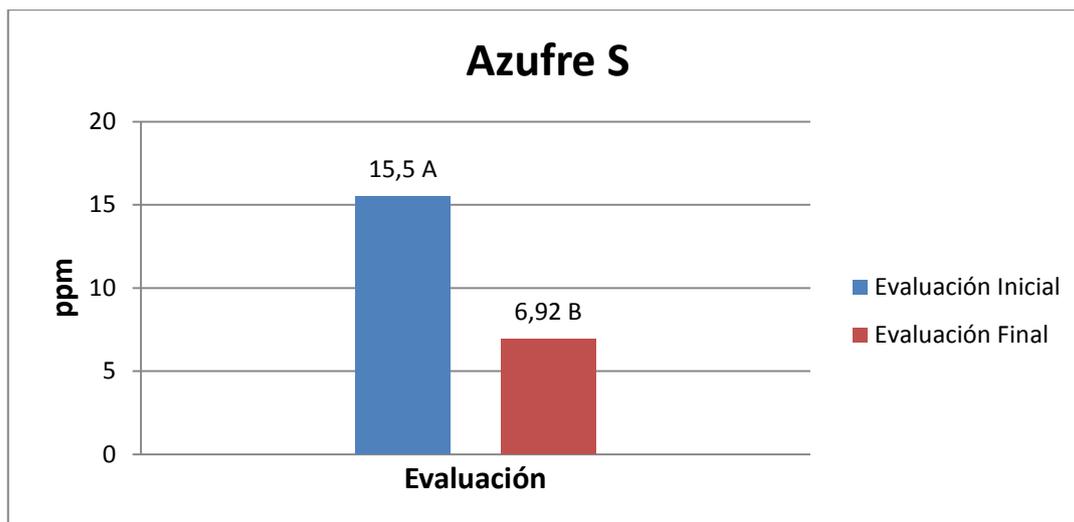
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación se tenía un contenido de Azufre de 15,5 ppm, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el lugar es uniforme, mientras que al final de la evaluación se tuvo un contenido de Azufre de 6,92 ppm. (**Gráfico 9**)



**Gráfico 9. Azufre inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Esta disminución en el nivel de Azufre en el suelo, puede deberse a que las especies de *Paulownia* y *Gmelina* están extrayendo más de lo que aportan con la hojarasca, y labores culturales tales como control de malezas, podas.

#### **h) Zinc**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Zinc en el suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para este elemento. **(Cuadro 11)**

**Cuadro 14. ADEVA para el contenido de Zinc inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p-inicial
Bloque	162,38	2	81,19	16,59	<0,0001**	0,0263*
M. plantación	2,01	1	2,01	0,41	0,5237ns	0,571 ns
Especie	11,65	3	3,88	0,79	0,502 ns	0,4407 ns
Profundidad	1,33	1	1,33	0,27	0,604 ns	0,5265 ns
Evaluación	182,33	1	182,33	37,25	<0,0001**	
M. plantación*Especie	22,42	3	7,47	1,53	0,2164 ns	0,1925 ns
M. plantación*Profundidad	0,07	1	0,07	0,01	0,9086 ns	0,7234 ns
M. plantación*Evaluación	0,41	1	0,41	0,08	0,7723 ns	
Especie*Profundidad	14,72	3	4,91	1	0,3978 ns	0,1944 ns
Especie*Evaluación	28,61	3	9,54	1,95	0,1311 ns	
Profundidad*Evaluación	11,97	1	11,97	2,45	0,1229 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	1,76	3	0,59	0,12	0,948 ns	0,7522 ns
M. plantación*Especie*Eval.	24,89	3	8,3	1,7	0,1773 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	2,38	1	2,38	0,49	0,4886 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	25,29	3	8,43	1,72	0,1716 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	7,63	3	2,54	0,52	0,6703 ns	
Error	303,44	62	4,89			
Total	803,28	95				

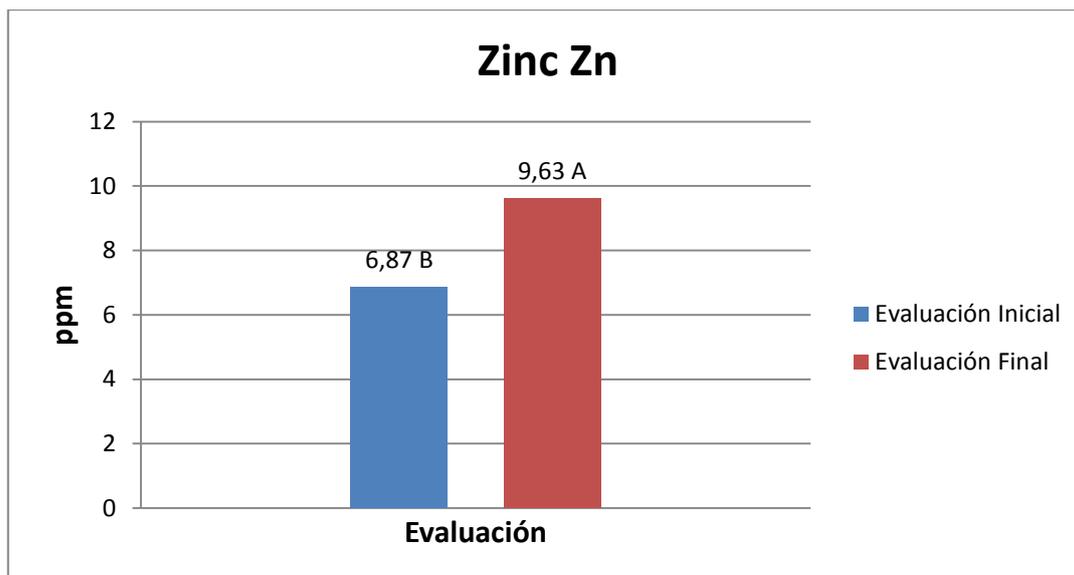
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al principio de la evaluación se tenía un contenido de Zinc de 6,87 ppm, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es homogéneo, mientras que al final de la evaluación se tuvo un contenido de Zinc de 9,63 ppm. (**Gráfico 10**)



**Gráfico 10. Zinc inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Este aumento del contenido de Zinc en el suelo se presume a la aportación de materia orgánica a través de las podas naturales, limpiezas, además de las hojas senescentes de las especies forestales en estudio que caían al suelo y se descomponían de forma rápida gracias a las condiciones de humedad y temperatura del sitio, así lo señala Sierra y Rojas, (2008), donde manifiesta que la materia orgánica es una importante fuente de micronutrientes como el Fe, Mn, Cu, y Zn, éstos normalmente se encuentran quelatados por las sustancias orgánicas lo que favorece una adecuada nutrición de las plantas.

#### **i) Cobre**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Cobre en el suelo se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para el Cobre. **(Cuadro 15)**

**Cuadro 15. ADEVA para el contenido de Cobre inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-final</b>	<b>p-inicial</b>
Bloque	289,08	2	144,54	38,65	<0,0001**	0,0001**
M. plantación	9,82	1	9,82	2,63	0,1103ns	0,377 ns
Especie	5,86	3	1,95	0,52	0,6683 ns	0,8564 ns
Profundidad	0,02	1	0,02	0,00470	0,9455 ns	0,7987 ns
Evaluación	50,03	1	50,03	13,38	0,0005*	
M. plantación*Especie	28,38	3	9,46	2,53	0,0653 ns	0,3588 ns
M. plantación*Profundidad	2,63	1	2,63	0,7	0,4046 ns	0,2135 ns
M. plantación*Evaluación	0,62	1	0,62	0,17	0,6859 ns	
Especie*Profundidad	3,41	3	1,14	0,3	0,8227 ns	0,7999 ns
Especie*Evaluación	4,7	3	1,57	0,42	0,74 ns	
Profundidad*Evaluación	0,29	1	0,29	0,08	0,7806 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	24,97	3	8,32	2,23	0,094 ns	0,0744 ns
M. plantación*Especie*Eval.	15,86	3	5,29	1,41	0,2472 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	2,91	1	2,91	0,78	0,3815 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	1,13	3	0,38	0,1	0,9594 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	5,28	3	1,76	0,47	0,7039 ns	
Error	231,86	62	3,74			
Total	676,84	95				

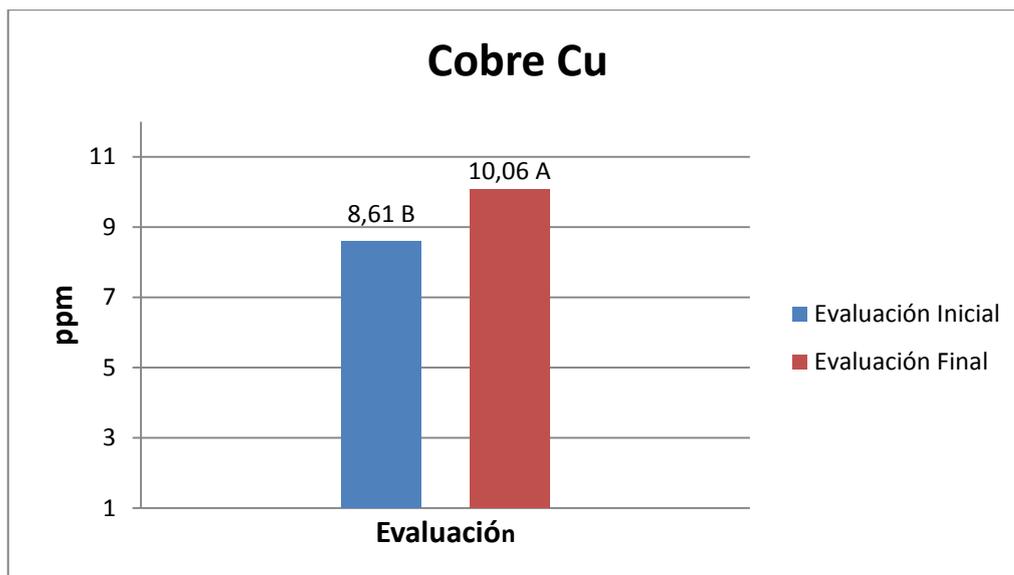
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al principio de la evaluación el contenido de Cobre fue 8,61 ppm, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es homogéneo, mientras que al final de la evaluación el contenido de Cobre fue 10,06 ppm. (**Gráfico 11**)



**Gráfico 11. Cobre inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

El aumento en el contenido de Cobre, se cree que se debe a la aportación de materia orgánica a través de las podas naturales, limpiezas, además de las hojas senescentes de las especies forestales en estudio que caían al suelo y se descomponían de forma rápida gracias a las condiciones de humedad y temperatura del sitio, así lo manifiesta Sierra y Rojas, (2008), donde afirma que la materia orgánica es una importante fuente de micronutrientes como el Fe, Mn, Cu, y Zn, éstos normalmente se encuentran quelatados por las sustancias orgánicas lo que favorece una adecuada nutrición de las plantas.

