



**UNAP**



**FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

**TESIS**

**“NIVELES DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN CAOBA  
(*Swietenia macrophylla* King) DESARROLLADA A NIVEL DE  
INVERNADERO EN EL DISTRITO DE LA BANDA DE  
SHILCAYO – SAN MARTIN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:  
MAGNA RUBI SALAS GUERRA**

**ASESOR  
Ing. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS**

**IQUITOS, PERÚ**

**2019**



**UNAP**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 022-EFPA-FA-UNAP-2019**

En Iquitos, a los 20 días del mes de Junio del 2019, a horas 5pm el Jurado designado por la Escuela de Formación Profesional de Agronomía, intergrado por los Señores Miembros que a continuación se indica:

ING. ANA MARIA RENGIFO PANDURO, Dra.	PRESIDENTE
ING. ARMANDO VASQUEZ MATUTE, M.Sc.	MIEMBRO
ING. JORGE ENRIQUE BARDALES MANRIQUE, Dr.	MIEMBRO
ING. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS	ASESOR

Se constituyeron en el Auditorio de la Facultad de Agronomía, para escuchar la sustentación de la Tesis titulada: **“NIVELES DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN CAOBA (*Swietenia macrophylla King*) DESARROLLADA A NIVEL DE INVERNADERO EN EL DISTRITO DE LA BANDA DE SHILCAYO – SAN MARTIN**”, presentada por la Bachiller **MAGNA RUBI SALAS GUERRA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRONOMO** que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

Después de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: a satisfacción

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes en privado, llegó a las siguientes conclusiones:

La tesis ha sido aprobada por mayoría  
Siendo las 6:30pm se dio por terminado el acto felicitando  
a la sustentante por su trabajo.

ING. ANA MARIA RENGIFO PANDURO, Dra.  
PRESIDENTE

ING. ARMANDO VASQUEZ MATUTE, M. Sc.  
MIEMBRO

ING. JORGE ENRIQUE BARDALES MANRIQUE, Dr.  
MIEMBRO

ING. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS  
ASESOR

*Somos la Universidad licenciada más importante de la Amazonia del Perú, rumbo a la acreditación*

Samanez Ocampo N° 185 - Telef. 234140 - Maynas - Loreto  
<http://www.unapiquitos.edu.pe> - e-mail: [agronomia@unapiquitos.edu.pe](mailto:agronomia@unapiquitos.edu.pe)



**JURADO Y ASESOR**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

Tesis aprobada en sustentación pública el día 20 de junio del 2019; por el jurado ad-hoc designado por la Facultad de Agronomía.

**INGENIERO AGRÓNOMO**

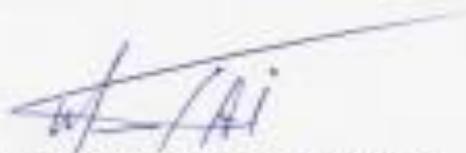


**ING. ANA MARIA RENGIFO PANDURO, Dra.**  
**PRESIDENTE**



**ING. ARMANDO VASQUEZ MATUTE, M.Sc.**  
**MIEMBRO**

**ING. JORGE ENRIQUE BARDALES MANRIQUE, Dr. (+)**  
**MIEMBRO**



**ING. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS**  
**ASESOR**



**ING. FIDEL ASPAÑO VARELA, M.Sc.**  
**DECANO**

## DEDICATORIA

A Dios, por concederme la vida, salud, fortaleza, bondad y amor. A mis padres JUAN JOSE SALAS CAYAJANO y REYLI GUERRA SANGAMA, por el amor, el apoyo incondicional que me brindan; por la confianza que depositaron en mí y los ejemplos de perseverancia y convivencia que contribuyeron con mi formación profesional.

Con mucho cariño y amor a mi pareja LUCAS GONZALES SANDOVAL y a mi hijo LUCAS MATEO, por ser mi fuerza y fortaleza para seguir superándome. Mis hermanos PALI CESAR, LELY LUZ, MERLIN, JUAN JOSE Y ANNEY SALAS GUERRA, por los consejos constructivos y fortalecedores que me brindaron en este largo trajinar de mi vida.

Con profunda y eterna gratitud a mis amigos Cesar Luis Azabache, Iván Cruz del Águila y a todos aquellos que en forma directa o indirecta me apoyaron en la realización de este trabajo.

## AGRADECIMIENTO

- A La Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP)**, por darme la acogida en sus ambientes laborales y a los docentes de la Facultad de Agronomía que me enseñaron a valorar mis estudios y formar parte de mi superación profesional.
- A Al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP)** por proporcionarme la facilidad de realizar la tesis, por los equipos y sus instalaciones que contribuyeron para el desarrollo de esta investigación.
- Al Ing. Manuel Ávila Fucos M.Sc.**, asesor, por su asesoramiento en este trabajo de investigación, por las sugerencias respectivas y el apoyo incondicional brindado que enriquecieron el trabajo.
- Al Ing. Héctor Guerra Arévalo M.Sc.**, co – asesor, investigador IIAP, por brindarme sus conocimientos invaluable, experiencia, sabiduría y por todo el apoyo que recibí durante el tiempo que duró la ejecución de la tesis.
- A Mis padres Juan José Salas Cayajano y Reyli Guerra Sangama**, por el amor, los consejos y el apoyo moral que contribuyeron en la formación de mi carrera profesional.

## ÍNDICE

### Página

PORTADA .....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	ii
JURADO Y ASESOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	x
RESUMEN.....	xi
ASBTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas .....	3
1.3. Definición de términos básicos.....	8
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	24
2.1. Formulación de la hipótesis .....	24
2.1.1. Hipótesis general.....	24
2.1.2. Hipótesis específica.....	24
2.2. Variables y su operacionalización .....	24
2.2.1. Definición de las variables .....	24
2.2.2. Operacionalización de las variables.....	25
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	26
3.1. Tipo y diseño .....	26
3.1.1. Tipo de investigación.....	26
3.1.2. Diseño de la investigación .....	26
3.2. Diseño muestral.....	27
3.2.1. Población.....	27
3.2.2. Muestra .....	27
3.2.3. Muestreo .....	27
3.3. Procedimientos de recolección de datos.....	28
3.3.1. Instrumentos de recolección de datos .....	28
3.3.2. Características del campo experimental .....	29

3.3.3. Manejo agronómico del cultivo .....	29
3.3.4. Instrumento y evaluación .....	31
3.4. Procesamiento y análisis de los datos .....	33
3.5. Aspectos éticos.....	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	34
4.1. Evaluaciones biométricas .....	34
4.1.1. Resumen del análisis de variancia de los tratamientos.....	34
4.1.2. Altura de la planta (cm).....	34
4.1.3. Diámetro del tallo (mm) .....	36
4.1.4. Peso húmedo total de la planta (gr) .....	39
4.1.5. Longitud de la raíz (cm).....	41
4.1.6. Área foliar de la planta (cm <sup>2</sup> ) .....	41
4.2. Evaluaciones sintomatológicas .....	43
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	59
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES .....	62
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES .....	63
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN .....	64
ANEXOS .....	68
Anexo 1. Datos originales .....	69
Anexo 2. Croquis de la ubicación de los tratamientos y repeticiones .....	73
Anexo 3. Fotos del trabajo de investigación realizada .....	74
Anexo 4. Formato utilizado para la identificación de los datos sintomatológicos obtenidos por la ausencia de algún elemento faltante. ....	78

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Resumen del análisis de variancia de los tratamientos según variable.....	34
Cuadro 2. Análisis de varianza de la altura promedio de la planta de caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> King.).....	34
Cuadro 3. Análisis de varianza del diámetro del tallo promedio de la planta de caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> King.).....	36
Cuadro 4. Análisis de varianza del peso húmedo total promedio de la planta de caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> King). ....	39
Cuadro 5. Análisis de varianza de la longitud de la raíz promedio de la planta de caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> King). ....	41
Cuadro 6. Análisis de varianza del área foliar promedio de la planta de caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> King).....	41
Cuadro 7. Concentraciones de nutrientes en mg/L (ppm) por elemento químico, según técnica de los elementos faltantes. Utilizada en el presente estudio. ....	69
Cuadro 8. Volúmenes de soluciones concentradas para preparar 1 litro de soluciones nutritivas según tratamiento para macronutrientes, en plantaciones de caoba, mediante la Técnica de los Elementos Faltantes.....	69
Cuadro 9. Volúmenes de soluciones concentradas para preparar 1 litro de soluciones nutritivas según tratamiento para micronutrientes, en plantaciones de caoba, mediante la Técnica de los Elementos Faltantes.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1. Tratamientos en estudio.....	26
Tabla 2. ANOVA del estudio. ....	27
Tabla 3. Comparación de medias de TUKEY de la Variable: Altura de la planta. ....	70
Tabla 4. Comparación de medias de TUKEY de la variable: Diámetro del cuello de la planta .....	71
Tabla 5. Comparación de medias de TUKEY de la variable: peso húmedo total de la planta.....	71
Tabla 6. Comparación de medias de TUKEY de la variable: longitud de la raíz.....	72
Tabla 7. Comparación de medias de TUKEY de la variable: Area foliar.....	72

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
Gráfico 1. Longitud del tallo promedio de caoba (Swietenia macrophylla King.) .....	36
Gráfico 2. Diámetro promedio del cuello de la planta de caoba (Swietenia macrophylla King.) .....	37
Gráfico 3. Peso húmedo total promedio de las plantas de caoba según tratamiento.....	40
Gráfico 4. Muestra el área foliar de las plantas de caoba según tratamiento. ....	42

## RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló en el invernadero de propagación vegetativa del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, ubicado en el departamento y provincia de San Martín, distrito Banda de Shilcayo, centro poblado de Bello Horizonte – Pucayacu, el cual brindamos un alcance sobre el “estudio de deficiencias nutricionales en caoba (*Swietenia macrophylla* king) desarrollada a nivel de invernadero en el distrito de la Banda de Shilcayo - San Martín”, Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A). Evaluando 12 tratamientos y un control, con cuatro repeticiones en cuadrado con la técnica de elementos faltantes. Los tratamientos son T0 Presente macro y micro nutrientes (Control), T1 Nitrógeno (N), T2 Fosforo (P), T3 Potasio (K), T4 Calcio (Ca), T5 Magnesio (Mg), T6 Azufre (S), T7 Hierro (Fe), T8 Manganeso (Mn), T9 Boro (B), T10 Zinc (Zn), T11 Cobre (Cu) y T12 Molibdeno (Mo). Se utilizó semillas botánicas de caoba, posteriormente se preparo los sustratos para el llenado de bolsas almacigueras en proporciones de 1:1:1 (Tierra agrícola, cascarilla carbonizada y compost). Los resultados de nuestro estudio muestran de acuerdo a la técnica del elemento faltante en el presente estudio de deficiencias nutricionales, se identificó a los tratamientos de hierro y nitrógeno con mayores síntomas de deficiencias obtenidas, los tratamientos T1, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 y T12, presentaron una evidencia mayor de síntomas cloróticos en las hojas de las plantas. El tratamiento T1 igual mostro un crecimiento lento. El tratamiento T1, T2, T8 y T9 presentaron deficiencias de colores anormales visibles en hojas.

**Palabras clave:** semilla botánica, macro y micro nutrientes, elemento faltante

## ASBTRACT

The research work was carried out in the vegetative propagation greenhouse of the Peruvian Amazon Research Institute, located in the department and province of San Martín, Banda de Shilcayo district, Bello Horizonte - Pucayacu, which we provide a scope on the "study of nutritional deficiencies in mahogany (*Swietenia macrophylla* king) developed at greenhouse level in the district of the Banda de Shilcayo - San Martín", We used a Completely Random Design (DCA). Evaluating 12 treatments and one control, with four repetitions in square with the technique of missing elements. The treatments are T0 Present macro and micro nutrients (Control), T1 Nitrogen (N), T2 Phosphorus (P), T3 Potassium (K), T4 Calcium (Ca), T5 Magnesium (Mg), T6 Sulfur (S), T7 Iron (Fe), T8 Manganese (Mn), T9 Boron (B), T10 Zinc (Zn), T11 Copper (Cu) and T12 Molybdenum (Mo). Mahogany botanical seeds were used, later the substrates were prepared for the filling of storage bags in proportions of 1: 1: 1 (agricultural land, charred husk and compost). The results of our study show according to the technique of the missing element in the present study of nutritional deficiencies, iron and nitrogen treatments were identified with greater symptoms of deficiencies obtained, treatments T1, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 and T12, presented a greater evidence of chlorotic symptoms in the leaves of the plants. T1 treatment showed a slow growth. The treatment T1, T2, T8 and T9 showed deficiencies of abnormal colors visible on leaves.

**Keyword:** botanical seed, macro and micro nutrients, missing element.

## INTRODUCCIÓN

La selva tropical de la Amazonia Peruana está constituida por un amplio sistema biodinámico, estos están sujetos a un conjunto de factores agro – ecológicos y socioeconómicos. Es cierto que las instituciones nacionales e internacionales públicas y privadas se han preocupado por los problemas de la utilización inadecuada de los recursos naturales y la poca información existente para el desarrollo y crecimiento de plantaciones de caoba; por lo que buscan inducir nuevas tecnologías apropiadas que permitan generar un mejor desarrollo y crecimiento poblacional de estas especies.

Los problemas y obstáculos que presentan las plantaciones de caoba en cuanto a plagas y enfermedades, debido a la deficiencia de nutrientes, han disminuido significativamente en la fisiología reduciendo la producción comercial en la amazonia. Es por eso que el tema nutricional de las plantas forestales tiene un alto índice de relevancia para dicha producción. Por lo general, cuando un nutriente esencial no está dentro del rango óptimo en la planta, se producirá su deficiencia que afectará en diferentes eventos como la fotosíntesis, respiración, síntesis de proteínas, translocación de fotosintatos, etc.

Esta deficiencia genera una sintomatología típica en las plantas, que inicialmente aparecen como clorosis, necrosis, deformación y coloración atípica de hojas, que pueden conducir a la muerte prematura.

El presente estudio tiene por propósito establecer las sintomatologías de las deficiencias producidas por la falta de un elemento esencial, que ayude a los técnicos y productores a diagnosticar y corregir a tiempo las deficiencias a través de la aplicación de los fertilizantes que

aporten el nutriente o nutrientes. La técnica del elemento faltante es una de las metodologías más apropiadas para llevar a cabo este estudio de deficiencias nutricionales en caoba.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

**PIRIZ et al (1)**, afirman que las semillas conservan el poder germinativo durante 2 o más años, si se almacenan a 4°C, aproximadamente.

**FINOL (2)**, dice que almacenadas estas semillas a 4 °C conservan la viabilidad por más de 5 años.

La semilla de esta especie pierde su viabilidad en 45 días si no se almacena debidamente. Sin embargo, si se almacena en latas con carbón en polvo y éstas se entierran 40 centímetros bajo el suelo, la viabilidad dura hasta 132 días, con un 70 a 72% de germinación.

### 1.2. Bases teóricas

#### Del cultivo en estudio

#### Generalidades

#### Distribución geográfica y ecológica de la caoba

**TRIGOSO et al (3)**, mencionan que el rango de distribución natural de la caoba (*Swietenia macrophylla*) en el Perú comprende el ámbito de 9 regiones del país: Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Huánuco, Junín, Cuzco, Madre de Dios y Puno.

Según **BARRERA y VARGAS (4)**, Entre las condiciones edafoclimáticas se mencionan: la altitud de hasta 750 msnm., con precipitaciones de entre 1600 a 4000 mm anuales; con suelos de origen calizo o aluvial, soporta mal drenaje; clima cálido húmedo y temperatura media anual: 23-28°C; en el Perú, se encuentra distribuida en las zonas bosque seco Tropical y bosque húmedo tropical, de igual forma, en la franja Subtropical.

