"Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
09/10/14
BIBLIOTECA CENTRAL
U N U

"EFECTO DE LA CARENCIA DE MACRO ELEMENTOS NUTRITIVOS EN EL CRECIMIENTO INICIAL Y SINTOMAS DE DEFICIENCIA EN CAOBA *(Swietenia macrophylla King.)* EN PUCALLPA

TESIS

Para optar el Título de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR:

BACH: JUVENAL CERVANTES HUILCA

PUCALLPA - PERÚ

2014

ACTA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por el jurado calificador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali como requisito para obtener el título profesional de Ingeniero Forestal, el mismo que estuvo integrado por los siguientes catedráticos:



Ing. M. Sc Edgar Juan Diaz zuñiga. .....
Presidente.

Ing. M. Sc Ruben Maturano Perez. .....
Secretario.

Ing. Clovis Ramírez Ramírez. .....
Miembro.

Dr. Fernando Pérez Leal. .....
Asesor.

Ing. M. Sc. Víctor Araújo Abanto. .....
Co assessor.

Bach. Juvenal Cervantes Huilca. .....
Tesista.

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la oportunidad de conocerle y darme las fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mis padres:

Mariano y Enriqueta, que nunca dudaron de mí, y me dieron su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos:

Eleazar, Mónica, José, Jaime y Urbano, por motivarme y apoyarme

A mi esposa e hijo

Rosa Sani Ramos que me da su cariño todo los días y a Rodrigo Valentino Mariano, que su llegada fue lo más hermoso para mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali, por darme la oportunidad de cumplir con uno de mis sueños y objetivo de vida ser un profesional.

Al cuerpo de profesionales que me ayudaron de una u otra manera, en especial a mi asesor Ing. M. Sc. Fernando Pérez Leal y *Co asesores, Ing. Víctor Araujo Abanto y al Ing. Eleazar Cervantes Huillca, que con sus aportes hicieron que se concretice la tesis realizada, que marca una etapa importante en mi vida profesional.*

INDICE DE CONTENIDO

DESCRIPCIÓN **Pág**

ACTA DE APROBACIÓN II

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTO IV

INDICE DE CONTENIDO V

LISTA DE CUADROS VII

LISTA DE GRÁFICOS VIII

LISTA DE FOTOS IX

RESUMEN XII

ABSTRACT XIII

INTRODUCCIÓN 14

FORMULACION DEL PROBLEMA 15

JUSTIFICACION 16

OBJETIVO DE LA INVESTIGACION 17

OBJETIVO GENERAL 17

OBJETIVOS ESPECIFICOS 18

CAPITULO I MARCO TEORICO 19

1.1 REVISIÓN DE LITERATURA 19

1.1.1 La caoba y sus generalidades. 19

1.2 Historia comercial, principales países productores y consumidores de caoba. 25

1.3 Nutrición mineral 26

1.4 Efecto de los macro elementos en el crecimiento de las plantas. 27

1.5 Nutrición forestal 41

CAPITULO II MARCO METODOLOGICO 44

2.1 MATERIALES Y METODOS 44

2.1.1 Ubicación 44

2.1.2 Duración del estudio 44

2.1.3 Ecología y clima 44

2.1.4 Materiales, Insumos y equipos 46

2.1.5 Metodología 47

2.1.6 Variables evaluadas. 52

2.1.7 Operacionalización de las variables. 54

2.1.8 Diseño Estadístico. 55
CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUCIÓN 57
3.1. RESULTADOS 57
3.1.1 Análisis del efecto en el crecimiento que causa la ausencia de cada uno de los elementos esenciales macro nutrientes en el crecimiento de planta de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) a 90 días después del trasplante a solución nutritiva. 57
3.1.2 Síntomas de deficiencia que causan cada uno de los elementos macro nutrientes en la planta Caoba (*Swietenia macrophylla* King). 68
CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 91
4.1 CONCLUSIONES. 91
4.2 RECOMENDACIONES. 93
BIBLIOGRAFIA 94
ANEXO 99