#### **j) Hierro**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Hierro, se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para el Hierro. **(Cuadro 16)**

**Cuadro 16. ADEVA para el contenido de Hierro inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-final</b>	<b>p-inicial</b>
Bloque	14804,77	2	7402,39	11,63	0,0001 **	0,0656 ns
M. plantación	77,04	1	77,04	0,12	0,7291 ns	0,5766 ns
Especie	1250,58	3	416,86	0,65	0,583 ns	0,9687 ns
Profundidad	1,04	1	1,04	0,00160	0,9679 ns	0,929 ns
Evaluación	26400,67	1	26400,67	41,47	<0,0001**	
M. plantación*Especie	3518,87	3	1172,96	1,84	0,1487 ns	0,1187 ns
M. plantación*Profundidad	541,5	1	541,5	0,85	0,36 ns	0,307 ns
M. plantación*Evaluación	84,37	1	84,37	0,13	0,717 ns	
Especie*Profundidad	496,71	3	165,57	0,26	0,8539 ns	0,6495 ns
Especie*Evaluación	1892,25	3	630,75	0,99	0,4031 ns	
Profundidad*Evaluación	15,04	1	15,04	0,02	0,8783 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	2137,25	3	712,42	1,12	0,3482 ns	0,2833 ns
M. plantación*Especie*Eval.	1586,21	3	528,74	0,83	0,4821 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	96	1	96	0,15	0,6991 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	435,37	3	145,12	0,23	0,8766 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	735,08	3	245,03	0,38	0,7642 ns	
Error	39468,56	62	636,59			
Total	93541,33	95				

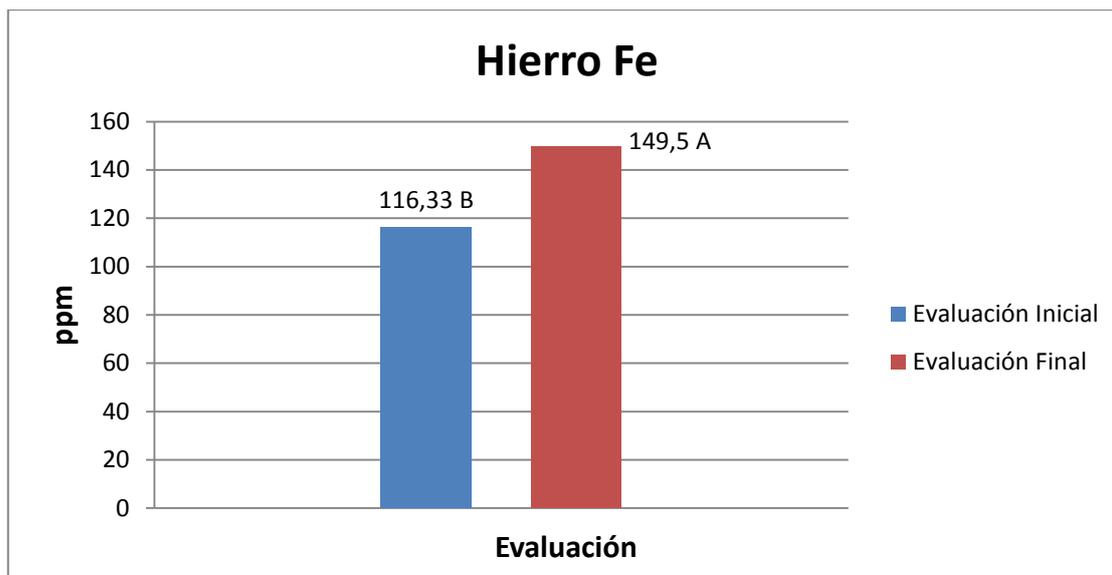
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\*: altamente significativo

Al inicio de la evaluación el contenido de Hierro fue 116,33 ppm, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es uniforme, mientras que al final de la evaluación el contenido de Hierro fue 149,5 ppm. (**Gráfico 12**)



**Gráfico 12. Hierro inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

El aumento del contenido de Hierro en el suelo puede atribuir a la incorporación de materia orgánica originada por las labores culturales como son las limpiezas del terreno, podas, además de las hojas senescentes de las especies forestales en estudio que caían al suelo y se descomponían de forma rápida gracias a las condiciones de humedad y temperatura del sitio, esto lo afirma Sierra y Rojas, (2008), donde manifiesta que la materia orgánica es una importante fuente de micronutrientes como el Fe, Mn, Cu, y Zn, éstos normalmente se encuentran quelatados por las sustancias orgánicas lo que favorece una adecuada nutrición de las plantas.

#### **k) Manganeso**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Manganeso, se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para el Manganeso. **(Cuadro 17)**

**Cuadro 17. ADEVA para el contenido de Manganeso inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm). EET-P-INIAP, 2015.**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-final</b>	<b>p-inicial</b>
Bloque	72,66	2	36,33	9,92	0,0002*	0,5296ns
M. plantación	5,56	1	5,56	1,52	0,2227ns	0,0677 ns
Especie	4,13	3	1,38	0,38	0,771 ns	0,3218 ns
Profundidad	0,03	1	0,03	0,01	0,9281 ns	0,3055 ns
Evaluación	641,18	1	641,18	175,05	<0,0001**	
M. plantación*Especie	9,57	3	3,19	0,87	0,4609 ns	0,2681 ns
M. plantación*Profundidad	1,84	1	1,84	0,5	0,4808 ns	0,4973 ns
M. plantación*Evaluación	0,83	1	0,83	0,23	0,6367 ns	
Especie*Profundidad	1,2	3	0,4	0,11	0,9546 ns	0,7661 ns
Especie*Evaluación	3,34	3	1,11	0,3	0,8225 ns	
Profundidad*Evaluación	3,88	1	3,88	1,06	0,3074 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	1,39	3	0,46	0,13	0,9441 ns	0,5512 ns
M. plantación*Especie*Eval.	2,24	3	0,75	0,2	0,8932 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	0,03	1	0,03	0,01	0,9281 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	0,88	3	0,29	0,08	0,9704 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	2	3	0,67	0,18	0,9085 ns	
Error	227,1	62	3,66			
Total	977,86	95				

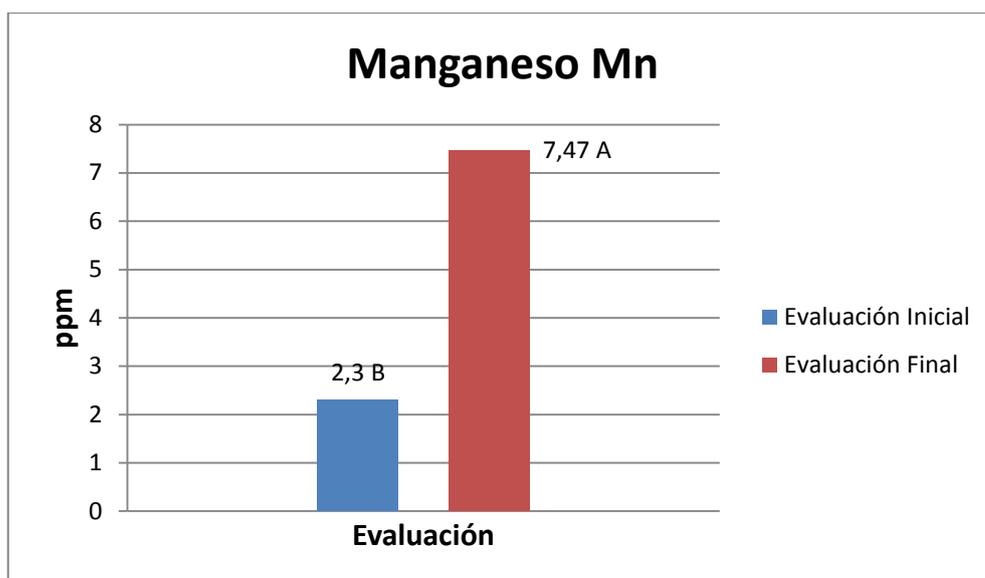
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación el contenido de Manganeso fue 2,30 ppm, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el sitio es uniforme, mientras que al final de la evaluación el contenido de Manganeso fue 7,47 ppm. (**Gráfico 13**)



**Gráfico 13. Manganeseo inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

El aumento en el contenido del Manganeseo en el suelo se debe posiblemente a la incorporación de materia orgánica originada por las labores culturales como son: las limpiezas del terreno, podas, además de las hojas senescentes de las especies forestales en estudio que caían al suelo y se descomponían de forma rápida gracias a las condiciones de humedad y temperatura del sitio, esto lo asevera Sierra y Rojas, (2008), donde manifiesta que la materia orgánica es una importante fuente de micronutrientes como el Fe, Mn, Cu, y Zn, éstos normalmente se encuentran quelatados por las sustancias orgánicas lo que favorece una adecuada nutrición de las plantas.

#### l) Boro

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el Boro, se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para el elemento Boro. **(Cuadro 18)**

**Cuadro 18. ADEVA para el contenido de Boro inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015.**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-final</b>	<b>p-inicial</b>
Bloque	0,01	2	0,0048	2,37	0,1022 ns	0,0345*
M. plantación	0,00082	1	0,00082	0,4	0,5299ns	0,4534 ns
Especie	0,01	3	0,002	0,96	0,4189 ns	0,5005 ns
Profundidad	0,000017	1	0,000017	0,01	0,9284 ns	0,976 ns
Evaluación	0,06	1	0,06	28,83	<0,0001**	
M. plantación*Especie	0,02	3	0,01	3,24	0,0279 ns	0,0869 ns
M. plantación*Profundidad	0,002	1	0,002	0,99	0,3248 ns	0,3853 ns
M. plantación*Evaluación	0,01	1	0,01	3,1	0,0834 ns	
Especie*Profundidad	0,01	3	0,0042	2,07	0,1126 ns	0,1105 ns
Especie*Evaluación	0,01	3	0,0018	0,86	0,4662 ns	
Profundidad*Evaluación	0,0000042	1	0,0000042	0,002	0,9642 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,01	3	0,003	1,49	0,2271 ns	0,3871 ns
M. plantación*Especie*Eval.	0,0021	3	0,0007	0,34	0,7946 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	0,0002	1	0,0002	0,1	0,7532 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	0,0047	3	0,0016	0,76	0,5205 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,00062	3	0,00021	0,1	0,9591 ns	
Error	0,13	62	0,002			
Total	0,27	95				

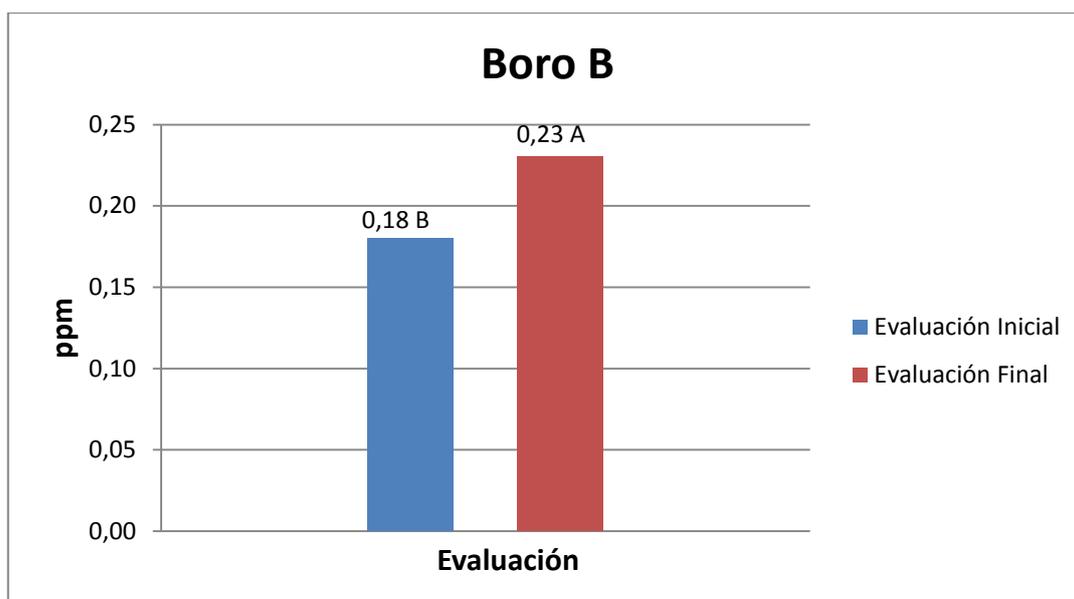
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación el contenido de Boro fue 0,18 ppm, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el lugar es uniforme, mientras que al final de la evaluación el contenido de Boro fue 0,23 ppm. (**Gráfico 14**)



**Gráfico 14. Boro inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

El aumento en el contenido del Boro se podría atribuir a la incorporación de materia orgánica originada por las labores culturales como son: las limpiezas del terreno, podas, además de las hojas senescentes de las especies forestales en estudio que caen al suelo y se descomponen de forma rápida, gracias a las condiciones de humedad y temperatura del sitio.