### **Clasificación taxonomía**

Según **CRONQUIST (5)**, la posición taxonómica de *Swietenia macrophylla* King (caoba), es la siguiente:

División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Magnoliidae
Orden	:	Sapindal
Familia	:	Meliácea
Género	:	<i>Swietenia</i> jacq.
Especie	:	<i>Swietenia macrophylla</i> king.

### **Características biológicas**

**JIMÉNEZ (6)**, informa que la caoba es un árbol de gran tamaño, tiene una altura prolongada a más de 30 m y 1.5 m de diámetro en el tronco. Con fuste recto cilíndrico, ligeramente cuadrangular.

La raíz es regular pivotante y la copa es grande densa redonda y globosa y puede llegar a medir hasta 40 m de diámetro. Las hojas de color verde oscuro son paripinnadas, alternas sin estípulas, sus folíolos son asimétricos.

Corteza. La parte externa de color café rojizo oscuro con muchas fisuras profundas a lo largo del fuste, la corteza interna es de un color rosado rojizo hasta cafésáceo.

**PENNINGTON (7)**, de igual forma indica que es monoica, con flores masculinas que se abren después de las femeninas, para fomentar la polinización cruzada (el sistema de apareamiento de la especie es eminentemente exógamo).

## **Factores determinantes para la propagación de la caoba**

### **Producción por semilla**

Recolección. Las semillas se recolectan directamente del árbol, mediante el escalamiento del mismo, utilizando una vara podadora para cortar las ramas con el fruto maduro. Los frutos se deben recolectar antes de que estos abran, ya que cuando esto sucede se dificulta la recolección de las semillas desde el suelo debido a que son dispersadas por el viento.

Manejo de frutos y semillas. En el lugar de procesamiento, se colocan los frutos al sol sobre mantas de lona o bien sobre láminas o en patios de secado por un período de dos a tres días a pleno sol, lo que facilita la separación de las semillas de los frutos. Con el fin de eliminar impurezas, manualmente se separan las alas de las semillas, las que quedan listas para la siembra o almacenamiento.

Calidad física de la semilla. Un fruto contiene un promedio de 48 semillas de 1.5 a 1.8 cm de diámetro y un promedio de 3.5 cm de largo, éstas son de color café. Un kilogramo contiene un promedio de 2100 semillas, las cuales poseen una capacidad germinativa promedio de 86%.

Almacenamiento. La semilla recién recolectada tiene un promedio del 86% de germinación, la cual desciende rápidamente almacenada en condiciones ambientales normales. **Proyecto PD 022/99 Rev.2 (8).**

### **Producción en vivero**

#### **Siembra y germinación:**

Las semillas se siembran en envases previamente llenos con tierra arenarcillosa rica en materia orgánica, colocándolas hasta unos 3 o 4 cm de profundidad, con la parte donde está alojado el embrión hacia abajo y el ala

hacia arriba. Se ha observado que, en las semillas sembradas en suelo arcilloso, o bien en las colocadas muy profundamente, queda la plúmula al producirse la germinación, oprimida por los cotiledones y se forma el llamado "Cuello de ganso".

Para evitar esta anomalía algunos viveristas de Cuba colocan las semillas que deben germinar en un "Lecho de germinación" de aserrín y cuando la semilla germina, siembran una en cada envase, colocando la radícula en posición vertical.

La germinación de la semilla de Caoba Hondureña es epigea; se inicia entre 15 a 20 días después de la siembra y se prolonga por espacio de 30 días o más. Si se siembran las semillas a principios de febrero, las posturas alcanzan buen tamaño para ser plantadas al establecerse las lluvias, en junio o principios de julio.

### **Repique.**

Después de la germinación, el repique se realiza de los 25 hasta 34 días, o cuando las plántulas presentan dos pares de hojas verdaderas. El repique se realiza en bolsas negras de polietileno de 7 x 8, preferiblemente en las primeras horas de la mañana o últimas de la tarde. Antes del repique debe aplicarse un riego por aspersión a las cajas germinadoras para facilitar la extracción de las plántulas y evitar daños en el sistema radicular, y otro riego inmediatamente después del repique para obtener mayor prendimiento (96%).

Manejo de plántulas. Después del repique, las plántulas permanecen bajo umbráculos con una sombra promedio de 50%; después de tres a cuatro meses son trasladadas al área de lignificación en la cual permanecen de tres a cuatro meses más. **Proyecto PD 022/99 Rev.2 (8).**



### 1.3. Definición de términos básicos

#### **Técnica del elemento faltante**

**FAIRHURST y WITT (9)**, define que el elemento faltante es una metodología que busca proporcionar nutrientes a la planta. Como y cuando lo necesita. Esta metodología permite ajustar dinámicamente el uso de fertilizantes químicos para, llevar efectivamente la deficiencia que ocurre entre la necesidad total de nutrimentos para obtener rendimientos altos y el aporte de nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo.

Esta deficiencia debe estar estabilizada con la aplicación de fertilizantes químicos. De esta forma se busca aplicar los nutrientes en dosis óptimas y al momento adecuado para obtener altos rendimientos y eficiencia en uso de los nutrientes para las plantaciones, buscando obtener la mayor producción por unidad de fertilizantes químicos aplicado.

**RANERO (10)**, ha manejado rutinariamente la “técnica del elemento faltante montando ensayos para prueba de correlación entre la respuesta del vegetal y la aplicación de nutrientes en el invernadero, obteniendo resultados que manifiestan que esta técnica bien conducida proporciona datos reales de las muestras bajo estudios.

#### **Nutrición mineral**

Según **BARCELÓ et al (11)**, la nutrición mineral de las plantas es parte de la Fisiología Vegetal que estudia los procesos relacionados con la adquisición de los elementos minerales y el papel que estos elementos desempeñan en la vida de las plantas. **GLASS**, citado por **BARCELÓ (11)**, adoptó la clasificación que organiza los elementos macronutrientes y micronutrientes en cuatro grupos:

Grupo I. Componentes biológicos (carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos) e intermediarios metabólicos: C, H, O, N, S, P.

Grupo II. Activadores enzimáticos; elementos requeridos para la activación de enzimas específicos: K, Ca, Mg, Mn, Zn.

Grupo III. Reactivos redox; elementos que catalizan reacciones redox por medio de diversos estados de valencia: Fe, Cu, Mo.

Grupo IV. Elementos de función incierta: B, Cl.

### **Nutrición mineral de las plantas en soluciones nutritivas**

Las soluciones nutritivas son completas cuando contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto crecimiento, desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos, o semillas, la planta crece normalmente, y no presenta síntomas de deficiencia cuando la solución nutritiva carece de un elemento nutritivo esencial las plantas presentan deficiencias en su crecimiento y desarrollo además de los síntomas que los caracterizan según el elemento faltante. **HOAGLAND & ARNON (12)**.

Además de los elementos que los vegetales extraen del aire y del agua (Carbono, Hidrógeno y Oxígeno) ellos consumen en diferentes proporciones los siguientes elementos pudiendo clasificarse en:

<b>Elementos Mayores</b>	<b>Elementos Intermedios</b>	<b>Elementos Menores</b>
Nitrógeno	Azufre	Hierro
Fosforo	Calcio	Manganeso
Potasio	Magnesio	Cobre
		Zinc
		Boro
		...

Además de los elementos esenciales citados hay otros elementos útiles, pero no indispensable para la vida de las plantas: Cloro, Sodio y Silicio. Asimismo, se consideran otros elementos que son asimilados innecesarios para las

plantas, pero necesario para los animales que lo consumen como el: Yodo y Cobalto. Por otro lado también hay elementos que se asimilan y son tóxicos para la planta como el Aluminio.

### **Nutrición forestal**

La sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas forestales se sustenta en el mantenimiento natural de los ciclos de nutrientes, aunque por otro lado el aprovechamiento forestal altera los flujos de nutrientes en los bosques y en ocasiones los efectos pueden resultar irreversibles, produciendo alteraciones importantes de la productividad y de otras funciones. SOSCO et al, 2004. las prácticas de manejo de la nutrición forestal integran los procesos a las decisiones y operaciones de éste. Un manejo intensivo de nutrientes de los bosques permite hacer inversiones más útiles y reducir al mínimo los efectos adversos que pudiera producir dicho manejo sobre la disponibilidad de nutrientes. En general, la integración de la circulación de los nutrientes con el manejo de los bosques comienza con un conocimiento profundo de la actividad fisiológica y de los patrones básicos de la circulación de cada uno, para de esta manera tener un mejor aprovechamiento de la fertilidad del sitio, con lo cual se podrá evaluar si ciertas prácticas forestales son sostenibles y así adaptar las técnicas forestales para conseguir los objetivos deseados conservando el ecosistema lo mejor posible.

### **Efecto de los macro elementos en el crecimiento de las plantas**

Los macronutrientes también llamados elementos mayores, son el N, P, K, Ca, Mg, y S, y su contenido en los vegetales se expresa en valores porcentuales, mientras que los micronutrientes o elementos menores, que constituye el resto, se expresan en partes por millón. Esta clasificación es arbitraria, hay autores que clasifican al Fe como macro nutriente y no implica desviación alguna de los

critérios de esencialidad enunciados. Ciertos elementos, sin ser esenciales, son beneficiosos para algunas plantas. Así sucede con el silicio en las gramíneas, con el sodio en algunas especies de diversas familias, y con el cobalto en las leguminosas moduladas.

**Nitrógeno.** Es considerado como el cuarto elemento más abundante en vegetales después de carbono, hidrógeno y oxígeno. **SÍVORI et al (13)** menciona que es más común que la mayoría de los suelos sean deficientes en N que en los otros elementos. Es necesario para la síntesis de la clorofila y, como parte de la molécula de clorofila, tiene un papel en el proceso de fotosíntesis. El nitrógeno (N) es también un componente de las vitaminas y sistemas de energía de la planta. Las cantidades elevadas de nitrógeno generalmente determinan un color verde oscuro y abundancia del follaje, con un sistema radical pobremente desarrollado.

**Fosforo.** Según **SÍVORI et al (13)**, el fósforo se absorbe en las plantas como ion fosfato monovalente, y en menor medida como divalente. Una parte sustancial del fosfato se incorpora a compuestos orgánicos al entrar en las raíces o luego de ser transportados a través del xilema a la parte aérea. El pH bajo favorece la forma  $H_2PO_4^-$ , y pH elevado, la forma  $HPO_4^{2-}$ . Fundamentalmente es absorbido en la forma ácida. Al contrario que los otros elementos tomados también en forma aniónica, nitrato y sulfato. El fosfato no necesita ser reducido en el interior de la célula antes de ser incorporado en compuestos orgánicos. Entre las moléculas que contienen P se incluyen los azúcares-fosfato, nucleótidos, ácidos nucleicos, adenosin-fosfosfos (AMP, ADP, ATP) y Piridina nucleótidos (NAO, NADP), fosfolípidos, por lo que participa en todas las reacciones energéticas del metabolismo, procesos anabólicos y transferencia de las características hereditarias. El fósforo forma parte también de otros componentes de las plantas como el piridoxal fosfato,

que actúa como coenzima en los sistemas de transaminación, y ácido fítico, principal forma de reserva de fósforo de las semillas. Su presencia en los azúcares - fosfato y coenzimas es muy importante porque en ellos este elemento permite que los azúcares sean metabolizados por la planta, y porque además estos actúan como transportadores de energía.

**Potasio.** Según **SÍVORI et al (13)**, este elemento es requerido por la mayoría de las plantas en cantidades relativamente grandes. El principal papel del K es el de actuar como activador de numerosas enzimas entre los que podemos citar: acético tiokinasa, aldolasa, piruvato kinasa, succinil-CoA sintetasa, ATPasa, El potasio también parece desempeñar un papel importante en el transporte de azúcares por el floema. También hay la aceptación de que el potasio cumple el papel en los mecanismos de reguladores de la abertura y cierre de estomas. Así como el N y el P, el K se redistribuye fácilmente de los órganos maduros a los más jóvenes.

**Calcio.** **SÍVORI et al (13)**, refiere que parte de este elemento se encuentra en la planta dentro de las vacuolas, donde a menudo precipita como cristales de oxalato de calcio. A veces se encuentran depósitos sólidos de oxalato de calcio y aun de carbonato de calcio a lo largo de los haces vasculares de las hojas, y en algunos casos probablemente se forman sales de calcio insolubles con iones sulfato y fosfato. También se encuentra calcio en las paredes celulares, donde se cree que forma sales relativamente insolubles al reaccionar con los ácidos pépticos de la laminilla media.

**Magnesio.** **SÍVORI et al (13)**, refiere que, este elemento parece desempeñar por lo menos dos papeles importantes en las plantas verdes. Es parte integrante de la molécula de clorofila y por ello esencial, Las raíces y los microorganismos también requieren Mg, pero en estos casos su principal función es la activación de numerosas enzimas. Se conoce, por ejemplo, su

acción sobre las que actúan en reacciones que utilizan la energía del ATP (cinasas). Probablemente el Mg se combine con el ATP, facilitando así la ruptura de los enlaces. También actúa como activador de algunas enzimas del ciclo de Krebs, en la activación y síntesis de ácidos grasos, en la síntesis de nucleótidos purínicos y en muchas otras reacciones individuales. También es esencial que haya cantidades apropiadas de Mg para mantener la estructura de los ribosomas, orgánulos subcelulares que llevan a cabo la síntesis de proteínas.

Según **DEVLIN (14)**, dos funciones esenciales desempeñadas en las plantas por el magnesio corresponden a los importantes procesos de la fotosíntesis y del metabolismo glúcido. El magnesio forma parte de la molécula de clorofila, sin la cual la fotosíntesis no podría realizarse. Muchos de las enzimas que intervienen en el metabolismo glúcido necesitan magnesio como activador.

**Azufre.** De acuerdo con **SÍVORI et al (13)**, el azufre se absorbe como ion sulfato bivalente. Se metaboliza en las raíces solo en la medida en que ellas lo necesitan para su propio metabolismo, y la mayor parte del  $SO_4^{2-}$  se traslada como tal a la parte aérea. Allí se incorpora a compuestos orgánicos para dar productos azufrados de los cuales, los más importantes, son los aminoácidos de cuya molécula forma parte. Estos son incorporados a las proteínas, algunas de las cuales contienen grupos -SH en sus sitios de actividad enzimática. Entre otros compuestos importantes que contienen azufre se hallan la coenzima A y las vitaminas tiamina y biotina.

### **Efecto de los micro elementos en el crecimiento de las plantas**

Los micronutrientes también llamados elementos menores, son el Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B y sus contenidos en los vegetales se expresa en partes por millón. Esta clasificación es arbitraria, hay autores que clasifican al Fe como macro

nutriente y no implica desviación alguna de los criterios de esencialidad anunciadas. Cierta elemento sin ser esenciales, son beneficiosos para algunas plantas. Se ha sugerido que algunos otros elementos podrían tener efectos favorables e incluso ser esenciales, pero no existen pruebas concluyentes de esas afirmaciones.

Las concentraciones más bajas de los micronutrientes se reflejan en su función como constituyentes de los grupos protéticos en las metaloproteínas y como activadores de reacciones enzimáticas. Su presencia en grupos prostéticos permite que éstos catalicen procesos redox por transferencia de electrones (principalmente los elementos de transición Fe, Mn, Cu y Mo).

Los micronutrientes también forman complejos enzimáticos ligando una enzima con un sustrato (Fe y Zn). Al momento se conoce también que varios micronutrientes (Mn, Zn y Cu) están presentes en las isoenzimas superóxido dismutasa (SD), las cuales actúan como un sistema de protección de las biomembranas, ADN, clorofila y proteínas.