LISTA DE CUADROS

CUADRO **TITULO** **Pág.**

CUADRO 1: COMPOSICIÓN MODIFICADA DE LA SOLUCIÓN DE HOAGLAND PARA PLANTAS.....48

CUADRO 2: SOLUCIONES "STOCK" DE COMPONENTES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA DE HOAGLAND Y ARNON.....49

CUADRO 3: SOLUCIÓN "STOCK" DE MICRONUTRIENTES (I). 49

CUADRO 4: TABLA PARA PREPARACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS 50

CUADRO 5: SOLUCIONES NUTRITIVA Y SU CONTENIDO DE ELEMENTOS (PPM). 51

CUADRO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA 56

CUADRO 7: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO EVALUADOS. 57

CUADRO 8: ANOVA DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES DE CRECIMIENTO.....100

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO **TITULO** **Pág.**

GRÁFICO 1: ALTURA DE LA PLANTA POR TRATAMIENTO Y EL RESULTADO DE LA PRUEBA DE PROMEDIO TUKEY (0.05). 58

GRÁFICO 2: LONGITUD DE LA RAÍZ POR TRATAMIENTO. 60

GRÁFICO 3: DIÁMETRO DEL TALLO DE LA PLANTA POR TRATAMIENTO. 61

GRÁFICO 4: NÚMERO DE HOJAS DE LA PLANTA POR TRATAMIENTO Y EL RESULTADO DE LA PRUEBA DE PROMEDIO TUKEY (0.05). 63

GRÁFICO 5: PESO SECO DE LA RAÍZ POR TRATAMIENTO Y EL RESULTADO DE LA PRUEBA DE PROMEDIO TUKEY (0.05). 64

GRÁFICO 6: PESO SECO DE LA PARTE AÉREA DE LA PLANTA POR TRATAMIENTO Y EL RESULTADO DE LA PRUEBA DE PROMEDIO TUKEY (0.05). 65

GRÁFICO 7: VOLUMEN DE LA RAÍZ POR TRATAMIENTO Y EL RESULTADO DE LA PRUEBA DE PROMEDIO TUKEY (0.05). 67

LISTA DE FOTOS

FOTO **TITULO** **Pág.**

FOTO 1: ASPECTO DE LA PARTE AÉREA DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA. 69

FOTO 2: ASPECTO DE LAS RAÍCES DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA. 70

FOTO 3: ASPECTO DE LA HOJA DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN N....71

FOTO 4: ASPECTO DE LAS RAÍCES DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN N....71

FOTO 5: ASPECTO DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA VERSUS UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN N. 72

FOTO 6: ASPECTO DE LA HOJA DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN P....74

FOTO 7: ASPECTO DE LAS RAÍCES DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN P....75

FOTO 8: ASPECTO DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN P A LOS 76 DÍAS DE TRATAMIENTO. 75

FOTO 9: ASPECTO UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA VERSUS UNA PLANTA CULTIVA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN P A LOS 90 DÍAS DE RECIBIDO EL TRATAMIENTO....76

FOTO 10: ASPECTO DE LA PARTE AÉREA DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN K. 78

FOTO 11: ASPECTO DE LAS RAÍCES DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN K. 78

FOTO 12: ASPECTO UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA VS. UNA PLANTA CULTIVA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN K. 79

FOTO 13: ASPECTO DE LA HOJA DE CAOBA CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN CA. 81

FOTO 14: ASPECTO DE LA HOJA DE CAOBA CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN CA. 82

FOTO 15: ASPECTO DE UNA PLANTA EN CULTIVA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN CA. 82

FOTO 16: ASPECTO DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA VERSUS UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN CA. 83

FOTO 17: ASPECTO DE UNA DE PLANTA DE CAOBA Y SUS HOJAS CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN MG. 85

FOTO 18: ASPECTO DE LAS RAÍCES DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN MG. 85

FOTO 19: ASPECTO DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADA EN SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA VERSUS UNA PLANTA DE CAOBA, CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN MG. 86

FOTO 20: ASPECTO DE LA HOJA DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN S. 88