#### **m) Materia Orgánica**

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la materia orgánica, se encontró que al establecimiento de la plantación no se determinaron diferencias significativas, sin embargo al primer año de evaluación se determinó diferencias significativas para el contenido de materia orgánica. **(Cuadro 19)**

**Cuadro 19. ADEVA para el contenido de Materia Orgánica inicial y final en el suelo a dos profundidades (0 -25 cm y 25 -50 cm) EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-final	p- inicial
Bloque	55,34	2	27,67	36,45	<0,000**	0,0002*
M. plantación	0,18	1	0,18	0,23	0,6327ns	0,9288 ns
Especie	4,59	3	1,53	2,02	0,121 ns	0,1457 ns
Profundidad	2,63	1	2,63	3,47	0,0673 ns	0,2628 ns
Evaluación	59,06	1	59,06	77,81	<0,0001**	
M. plantación*Especie	2,1	3	0,7	0,92	0,4357 ns	0,6766 ns
M. plantación*Profundidad	0,09	1	0,09	0,12	0,7352 ns	0,5725 ns
M. plantación*Evaluación	0,29	1	0,29	0,39	0,537 ns	
Especie*Profundidad	0,96	3	0,32	0,42	0,7396 ns	0,5591 ns
Especie*Evaluación	1,82	3	0,61	0,8	0,4985 ns	
Profundidad*Evaluación	0,01	1	0,01	0,01	0,9349 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	0,33	3	0,11	0,14	0,9327 ns	0,4972 ns
M. plantación*Especie*Eval.	1,72	3	0,57	0,75	0,524 ns	
M. plantación*Profundidad*Eval.	0,23	1	0,23	0,3	0,5839 ns	
Especie*Profundidad*Eval.	1,76	3	0,59	0,77	0,5127 ns	
M. plantación*Especie*Prof.	2,48	3	0,83	1,09	0,3598 ns	
Error	47,06	62	0,76			
Total	180,65	95				

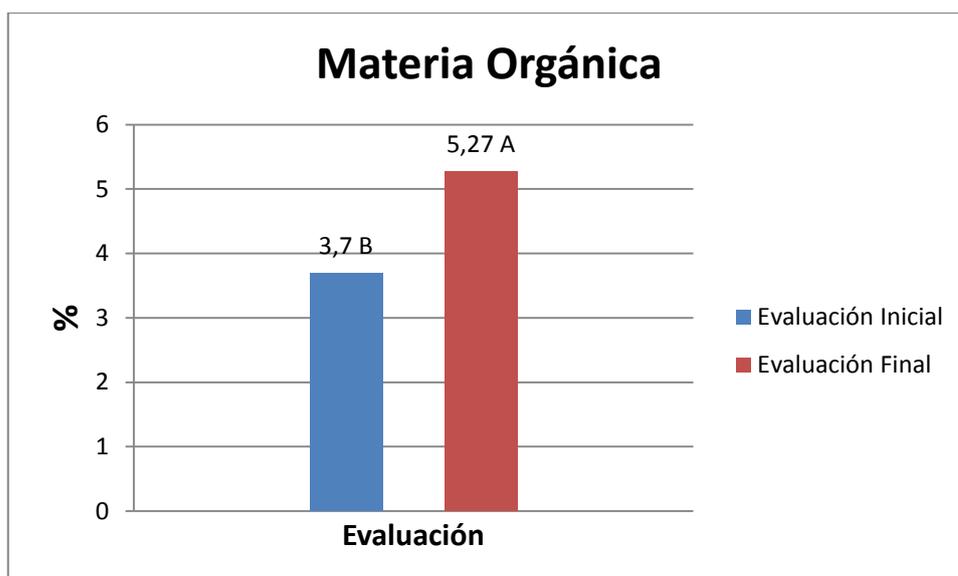
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Al inicio de la evaluación el contenido de materia orgánica fue 3,7%, lo cual no es diferente estadísticamente para todos los factores, lo que indica que todo el lugar es uniforme, mientras que al final de la evaluación el contenido de materia orgánica fue 5,27% . (Gráfico 15).



**Gráfico 15. Materia Orgánica inicial y final en el suelo, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

El aumento del contenido de materia orgánica en el suelo se podría atribuir a la incorporación de los restos de las labores culturales como son las limpiezas del terreno, podas, además de las hojas senescentes de las especies forestales en estudio que caían al suelo y se descomponían de forma rápida gracias a las condiciones de humedad y temperatura del sitio, esto lo ratifica INFORGANIC, (2014) donde manifiesta que el uno de los factores que permiten el aumento de la materia orgánica en el suelo es la incorporación de desechos vegetales.

#### **4. Número y Biomasa de lombrices**

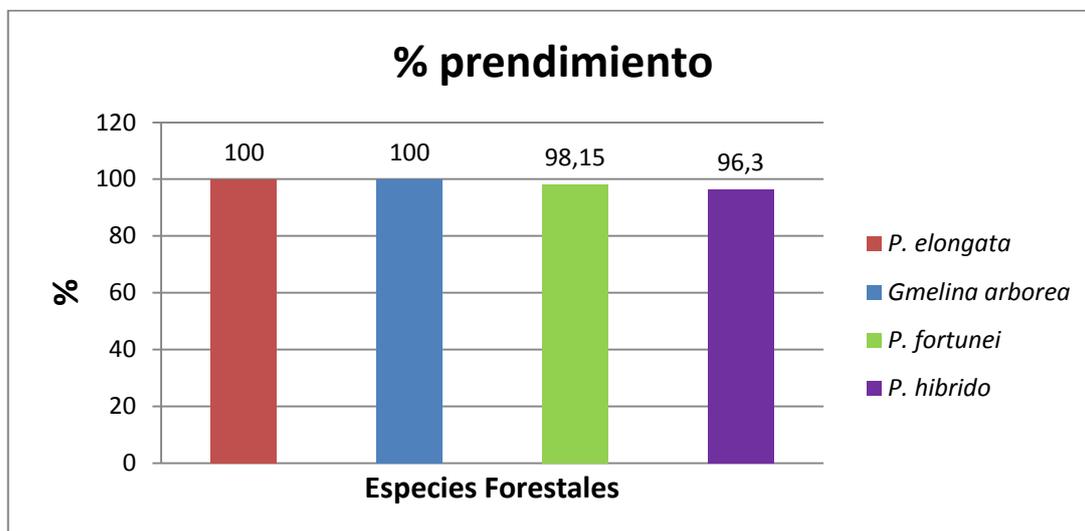
A pesar que se siguieron todos los pasos del protocolo de tesis, en el ensayo ubicado en la EET-Pichilingue de INIAP no se encontraron lombrices en la época seca (marzo-diciembre), tampoco en la época lluviosa (enero-abril).

### **B. EN LAS ESPECIES FORESTALES**

#### **1. Porcentaje de prendimiento en campo**

Al analizar el porcentaje de prendimiento en campo de las cuatro especies forestales en estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

A los 120 días después del trasplante, el mayor porcentaje de prendimiento fue para *P. elongata* y *Gmelina arborea*, con el 100%, seguida de *P. fortunei* con el 98,15% mientras que la especie *P. híbrido* presentó el menor porcentaje de prendimiento con un 96,3%. (**Gráfico 16**)



**Gráfico 16. Porcentaje de prendimiento de las cuatro especies forestales, EET-P INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Spitler (1995), indica que el porcentaje de prendimiento en campo mayor del 90% se califica como excelente, del 80 al 90% como aceptable, valores que coinciden con nuestra investigación ya que se obtuvieron promedios mayores al 90% en las cuatro especies forestales en estudio.

## 2. Altura total

De acuerdo al análisis de varianza con el modelo lineal mixto para la altura total, se obtuvo que la interacción Especie\*Edad son altamente significativas, para los demás factores no se determinaron diferencias significativas. (**Cuadro 20**)

**Cuadro 20. ADEVA para altura total de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	GL	F-valor	p-valor
Bloque	2	9,16	0,0002*
M. plantación	1	1,16	0,283 ns
Especie	3	0,83	0,4804ns
Edad	10	613,36	<0,0001**
M. plantación*Especie	3	0,79	0,5012ns
M. plantación*Edad	10	0,08	0,9999ns
Especie*Edad	30	3,13	<0,0001**
M. plantación*Especie*Edad	30	0,2	>0,9999ns

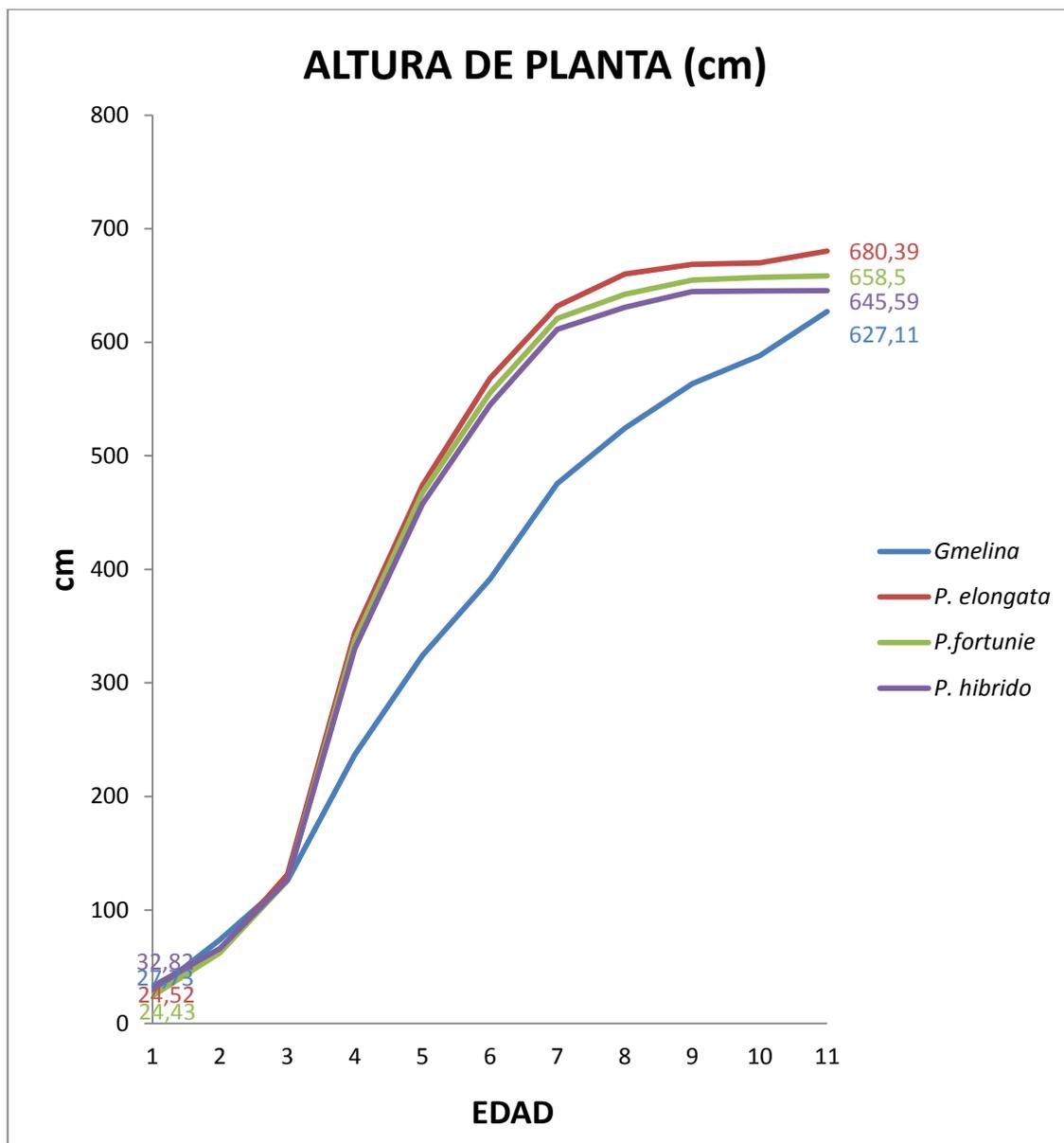
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Según el **Gráfico 17**. Desde un principio las cuatro especies forestales crecen en forma homogénea, sin embargo a partir del tercer mes de edad hay un crecimiento más acelerado en cuanto al género *Paulownia*, sin embargo se observa un crecimiento menos acelerado pero sostenido en lo referente a *Gmelina arborea*, a partir del cuarto mes de edad, las tres especies del género *Paulownia* incrementan significativamente su crecimiento, sin existir diferencias con este género, pero si existe diferencia con el género *Gmelina*. Cuando alcanzan el décimo mes de edad las tres especies de *Paulownia* ya no son diferentes significativamente de *Gmelina*, lo cual indica que se existe un descenso en el crecimiento de *Paulownia*, al onceavo mes de edad no existen diferencias entre todas las especies en estudio alcanzando los siguientes valores en altura *P. elongata* (680,39 cm), seguida de *P. fortunei* (658,5 cm) *P. hibrido* (645,59cm), finalmente *Gmelina arborea* (627,11 cm). Sin embargo al parecer la continuidad del crecimiento de *Gmelina* se puede mantener en el tiempo, mientras que las tres especies del género *Paulownia* tuvieron un descenso en su ritmo de crecimiento, alcanzando su asíntota aproximadamente al octavo mes, lo que se podría suponer que *Gmelina arborea* le podría pasar a partir del doceavo mes.



**Gráfico 17. Altura total de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

De acuerdo al gráfico anterior nos indicó que el crecimiento de las tres especies forestales en estudio fueron prácticamente uniforme hasta los tres meses de edad, en estos tres meses de edad las precipitaciones fueron las mayores registradas en el año según los registros del INAMHI-Pichilingue teniendo un acumulado de 889 mm, así como también la temperatura media diaria registrada fue 25°C, por lo que a partir del cuarto mes, las tres especies de *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata*; *P. híbrido*) tienen un crecimiento homogéneo y acelerado, mientras que *Gmelina* tiene un crecimiento uniforme pero menos acelerado hasta los seis meses de edad, esto se puede atribuir a

que tanto *Paulownia* como *Gmelina*, son consideradas como especies forestales de rápido crecimiento, es así que según Obregón, (2005) manifiesta que un beneficio de estas especies forestales es transformar el agua en biomasa en edades tempranas. A partir de este el crecimiento disminuye considerablemente, donde empieza a mostrar aumentos de altura mínimos hasta el mes once de edad, donde prácticamente las especies del género *Paulownia* se estabiliza en altura, esto coincide con que a partir del sexto mes, hasta el onceavo mes de edad, según los datos del INAMHI-Pichilingue se registran valores mínimos de precipitación acumulada con 131,1 mm.