Según **SALISBURY (15)**, en el contenido relativo de cada elemento no es el mismo en las distintas especies vegetales, ni en una misma especie en distintas condiciones de cultivo, ni tampoco en los distintos órganos de una misma planta.

### **Deficiencia nutricional**

**LANDIS (16)**, denomina una deficiencia nutricional cuando un nutriente está presente en bajas concentraciones en el tejido vegetal de una planta y es limitada para ejecutar su crecimiento. Al marco inferior de este intervalo de deficiencia la planta frecuentemente muestra anomalías visibles, tales síntomas de deficiencia son característicos de la deficiencia de un nutriente en especial para su crecimiento y desarrollo del vegetal.

El mismo autor, informa que en caso contrario cuando las concentraciones de nutrientes en el tejido de las plantas alcanzan niveles extremadamente elevados, puede acontecer toxicidad nutricional, y el crecimiento de la planta puede disminuir; en casos extremos, las concentraciones excesivas de nutrientes, incluso pueden causar la muerte.

### **Balance nutricional**

**MARSCHNER (17)**, informa que el concepto tradicional de “fertilización balanceada”, consideran sólo tres nutrientes N, P y K para la obtención de altos rendimientos de las cosechas, en la mayoría de los cuales no han llegado a ser sostenibles.

El mismo autor, informa que todos los elementos que al ser omitidos detienen el desarrollo de la planta, no pueden ser reemplazados por otro y están involucrados directamente en el metabolismo y determinados como nutrientes de la planta. En total hay 14 elementos que cumplen con estos criterios. Estos nutrientes son, todos, igual de importantes para la planta, aunque algunos de ellos se presentan en diferentes concentraciones en los tejidos de la planta.

### **Criterios establecidos para definir a un elemento como esencial.**

**ARNON y STOUT (18)**, indica que el criterio de esencialidad para establecer si un nutrimento es esencial la composición mineral de las plantas, desarrolladas en diferentes suelos no puede ser utilizada como criterio. La técnica del "elemento faltante", la purificación de los reactivos químicos y otros métodos hicieron posible una caracterización más precisa a este respecto.

Al hacer un análisis completo de los elementos minerales presentes en las plantas, se puede observar que estas contienen los elementos minerales que están en el suelo. Debido a que las plantas no poseen un mecanismo de

absorción absolutamente selectivo, pueden absorber tanto elementos esenciales, como a los superfluos y los perjudiciales, de tal forma que, la composición mineral de las plantas no es una guía de absoluta confianza, para determinar si los elementos absorbidos juegan o no un papel esencial en la vida de ellas. Para el crecimiento normal de las plantas se consideran en la actualidad únicamente a 17 elementos como esenciales, incluyendo al carbono, oxígeno e hidrógeno.

De acuerdo con **ARNON Y STOUT (18)**, deben ser satisfechos los siguientes requisitos para que un elemento sea considerado como esencial (nutrimento):

- a. Con la ausencia del elemento en cuestión no es posible un desarrollo normal de la planta y esta es incapaz de completar su ciclo vital.
- b. Los síntomas de deficiencia deber ser corregidos únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente, o sea que el elemento en cuestión no debe ser sustituido o reemplazado totalmente por ningún otro elemento.
- c. Las funciones o su influencia sobre el metabolismo deben ser conocidas. El elemento debe tener una acción directa en la nutrición de la planta, lo cual significa que no debe actuar a través de variaciones en el sustrato.

Para demostrar la esencialidad de un elemento dado, generalmente este es eliminado del medio nutritivo y se procede a observar que efecto tiene su ausencia sobre el vegetal. Si el desarrollo de la planta es anormal o lento y posteriormente ocurre la muerte o bien, su ciclo no es completado como consecuencia de la eliminación de dicho elemento, el primer criterio de esencialidad será satisfecho.

Cuando un elemento esencial es eliminado del medio nutritivo, primero el crecimiento se detiene y luego ocurre la muerte, pero antes de que la planta

muerta hacen su aparición síntomas de deficiencia (clorosis, necrosis, malformaciones) las cuales reflejan un estado de carencia en las plantas.

La adición del elemento faltante, cuando la deficiencia no es aguda, debería causar la desaparición de los síntomas externos y finalmente, se podría restaurar o realzar el crecimiento. El elemento en cuestión no debe ser substituido o reemplazado totalmente por ningún otro elemento, aun cuando posean propiedades químicas semejantes, satisfaciéndose así el segundo criterio de esencialidad. **ARNON y SCOUT (18)**.

### **Nutrición y fertilización de caoba**

Según **WEBB et al (19)**, mencionan el conocimiento sobre nutrición y fertilización de la caoba es escaso, a pesar de la importancia de la especie para producción de madera. El capítulo considera lo poco encontrado en la literatura, así como las deficiencias nutricionales desarrolladas a nivel de vivero”

### **Fertilización en invernadero.**

**KRIEBITZSCH et al (20)**, realizó un estudio desarrollado en condiciones de invernadero en la Amazonia, donde encontraron que las plántulas de caoba tuvieron un requerimiento de nutrimentos con el siguiente orden  $K \gg Ca > S > Mg > P \gg Fe$ . Los autores no mencionan la edad de las plántulas utilizadas en el análisis, ni las características químicas de los sustratos analizados.

**PANIAGUA y TORUÑO (21)**, encontraron bajo condiciones de invernadero en Costa Rica, empleando la técnica del elemento faltante, que al hacer crecer las plántulas de caoba en un Inceptisol y en un Ultisol, los requerimientos de la especie fueron diferentes; mientras que en el Inceptisol los requerimientos fueron  $P > Cu > B > Fe > N$ , en el Ultisol siguieron el orden  $B > Fe > Mn > Zn >$

N > P > Cu, recomendándose la adición de K > N > P para maximizar el crecimiento en ambos tipos de suelo.

**VENDIOLA (22)**, encontró que la aplicación foliar de nutrimentos cada dos semanas a plántulas de caoba en viveros de Mindoro, Filipinas, incrementó la velocidad de crecimiento y fue económicamente rentable. En Pustaka, Indonesia, **MINDAWATI (23)** menciona que la adición de niveles crecientes de N (0, 2,1, 4,2, 6,3, 8,4 y 10,5 g árbol) y de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 2,3, 4,6, 6,9, 9,2 y 11,5 g árbol) no afectó significativamente la altura o el diámetro de arbolitos de caoba, aunque la adición de 6,3 g N árbol con 11,5 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> árbol aumentó en un 30,3% la altura y la adición de 8,4 g N árbol con 11,5 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> árbol aumentó en un 34,0% el diámetro de los arbolitos.

## **De las investigaciones en deficiencias nutricionales**

### **Síntomas de deficiencia foliar**

Según **WEBB et al (19)**, esta sección se basa en la descripción de una guía visual de síntomas sobre deficiencia foliar desarrollados para *S. macrophylla King* a nivel de invernadero y utilizando la técnica del elemento faltante.

**Nitrógeno:** El crecimiento se reduce y los tallos se tornan delgados y débiles. En la caoba los síntomas ocurren primero en las hojas jóvenes, en las cuales se desarrolla una clorosis verde pálida a amarillenta mientras que las hojas viejas permanecen de color verde brillante. Cuando la deficiencia es moderada, las hojas viejas se mantienen de color verde oscuro brillante y solo las hojas jóvenes desarrollan los colores descritos de la deficiencia. Al tornarse la deficiencia más severa hasta las hojas viejas se vuelven de color verde pálido y si el avance de la deficiencia es muy rápido, puede ocurrir un enrojecimiento de

la vena central de las hojas viejas, las cuales pueden tornarse de color bronceado.

**Fosforo:** En contraste a lo que sucede con otras muchas especies forestales, la deficiencia de P no presenta síntomas característicos en la hoja. Las plántulas sometidas a poco P disponible crecen más lento que las que tienen buena suplencia del elemento, sin que se note ninguna otra diferencia entre las plantas sanas y las deficientes. Cuando la deficiencia es severa y prolongada (4 a 5 meses de duración), las plántulas se notan muy afectadas en crecimiento y puede desarrollarse una clorosis ligera.

**Potasio:** El primer síntoma visible de la deficiencia de K es el ondulamiento de los bordes de las hojas jóvenes maduras. Cuando la carencia se hace más severa aparecen manchas cloróticas bronceadas entre las venas de la lámina y cerca de los bordes de las hojas jóvenes más maduras. Cuando estas hojas acaban de madurar, la necrosis se expande hacia los bordes formando un margen completamente necrosado. Al principio, la necrosis es más pronunciada hacia los ápices de la hoja y avanza hacia su base conforme la deficiencia se hace más severa. Si la deficiencia de K es muy severa, las hojas jóvenes también desarrollan una clorosis intervenal de color amarillo fuerte, principalmente entre la vena principal y los márgenes de la hoja, los cuales de color verde oscuro.

**Calcio:** Los primeros síntomas son una clorosis intervenal de color amarillo pálido que luego se convierte en manchas necróticas asociadas a la clorosis amarillenta de las hojas nuevas. Luego se forma una necrosis marginal de color pardo en las hojas nuevas, la cual se extiende hacia las áreas intervenales para producir márgenes necróticos pardos con áreas cloróticas amarillo pálido que separan la necrosis marginal de los tejidos verde oscuro alrededor de la vena central. Cuando la deficiencia de Ca es muy severa, las hojas emergentes

son flácidas, marchitas y mueren. Eventualmente el meristemo deja de crecer y de producir hojas nuevas y las hojas jóvenes maduras (que mantenían su color verde oscuro), desarrollan la clorosis marginal amarillenta y la necrosis parda.

**Magnesio:** Aun cuando las plántulas aparentan ser normales, en las hojas nuevas maduras aparecen pequeñas áreas de tejido color pardo, principalmente entre las venas y hacia la vena central. Luego se forma un amarillamiento alrededor del área parda y la clorosis se expande para ocupar todo el tejido intervenal, mientras que las áreas pardas crecen y necrosan; las hojas jóvenes aún presentan una apariencia saludable. Cuando deficiencia se hace más severa, las hojas jóvenes adquieren la clorosis amarillenta pálida intervenal, pero esta es mucho menos severa que la que ocurre en las hojas jóvenes maduras. Cuando la carencia es muy severa, hasta las hojas viejas muestran los síntomas de las hojas jóvenes maduras, apareciendo manchas pardas con halos amarillentos que se expanden generalmente en el área intervenal de toda la hoja.

**Azufre:** Al principio, los síntomas más característicos son el color amarillo pálido de las hojas jóvenes mientras que las hojas viejas permanecen de color verde, lo que hace difícil diferenciar esta deficiencia de la de N, aunque en el caso de la deficiencia de S las venas son un poco más verdosas. Cuando la deficiencia se hace más severa, aparecen pequeñas áreas necrosadas en las hojas viejas, especialmente cerca de las venas. Eventualmente, las hojas viejas forman parches cloróticos entre las venas principales, los cuales después de algún tiempo, se esparcen sobre todas las hojas viejas lo que les da una apariencia de moteos en comparación con las hojas jóvenes.

**Hierro:** El primer síntoma en aparecer es una clorosis amarillenta pálida en las hojas jóvenes recientemente maduras; en este estado, las hojas jóvenes presentan un color verde pálido saludable y las hojas viejas su color verde

oscuro característico. Con el desarrollo de la carencia, las venas permanecen verdes como sucede en las hojas saludables, mientras que las áreas entre las venas de toda la hoja adquieren una coloración amarillenta pálida. Cuando la deficiencia es muy severa, las áreas entre las venas se tornan casi blancas y solamente las venas principales se mantienen de color verde pálido. Ahora, la clorosis aparece tanto en las hojas jóvenes maduras como en las nuevas en proceso de expansión, y algunas hojas viejas pueden mostrar algún grado de clorosis intervenal.

**Zinc:** El primer síntoma que aparece en las hojas es una clorosis marginal ondulada que avanza rápidamente por la lámina hasta que esta se torna casi blanca y con las venas principales verdes. En los márgenes de las hojas que recién emergen se inicia una clorosis amarillenta la cual crece hacia la lámina entre las venas secundarias; conforme la hoja madura, la clorosis es rodeada por un bronceamiento necrosado. Al hacerse los síntomas más severos, aparecen otros síntomas en las hojas; se desarrolla un tejido de apariencia acuosa entre las venas, principalmente hacia el pedúnculo, las cuales mueren y se vuelven necróticas y de color pardo oscuro rápidamente. Posteriormente, las hojas se hacen anchas y mueren, dejando los pecíolos en el área cercana a las puntas del tallo; esto permite observar los internudos cortos y la apariencia del enanismo de los tallos.

**Cobre:** El primer síntoma visual que se nota en el follaje es el amarillamiento de las hojas jóvenes. Con el tiempo, las puntas de las hojuelas se retuercen y mal forman, similar a lo que ocurre con la deficiencia de B. Cuando la deficiencia es muy severa, las hojas maduras toman una coloración verde oscuro mientras que las hojas jóvenes desarrollan hojuelas malformadas; al inicio las puntas de las hojuelas se retuercen o rizan y desarrollan una necrosis

parda antes de morir. Eventualmente las hojuelas mueren y caen dejando su pecíolo unido al tallo si la hoja es simple, o al raquis si la hoja es compuesta.

**Boro:** El primer síntoma de follaje es la aparición de una necrosis parda oscura intervenal en la base de las hojas jóvenes. Cuando la deficiencia se hace más severa, los bordes de las hojas en formación se ondulan y las puntas de las hojas se mal forman desarrollando una necrosis parda. Las hojas jóvenes son flácidas, marchitas y desarrollan una tonalidad rojiza en la parte inferior de la lámina. Cuando la deficiencia es muy severa, las venas terciarias de las hojas viejas desarrollan una clorosis amarillenta, por lo que las hojas aparentan estar moteadas; las puntas y los márgenes de estas hojas se necrosan y mueren. El sistema radical de las plantas deficientes en B se detiene y las raíces laterales reducen su tamaño dándole al sistema radical una apariencia comprimida. Si la severidad de la deficiencia aumenta, las raíces se decoloran y las más viejas toman un color pardo.

**Manganeso:** La deficiencia de Mn se manifiesta de varias maneras. En algunas hojas se nota una clorosis intervenal entre las venas de menor tamaño y en otros se desarrolla una necrosis marginal que se expande hacia adentro entre las venas secundarias.

**Toxicidad Mn:** Los primeros síntomas se notan en las hojas viejas maduras cerca de las venas principales y secundarias como manchas color pardo claro pequeñas, rodeadas de una clorosis amarillo clara. Este síntoma es rápidamente seguido por el desarrollo de una clorosis amarillenta generalizada en la lámina de las hojas maduras recientes y hojas nuevas en vías de expansión, similar a lo que ocurre en plantas deficientes en N. Cuando la toxicidad es muy severa, las hojas viejas muestran una clorosis amarillenta muy marcada entre las venas que permanecen verdes; las manchas pardas se

distinguen fácilmente en las hojas viejas en particular cerca de las venas y en los pecíolos.

Según JUVENAL (2014). Realizo un estudio en el efecto de la carencia de macro elementos nutritivos en el crecimiento inicial y síntomas de deficiencia en caoba (*Switenia macrophylla King*) en Pucallpa; donde la duración del estudio fue de tres meses en la fase experimental.

Al término del estudio los índices de los resultados nos indican que el **calcio** y **potasio** afectaron drásticamente en la mayoría de las variables evaluadas, así mismo la sintomatología observada en ellos corresponde a un tipo de sintomatología severo de acuerdo a la bibliografía, la omisión de **fosforo** afecto en gran manera el desarrollo radicular, su sintomatología en los folíolos fue muy clara, la omisión de nitrógeno afecto el crecimiento de la planta , mostrando una sintomatología muy acentuada a nivel de los folíolos, las omisiones de **magnesio y azufre**, no afectaron significativamente el crecimiento de la planta, mostrando sintomatología poco acentuada en los folíolos.

## CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 2.1. Formulación de la hipótesis

#### 2.1.1. Hipótesis general

Las deficiencias nutricionales influyen en el desarrollo o crecimiento de las plantas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) desarrollada a nivel de invernadero.

#### 2.1.2. Hipótesis específica

- La ausencia del elemento nutricional de macronutrientes (Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre), influirá en el bajo desarrollo o crecimiento de plántones de caoba (*Swietenia macrophylla* King), desarrollada a nivel de invernadero.
- La ausencia del elemento nutricional de micronutrientes (Hierro, Manganeso, Boro, Zinc, Cobre y Molibdeno), influirá en el bajo desarrollo o crecimiento de plántones de caoba (*Swietenia macrophylla* King), desarrollada a nivel de invernadero.

### 2.2. Variables y su operacionalización

#### 2.2.1. Definición de las variables

- **Variable Independiente:**

**X1** = Deficiencia de macro y micronutrientes (Nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, molibdeno, boro, zinc, cobre y molibdeno).

- **Variable dependiente:**

**Y1**= Características agronómicas de la planta caoba.

## 2.2.2. Operacionalización de las variables

### A. Variable Independiente:

$X_1$  = Deficiencia de macro y micronutrientes.

$A_1$ : Nitrógeno

$A_2$ : Fósforo

$A_3$ : Potasio

$A_4$ : Calcio

$A_5$ : Magnesio

$A_6$ : Azufre

$A_7$ : Hierro

$A_8$ : Boro

$A_9$ : Molibdeno

$A_{10}$ : Cobre

$A_{11}$ : Zinc

$A_{12}$ : Manganeso

### B. Variable dependiente:

$Y_1$  = Características agronómicas

$Y_{11}$  = Altura promedio de la planta (cm)

$Y_{12}$  = Diámetro promedio del tallo de la planta (mm)

$Y_{13}$  = Peso verde total de la planta (kg/U Ex.)

$Y_{14}$  = Longitud de raíces (cm)

$Y_{15}$  = Área foliar de la planta (cm<sup>2</sup>)

$Y_{16}$  = Sintomatologías

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño

#### 3.1.1. Tipo de investigación

Es una investigación del tipo descriptivo experimental transversal.

#### 3.1.2. Diseño de la investigación

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA). Evaluando 12 tratamientos y un control, con cuatro repeticiones en cuadrado con la técnica de elementos faltantes.

**Tabla 1. Tratamientos en estudio**

CLAVE	TRATAMIENTOS
T0	Presente macro y micronutrientes (Control).
T1	Nitrógeno (N)
T2	Fosforo (P)
T3	Potasio (K)
T4	Calcio (Ca)
T5	Magnesio (Mg)
T6	Azufre (S)
T7	Hierro (Fe)
T8	Manganeso (Mn)
T9	Boro (B)
T10	Zinc (Zn)
T11	Cobre (Cu)
T12	Molibdeno (Mo)

**Tabla 2. ANOVA del estudio.**

<b>F.V</b>	<b>G.L</b>
Repetición	$r - 1 = 4 - 1 = 3$
Tratamiento	$t - 1 = 13 - 1 = 12$
Error	$(r - 1) (t - 1) = 36$
Total	$rt - 1 = 52 - 1 = 51$

### **3.2. Diseño muestral**

Se utilizo un Diseño Completamente al Azar (DCA). Evaluando 12 tratamientos y un control, con cuatro repeticiones en cuadrado con la técnica de elementos faltantes.

#### **3.2.1. Población**

La población del trabajo de investigación es finita que fue de 24 unidades experimentales de 3m x 1.2 m, con 18 plantas por unidad experimental con un distanciamiento de 0.5 m x 0.5 m, esto significo 288 plantas por el experimento, para procesar la información se utilizó un paquete estadístico de Infostat.

#### **3.2.2. Muestra**

Se tomó por cada unidad experimental 4 muestras, esto quiere decir por las 16 unidades se obtuvo 64 plantas muestreadas en los cuatro tratamientos.

#### **3.2.3. Muestreo**

##### **a. Criterios de selección**

Las plantas de muestreo fueron los que estuvieron en el medio de la unidad experimental.

#### **b. Inclusión**

Todas las plantas de los surcos centrales a excepción de los bordes.  
Plantas competitivas.

#### **c. Exclusión**

No conformaron las plantas de los surcos laterales y de los bordes, ya que ellas tuvieron mayor ventaja de efecto de borde. Así mismo aquellas plantas no competitivas fuera de aquel arquetipo ideal de la planta.

### **3.3. Procedimientos de recolección de datos**

#### **3.3.1. Instrumentos de recolección de datos**

##### **Ubicación**

El trabajo de investigación se desarrolló en el invernadero de propagación vegetativa del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, ubicado en el departamento y provincia de San Martín, distrito Banda de Shilcayo, centro poblado de Bello Horizonte – Pucayacu. Coordenadas UTM son:

1. X = 356364
2. Y = 9278244
3. Altitud = 307 m.s.n.m.

##### **En campo**

El presente trabajo tuvo una duración neta de 3 meses en fase experimental, contados a partir del 25 de agosto del 2012, fecha en se colocó las plántulas de caoba en las macetas del invernadero, hasta la fecha 22 de diciembre del 2012, fecha en que se realizó la última evaluación.

### **3.3.2. Características del campo experimental**

Instalación del invernadero. El invernadero fue formado por una estructura de fierro, con forma de una U invertida, recubierta por una malla rashel con capacidad del 80° de sombra y cuyas dimensiones son las siguientes:

Largo: 14 metros

Ancho: 3 metros

Altura: 2 metros

Distribución de las macetas

1. Calle principal: 40 cm
2. Diámetro de las macetas: 30 cm
3. Calle entre macetas: 20 cm
4. Costados: 60 cm

### **3.3.3. Manejo agronómico del cultivo**

#### **Producción de plantones**

Se procedió a la elaboración de las camas almacigueras y germinación de las semillas botánicas de caoba, posteriormente se preparó los sustratos para el llenado de bolsas almacigueras en proporciones de 1:1:1 (Tierra agrícola, cascarilla carbonizada y compost). Las semillas fueron de procedencia del distrito de San Antonio de Cumbaza, de la productora Patricia Zapata Tapullima.

#### **De los tratamientos**

Los factores en estudio fueron trece tratamientos de fertilización al suelo con cuatro repeticiones se evaluaron los elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Mo, Zn y Cu, y un tratamiento control, mediante la técnica del elemento faltante. En el anexo 01 el cuadro 07, se muestra la

concentración de nutrientes en mg/L (ppm) por elemento químico y en el cuadro 2 y 3, se muestran volúmenes de soluciones concentradas para preparar 1 litro de soluciones nutritivas según tratamiento macro y micronutrientes, en plantaciones de caoba, mediante la técnica de los elementos faltantes.

### **Preparación del sustrato**

Se realizó la extracción del sustrato (arena de río, grava y gravilla), luego se procedió al lavado de esta. A continuación, se realizó el tamizado de la arena utilizando para ello la clasificación de suelos según la tabla de Kopecky, para obtener la granulometría media con el tamiz n° 18. Finalmente se efectuó la desinfección por la técnica de vapor de agua, el cual se realizó en un tanque de metal. Por la misma técnica se ejecutó la desinfección de la grava y gravilla.

### **Instalación de las macetas**

La instalación de los maceteros se realizó cuando las plantas de caoba tuvieron dos meses repicadas en las bolsas almacigueras (ciclo biológico). En las macetas plásticas de 5 Kg de capacidad se albergó primero el depósito de la grava, gravilla y luego una capa fina de arena desinfectada. Posteriormente se colocó las plántulas y finalmente se completó el relleno con la misma arena.

### **Aplicación de las soluciones nutritivas**

Esta actividad se realizó desde el primer día de la instalación de las macetas hasta el tercer mes de evaluación (todos los días). Las soluciones fueron preparadas de acuerdo con el cuadro de volúmenes de soluciones concentradas para preparar 1 litro de soluciones nutritivas según tratamiento para macro y micronutrientes en plantaciones de caoba. Mediante la técnica de elementos Faltantes que consiste en la

adición de las soluciones nutritivas para cada tratamiento con la presencia de diferentes nutrientes, pero bajo la ausencia de un determinado elemento a evaluar. El material utilizado para formar las soluciones madres fueron: Material de laboratorio (Pipetas de 50 ml, goteros, guantes, quirúrgicos, bata y el agua destilada. Para tener las respectivas mezclas de dosis requerida por litro de agua según corresponda (ARÉVALO et al, 2015). La aplicación de estas soluciones fue de 100 ml por planta teniendo la distribución por tratamiento de 400 ml la dosis aplicada diario.

### **Evaluaciones**

Las evaluaciones se realizaron de acuerdo con la variable dependiente en estudio, y los parámetros.

#### **3.3.4. Instrumento y evaluación**

##### **a. Altura promedio de la planta (Cm)**

Se realizó en forma manual, hasta el tercer mes a todos los tratamientos y repeticiones desde la base del tallo hasta la parte apical de la planta, para lo cual se utilizó una regla metálica graduada.

##### **b. Diámetro promedio de la planta (mm)**

Se realizó en forma manual, al igual que la altura hasta el tercer mes para todos los tratamientos y repeticiones desde la base del tallo a la altura de 3 cm de esta, para lo cual se utilizó un equipo de vernier digital.

##### **c. Peso verde de la planta (Kg)**

Esta actividad se realizó al finalizar el experimento dividiendo a la planta en tres partes, peso húmedo de las hojas, peso húmedo del

tallo y peso húmedo de la raíz. Para luego ser sumado el total del peso para obtener el peso verde total por planta, esto se aplicó para todos los tratamientos y repeticiones, por lo cual se utilizó el equipo de la balanza analítica.

#### **d. Longitud de raíces (Cm)**

Se evaluó al final del experimento, midiéndose directamente las raíces de la planta de cada tratamiento y repeticiones en base al total del crecimiento y desarrollo obtenido durante la aplicación de los nutrientes y el tiempo de estudio del ensayo.

#### **e. Área foliar de la planta de caoba (Cm<sup>2</sup>)**

Para determinar el área foliar de los brotes se procedió a la selección de 5 brotes al azar por cada tratamiento y después se procedió a medir el ancho de la hoja en 3 partes: la primera cuarta parte, la mitad de la hoja y la  $\frac{3}{4}$  parte de la hoja para promediar y multiplicar con el largo de la hoja.

Después se procederá a estimar el área foliar, por medio de la ecuación de regresión de la hoja lanceolada. Según Casierra - Posada, F. et al. 2007.

Tenemos:  $Y = 0.868539 x - 0.007734 x^2 + 0.000111 x^3$

Y= área foliar estima (cm<sup>2</sup>)

X= producto del largo por el ancho promedio de la hoja (cm).

#### **f. Evaluación de sintomatologías**

Las evaluaciones sintomatológicas consistieron en los tipos de características anormales que expresaron la planta de acuerdo con la insuficiencia de algún elemento nutritivo que se pudo identificar de una forma visual de acuerdo a una base de criterios obtenidos de una "Una Guía Visual de Desórdenes Nutritivos en Especies

tropicales *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*". Ensayo realizado en Australia por (REDDELL Y GRUNDON, 2001). Tomando como modelo de evaluación para todos los tratamientos y repeticiones.

#### **3.4. Procesamiento y análisis de los datos**

Tomando en cuenta que todas las variables son numéricas y de razón, su procesamiento se realizó mediante técnicas estadísticas paramétricas y se hizo con un Diseño de Bloque Completo al Azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los datos recolectados en campo se procesaron en gabinete con el paquete estadístico Infostat, la que nos indicó mediante la prueba de normalidad y homogeneidad si tiene una distribución normal, si es así se hará un análisis de varianza y Tukey, sino una prueba no paramétrica.

#### **3.5. Aspectos éticos**

Se respetó el campo y su entorno del ambiente y la metodología que señala el buen investigador. También se trabajó con total claridad con referencia a algunos autores que aportaron información al tema.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Evaluaciones biométricas

#### 4.1.1. Resumen del análisis de variancia de los tratamientos.

**Cuadro 1. Resumen del análisis de variancia de los tratamientos según variable.**

Variables	F.V.	SC	CM	F	p-valor	C.V
Altura de la planta (cm)	Tratamientos	1464.47	122.04	7.24	<0.0001	10.70
	Error	657.2	16.85			
	Total	2121.67				
Diámetro del tallo (mm)	Tratamientos	20.05	1.67	3.4	0.0019	9.29
	Error	8093.2	0.49			
	Total	8965.91				
Peso húmedo total (gr.)	Tratamiento	22420.29	1868.36	2.58	0.0127	34.46
	Error	28250.86	724.38			
	Total	50671.15				
Longitud de la raíz (cm)	Tratamiento	1521.22	126.77	2.24	0.029	35.59
	Error	2210.81	56.69			
	Total	3732.03				
Área foliar de la planta (cm <sup>2</sup> )	Tratamiento	99671.99	8306.00	5.39E+15	<0.0001	1.5
	Error	6.00E-11	1.50E-12			
	Total	99671.99				

#### 4.1.2. Altura de la planta (cm)

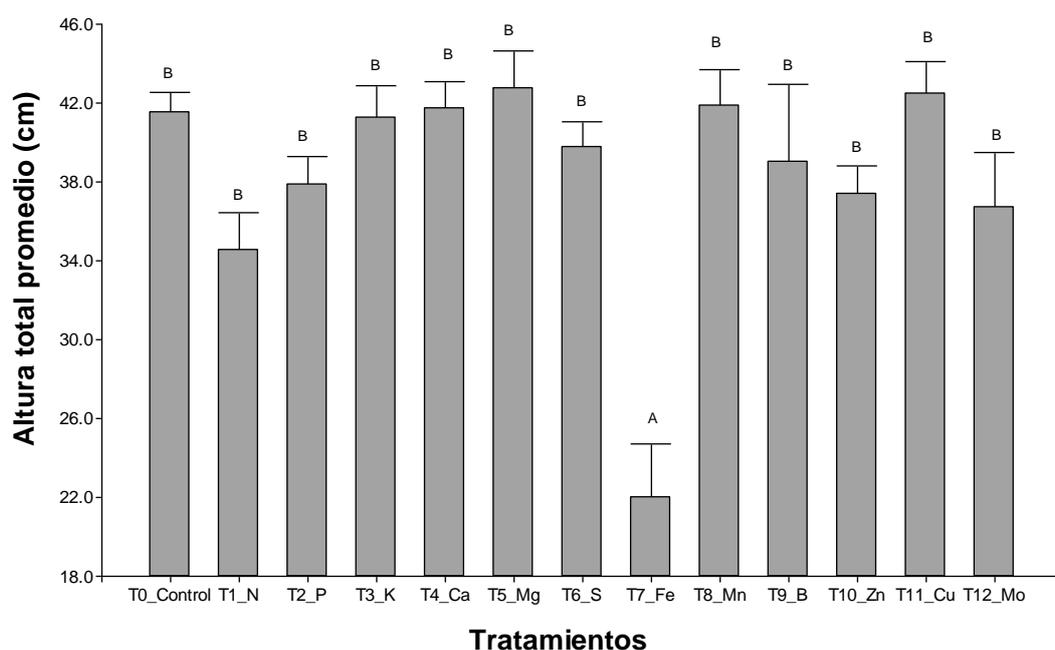
**Cuadro 2. Análisis de varianza de la altura promedio de la planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King.)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Longitud del tallo (cm)	52	0.69	0.59	10.70	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	1464.47	12	122.04	7.24	<0.0001
Error	657.20	39	16.85		
Total	2121.67	51			

En el Cuadro 2, el análisis de varianza (ANOVA) para la altura del promedio de la planta de caoba mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), esto también se puede corroborar en las comparaciones de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ) efectuada que si existen diferencias estadísticas y significativas entre los

tratamientos. La tabla obtenida se encuentra en el anexo 4 y su gráfico se muestra a continuación.