FOTO 21: ASPECTO DE LAS RAÍCES DE UNA PLANTA DE CAOBA CULTIVADO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA SIN S. 88

FOTO 22: ASPECTO DE UNA PLANTA DE CAOBA (AZUFRE VS. S.COMP.) 89

FOTO 23: PLÁNTULA DE CAOBA QUE FUERON SOMETIDOS A LOS TRATAMIENTOS. 101

FOTO 24: EXPERIMENTO RECIÉN INSTALADO. 101

FOTO 25: MEDICIÓN DEL PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. 102

FOTO 26: CORTE DE LA RAÍZ Y LA PARTE AÉREA DE LA PLANTA PARA SU POSTERIOR SECADO EN LA ESTUFA. 102

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó el efecto en el crecimiento de la planta y la sintomatología que causa la omisión de cada uno de los macronutrientes (N, K, P, Ca, Mg y S) en la especie caoba (*Swietenia macrophylla* King.), la tesis, se ejecutó en el módulo de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, con una duración de tres meses en la fase experimental, al término del ensayo se encontró que las omisiones de calcio y potasio afectaron las que 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 foliolos fue muy clara, la omisión de nitrógeno afecto el crecimiento de la planta , mostrando una sintomatología muy acentuada a nivel de los foliolos, las omisiones de magnesio y azufre, no afectaron significantemente el crecimiento de la planta, mostrando sintomatología poco acentuada en los foliolos.

Palabras claves: *Swietenia macrophylla* King., macronutrientes.

ABSTRACT

In the present work, the effect was determined in plant growth and symptoms causing the failure of each of the macronutrients (N, K , P , Ca , Mg and S) in the species (*Swietenia macrophylla* King .) the thesis was implemented in the form of hydroponics , National University of Ucayali , with a duration of three months in the experimental phase , at the end of the trial it was found that the omission of calcium and potassium which affected most drastically affected of the variables evaluated , likewise the symptoms observed in them corresponds to a type of severe symptoms according to the literature, the omission of phosphorus greatly affect root development , their symptoms in the leaflets was very clear , the omission of nitrogen affect the growth of the plant, showing a very marked at the level of symptomatology leaflets , omissions magnesium and sulfur, not significantly affected the growth of the plant, showing slightly marked symptoms in the leaflets.

Keywords: *Swietenia macrophylla* King, macronutrients.

INTRODUCCIÓN

La caoba (*Swietenia macrophylla* King.) ha sido tradicionalmente la especie maderable de mayor importancia económica en el Perú, por los altos precios que ha alcanzado en los mercados internacionales.

La caoba es una especie forestal muy valiosa que nos brindan una amplia gama de productos industriales que utilizamos en la vida cotidiana: madera, tableros contrachapados. Los productos industriales de esta madera junto con otras especies de los bosques amazónicos representan alrededor de uno por ciento del producto interno bruto global y tres por ciento de todos los bienes comercializados (FAO, 2005). El comercio internacional de productos madereros se calcula en más de 200 billones de dólares estadounidenses. (Hoy, H. E. 1946), (Record, S. and R. Hess. 1947) y (Veríssimo, A. & Lima, E. 1998).

Los mayores volúmenes de madera de caoba que son comercializados en los mercados mundiales provienen de las selvas tropicales nativas en donde se realiza una abusiva extracción de esta valiosa especie. La consecuencia de esto, es que las poblaciones naturales de caoba están muy reducidas en las áreas en que se encuentran. (Buitrón, X and Mulliken, T. 2001), (ITTO, 2003) y (Veríssimo *et al.*, 1992)

A pesar del tiempo transcurrido existe un reducido número de áreas cultivadas de esta especie, en comparación con la extracción masiva que se viene haciendo de esta especie forestal.

En la actualidad se realizan proyectos de reforestación con la finalidad de reocupar áreas deforestadas con esta especie, que ofrece una madera de calidad a largo plazo pero responsablemente, empleando en estos proyectos plantones producidos en los viveros forestales.