En lo referente a *Gmelina arborea* no merma su crecimiento, al contrario continúa, por lo que se puede asumir que a partir del doceavo mes de edad esta especie va a superar en altura a las tres especies del género *Paulownia*.

Al final de la evaluación se puede discutir estos resultados según varios autores así como:

Gutiérrez y Ocaña, 2009 manifiestan que el género *Paulownia* alcanza un crecimiento vertical de entre 1.8 y 2.5 cm por día, dato que coincide con el promedio de crecimiento de altura para las tres especies de *Paulownia* siendo éste valor 2,2 cm por día.

THE FARM, 2013 manifiesta que el género *Paulownia* en condiciones óptimas, puede alcanzar el primer año una altura de 5-6 m, datos que fueron superados en los 11 meses de edad ya que obtuvieron alturas superiores a los descritos por dicho autor.

Diferentes experiencias demuestran que el rango óptimo de temperaturas para el crecimiento en altura y diámetro se localiza usualmente entre 24 °C y 29 °C de temperatura media diaria (Zhu Zhao-Hua *et al*, 1986). Datos que se confirman en el ensayo, ya que durante todo el período de evaluación, la temperatura media diaria fue de 25°C.

En relación a la altitud, el rango que normalmente ocupa esta especie varía entre los 600 y 1500 metros sobre el nivel del mar (Zhu Zhao-Hua *et al*, 1986); información que coincide con este autor, debido a que el ensayo está ubicado a 700 m.s.n.m. razón por la cual se desarrolló en forma normal en altura las especies del género *Paulownia*.

En lo referente a la precipitación el género *Paulownia* necesita entre 500 mm y 2600 mm de lluvia al año (THE FARM, 2013). Datos que concuerdan con los obtenidos en el

ensayo durante todo el período de evaluación, ya que se registraron precipitación media anual de 1542 mm.

Lucas *et al*, (2011) manifiesta en lo referente a suelo que el género *Paulownia* es muy sensible a las inundaciones y requiere buen drenaje, crecen en casi todo tipo de suelos, exceptuando aquellos con más del 20% de componente arcilloso, información que se corrobora a lo que se registró en campo ya que mediante los análisis físicos del suelo en la EET-Pichilingue se determinó que estos suelos son de textura Franca, con los siguientes porcentajes de sus partículas: Arena (40%), Limo (42%) y Arcilla (18%).

En lo referente a la *Gmelina arborea* de igual desde la evaluación uno hasta la evaluación tres tuvo un crecimiento uniforme, a partir de la evaluación cuatro tuvo un crecimiento constante pero no acelerado como ocurrió con las especies de *Paulownia*. Ya que ésta especie está adaptada a las condiciones climáticas y edáficas de la zona en estudio razón por la cual se utilizó como testigo.

En lo concerniente a *Gmelina arborea* CATIE, 1986, manifiesta que en general los incrementos son superiores a 2 m en altura en los primeros cuatro años de vida, cuya información coincide con los registros obtenidos en campo ya que en la última evaluación se obtuvo datos de altura de 6,27 m

### **3. Diámetro del tallo**

De acuerdo al análisis de varianza con el modelo lineal mixto para el diámetro a 10 cm del suelo, se obtuvo que la interacción Especie\*Edad son significativas, para los demás factores no se determinaron diferencias significativas. **(Cuadro 21)**

**Cuadro 21. ADEVA para diámetro a 10 cm del suelo, de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	GL	F-valor	p-valor
Bloque	2	3,35	0,044*
M. plantación	1	1,62	0,2101ns
Especie	3	8,19	0,0002**
Edad	2	606,45	<0,0001**
M. plantación*Especie	3	0,35	0,7875ns
M. plantación* Edad	2	0,77	0,4681ns
Especie* Edad	6	3,12	0,0119*
M. plantación*Especie* Edad	6	0,78	0,5875ns

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

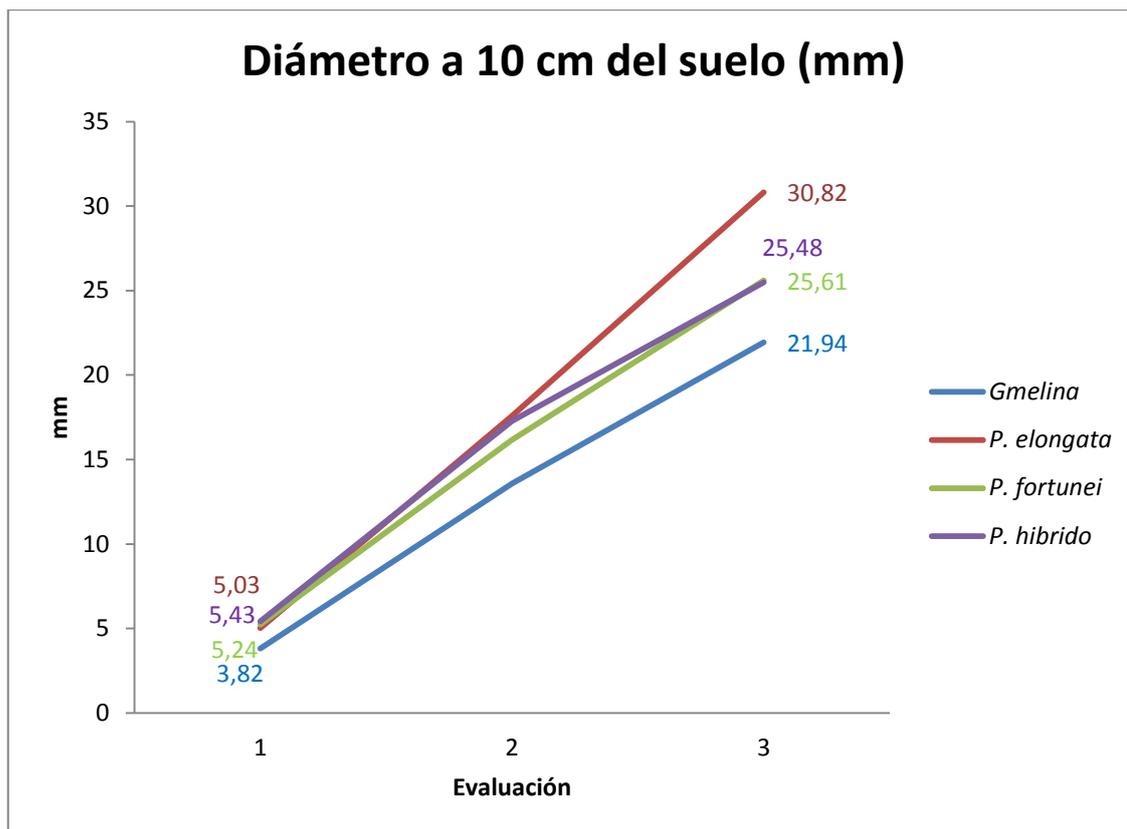
ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

En este caso para esta variable se ha evaluado diámetro a 10 cm de suelo solo hasta el tercer mes, hasta que las plantas alcanzaron una altura de 1,50 m, donde se midió el diámetro a la altura del pecho.

Según el **Gráfico 18** desde un principio se observa un crecimiento sostenido de las cuatro especies forestales hasta el tercer mes de edad. Donde se obtuvieron los siguientes resultados: las especies con el mayor diámetro a 10 cm del suelo fueron *P. elongata* (30,82 mm), seguida de *P. fortunei* (25,61 mm) y *P. híbrido* (25,48mm) y finalmente *Gmelina arborea* (21,94 mm).



**Gráfico 18. Diámetro a 10 cm del suelo de cuatro especies forestales, EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

De acuerdo al gráfico anterior se puede observar que el comportamiento del diámetro a 10 cm del suelo, de las tres especies de Paulownia (*P. fortunei*, *P. elongata* y *P. híbrido*) es homogéneo y superior al testigo *Gmelina arborea* desde la primera hasta la tercera evaluación, ella que estos dos géneros son consideradas de rápido crecimiento es así que Wareing, 2005 manifiesta que las especies de rápido crecimiento aprovechan al máximo el agua acumulada en el suelo, para realizar fotosíntesis y generar biomasa.

#### 4. Diámetro a la altura de pecho (DAP)

De acuerdo al análisis de varianza con el modelo lineal mixto para el diámetro a la altura del pecho, se obtuvo que la interacción Marco de plantación \* Especie son significativas, mientras que la interacción Especie \* Edad son altamente significativas, para los demás factores no se determinaron diferencias significativas. **(Cuadro 22)**

**Cuadro 22. ADEVA para el DAP de cuatro especies forestales EET-P-INIAP, 2015**

F.V.	GL	F-valor	p-valor
Bloque	2	83,11	<0,0001**
M. plantación	1	0,77	0,3823ns
Especie	3	11,01	<0,0001**
Edad	7	83,3	<0,0001**
M. plantación*Especie	3	4,69	0,0039*
M. plantación * Edad	7	0,3	0,954ns
Especie* Edad	21	2,84	0,0002**
M plantación*Especie*Edad	21	0,31	0,9984ns

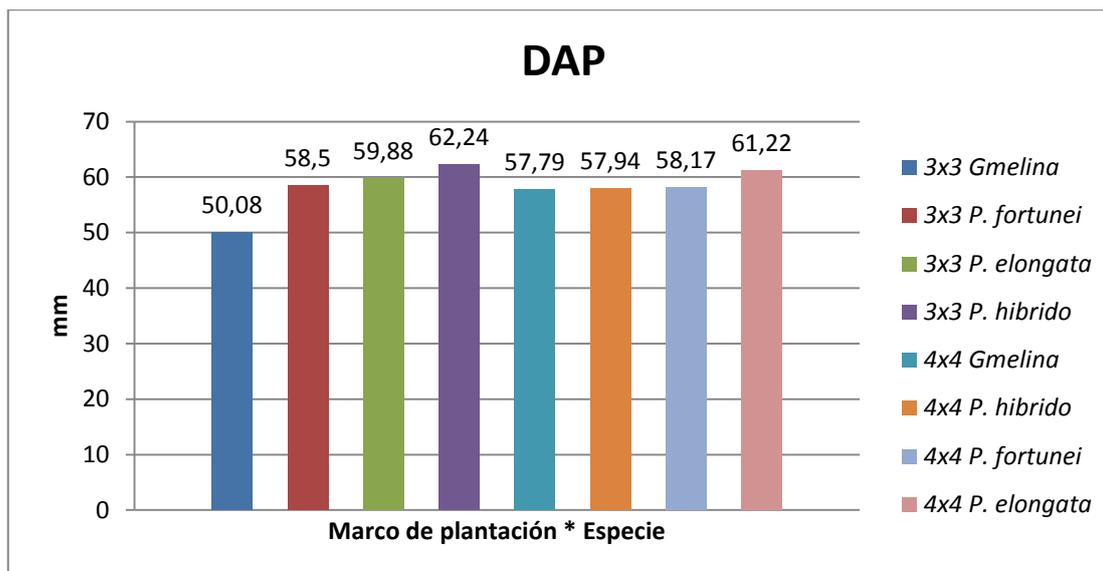
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Según el **Gráfico 19**, mostró que el marco de plantación 3x3 con la especie *P. híbrido* es la que tiene el mejor DAP con 62,42 mm, seguida de *P. elongata* con 59,88 mm, le sigue *P. fortunei* con 58,5 mm y finalmente con el más bajo DAP para este marco de plantación encontramos a *Gmelina arborea* con 50,08 mm, mientras que en el marco de plantación 4x4 la especie que se destaca es *P. elongata* con 61,22 mm, seguida de *P. fortunei* con 58,17mm, le sigue *P. híbrido* con 57,49 mm, y finalmente con el menor DAP fue para *Gmelina arborea* con 57,79 mm.