**Gráfico 1. Longitud del tallo promedio de caoba (*Swietenia macrophylla* King.)**



#### 4.1.3. Diámetro del tallo (mm)

**Cuadro 3. Análisis de varianza del diámetro del tallo promedio de la planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King.)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro del tallo (mm)	52	0.51	0.36	9.29

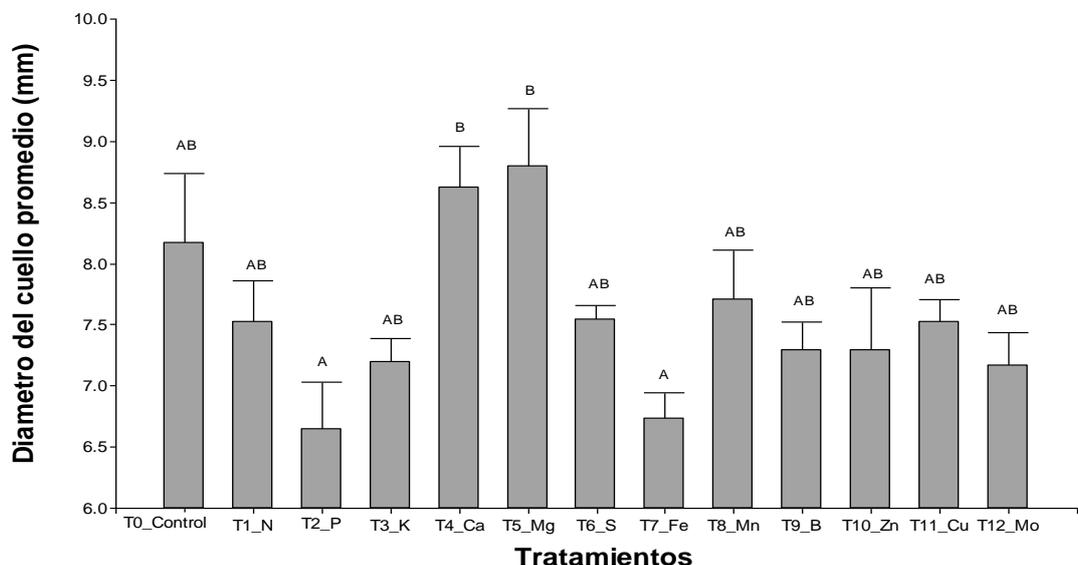
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	20.05	12	1.67	3.40	0.0019
Error	19.19	39	0.49		
Total	39.24	51			

En el Cuadro 3, el análisis de varianza para el diámetro del cuello promedio de las plantas de caoba, mostraron influencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), esto quiere decir, que los tratamientos si influyeron en el crecimiento diametral y de acuerdo a la prueba de p value tenemos un coeficiente de variación de 9.29% indicándonos precisión estadística de los resultados obtenidos para esta variable.

Efectuada las comparaciones de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se puede corroborar que, los tratamientos conformados por **T5\_Mg** (8.80 mm), y **T4\_Ca** (8.63 mm)

respectivamente, fueron estadística y significativamente superior ( $p \leq 0.05$ ) en el diámetro total promedio por plantas frente a los otros tratamientos propuestos. Esto quiere decir, que, si se desea obtener mayores crecimientos en diámetro total, las plantas de caoba sólo requieren esencialmente de cantidades mínimas de macronutrientes (Magnesio (Mg), y Calcio (Ca) para su desarrollo, esto se puede evidenciar en el siguiente gráfico N°03. Otro grupo de tratamientos conformados por **T0\_control** (8.17 mm), **T8\_Mn** (7.71 mm), **T6\_S** (7.54 mm), **T1\_N** (7.53 mm), **T11\_Cu** (7.52 mm), **T9\_B** (7.29 mm), **T10\_Zn** (7.29 mm), **T3\_K** (7.19 mm) y **T12\_Mo** (7.17 mm) respectivamente, fueron estadísticamente superior ( $p \leq 0.05$ ) en el diámetro total promedio por plantas frente al tratamiento **T7\_Fe** (6.73 mm) y **T2\_P** (6.65 mm) que presentaron el valor de crecimiento diametral menor. Esto demuestra, que si se desea obtener un mejor desarrollo en altura de las plantas, es necesario aplicar una concentración apropiada de 2.0 ppm (mg/L de Hierro (Fe) y 40 ppm (mg/L de Fosforo (P) el cual se consideran elementos esenciales para el crecimiento diametral de la planta. La tabla obtenida se encuentra en el anexo 5 y el grafico se muestra a continuación.

**Gráfico 2. Diámetro promedio del cuello de la planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King.)**





#### 4.1.4. Peso húmedo total de la planta (gr)

**Cuadro 4. Análisis de varianza del peso húmedo total promedio de la planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King).**

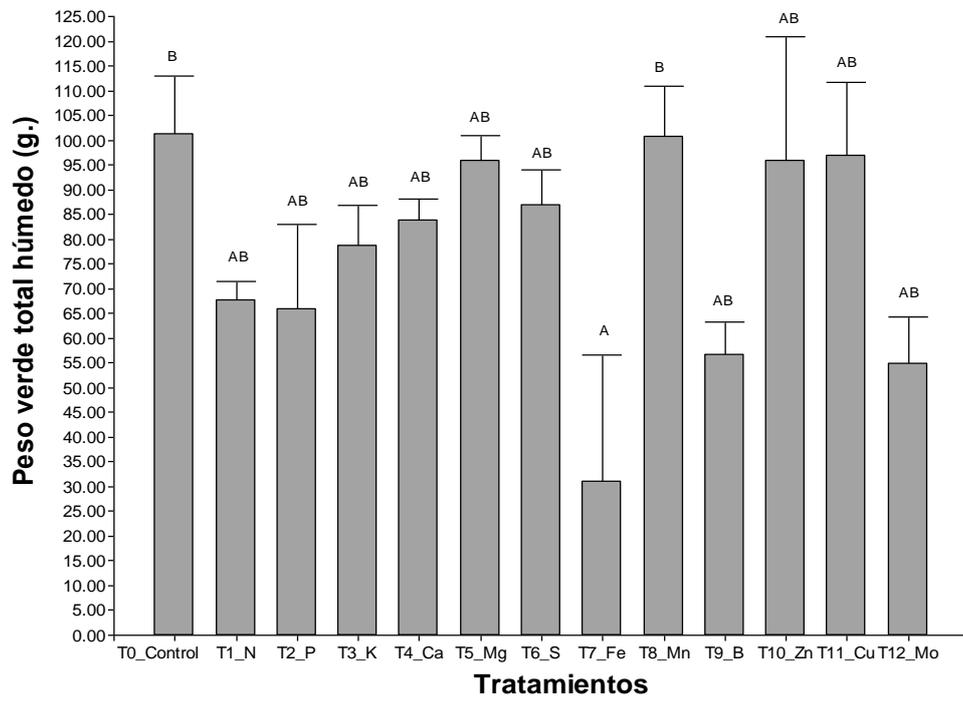
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso húmedo total (gr)	52	0.44	0.27	34.46

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	22420.29	12	1868.36	2.58	0.0127
Error	28250.86	39	724.38		
Total	50671.15	51			

En el Cuadro 4, el análisis de varianza (ANOVA) para el peso húmedo total promedio de las plantas de caoba, mostraron influencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), y efectuada las comparaciones de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se puede corroborar que, los tratamientos conformados por **T0\_Control** (101.18gr) y **T8\_Mn** (100.60gr) respectivamente, fueron estadística y significativamente superior ( $p \leq 0.05$ ) en el peso verde total promedio por plantas frente a los otros tratamientos propuestos. Esto se puede evidenciar en el siguiente gráfico 3. El resto del grupo de los tratamientos de macro y micronutrientes respectivamente, fueron estadísticamente superior ( $p \leq 0.05$ ) en el peso verde total promedio por plantas frente al tratamiento **T7\_Fe** (14.20 gr) que presentó el menor valor en peso verde de la planta. Esto demuestra, que si se obtiene un mejor rendimiento en peso del tallo de las plantas, es necesario aplicar una concentración apropiada de 2.0 ppm (mg/L de Hierro (Fe) el cual se considera un elemento esencial para el peso verde de caoba. La tabla obtenida se encuentra en el anexo 6 y el gráfico se muestra a continuación.

Gráfico 3. Peso húmedo total promedio de las plantas de caoba según tratamiento.



#### 4.1.5. Longitud de la raíz (cm)

**Cuadro 5. Análisis de varianza de la longitud de la raíz promedio de la planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King).**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Longitud de la raíz (cm)	52	0.41	0.23	35.59

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	1521.22	12	126.77	2.24	0.0290
Error	2210.81	39	56.69		
Total	3732.03	51			

En el cuadro 5, el análisis de varianza (ANOVA) para la longitud de la raíz promedio de las plantas de caoba, los tratamientos si presentaron diferencias significativas, esto quiere decir, que todos los tratamientos influyeron estadísticamente con respecto a la longitud de su raíz.

#### 4.1.6. Área foliar de la planta (cm<sup>2</sup>)

**Cuadro 6. Análisis de varianza del área foliar promedio de la planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King).**

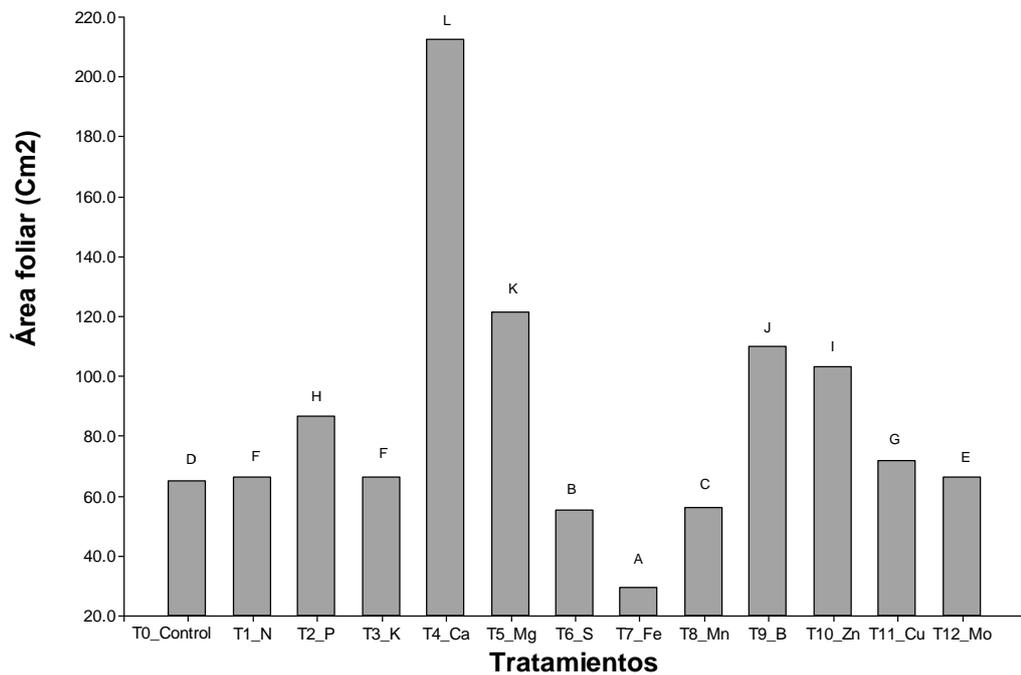
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Porcentaje foliar Cm2	52	1.00	1.00	1.5E-06

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	99671.99	12	8306.00	5387793169630820.00	<0.0001
Error	6.0E-11	39	1.5E-12		
Total	99671.99	51			

En el Cuadro 6, el análisis de varianza (ANOVA) para el área foliar promedio de las plantas de caoba, mostraron influencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), y efectuada las comparaciones de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se puede corroborar que todos los tratamientos fueron estadística y significativamente superiores ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al are foliar promedio por plantas frente a los otros tratamientos propuestos. Esto se puede evidenciar en el siguiente gráfico 4. Los

tratamientos de macronutriente **T4\_Ca** (212.16 cm<sup>2</sup>) respectivamente fueron estadísticamente superior ( $p \leq 0.05$ ) en el área foliar promedio por plantas frente a los demás tratamientos y **T7\_Fe** (29.19 cm<sup>2</sup>) que el hierro (Fe) se considera un elemento esencial para el crecimiento en área foliar de la planta. La tabla obtenida se encuentra en el anexo 7 y el gráfico se muestra a continuación.

**Gráfico 4. Muestra el área foliar de las plantas de caoba según tratamiento.**



## 4.2. Evaluaciones sintomatológicas

Los resultados para la variable de sintomatología de los respectivos tratamientos son tomados de la base de datos registrados en los cuadros utilizados como formato de evaluaciones. Los siguientes cuadros se encuentran ubicados en el anexo de cuadros.

**N°01:** En esta variable se observa al tratamiento testigo (CONTROL) tratamiento conformado por la aplicación de los 12 elementos nutricionales (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Zn, Cu y Mo).

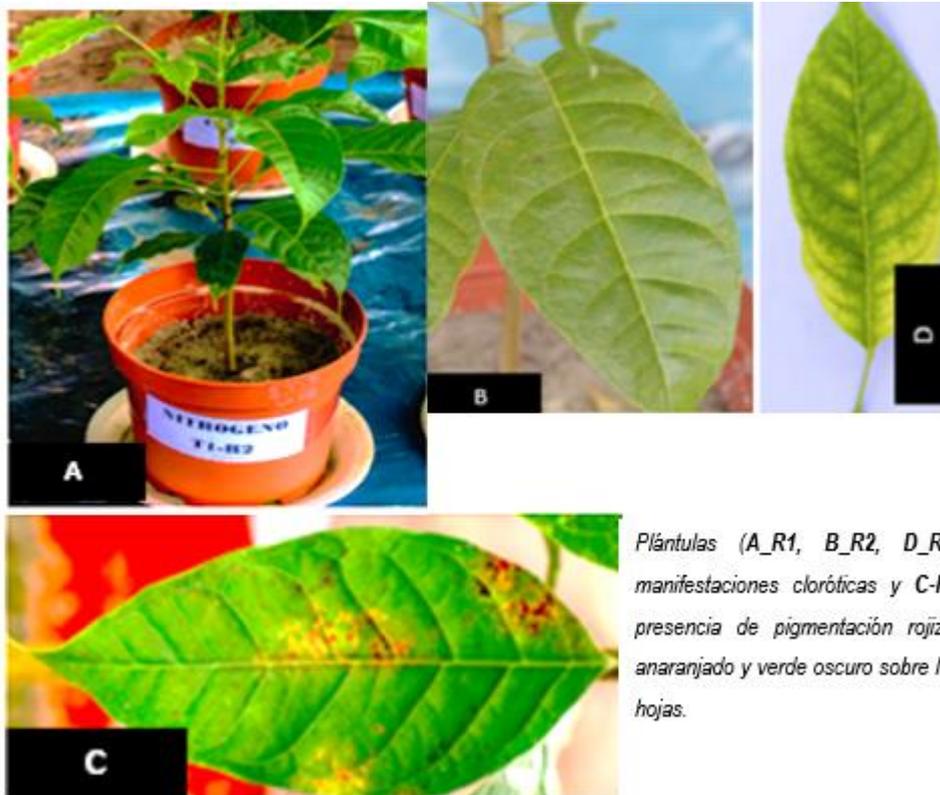


Plántula joven y pesada. Tenga en cuenta las hojas más jóvenes de color verde pálido y las hojas más viejas, de color verde oscuro y brillante. Las plántulas de caoba saludables suelen tener un tallo que crece rápidamente hasta llegar a 30 cm a 40 cm en 12 semanas. Las primeras 5 a 10 hojas a desarrollarse son las hojas simples acompañadas de hojas compuestas que llevan 3 folíolos y más tarde 5 a 7 folíolos.

**N°02:** Para esta variable se identifica la ausencia del T1\_N (NITROGENO).

### ***Sintomatologías***

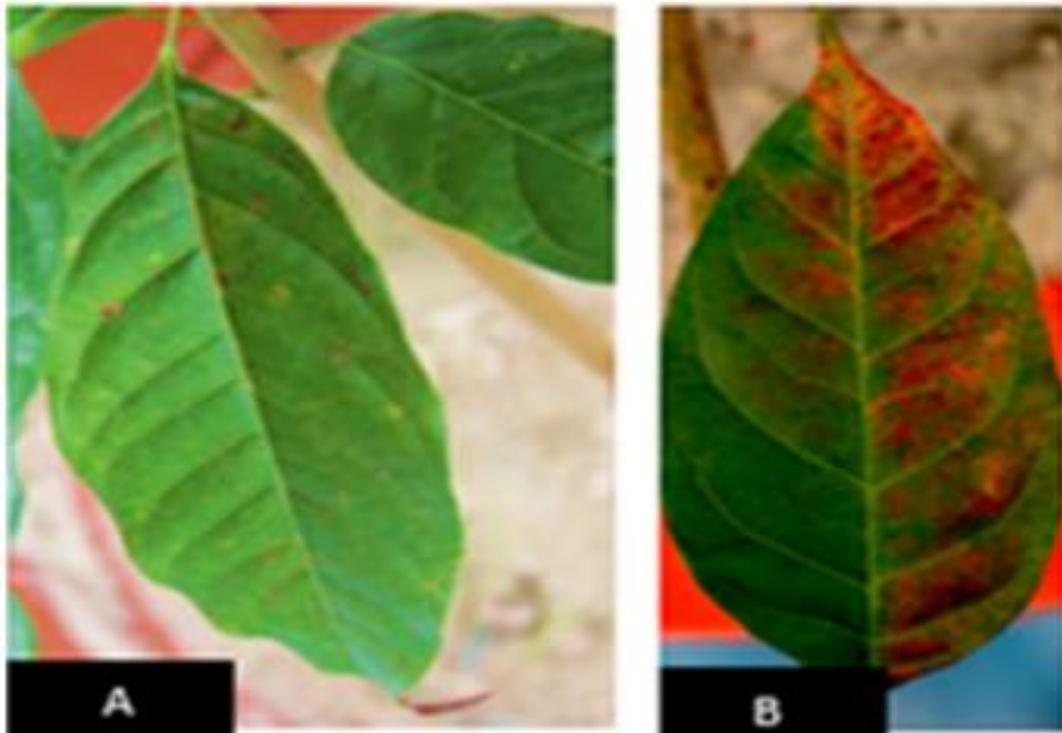
Se manifestó la presencia de una clorosis de verde pálido a verde amarillento afectando a las hojas viejas de la planta, ubicada en la parte basal y posteriormente en el cuerpo de la hoja. Con un patrón moderadamente clorótico y divergente a las demás repeticiones. Posteriormente apareció la presencia de coloraciones anormales, tales como, puntos rojizos, anaranjado a verde oscuro. Los tallos ligeramente acortados con bordes ondulados y estructuralmente con una reducción en la tasa de crecimiento.



**N°03:** Para esta variable se identifica la ausencia del T2\_P (FOSFORO).

***Sintomatologías***

Igual que el tratamiento anterior hubo presencia de coloraciones anormales de tonalidades de un rojo purpura a verde oscuro, una leve necrosis ubicada en la parte distal de hojas viejas convergentes entre las repeticiones seguido de malformaciones de las hojas como bordes ondulados y flácidos en las hojas intermedias y apical de la planta. Tallos delgados y entrenudos ligeramente acortados. Finalmente se manifestó también la pigmentación de un color blanco humo sobre el haz de la hoja (Mutación genética).





*Plántulas  
(AB\_R1)*

*coloraciones anormales (F\_R4) mutación genética (DE\_R3) Hojas flácidas y tallos con entrenudos acortados, (C\_R2) hojas con bordes ondulados.*

**N°04:** Para esta variable se identifica la ausencia del T3\_K (POTASIO).

### ***Sintomatologías***

La planta muestra la apariencia de una planta sana pero las hojas emergentes tienden a marchitarse rápido las hojas nuevas se muestran flácidas con bordes ondulados, una leve clorosis de verde pálido y venas verdes moderadamente clorótico.

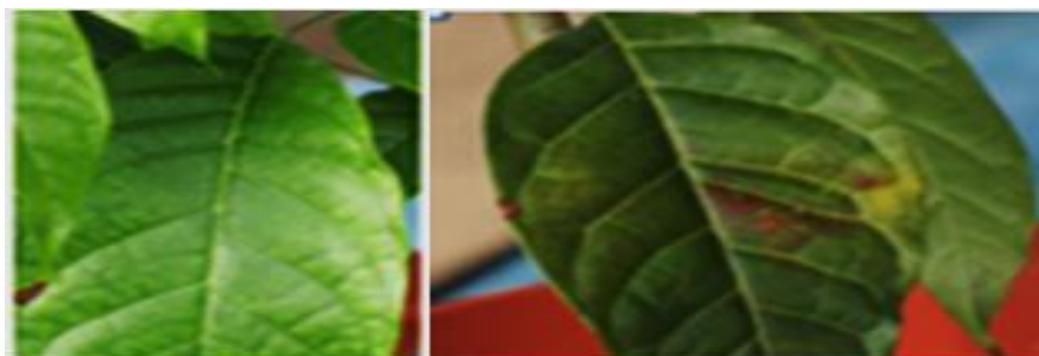


*Plántulas (AB-R2, R3) apariencia de una planta sana con presencia de una leve clorosis convergente en las 4 repeticiones.*

**N°05:** Para esta variable se identifica la ausencia del T4\_Ca (CALCIO).

### ***Sintomatologías***

Al igual que el tratamiento anterior muestran la apariencia a una planta sana las hojas nuevas se mantienen flácidas y con tendencia al rápido marchitamiento una leve clorosis en las hojas intermedias y viejas, seguido de una leve necrosis en las hojas viejas en la parte marginal y distal de las hojas acompañado de coloraciones anormales.



*Plántulas (T4\_A) clorosis leve (T4\_B) coloración anormal y una leve necrosis (T4\_C) apariencia a una planta sana (T4\_D) hojas flácidas.*

**N°06:** Para esta variable se identifica la ausencia del T5\_Mg (MAGNESIO).

### ***Sintomatologías***

Presento clorosis con un verde pálido a verde amarillento moderadamente clorótico, ubicado en la parte basal, marginal, lobulado en las hojas viejas seguido de una necrosis ubicado en la parte basal y distal de las hojas y coloración anormal. Hojas empapadas de agua con bordes ondulados y tallos ligeramente acortados. Finalmente se manifestó también la pigmentación de un color blanco humo sobre las hojas (Mutación genética) al igual que el tratamiento del fósforo.

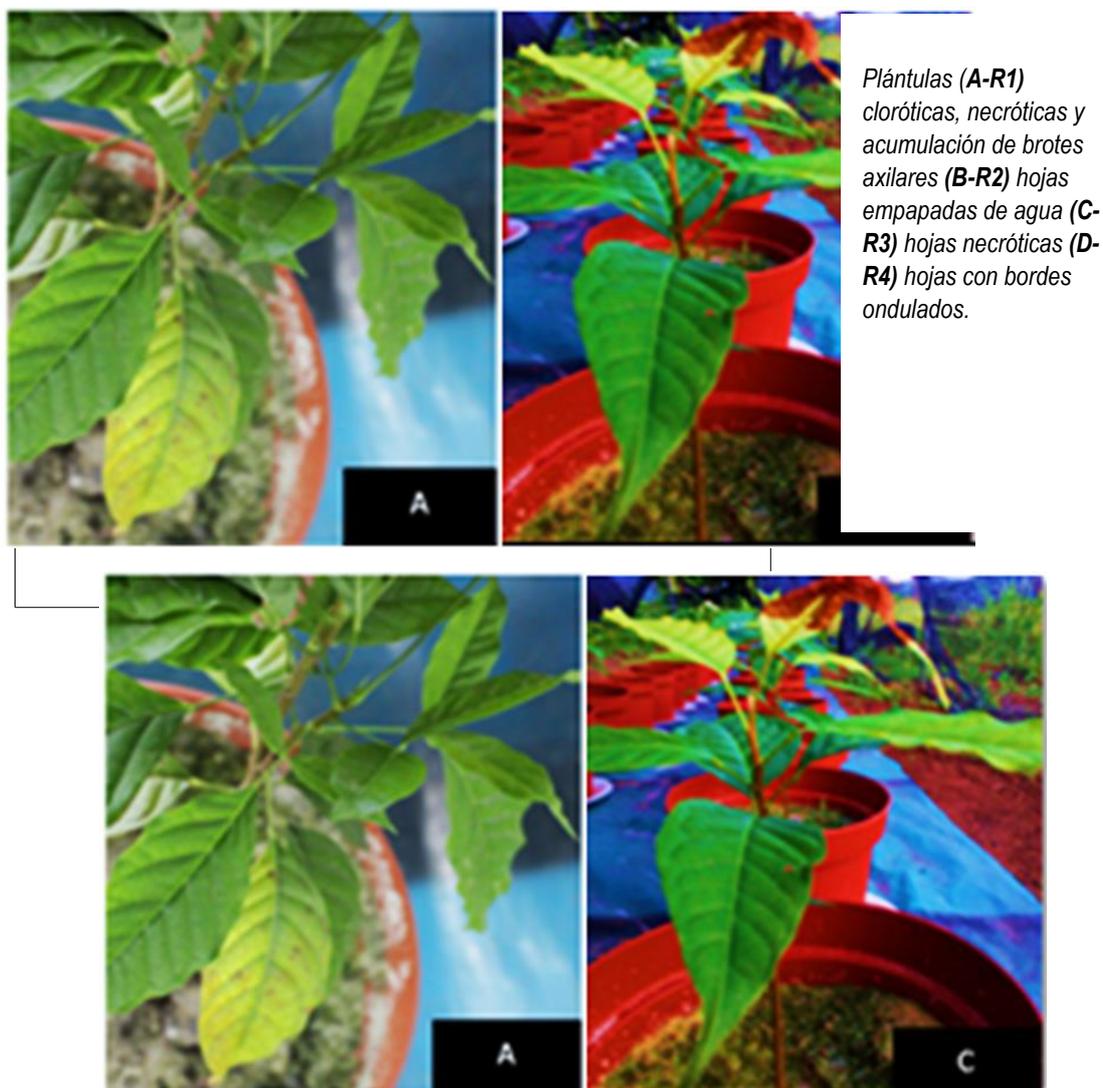


*Plántulas (T5\_A) clorosis acompañada de necrosis (T5\_B) coloración anormal (T5\_C) hojas empapadas de agua (T5\_D) mutación genética.*

**N°07:** Para esta variable se identifica la ausencia del T6\_S (AZUFRE)

### ***Sintomatologías***

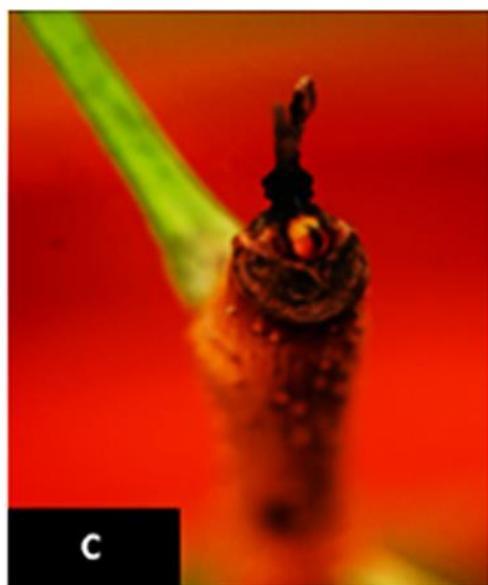
De acuerdo a este tratamiento se identificó la presencia de clorosis verde claro en hojas apicales e intermedias con posición sobre toda la hoja y venas verdes moderadamente cloróticas. Tejidos muertos (Necrosis) ubicado en la parte distal, marginal y lobulado en las hojas nuevas y viejas; igualmente coloración anormal, presencia de hojas débiles. Las plantas desarrollan la presencia de varios brotes axilares con tallos ligeramente acortados con presencia de abscisión de hojas y áreas empapadas de agua.



**N°08:** Para esta variable se identifica la ausencia del T7\_Fe (HIERRO)

***Sintomatologías***

Hojas y venas fuertemente cloróticas, ubicado en la parte distal, uniforme sobre la hoja y puntos de crecimiento presente en hojas jóvenes. También presencia de hojas necróticas y tonalidades marrones y tinte rojo con (coloración anormal) afectando en hojas viejas. Hojas pequeñas, bordes ondulados y puntas torcidas; tallos ligeramente acortados, muerte del meristemo y abscisión de hojas crecimiento lento.



Plántulas (**A-T7**) crecimiento lento (**B-T7**) hojas y venas cloróticas (**C-T7**) muerte del meristemo (**D-T7**) hojas necróticas.

**N°09:** Para esta variable se identifica la ausencia del T8\_Mn (MANGANESO)

### **Sintomatologías**

Se manifiesta de varias maneras en esta evaluación primero se registró una clorosis de verde amarillento en las hojas intermedias y nuevas. Seguido de una necrosis leve, coloración anormal en las hojas maduras, los bordes de las hojas de forma ondulados y áreas empapadas de agua.





Plántulas (**AT8-R1**) hojas cloróticas (**BT8-R2**)  
hojas necróticas. (**CT8-R3**) hojas empapadas de  
agua y (**DT8-R4**) coloración anormal.

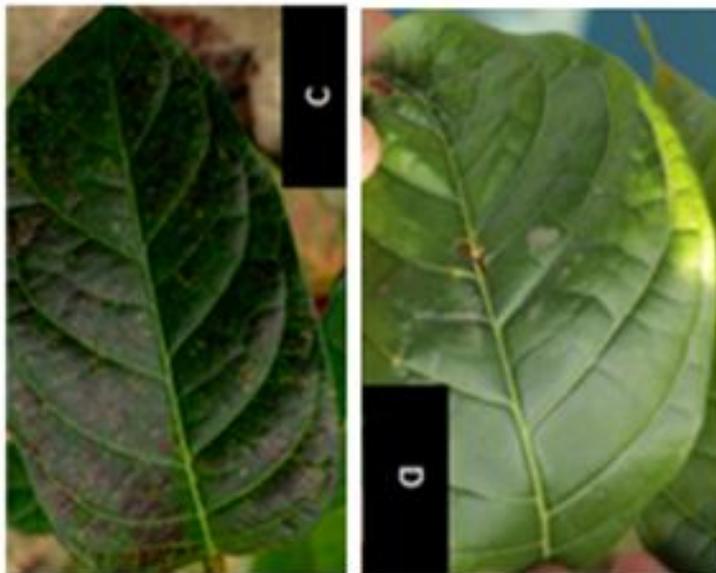
**N°10:** Para esta variable se identifica la ausencia del T9\_B (BORO)

### ***Sintomatologías***

Clorosis con un verde pálido en hojas intermedias con posición sobre toda la hoja y venas verdes fuertemente cloróticas. Coloración anormal con tonalidades de verde oscuro, marrones y tinte rojo afectando a hojas viejas. Malformaciones de las hojas, bordes ondulados, tallos ligeramente acortados, tejidos muertos y abscisión de las hojas.