**Gráfico 19. DAP de cuatro especies forestales con relación al marco de plantación EET- P-INIAP, 2015**

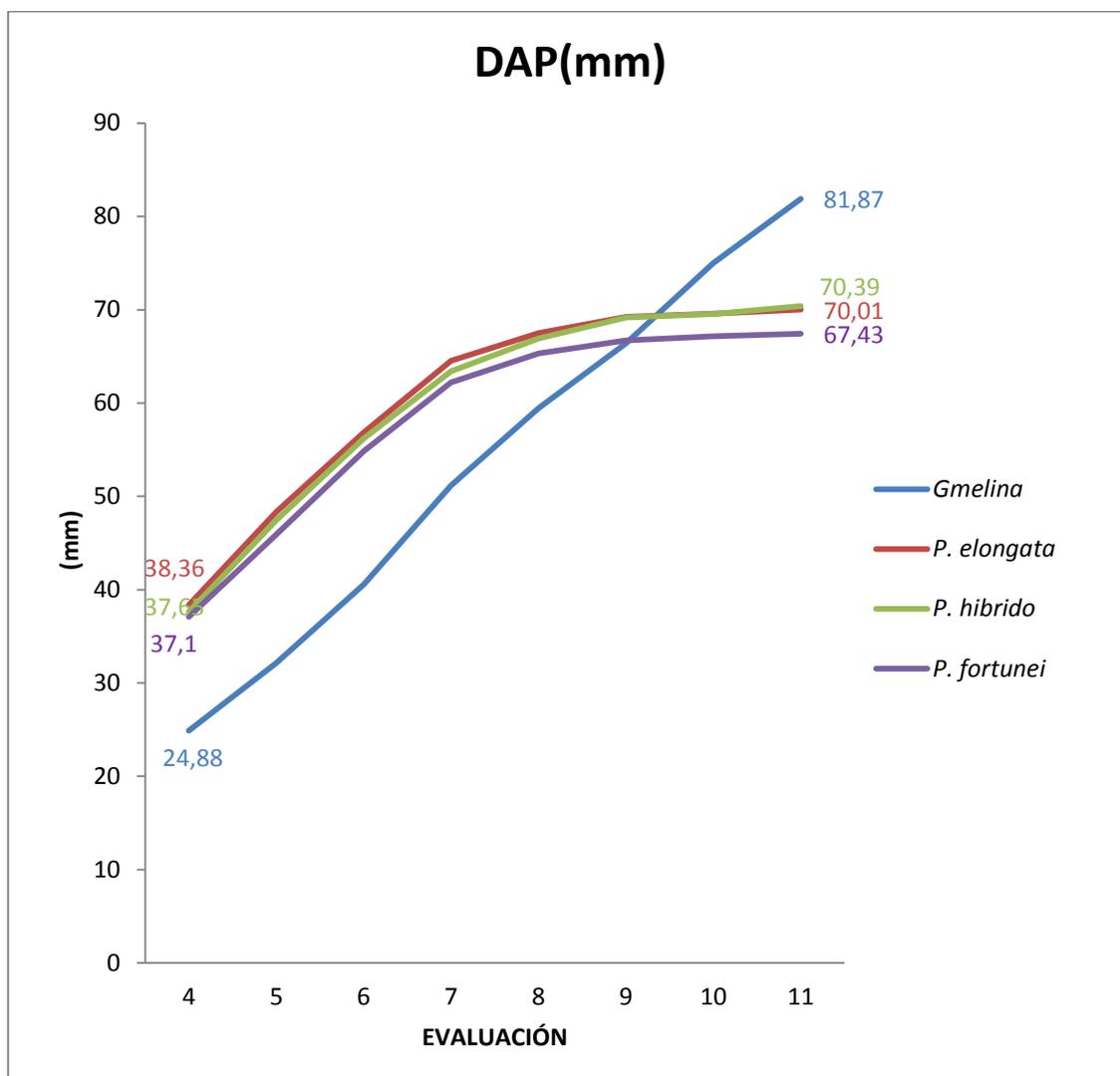
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Las tres especies de *Paulownia* en los dos marcos de plantación se identifican por tenerlos mayores DAP, de igual forma *Gmelina arborea* también tiene buenos DAP pero obviamente menores que los de *Paulownia*, estos aumentos significantes podría deberse a que son especies de rápido crecimiento y además como se mencionó antes las condiciones ambientales son favorables para que se desarrollen estas especies forestales, esto lo confirma Obregón, (2005) donde manifiesta que un beneficio de las especies de rápido crecimiento es transformar el agua en biomasa, es decir que al agua al interior de la planta es transformada en hojas y ramas, en edades tempranas.

Esta variable se analiza a partir del cuarto mes de edad debido a que en esta edad las especies forestales debido a su rápido crecimiento alcanzaron el 1,5 m de altura, donde se toma el DAP a una altura de 1,3 m.

De acuerdo al **Gráfico 20** se observó que las tres especies del género *Paulownia* a partir del cuarto hasta el séptimo mes de edad crece el DAP en forma normal, a partir del octavo mes de edad, este tiende a disminuir su crecimiento. También se pudo observar que *Gmelina arborea*, a partir del cuarto mes de edad estuvo por muy debajo de las tres especies del género *Paulownia*, desde el octavo mes ya no hay diferencias significativas entre las cuatro especies forestales en estudio, donde se observó un crecimiento sostenido de *Gmelina* lo que indica que al onceavo mes de edad ya supera a las tres especies del género *Paulownia*.

Al término de la investigación se alcanzaron los siguientes valores para DAP: *Gmelina arborea* con 81,87 mm seguido de *P. híbrido* con 70,39 mm, continúa *P. elongata* con 70,01mm) y finalmente *P. fortunei* con 67,43 mm



**Gráfico 20. DAP de cuatro especies forestales, EET-P- 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

De acuerdo al gráfico anterior se pudo observar que el DAP para las tres especies de *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata*; *P. híbrido*) su crecimiento fue constante desde el cuarto hasta el séptimo mes de edad a partir de ésta evaluación el crecimiento en DAP tiende a disminuir considerablemente hasta el noveno mes de edad, donde merma casi al máximo su crecimiento en el onceavo mes de edad, esto puede deberse a que desde el octavo mes de edad las precipitaciones disminuyeron según los datos del INAMHI-

Pichilingue se registró un acumulado de 75,9 mm, que es la período más seco en este sitio.

Para el caso de *Gmelina arborea* tuvo un crecimiento sostenido desde el cuarto mes de edad, sin embargo fue inferior con respecto a las tres especies de *Paulownia*, pero en el noveno mes de edad se nivela con las tres especies de *Paulownia*, y desde el décimo mes de edad, supera al resto de especies forestales, todo esto se puede considerar un hecho normal ya que *Gmelina arborea* es una especie adaptada a esta zona de vida.

Al final de la evaluación se puede discutir estos resultados según varios autores tales como:

THE FARM, 2013 manifiesta que el género *Paulownia* en condiciones óptimas de clima y suelo, tienen un incremento anual de 3-4 cm de diámetro a la altura del pecho, cuyo dato fue superado al onceavo mes de edad, debido a que se obtuvieron en promedio de las tres especies de *Paulownia* un DAP de 6,9 cm .

En lo referente a *Gmelina arborea* CATIE, 1986, indica que en general los incrementos medios anuales son superiores a 2 cm de diámetro, dicha información corrobora con datos obtenidos en campo ya que al onceavo mes de edad se tuvo un DAP promedio de 8, 1 cm.

## 5. Área de copa

De acuerdo al análisis de varianza con el modelo lineal mixto para el área de copa, se obtuvo que la interacción Marco de plantación \* Especie son significativas, mientras que la interacción Especie \* Edad son altamente significativas, para los demás factores no se determinaron diferencias significativas. **(Cuadro 23)**

**Cuadro 23. ADEVA para el área de copa en cuatro especies forestales, EET-P-  
INIAP, 2015**

F.V	GL	F-valor	p-valor
Bloque	2	26,16	<0,0001**
M. plantación	1	0,27	0,6041ns
Especie	3	22,64	<0,0001**
Evaluación	8	81,45	<0,0001**
M. plantación*Especie	3	3,09	0,0293*
M. plantación*Evaluación	8	1	0,4359ns
Especie*Evaluación	24	29,27	<0,0001**
M. plantación*Especie*Evaluación	24	1,36	0,1401ns

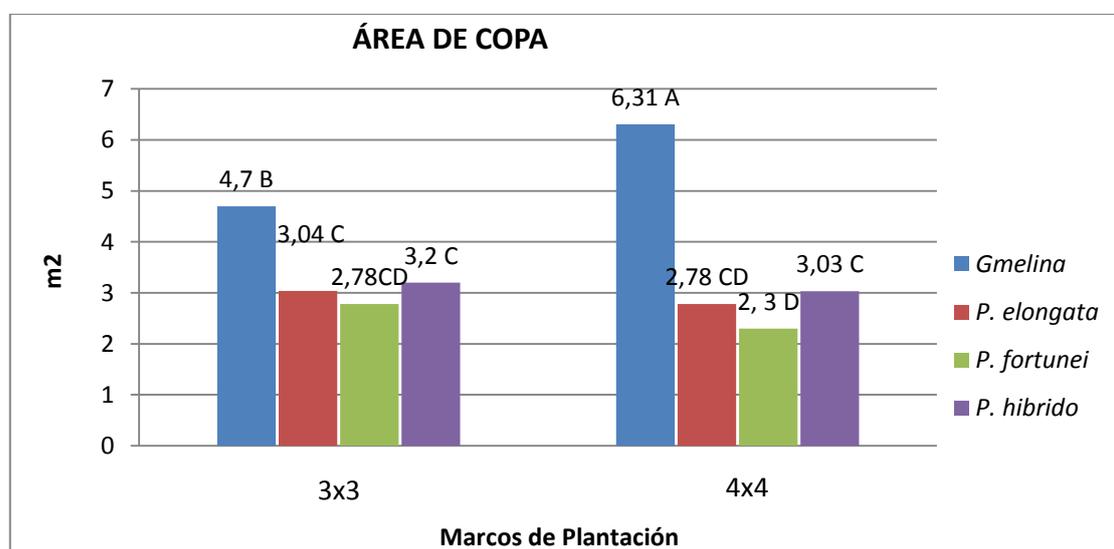
Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Según el **Gráfico 21**, mostró que *Gmelina arborea* es la que tiene mejor área de copa en los dos marcos de plantación (3x3 y 4x4) con valores de 4,7 m<sup>2</sup> y 6,31m<sup>2</sup> respectivamente, mientras que las tres especies del género *Paulownia* alcanzaron los valores más bajos en los dos marcos de plantación.



**Gráfico 21. Área de copa de cuatro especies forestales con relación al marco de  
plantación EET- P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

De acuerdo al gráfico anterior se puede notar que el marco de plantación 4x4 si tiene efecto en el desarrollo de *Gmelina* porque según Rojas, *et al.* (2004), manifiesta que esta especie posee una copa amplia.

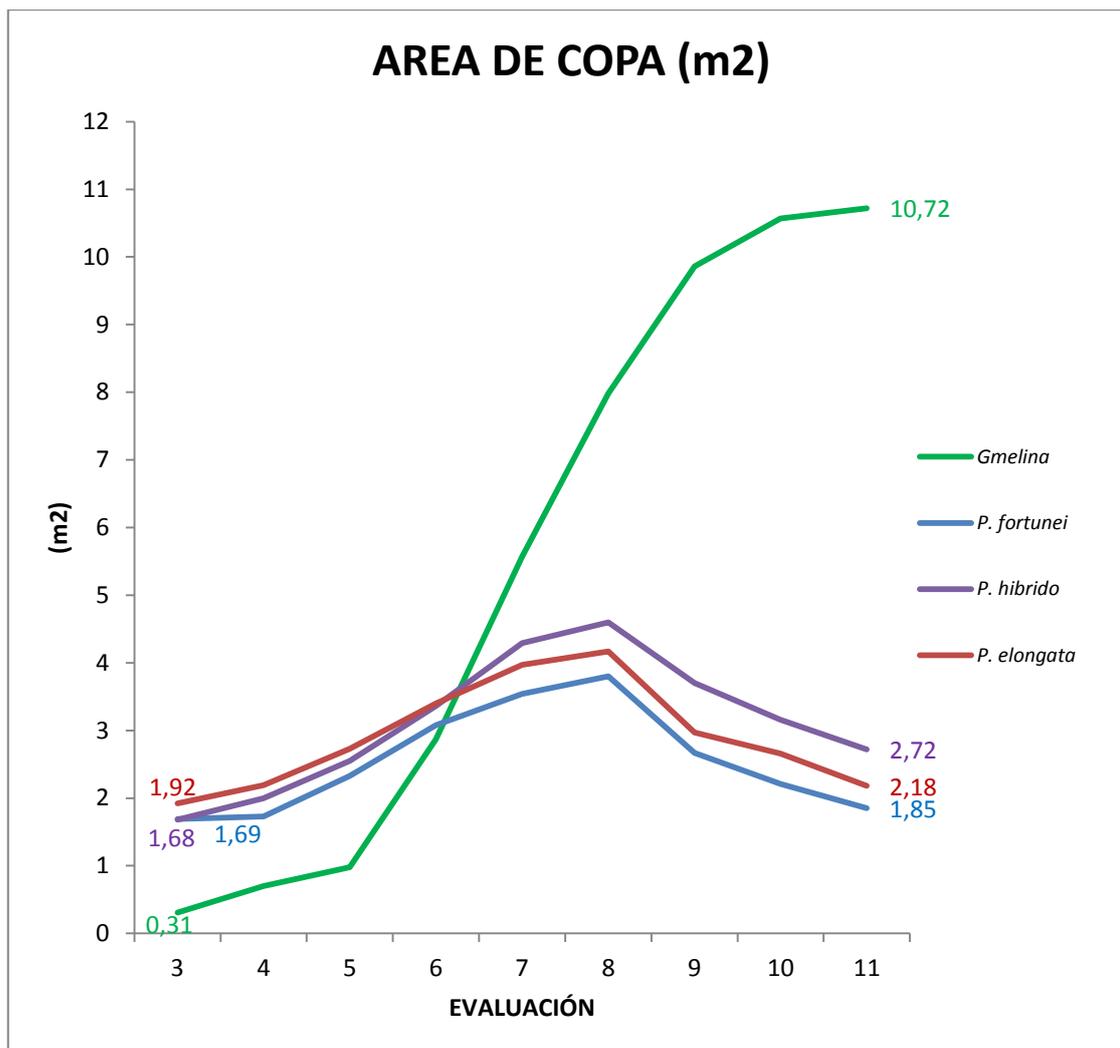
Las menores áreas de copa de las especies de *Paulownia* se puede deber a que ésta especie son caducifolia (Lucas *et al.*, 2007).