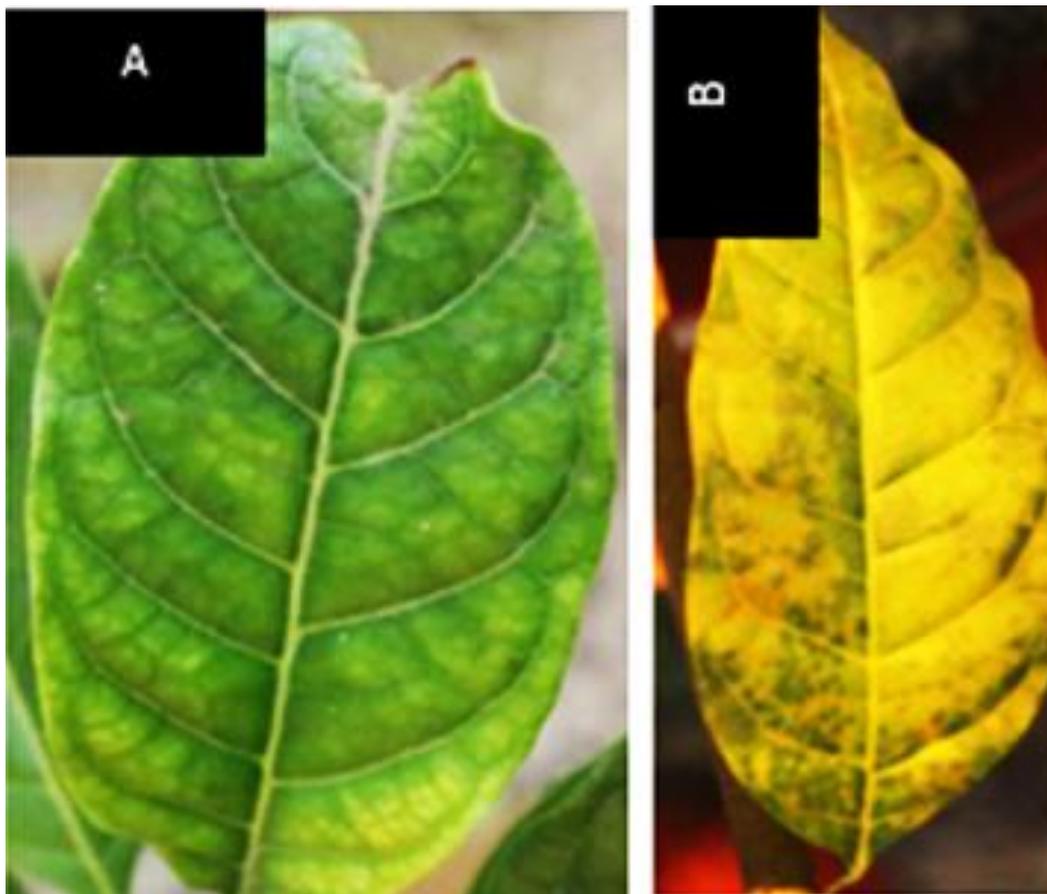
*Plántulas (AT9-R1) hojas cloróticas (BT9-R2) malformaciones de hojas (CT9-R3) coloración anormal y (DT9-*



**N°11:** Para esta variable se identifica la ausencia del T10\_Zn (ZINC)

### ***Sintomatologías***

El primer síntoma que aparece en las hojas es una clorosis marginal que avanza rápidamente por la lámina hasta que esta se torna casi blanca y con las venas principales verdes. En los márgenes de las hojas que recién emergen se inicia una clorosis amarillenta la cual crece hacia la lámina entre las venas secundarias; conforme la hoja madura, la clorosis es rodeada por un bronceamiento necrosado. Al hacerse los síntomas más severos, aparecen otros síntomas en las hojas se hacen anchas, enrolladas y los bordes se deforman provocando la defoliación de esta, dejando los pecíolos en el área cercana a las puntas del tallo; esto permite observar los internudos cortos y la apariencia del enanismo de los tallos.





*Plántulas (**AB-T10**)  
hojas cloróticas, (**C-T10**)  
malformaciones de  
hojas y (**D-T10**)  
hojas flácido con  
puntas torcidas.*

**N°12:** Para esta variable se identifica la ausencia del T11\_Cu (COBRE)

### ***Sintomatologías***

El primer síntoma visual que se nota en el follaje es el amarillamiento de las hojas jóvenes. Con el tiempo, las puntas de las hojuelas se retuercen y mal forman. Cuando la deficiencia es muy severa, las hojas maduras toman una coloración verde oscuro mientras que las hojas jóvenes desarrollan hojuelas malformadas con bordes ondulados al inicio las puntas de las hojuelas se retuercen o rizan y desarrollan una necrosis parda antes de morir. También hubo tonalidades de blanco humo (mutaciones genéticas).



*Plántulas (AT11-R1) con hojas lanceoladas, (BT11-R2) coloración anormal y (CT11-R3) mutaciones genéticas y puntas torcidas.*

**N°12:** Para esta variable se identifica la ausencia del T12\_Mo (MOLIBDENO)

### ***Sintomatologías***

Moderadamente clorótico con un verde amarillento afectando en las hojas intermedias con posición uniforme sobre la hoja, seguidamente también anomalía afectando en las hojas apicales. En la forma y estado de las hojas áreas empapadas con agua y bordes ondulados, los tallos bajo y robustos abscisión de las hojas. Un color blanco uniforme sobre la hoja la cual se le identifico como mutación genética de la planta.



*Plántulas (AT12-R1) con hojas empapadas de agua y malformadas, (BT12-R3) hojas débiles y flexibles y (CT12-R4) mutaciones genéticas.*

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

De los estudios biométricos del ensayo realizado los resultados estadísticos obtenidos refuerzan este hallazgo al encontrar valores promedios de diámetros y alturas por debajo del diámetro y altura promedio del control. Tal es el caso de mayor relevancia con el diámetro y altura promedio menor el tratamiento hierro (Fe).

1. Tratamiento 02 (FOSFORO) con concentración propuesta de 5 mg/L (ppm) por elemento químico y el resto de los elementos con 40 mg/L (ppm). Se identificó sintomatologías expresadas en las áreas foliares. **Según WEBB et al (19)**. En contraste con muchas otras especies de árboles, la deficiencia del fosforo no produce características de síntomas foliares en caoba.
2. Tratamiento 03 (POTASIO) con concentración propuesta de 50 mg/L (ppm) por elemento químico y el resto de los elementos con 250 mg/L (ppm). Se presentó la convergencia en las 4 repeticiones hojas flácidas y delgadas. **Según WEBB (19)** a medida que el potasio se vuelve deficiente, las plántulas jóvenes crecen más lentamente y los tallos se vuelven finos y delgados. El desarrollo de bordes ondulados en las hojas maduras más jóvenes es el primer síntoma foliar que aparece. A medida que la deficiencia aumenta en gravedad, aparecen manchas marrones necróticas. Se desarrollan en la lámina entre las venas principales y cerca de los márgenes de las hojas jóvenes.
3. Tratamiento 06 (AZUFRE) con concentración propuesta de 30 mg/L (ppm) por elemento químico y el resto de los elementos con 60 mg/L (ppm). Muestra tejidos muertos y presencia del aumento de brotes axilares. Según **WEBB et al (19)** eventualmente, las hojas más viejas desarrollan parches cloróticos entre las venas principales. Después de algún tiempo, los parches cloróticos se

extendieron por la mayoría de las hojas viejas, dejándolas ligeramente moteadas en comparación con las hojas más jóvenes.

4. Tratamiento 07 (HIERRO) con concentración propuesta de 2 mg/L (ppm) por elemento químico para los demás elementos y ausente el elemento faltante hierro. Demostró ser un nutrimento muy esencial para la planta de caoba, debido a la muerte apical y detención de su desarrollo y su crecimiento. **Según WEBB et al (19)** no muestra una reducción en la tasa de crecimiento. A medida que aumenta la gravedad de la deficiencia, el crecimiento de la planta joven se ralentiza y el tallo se vuelve espinoso. El primer síntoma que aparece es una débil clorosis intervenal amarilla en las hojas maduras más recientemente. En su etapa las hojas más jóvenes parecen tener un color verde pálido normal y saludable y las hojas más viejas un color verde oscuro.
5. Tratamiento 09 (BORO) con concentración propuesta de 0.8 mg/L (ppm) por elemento químico para los demás elementos y ausente el elemento faltante boro. En esta variable se muestra la convergencia en coloraciones anormales en las hojas. Según **WEBB et al (19)**. El primer síntoma visual en el follaje es la aparición de una necrosis marrón pálido en las áreas intervenales en la sección basal de las hojas jóvenes. Como la deficiencia se vuelve más severa, los bordes de las nuevas hojas en desarrollo se ondulan y las puntas de las hojas pueden estar malformadas y desarrollar una necrosis marrón. Estas hojas jóvenes se vuelven flácidos (o se marchitan) y desarrollan un tinte rojizo en la parte inferior de la lámina.
6. Tratamiento 10 (ZINC) con concentración propuesta de 0.2 mg/L (ppm) por elemento químico para los demás elementos y ausente el elemento faltante zinc. Se presentó una leve clorosis y deformaciones de los bordes de las hojas convergentes en los cuatros repeticiones. Según **WEBB et al (19)**. La deficiencia de zinc reduce la tasa de crecimiento de las plántulas, por lo que eventualmente

se vuelven muy atrofiadas, con entrenudos cortos y tallos escarpados. Los primeros síntomas aparentes aparecen en las hojas más jóvenes como una clorosis marginal que avanza rápidamente a través de la hoja hasta que la hoja entera.

7. En el estudio realizado en las variables cuantitativas en altura y diámetro de las plantas el **Nitrógeno** y **Hierro** fueron drásticamente afectados. Según **CERVANTES (24)** el **calcio** y **potasio** afectaron significativamente en la mayoría de las variables evaluadas y **magnesio y azufre**, no afectaron significativamente el crecimiento de la planta, mostrando sintomatología poco acentuada en los folíolos.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se realizó el presente estudio, permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. De acuerdo con la utilización de la técnica del elemento faltante en el presente estudio de deficiencias nutricionales, al evaluar las sintomatologías de los tratamientos en estudio se identificó que el elemento nutricional T7 hierro y T1 nitrógeno obtuvieron un alto índice de deficiencias en el desarrollo y crecimiento de la planta de caoba con respecto a los demás tratamientos; que son sumamente importantes para la planta de caoba, pero en menor proporción.
2. Los tratamientos de macronutrientes presentaron sintomatologías de clorosis y necrosis (puntos necróticos) en las hojas de las plantas. Solo el T2 FOSFORO no manifestó clorosis, pero juntamente con el T1 NITROGENO mostraron deficiencia de coloraciones anormales en las hojas de las plantas de caoba.
3. Los tratamientos de micronutrientes al igual que los macronutrientes mostraron sintomatologías de clorosis y necrosis en hojas de las plantas. Solo el T8 MANGANESO y el T9 BORO presentaron deficiencias de coloraciones anormales presentes en las hojas y, el T11 COBRE Y T12 MOLIBDENO presentaron manchas blancas sobre las hojas lo cual es considerado como una mutación genética de dicha especie forestal.

## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

1. Bajo las condiciones en que se realizó el trabajo de investigación, para el cultivo forestal de caoba se recomienda tener una constante nutrición con el micronutriente de hierro y el macronutriente nitrógeno que indicaron un grado mayor de sintomatologías debido a su ausencia, para así obtener mejores características agronómicas y mayor producción.
2. Realizar más trabajos de investigación con diferentes cultivos forestales de la amazonia y con un volumen mayor de árboles por tratamiento que permitan tener una mayor incrementación de resultados validados para concretar y desarrollar nuevas tecnologías que sirvan de guía técnico para los productores forestales e incrementar su producción.
3. Incentivar estudios que incluyan información de deficiencias nutricionales en base a los cultivos forestales presente en nuestra amazonia con el uso de Sistemas Agroforestales que permitan mejorar y conocer la sintomatología debido a la ausencia de un elemento y poder corregir dichas deficiencias en un momento adecuado y de forma eficiente sin perjudicar al medio y a la producción y la economía del hombre.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. **PIRIZ CARRILLO, V.; FASSOLA, H.E.; CHAVES, A.R.; MUGRIDGE, A.** Almacenamiento refrigerado de semillas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze: CONSERVACIÓN DEL PODER GERMINATIVO. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 2004.
2. **FINOL, H.** Métodos de regeneración natural en algunos tipos de bosque venezolanos. Revista Forestal Venezolana, vol. 26. Universidad de los Andes, Mérida. Venezuela. 1976.
3. **TRIGOSO J.; STERN, M.; LEÓN, F.; REÁTEGUI, F. (2002).** Análisis del estado de conservación de la caoba (*Swietenia macrophylla*) en el Perú. Lima, PE. 87p.
4. **BARRERA V. y VARGAS C. (2004).** Informe de la Autoridad Científica CITES: La caoba en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Lima. PE 31 p.
5. **CRONQUIST, A. (1981).** An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press.
6. **JIMÉNEZ, H. (1999).** REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla King*) en Mesoamérica. Centro Científico Tropical PROARCA/CAPAS. 62 p.
7. **PENNINGTON T.D. (2002).** Mahogany carving a future. Biologist 49:204-208.
8. **PROYECTO PD 022/99 REV.2 (F) ESNACIFOR.; PROECEN. Y OIMT. (2003).** Guías silviculturales de 23 especies forestales del bosque húmedo de honduras. Pp.18 – 22.

9. **FAIRHURST, T., y C. WITT. (2002).** Guía Práctica para manejo de nutrientes. España. Pp. 1- 40.
10. **RANERO, J.R.; (1972).** Observaciones y mejoramiento en los métodos de montar ensayos de correlación entre la respuesta vegetal y la aplicación de nutrientes en el invernadero. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Digesa, Depto. De Edafología.
11. **BARCELÓ C. J., NICOLÁS R. G., SABATER G. B., SÁNCHEZ T. R. 2001.** Fisiología Vegetal. Edic. Pirámide. Madrid. (Grupo Anaya), S. A.). Pp.126 -137.
12. **HOAGLAND, D. R. & ARNON D. I. 1972.** Preparación de Solución Nutritiva Stock. Pp 12-15.
13. **SIVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; (1980) CASO O.H.** Fisiología Vegetal, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires. 1980.
14. **DEVLIN ROBERT M. 1980.** Fisiología vegetal. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. Casanova, 220. Barcelona 11. Pp. 304-311.
15. **SALISBURY, F. (2000).** Fisiología de las plantas. Editorial Paraninfo Thomson Learning, Madrid 215p.
16. **LANDIS, T.D. (1989).** Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T.D.; Tinus R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. The Container Tree Nursery Manual, Volume 4. Agric. Handbbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: Pp 1-67.
17. **MARSCHNER H. (1995).** Mineral nutrition of higher plants. 2a ed. Academic Press. Londres, RU. 889 p.
18. **ARNON, DI y STOUT, PR (1939).** La esencialidad de ciertos elementos en cantidad mínima para las plantas con especial referencia al cobre. *Fisiología vegetal*, 14 (2), 371.

19. **WEBB, MJ, REDDELL, P. Y GRUNDON, NUEVA JERSEY (2001).** Una guía visual de los trastornos nutricionales de las especies de cronómetros tropicales: *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*. Pp 435-2016-33671.
  