### **INTERACCIÓN ESPECIE \* EDAD**

Para este factor se consideró desde el tercer mes de edad.

Según el **Gráfico 22**, desde el tercer mes de edad las tres especies del género *Paulownia* crecen en forma homogénea, hasta el séptimo mes, al octavo mes disminuye este crecimiento en forma considerada, que a partir de este mes empieza a descender el área de copa de las tres especies de *Paulownia* hasta el onceavo mes, donde se hizo la última evaluación, sin embargo *Gmelina* del tercer al quinto mes de edad crece en forma lenta y homogénea, a partir de este mes edad hay un crecimiento muy acelerado, tanto que en el sexto mes de edad nivela a las especies de *Paulownia*, es decir que en esta etapa ya no hubo diferencias significativas entre ambos géneros, mientras que para el octavo mes ésta especie superó en crecimiento a *Paulownia*, manteniéndose esta tendencia hasta el onceavo mes de edad.

Al onceavo mes de edad existen diferencias entre los dos géneros obteniéndose los siguientes valores en área de copa la especie con mayor área de copa fue *Gmelina arborea* con 10,72 m<sup>2</sup>, seguida de *P. hibrido* con 7,22 m<sup>2</sup>, a continuación *P. elongata* con 2,18m<sup>2</sup>, y finalmente *P. fortunei* con 1,85 m<sup>2</sup>.



**Gráfico 22. Área de copa de cuatro especies forestales EET-P-INIAP, 2015**

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

De acuerdo al gráfico anterior se puede notar que las tres especies de *Paulownia* tienen el mismo comportamiento normal, es decir un crecimiento homogéneo desde el tercer hasta el séptimo mes de edad, en estos meses son considerados como la época lluviosa, según los registros del INAMHI-Pichilingue. Sin embargo a partir de este mes empieza a disminuir el crecimiento del área de copa, esto se podría atribuir a que *Paulownia* es una especie caducifolia (Lucas *et al*, 2007). También se puede atribuir a que a partir del séptimo mes de edad empezó la época seca de la zona en estudio, según los registros del INAMHI-Pichilingue.

En lo concerniente a *Gmelina arborea* se pudo observar que desde el tercer hasta el quinto mes de edad, se mantuvo un crecimiento uniforme y lento, Sin embargo en el sexto mes en la *Gmelina* igualó a las tres especies de *Paulownia*, partir de éste mes tuvo

un crecimiento constante y muy acelerado de área de copa que despuntó en relación a la *Paulownia*. Todo este comportamiento se puede atribuir a que *Gmelina* está bien adaptada a la zona en estudio.

## **6. Incidencia de plagas y enfermedades**

Bajo las condiciones bioclimáticas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, *Paulownia* se ha desarrollado muy bien, y por tanto no se ha encontrado durante el año de evaluación ninguna plaga ni enfermedad que le ataque de manera significativa, esto lo confirma UCEDEX, (2007) donde manifiesta que dentro de las características principales de *Paulownia* radica en que es muy resistente y relativamente libre de enfermedades, lo que coincide con lo obtenido en campo, ya que durante el primer año de investigación no se presentó ninguna plaga.

De igual manera lo dice Agrodesierto, (2004) al ser muy resistente, el árbol de *Paulownia* presenta escasa enfermedad.

THE FARM, (2013) de igual manera señala que *Paulownia* no es muy susceptible a la infección por enfermedades y plagas por lo que la planta es muy resistente y generalmente no se ve muy afectado.

## **C. PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS DE ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO DURANTE EL PRIMER AÑO**

Se determinó los gastos de operación e inversión durante todo el proceso del ensayo para esto nos ayudamos mediante un registro contable.

Para tener como dato comparativo se presenta a continuación el resumen de costo de plantación: Establecimiento y Mantenimiento durante el primer año.

## 1) Establecimiento del ensayo

**Cuadro 24. Costos de mano de obra en el establecimiento del ensayo**

<b>Actividad</b>	<b>unidades</b>	<b>Valor c/u</b>	<b>cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Preparación del suelo(tractor)	Hora	30	3	90
Trazado	Hora	2	16	32
Hoyado	Hora	2	9	18
Fertilización	Hora	2	6	12
Trasplante	Hora	2	24	48
Riego asistido	Hora	2	18	36
<b>COSTO DE MANO DE OBRA</b>				<b>\$236</b>

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**Cuadro 25. Costos de insumos en el establecimiento del ensayo.**

<b>Descripción</b>	<b>unidades</b>	<b>Valor c/u</b>	<b>cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Sumicoat	Kg	1,00	74,6	74,6
Hidrokeeper	Kg	0,25	3,76	0,94
Materia Orgánica	Kg	0,10	746	74,6
<b>COSTO DE INSUMOS</b>				<b>\$150,14</b>

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**Cuadro 26. Costos de especies forestales**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor c/u</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
<i>P. elongata</i>	Plantas	5,00	186	930
<i>P. fortunei</i>	Plantas	5,00	186	930
<i>P. híbrida</i>	Plantas	5,00	186	930
<i>Gmelina arborea</i>	Plantas	0,30	186	55,8
<b>COSTOS DE ESPECIES FORESTALES</b>				<b>2845,8</b>

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**Cuadro 27. Costos totales en el establecimiento del ensayo**

<b>Actividad</b>	<b>Costo</b>
Mano de Obra	236
Insumos	150,14
<b>Total Establecimiento</b>	<b>\$ 386,14</b>

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**2) Mantenimiento del ensayo****Cuadro 28. Costos mano de obra en el mantenimiento del ensayo**

<b>Actividad</b>	<b>unidades</b>	<b>Valor c/u</b>	<b>cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Chapia(manual)	Horas	2	48	96
Limpieza de corona	Horas	2	288	576
Limpieza mecanizada(motoguadaña)	Horas	2	264	528
Podas	Horas	2	120	240
Toma de datos	Horas	2	185	370
Riego asistido	Horas	2	60	120
<b>COSTO DE MANO DE OBRA</b>				<b>\$1930</b>

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**Cuadro 29. Costo total de la plantación**

<b>Rubro</b>	<b>TOTAL \$</b>
<b>Costos Establecimiento</b>	386,14
<b>Costos Mantenimiento</b>	1930
<b>Costo total plantas</b>	2845,8
<b>TOTAL COSTOS \$ / 0,87 Ha</b>	<b>\$5161,94</b>

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

**Cuadro 30. Costo total de la plantación / Especie Forestal**

<b>Rubro</b>	<i>P. fortunei</i>	<i>P. elongata</i>	<i>P. híbrido</i>	<i>G. arborea</i>
<b>Costos Establecimiento</b>	96,53	96,53	96,53	96,53
<b>Costos Mantenimiento</b>	482,5	482,5	482,5	482,5
<b>Costos Plantas</b>	930	930	930	55,8
<b>TOTAL COSTOS \$ / 0,87 Ha</b>	1509,03	1509,03	1509,03	634,83
<b>TOTAL COSTOS \$ / 1 Ha</b>	1734,4	1734,4	1734,4	729,68
<b>COSTO / PLANTA \$</b>	<b>\$9,74</b>	<b>\$9,74</b>	<b>\$9,74</b>	<b>\$3,98</b>

Elaborado por: Guzmán, L. (2015)

Al realizar la valoración económica se ha determinado que el mayor costo de producción por especie forestal pertenece al género *Paulownia* con sus tres especies (*P. fortunei*, *P. elongata* y *P. híbrida*) teniendo un costo de \$1509,03/0,87 Ha, mientras que *Gmelina arborea* tiene un menor costo con \$634,83/0,87 Ha. Al final de la investigación se determinó que el costo total de producción fue aproximadamente de \$5161,94 en el área de terreno utilizado en la investigación.

En tanto que el costo promedio por planta de las tres especies de *Paulownia* fue de \$9,74, mientras que para *Gmelina arborea* fue \$3,98.

Esta diferencia se da por el costo de las plántulas, ya que las tres especies del género *Paulownia* tiene un costo de \$5/planta, mientras que *Gmelina arborea* tiene un costo de \$0,30/planta, se debe mencionar que a todas las especies en estudio se dio el mismo tratamiento en campo es decir se realizó las mismas podas, riegos, limpiezas.

## **VI. CONCLUSIONES**

- Las condiciones edafoclimáticas de la Estación Tropical Pichilingue, han sido favorables para el género *Paulownia* para que exista un alto porcentaje de prendimiento, también que no exista ataque de plagas y enfermedades.
- El género *Paulownia* y *Gmelina arborea* aportaron con los siguientes elementos N, P, Zn, Cu, Fe, Mn y B, así también la materia orgánica, pero extraen elementos tales como Ca, Mg y S.
- En términos de crecimiento *Gmelina arborea* fue mejor que *Paulownia*, debido a que al final del primer año de evaluación resultó tener mayor altura, DAP y área de copa en relación con las tres especies de *Paulownia*.
- En términos económicos los costos más altos fueron para las tres especies del género *Paulownia*, mientras que los costos más bajos fueron para *Gmelina arborea*.



## **VII. RECOMENDACIONES**

- En términos de costos *Gmelina arborea* sería mucho más favorable para la implementación en campo, sin embargo la producción de plántulas del género *Paulownia* utilizando la vía asexual a través de la biotecnología, podría ser una alternativa para bajar los costos.
- Se recomienda que se continúe con el uso de *Gmelina arborea* como especie de rápido crecimiento, hasta comprobar que el género *Paulownia* sea una especie favorable en las condiciones edafoclimáticas de la zona en estudio.



## VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: evaluar la adaptabilidad de tres especies forestales de rápido crecimiento del género *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata* y *P. híbrido*) y un testigo local *Gmelina arborea* en la Estación INIAP-Pichilingue, cantón Quevedo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar factorial con arreglo combinatorio. Para la altura total, diámetro a 10 cm del suelo, DAP, área de copa, que fueron registradas en el tiempo, se utilizó un modelo mixto. Para las variables del suelo se utilizó el análisis de varianza. Para el caso de sobrevivencia y costos se realizó un análisis descriptivo. Las tres especies del género *Paulownia* en estudio se adaptaron en la zona, en términos de crecimiento *Gmelina arborea* fue mejor que *Paulownia* debido a que al final del primer año de evaluación resultó tener mayor altura, DAP y área de copa. El género *Paulownia* y *Gmelina* aportaron con los siguientes elementos N, P, Zn, Cu, Fe, Mn y B, así también la materia orgánica, pero extraen elementos como: Ca, Mg y S. El costo total de la plantación fue \$5161,94/Ha donde las tres especies tuvieron un costo de \$1509,03/Ha c/u, mientras que el testigo tuvo un costo de \$634,83/Ha. En términos de costos *Gmelina arborea* sería más favorable para la implementación en campo, sin embargo la producción de plántulas del género *Paulownia* utilizando la biotecnología, sería una alternativa para bajar los costos. Se recomienda continuar con el uso de *Gmelina arborea* como especie de rápido crecimiento, hasta comprobar que el género *Paulownia* sea una especie favorable en condiciones edafoclimáticas de la zona en estudio.



## **IX. SUMMARY**

This research aims to evaluate the adaptability of three fast-growing tree species of the genus *Paulownia* (*P. fortunei*, *P. elongata* and *P. hybrid*) and a local witness *Gmelina arborea* in-INIAP Pichilingue Station, Quevedo Canton. A complete block design factorial arrangement with random combinatorial was used. For total height, 10 cm diameter from the ground, DAP, crown area, which were registered in time, a mixed model was used. Analysis of variance was used for soil variables. In the case of survival and cost a descriptive analysis was performed. The three species of *Paulownia* on study were adapted in the area, in terms of growth *Gmelina arborea* was better than *Paulownia* because at the end of the first year of evaluation turned out to be higher, DAP, and crown area.

*Paulownia* gender and *Gmelina* provided with the following elements: N, P, Zn, Cu, Fe, Mn, and B as well as organic matter, but extracted elements such as Ca, Mg, and S. The total cost of the afforestation was \$ 5,161.94/ Ha. where the three species had a cost of \$ 1,509.03/ ha e/o, while the witness had a cost of \$ 634.83/Ha. In terms of costs *Gmelina arborea* would be more favorable for implementation in the field, however the production of seedlings of the genus *Paulownia* using biotechnology, would be an alternative to reduce costs.

It is recommended to continue the use of *Gmelina arborea* and fast growing species, to ensure that gender *Paulownia* species is favorable with soil and climate conditions of the area under study.



## X. BIBLIOGRAFÍA

- ABCAGRO, (2012). La compactación de los suelos agrícolas. Consultado el 25 ene. 2015 Disponible en: [http://www.abcagro.com/riego/compactacion\\_suelos.asp](http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp)
- AGRODESIERTO, (2004). Progra
- mas Agroforestales Paulownias (*Paulownia fortunei* y *Paulownia elongata*) Árbol de Usos Múltiples de Crecimiento Ultrarrápido. Consultado el 15 sept. 2013. Disponible en <http://www.agrodesierto.com/paulownia.html>
- AGROGEN, (2010). Diagramas de Troug, influencia del PH sobre la disponibilidad de nutrientes. Disponible en: <http://www.agrogen.com.mx/troug.asp>
- BCE, (2002). BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. Propuesta metodológica para la elaboración de Cuentas Provinciales del Ecuador. 69 p. Consultado 4 sept 2013. Disponible en: [www.bce.fin.ec](http://www.bce.fin.ec)
- Beckjord, P. (1984). *P. tomentosa* a brief guide for the tree, farmer. University Maryland. Miscellaneous publication N" 984
- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, C.R. ACCS.157 p.
- Betancourt, A. (1987) Silvicultura especial de árboles maderables tropicales.La Habana – Cuba, pp. 435. Editorial Científico – Técnica.
- Cevallos, D. (2007). Evaluación de la adaptabilidad de 20 variedades y líneas de Fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris*) de grano rojo y amarillo en el valle de Intag, Imbabura. Tesis Ing. Agr. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.

- Carrión, D y Chiu, M. (2011). Documento del Programa Nacional REDD. Sexta reunión de la Junta Normativa del Programa ONU-REDD. Consultado 6 sep. 2013. Disponible en:  
[www.unredd.net/index.php?option=com\\_docman&task=doc](http://www.unredd.net/index.php?option=com_docman&task=doc).
- CATIE, (1986). Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Departamento de Recursos Naturales Renovables. Turrialba – Costa Rica. consultado 12 sep. 2013. Disponible en:  
<http://books.google.com.ec/books?id=cm4OAQAIAAJ&pg=PA159&lpg=PA159&dq=gmelina+arborea+taxonomia&source=bl&ots=>
- CIAT, (2002). Plantaciones Forestales en Santa Cruz, Avances y Recomendaciones Técnicas a partir de Parcelas de Medición Permanente. Santa Cruz - Bolivia.
- CNE, (2007). Los cultivos energéticos en Extremadura, consultado 10 sep. 2013. Disponible en:  
<http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.exe?CMD=VEROBJ&MLKOB=626947890808>
- Coll, M. (2010). Cultivo y crecimiento de la Paulownia. Consultado 10 sept 2013. Disponible en: [http://www.paulownia.ws/castella/preparacio\\_c.html](http://www.paulownia.ws/castella/preparacio_c.html)
- Diccionario Científico y Tecnológico, (2002). Conceptos de términos culturales. Bogotá-Colombia. 4-200pp. Editorial Americana.
- Domínguez, A. (1998). Tratamientos Silviculturales, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Editorial Linares.
- Domínguez, F. (2011). Evaluación del área reforestada y revegetada en el campo Petrolero Secoya, cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. Tesis Ing. Agr. Riobamba-Ecuador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 56 p.

Consultado 15 sep. 2013. Disponible en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/688/1/13T0702%20>

[DOMINGUEZ%20FABIAN.pdf](#)

- Donald, D. (1990). Paulownia, the tree of the future? *South African Forestry J.* N° 154.
- ECUADORFORESTAL, 2012. Planificación estratégica plantaciones forestales en el Ecuador. Consultado el 10 sep. 2013 disponible en [http://ecuadorforestal.org/wpcontent/uploads/2013/03/PE\\_Plantaciones.pdf](http://ecuadorforestal.org/wpcontent/uploads/2013/03/PE_Plantaciones.pdf)
- ECUADORFORESTAL, (2012). Fichas técnicas de Especies Forestales. Consultado 10 sep. 2013 disponible en: <http://ecuadorforestal.org/category/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/>
- ELCOMERCIO, (2014). Las exportaciones de la madera crecieron 29%. Consultado 20 ene. 2015. Disponible en <http://www.elcomercio.com.ec/actualidad/exportaciones-madera-crecimiento-bancocentral-demanda.htm>
- GARDENCENTEREJEA, (2010). Paulownia fortunei x elongata. Consultado de 10 sep. 2013. Disponible en: <http://www.gardencenterreja.com/producto.php/plantas/arboles/arbolesde-gran-porte/paulownia-fortunei-x-elongata/1356>
- Gutiérrez, J. & Ocaña, R. (2009). Manual Para El Cultivo De Paulownia Elongata. Consultado 10 sep.2013. Disponible en: [http://www.uaemex.mx/SIEA/editorial/2009/09\\_C\\_422\\_0643.pdf](http://www.uaemex.mx/SIEA/editorial/2009/09_C_422_0643.pdf)
- Hernández, R. (2005). Medio ambiente de las plantas. Consultado: 10 sep.2013. Disponible en: [rubenhg@ula.ve](mailto:rubenhg@ula.ve).
- Holdridge, L. (1982). Ecología basada en zonas de vida (Traducido del inglés por

Humberto Jiménez. Edición I. II reimpresión. II Capítulo. 8-12 pp.

- ICA, (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Consultado 20 ene. 2015. Disponible en:<http://koha.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=5822>.
- INFORGANIC, (2014). La importancia de la materia orgánica en el suelo. Consultado 20 ene. 2015. Disponible en: <http://infororganic.com/node/497>
- INIAP, (2008). Nitrógeno en el suelo. Consultado: 20 ene. 2015. Disponible en: [www.iniap.gob.ec/balcarce/info/documentos/reclat/suelos/Cap4](http://www.iniap.gob.ec/balcarce/info/documentos/reclat/suelos/Cap4)
- JUNTADEANDALUCÍA, (2009). Manual para el seguimiento del estado sanitario del arbolado de la dehesa. Consejería de Agricultura y pesca. Consejería de Medio Ambiente. 248 p. Consultado en 20 diciembre de 2014.  
[http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/minisites/raif/manuales\\_de\\_campo/Protocolos\\_Campos\\_Dehesa.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/minisites/raif/manuales_de_campo/Protocolos_Campos_Dehesa.pdf)
- Loewe, V. (2010). Apuntes Sobre Algunas Latifoliadas de madera Valiosa, 2. *Paulownia spp.*, Santiago-Chile. Consultado 12sep. 2013. Disponible en: <http://biblioteca1.infor.cl:81/DataFiles/18515.pdf>
- Lucas, M; Martínez, E; García, F; López, F; Abellán M., Pérez, D. & Cerro, A. (2011). El cultivo de *Paulownia* (*Paulownia elongata* x *P. fortunei*) para la obtención de madera y biomasa en Castilla- La Mancha: primeros resultados. *Revista gestión Forestal*, No 4748 Especia Castilla-La Mancha.
- Lucas, M; Martínez, E; Abellán, M; García, F. & Candel, D. (2007). El cultivo forestal de *Paulownia spp*: Primeros resultados de su aplicación en Castilla La Mancha. Consultado 09 sep 2013. Disponible en: [paulownias.com/uploads/paulownia/1335028766\\_MELucasBorja\\_Libro\\_PAULOWNIA.pdf](http://paulownias.com/uploads/paulownia/1335028766_MELucasBorja_Libro_PAULOWNIA.pdf)

- MAE, (2006). Plan Nacional de Forestación y Reforestación. Consultado 4 sept 2013. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/>
- MAE, (2010). Aprovechamiento de los recursos forestales en el Ecuador 2007-2009. Quito-Ecuador. Consultado 5 sept 2013. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/>
- MAGAP, (2014). Visualizador de mapas temáticos a nivel provincial, escala 1:50 000 (en línea) Ecuador. Consultado 24 de abril 2014. Disponible en: <http://geoportal.magap.gob.ec/magap.gob.ec>
- MANUALDELOMBRICULTURA, 2010. Glosario Lombricultura y Ag. Orgánica. Consultado el 21 ene. 2015. Disponible en <http://www.manualdelombricultura.com/glosario/pal/137.html>
- Morales, D., Kleinn, C., Kunth, S. (2002). Manual de campo para el censo de árboles en potreros. Universität Göttingen. 25p.
- Mora, J. (2014). Densidad de Volumen y Aparente del Suelo. Consultado 20 ene. 2015 Disponible en: [www.agrarias.una.ac.cr/index.php/descargas.../36-edafologia?...207...3](http://www.agrarias.una.ac.cr/index.php/descargas.../36-edafologia?...207...3)
- Obregón, C. (2005). Gmelina arborea Versatilidad, Renovación y Productividad Sostenible para el Futuro Bogotá – Colombia 20 p.
- Paulownia, (2010). Manual del cultivo de Paulownia. Consultado 9 sept 2013. Disponible en: <http://paulownias.com.es.html>
- PAULOWNIAARGENTINA, 2011. Paulownia Argentina –Kiri. Consultado 11 sep. 2013. Disponible en: <http://www.paulowniaargentina.com.ar/>
- Ramos, R. (2003). Fraccionamiento de carbono orgánico del suelo en tres tipos de

uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica”. Tesis M.Sc. Turrialba, CATIE.