20. **KRIEBITZSCH, W.J., DÜNISCH, O., MÜLLERSTAEEL, H. Y SCHWARZ, T. (2000).** CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O gas exchange of *Swietenia macrophylla* King and *Carapa guianensis* Aubl. Growing under controlled climate conditions in a greenhouse. *In*: Lieberei, R., Bianchi, H.K., Boehm, V., Reisdorff, C. (eds.). Neotropical Ecosystems, Proceedings of the German-Brazilian Workshop, Hamburg, GKSS. Pp. 949-954.
  
21. **PANIAGUA, A. y TORUÑO, H. (2004).** Determinación de necesidades nutrimentales para las especies *Swietenia macrophylla* y *Cupressus lucitanica* en pruebas de invernadero. *Revista Chapingo*10 (1): Pp.37- 41.
  
22. **VENDIOLA, E.E. (1995).** Early growth development of *Swietenia macrophylla* as affected by foliar fertilization. Mindoro Experimental Forest. RDE Activities. Completed – R4B Forest. S.p.
  
23. **MINDAWATI N. Murniati (1990).** The effect of N and P fertilization on growth of young mahogany (*Swietenia macrophylla*). *Buletin Penelitian Hutan*
  
24. **CERVANTES HUILCA, J. (2014).** Efecto de la carencia de macro elementos nutritivos en el crecimiento inicial y síntomas de deficiencia en caoba (*swietenla macrophylla* King.) en Pucallpa. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2340>
  
25. **ALVARADO, A. (2012).** Nutrición y fertilización de *Cedrela odorata*. *In* Alvarado A, Raigosa J (eds.). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. San José, Costa Rica. p. 213-219
  
26. **GLASS, A. D. M. 1989.** *Plant Nutrition, An introduction to current concep*, Jones an Bartlett Publishers.

- 27. MARSCHNER, H. (1986).** Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press. 674 p.
- 28. RAMIREZ TELLO, A. (2014).** Efecto de la carencia de micro elementos en el crecimiento de plantones y síntomas de deficiencia en el cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc. Vauhg).  
Disponibile en: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2340>
- 29. RAMÍREZ, D., ALVARADO, A., ÁVILA, C., CAMACHO, M. E., FERNÁNDEZ, J., MURILLO, R., ... & SANDÍ, C. L. (2018).** Dinámica de la concentración y acumulación de nutrimentos en los componentes de la biomasa aérea de *Cedrela odorata* L. en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, Vol.42(1), Pp.21-48.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Datos originales

**Cuadro 7. Concentraciones de nutrientes en mg/L (ppm) por elemento químico, según técnica de los elementos faltantes. Utilizada en el presente estudio.**

Concentración propuesta de nutrientes en mg/L (ppm)													
	CONTROL	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
N	190	50	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
P	40	40	5	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
K	250	250	250	50	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Ca	160	160	160	160	60	160	160	160	160	160	160	160	160
Mg	45	45	45	45	45	15	45	45	45	45	45	45	45
S	60	60	60	60	60	60	30	60	60	60	60	60	60
Fe	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Mn	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
B	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8
Zn	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2
Cu	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.0	0.15
Mo	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0

**Cuadro 8. Volúmenes de soluciones concentradas para preparar 1 litro de soluciones nutritivas según tratamiento para macronutrientes, en plantaciones de caoba, mediante la Técnica de los Elementos Faltantes.**

Soluciones Stock g/L	Control ml/Lt	N	P	K	Ca	Mg	S
Nitrato Potasio	10	0	10	0	10	4.3	1.4
Nitrato Amonio	0	0	0	10	19.6	7.6	0
Nitrato Calcio	10	3.8	10	10	3.8	10	10
Nitrato Magnesio	0	0	0	0	0	0	10
Cloruro de calcio	0	10	0	0	0	0	0
Fosfato Monopotásico	10	10	1.2	10	10	10	10
Sulfato Potasio	10	52	22.2	0	10	35	0
Sulfato de Amonio	0	0	0	10	0	0	0
Cloruro de Potasio	0	0	0	0	0	0	10
Sulfato Magnesio	10	10	10	10	10	1	1
Quelato de Hierro	1	1	1	1	1	1	1
Ácido Bórico	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato de manganeso	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato de Zinc	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato de Cobre	1	1	1	1	1	1	1
Molibdato de Amonio	1	1	1	1	1	1	1

**Cuadro 9. Volúmenes de soluciones concentradas para preparar 1 litro de soluciones nutritivas según tratamiento para micronutrientes, en plantaciones de caoba, mediante la Técnica de los Elementos Faltantes.**

Soluciones Stock g/L	Control ml/Lt	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
Nitrato Potasio	10	10	10	10	10	10	10
Nitrato Amonio	0	0	0	0	0	0	0
Nitrato Calcio	10	10	10	10	10	10	10
Nitrato Magnesio	0	0	0	0	0	0	0
Cloruro de calcio	0	0	0	0	0	0	0
Fosfato Monopotasico	10	10	10	10	10	10	10
Sulfato Potasio	10	10	10	10	10	10	10
Cloruro de Potasio	0	0	0	0	0	0	0
Sulfato Magnesio	10	10	10	10	10	10	10
Quelato de Hierro	1	0	1	1	1	1	1
Sulfato de manganeso	1	1	0	1	1	1	1
Ácido Bórico	1	1	1	0	1	1	1
Sulfato de Zinc	1	1	1	1	0	1	1
Sulfato de Cobre	1	1	1	1	1	0	1
Molibdato de Amonio	1	1	1	1	1	1	0

**Tabla 3. Comparación de medias de TUKEY de la Variable: Altura de la planta.**

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.23095**

*Error: 16.8513 gl: 39*

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T7_Fe	22.03	4	2.05	A
T1_N	34.55	4	2.05	B
T12_Mo	36.70	4	2.05	B
T10_Zn	37.38	4	2.05	B
T2_P	37.88	4	2.05	B
T9_B	39.00	4	2.05	B
T6_S	39.75	4	2.05	B
T3_K	41.25	4	2.05	B
T0_Control	41.50	4	2.05	B
T4_Ca	41.75	4	2.05	B
T8_Mn	41.88	4	2.05	B
T11_Cu	42.50	4	2.05	B
T5_Mg	42.75	4	2.05	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Tabla 4. Comparación de medias de TUKEY de la variable: Diámetro del cuello de la planta**

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.74824**

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T2_P	6.65	4	0.35	A	
T7_Fe	6.73	4	0.35	A	
T12_Mo	7.17	4	0.35	A	B
T3_K	7.19	4	0.35	A	B
T10_Zn	7.29	4	0.35	A	B
T9_B	7.29	4	0.35	A	B
T11_Cu	7.52	4	0.35	A	B
T1_N	7.53	4	0.35	A	B
T6_S	7.54	4	0.35	A	B
T8_Mn	7.71	4	0.35	A	B
T0_Control	8.17	4	0.35	A	B
T4_Ca	8.63	4	0.35		B
T5_Mg	8.80	4	0.35		B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Tabla 5. Comparación de medias de TUKEY de la variable: peso húmedo total de la planta**

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=67.07843**

*Error: 724.3809 gl: 39*

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T7_Fe	31.01	4	13.46	A	
T12_Mo	54.77	4	13.46	A	B
T9_B	56.65	4	13.46	A	B
T2_P	65.82	4	13.46	A	B
T1_N	67.66	4	13.46	A	B
T3_K	78.75	4	13.46	A	B
T4_Ca	83.78	4	13.46	A	B
T6_S	86.82	4	13.46	A	B
T10_Zn	95.84	4	13.46	A	B
T5_Mg	95.84	4	13.46	A	B
T11_Cu	96.74	4	13.46	A	B
T8_Mn	100.60	4	13.46		B
T0_Control	101.18	4	13.46		B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Tabla 6. Comparación de medias de TUKEY de la variable: longitud de la raíz**

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=18.76475**

Error: 56.6874 gl: 39

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2_P	13.50	4	3.76 A
T7_Fe	13.83	4	3.76 A
T3_K	15.68	4	3.76 A
T4_Ca	16.75	4	3.76 A
T9_B	17.05	4	3.76 A
T8_Mn	18.88	4	3.76 A
T12_Mo	21.50	4	3.76 A
T11_Cu	22.25	4	3.76 A
T10_Zn	23.50	4	3.76 A
T1_N	27.48	4	3.76 A
T5_Mg	28.00	4	3.76 A
T0_Control	28.15	4	3.76 A
T6_S	28.50	4	3.76 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 7. Comparación de medias de TUKEY de la variable: Area foliar**

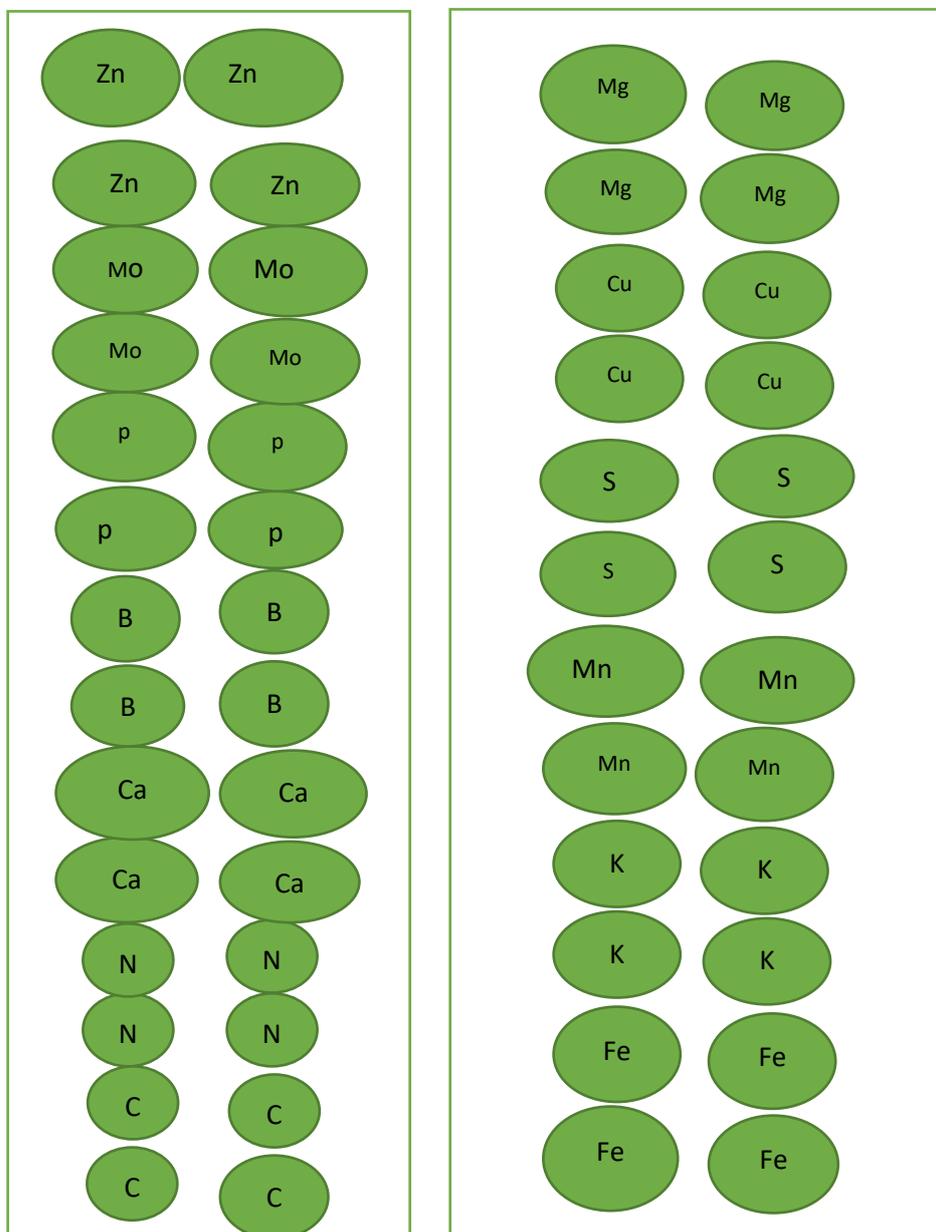
**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00000**

Error: 0.0000 gl: 39

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T7_Fe	29.19	4	0.00 A
T6_S	55.15	4	0.00 B
T8_Mn	56.00	4	0.00 C
T0_Control	64.87	4	0.00 D
T12_Mo	66.04	4	0.00 E
T3_K	66.24	4	0.00 F
T1_N	66.24	4	0.00 F
T11_Cu	71.48	4	0.00 G
T2_P	86.71	4	0.00 H
T10_Zn	102.94	4	0.00 I
T9_B	109.62	4	0.00 J
T5_Mg	121.31	4	0.00 K
T4_Ca	212.16	4	0.00 L

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 2. Croquis de la ubicación de los tratamientos y repeticiones



### Anexo 3. Fotos del trabajo de investigación realizada



**Foto 1.** Germinación de las semillas de caoba



**Foto 2.** Llenado de bolsas



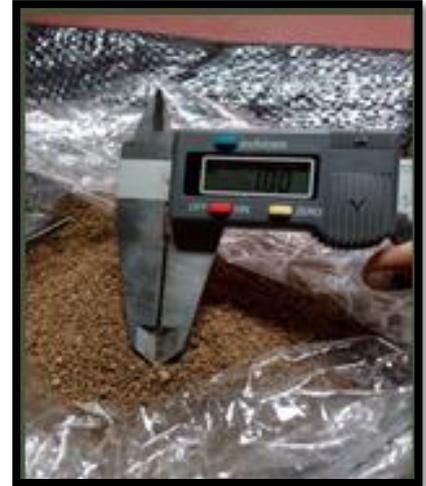
**Foto 3.** Plantas repicadas en producción de vivero.



**Foto 4.** Tamizado de la arena (1mm.)



**Foto 5.** Arena mediana (0.2 -



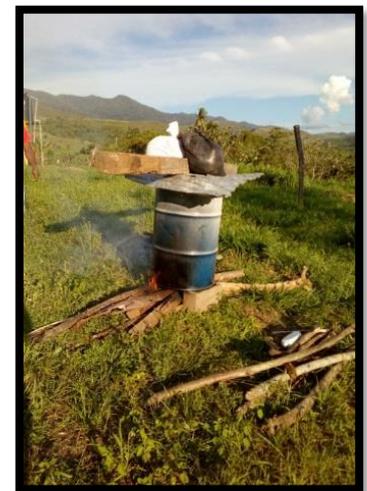
**Foto**  
arena.

**6.** Lavado de

**Foto 7.** Lavado de gravas.



**Foto 8 y 9.** Desinfección y esterilización a vapor de agua del material sustrato.



**Foto 10.** Contenedores.



**Foto 11.**

Instalación del ensayo.

**Foto 12.** Ensayo instalado.



**Foto 13.** Preparación de soluciones

**Foto 14.** Aplicación de las soluciones.



**Foto 15.** Medición del diámetro.

**Foto 16.** División de las partes de caoba.



Foto 17. Medición de la raíz.



Foto 18. Peso húmedo de la raíz.



**Anexo 4. Formato utilizado para la identificación de los datos  
sintomatológicos obtenidos por la ausencia de algún elemento faltante.**

<b>REGISTRO DE EVALUACIONES SINTOMATOLOGICOS EN PLANTAS DE CAOBA POR DEFICIENCIAS NUTRICIONALES</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>Repetición</b>	<b>Clorosis</b>	<b>Necrosis</b>	<b>Coloración anormal</b>	<b>Forma y estado de la hoja</b>	<b>Tallos y punto de crecimiento</b>	<b>Otras observaciones</b>
	R1						
	R2						
	R3						
	R4						
<b>Convergente</b>							
<b>Divergente</b>							