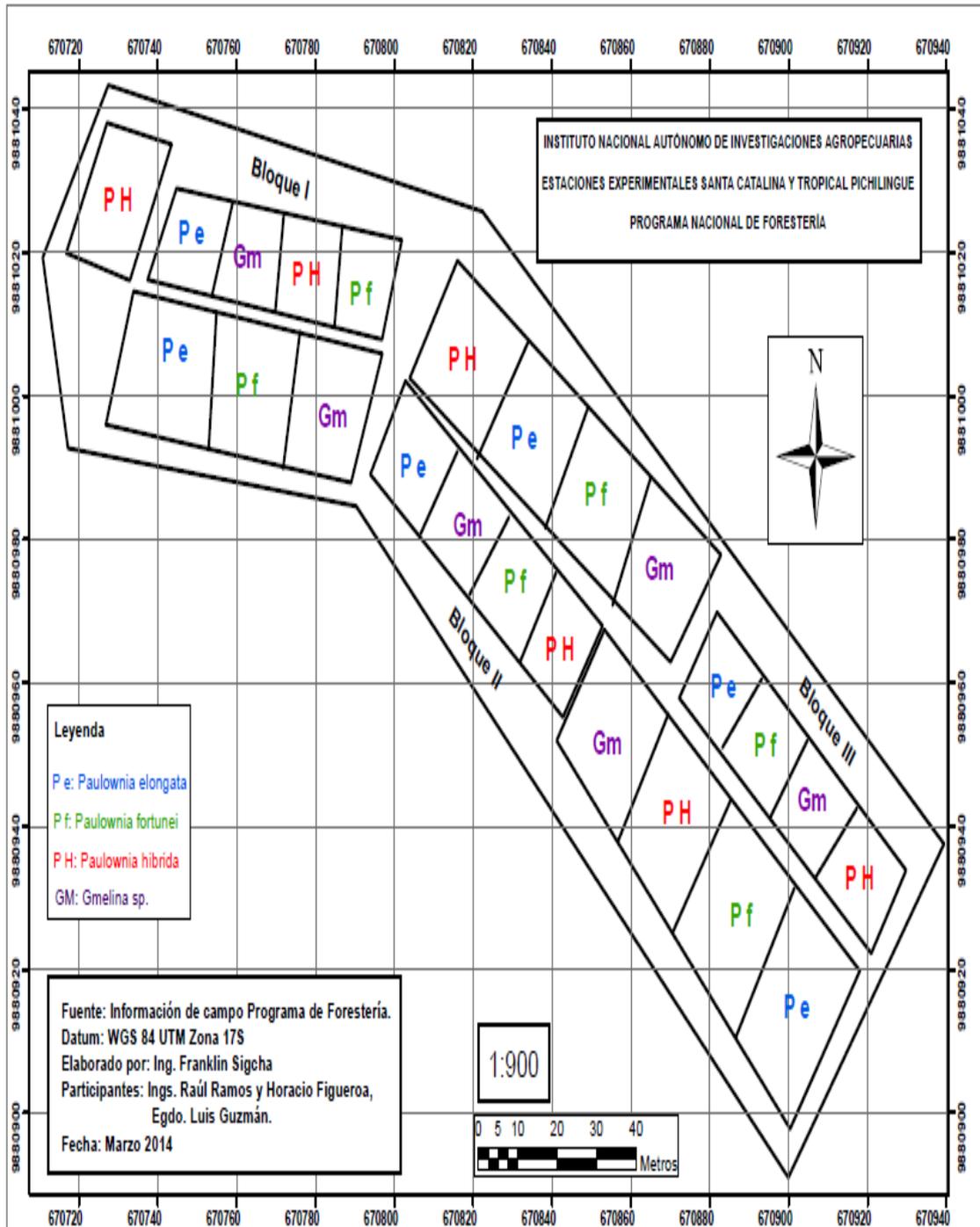
- Richter, D. & Calvo, J. (1995). ¿Es una plantación forestal un bosque? Revista Forestal Centroamericana. Turrialba-Costa Rica.
- Rioja, A. (2002). Citado por Pavón, (2010). ANEXO III. Análisis de Suelos. Disponible en:  
<http://www.ingenieriarural.com/Proyectos/AntonioPavon/05AnejoIII.pdf>
- Rizzo, P. (2000). Situación forestal y comercial del Ecuador. 24-25 p. Consultado 8 sep. 2013. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j4524s/j4524s00.pdf>
- Rizzo, P. (2006). Especies seleccionadas para la forestación: eucalipto tropical, teca, melina, pino caribe, guayacán, laurel, balsa, eucalipto glóbulos y pino. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Disponible en:  
[http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing%20rizzo/forestacion/especies\\_maderables.htm](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing%20rizzo/forestacion/especies_maderables.htm).
- Rojas, A. (2007). Paulownia: Valioso Género que Conquista el Mercado. Consultado 09 sep. 2013. Disponible en:  
<http://www.revista-mm.com/ediciones/rev59/paulownia.pdf>
- Rojas, F; Arias, D; Moya, R; Meza, A; Murillo, O. & Arguedas, M. (2004). Manual para productores de melina Gmelina arborea en Costa Rica Cartago – Costa Rica, 314 p
- Sánchez, G. (2003). La agricultura de conservación disminuye la compactación de los suelos. Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos (AEAC/SV). Consultado el 22 ene. 2015. Disponible en [www.aeac-sv.org](http://www.aeac-sv.org)

- SENPLADES, (2012). Transformación de la Matriz Productiva, Folleto Informativo, Quito-Ecuador, 20 pp.
- Sierra, C. & Rojas, C. (2008). La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo. Consultado 22 ene. 2015. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR29542.pdf>
- Spitler, T. (1995). Guía técnica para el inventario de bosques secundarios. Costa Rica. 20 p.
- Torres, R. & Magaña T. (2001). Evaluación de plantaciones forestales. México. 472 p. Editorial Limusa.
- Torres, C. (2002). Manual Agropecuario Tecnologías orgánicas de la granja Autosuficiente. Primera reimpresión. Bogotá-Colombia. 88 pp. Editorial Limerín
- THEFARM, (2013). The Paulownia Tree: An Alternative for Sustainable Forestry. Consultado 12 dic, 2014. Disponible en: [http://www.cropdevelopment.org/docs/PaulowniaBooklet\\_print.pdf](http://www.cropdevelopment.org/docs/PaulowniaBooklet_print.pdf)
- UCEDEX, (2007). La Paulownia como base de los cultivos energéticos. Consultado 9 sep. 2013. Disponible en: <http://www.icoitma.com/imagenes/imagenes-noticias/id258A.pdf>
- VITALIDEAS, (2010). La Deforestación. Consultado 10 sep. 2013. Disponible en: <http://www.vitalideas.info/es/deforestacion.php>
- Wareing, P. (2005). La fisiología del árbol en relación con la genética y sus aplicaciones. Consultado 5 ene. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/03650s/03650s07.htm#TopOfPage>
- Wayne, K. & Donald, G. (2004). Tree crops for marginal farmland. University of Tennessee. 31pp.

- Whitmore, J. (1998). The social and environmental importance of forest plantations with emphasis on Latin America. *Tropical Forest Science*. Pág.255-269. EE.UU.
- Zhao-Hua, Z., X. YaoGuo & Xin-Yu, L. (1986). *Paulownia in China; cultivation and utilization*. The Chinese Academy of Forestry. Beijing-China. 65p.

# XI. ANEXOS

## Anexo 1: Croquis del ensayo



## Anexo 2: Medición de variables de suelo.

### a. Registro del número de lombrices

Fecha época seca:			Fecha época lluviosa:		
Marco	Repetición	Especie	NÚMERO DE LOMBRICES		OBSERVACIONES
			Época seca	Época lluviosa	
4x4	1	<i>P. fort</i>			
		<i>P. elong</i>			
		<i>P. hibrida</i>			
		testigo			
	2	<i>P. fort</i>			
		<i>P. elong</i>			
		<i>P. hibrida</i>			
		testigo			
	3	<i>P. fort</i>			
		<i>P. elong</i>			
		<i>P. hibrida</i>			
		testigo			
3x3	1	<i>P. fort</i>			
		<i>P. elong</i>			
		<i>P. hibrida</i>			
		testigo			
	2	<i>P. fort</i>			
		<i>P. elong</i>			
		<i>P. hibrida</i>			
		testigo			
	3	<i>P. fort</i>			
		<i>P. elong</i>			
		<i>P. hibrida</i>			
		testigo			

**b. Registro para la compactación del suelo.**

Fecha evaluación: ...../...../.....				COMPACTACIÓN DE SUELO A DIFERENTES PROFUNDIDADES														
Marco	Bloque	Código	Especie	0-25cm					25,1-40cm					40,1-50cm				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
4x4	1		<i>P. fort</i>															
			<i>P. elong</i>															
			<i>P. hibrida</i>															
			<i>testigo</i>															
	2		<i>P. fort</i>															
			<i>P. elong</i>															
			<i>P. hibrida</i>															
			<i>testigo</i>															
	3		<i>P. fort</i>															
			<i>P. elong</i>															
			<i>P. hibrida</i>															
			<i>testigo</i>															
3x3	1		<i>P. fort</i>															
			<i>P. elong</i>															
			<i>P. hibrida</i>															
			<i>testigo</i>															
	2		<i>P. fort</i>															
			<i>P. elong</i>															
			<i>P. hibrida</i>															
			<i>testigo</i>															
	3		<i>P. fort</i>															
			<i>P. elong</i>															
			<i>P. hibrida</i>															
			<i>testigo</i>															

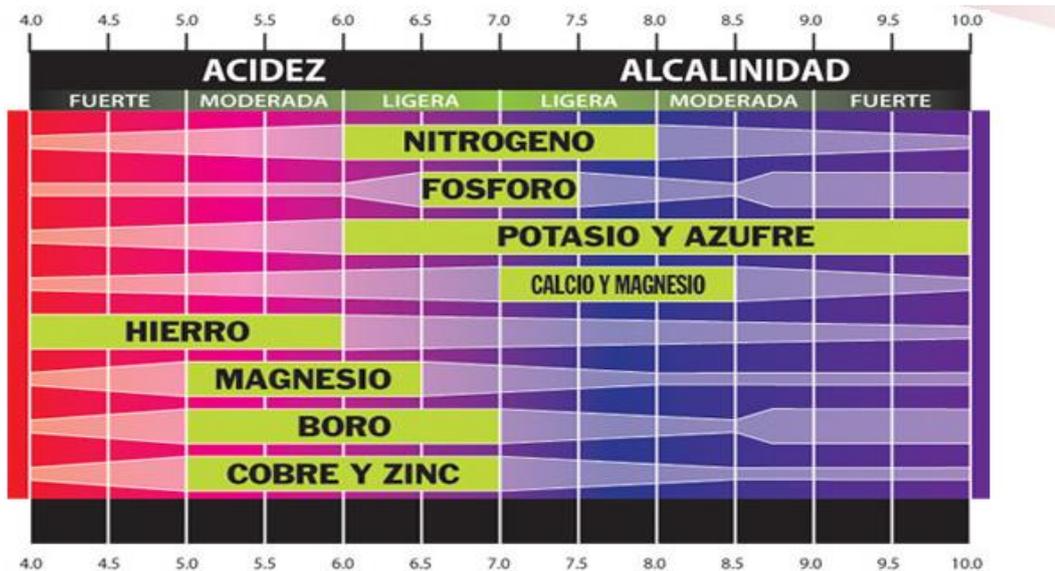








**Anexo 6. Diagrama de Troug, influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes**



**Fuente:** <http://www.agrogen.com.mx/troug.asp>

**Anexo 7. Interpretación del Nitrógeno Amoniacal en el suelo (ppm)**

Escala	Denominación
0 – 30 ppm.	Nivel bajo
30.1 – 60.0ppm.	Nivel medio
60.01 – 100.0ppm.	Nivel rico – alto
> 100.1ppm.	Muy rico

**Fuente:** INIAP, (2008).

**Anexo 8. Interpretación del Fósforo en el suelo (ppm)**

FOSFORO ASIMILABLE (ppm)	INTERPRETACIÓN
0-6	Muy bajo
6-12	Bajo
12-18	Normal o Medio
18-30	Alto
>30	Muy alto

**Fuente:** Rioja, A. (2002).

**Anexo 9. Interpretación del Potasio en el suelo (meq/100g)**

<b>Potasio (meq/100g)</b>	<b>Interpretación</b>
0.00-0.30	Muy bajo
0.30-0.60	Bajo
0.60-0.90	Normal
0.90-1.50	Alto
1.50-2.40	Muy alto

**Fuente:** Rioja, A. (2002).

**Anexo 10. Interpretación del Calcio en el suelo (meq/100g)**

<b>CALCIO (meq/100g)</b>	<b>Interpretación</b>
0-3.5	Muy bajo
3.5-10	Bajo
10-14	Normal
14-20	Alto
>20	Muy alto

**Fuente:** Rioja, A. (2002).

**Anexo 11. Interpretación del Magnesio en el suelo (meq/100g)**

<b>MAGNESIO (meq/100g)</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
0.0-0.6	Muy bajo
0.6-1.5	Bajo
1.5-2.5	Normal
2.5-4.0	Alto
>4.0	Muy alto

**Fuente:** Rioja, A. (2002).

**Anexo 12. Interpretación del Azufre en el suelo (ppm)**

<b>Azufre asimilable (ppm)</b>	<b>Interpretación</b>
<12	Bajo
12-24	Moderado o medio
>24	Alto

**Fuente:** INTA, (2000).

**Anexo 13. Interpretación del contenido de elementos menores en el suelo (ppm)**

<b>Fe(ppm)</b>	<b>Mn(ppm)</b>	<b>Cu(ppm)</b>	<b>Zn(ppm)</b>	<b>B(ppm)</b>	<b>Interpretación</b>
<25	<5,0	<1,0	<1,5	0,0-0,2	Bajo
25-50	5,0-10	1,0-3,0	1,5-3,0	0,2-0,4	Medio
>50	>10	>3,0	>3,0	>0,4	Alto

**Fuente:** ICA, (1992).

**Anexo 14. Interpretación de la Materia Orgánica en el suelo (%)**

<b>Materia orgánica (%)</b>	<b>Interpretación</b>
<0.9	Muy Bajo
1.0-1.9	Bajo
2.0-2.5	Normal
2.6-3.5	Alto
>3.6	Muy Alto

**Fuente:** Rioja, A. (2002).