Teniendo especial interés en saber los distintos factores que afectan el normal desarrollo de esta especie maderable en la etapa de vivero, en donde los elementos esenciales macro nutrientes N, P, K, Ca, Mg y S cumplen un papel importante en la estructura y metabolismo, la deficiencia de uno de los macro elementos afecta el normal crecimiento de las plantas, y que la carencia de uno de estos macro elementos pueden ser reconocidos cuando se manifiesta en los síntomas característicos respectivos, y luego ser resueltos mediante la aplicación de un correctivo.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuáles serán los efectos en el crecimiento inicial y síntomas de deficiencia identificables de los macro nutrientes en caoba (*Swietenia macrophylla* King.), cultivada en solución nutritiva, bajo condiciones de hidroponía en Pucallpa?

JUSTIFICACION

La caoba es una especie forestal muy valiosa que nos brindan una amplia gama de productos industriales que utilizamos en la vida cotidiana: madera, tableros contrachapados, postes, palos, pulpa y papel. Los productos industriales de esta madera junto con otras especies de los bosques amazónicos representan alrededor de uno por ciento del producto interno bruto global y tres por ciento de todos los bienes comercializados (FAO, 2005). El comercio internacional de productos madereros se calcula en más de 200 billones de dólares estadounidenses. (Hoy, H. E. 1946), (Record, S. and R. Hess. 1947) y (Veríssimo, A. & Lima, E. 1998).

La *Swietenia macrophylla* King" caoba" es la especie maderable con mayor valor económico en el mundo. Los mayores volúmenes de madera de caoba que son comercializados en los mercados mundiales provienen de las selvas tropicales nativas en donde se realiza una abusiva extracción de esta valiosa especie, es decir, no se la está utilizando de manera sostenible como lo solicitan los países exportadores. La consecuencia de esto, es que las poblaciones naturales de caoba están muy reducidas en las áreas en que se encuentran. En función de esto, ha aumentado la preocupación de que la caoba esté amenazada por la explotación forestal predatoria. Brasil y Bolivia han estado en el centro del debate, porque son los mayores productores de caoba del mundo y detentan las mayores reservas naturales de dicha especie (Buitrón, X and Mulliken, T. 2001), (ITTO, 2003) y (Veríssimo, *et al.*1992)

A pesar del tiempo transcurrido existe un reducido número de áreas cultivadas de esta especie, en comparación con la extracción masiva que se viene haciendo de esta planta. Se hace necesario crear condiciones de siembra y cultivo, evitando de este modo la extracción indiscriminada.

Teniendo especial interés en saber los distintos factores que afectan el normal desarrollo de este cultivo, en donde los elementos esenciales macro nutrientes N, P, K, Ca, Mg y S cumplen un papel importante en la estructura y metabolismo vegetal, ya que la deficiencia de estos afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas y que la ausencia de estos pueden ser reconocidos cuando se manifiesta en los síntomas característicos respectivos, por lo que el presente trabajo de investigación estará orientado en conseguir toda la información necesaria respecto a este tema ya que no se cuenta con trabajos que nos den esta información a fin de que el agricultor y el técnico puedan discernir entre estos casos y dar solución al problema que se presente relacionado a los elementos en estudio.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

OBJETIVO GENERAL

Determinar los efectos de la carencia de macro nutrientes y determinación de síntomas de deficiencia en la especie caoba (*Swietenia macrophylla* King.), en Pucallpa.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

a) Determinar el efecto de la carencia de los macro elementos, (Nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) en el crecimiento inicial de la caoba (*Swietenia macrophylla* King.)

b) Determinar la sintomatología de la deficiencia de los macronutrientes, (Nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) en el crecimiento inicial de la caoba (*Swietenia macrophylla* King.)

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 REVISIÓN DE LITERATURA

1.1.1 La caoba y sus generalidades.

a) Zona de distribución geográfica natural.

El área de distribución fitogeográfica de la Caoba está en zonas con climas tropicales y subtropicales, originalmente se la encuentra en México, Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Brasil y Bolivia. Su distribución corresponde generalmente a los bosques húmedos tropicales. (Aoki, H. 1982), (Gullison, R.E., and S Hubbell. 1992) y (Gullison, R.E., and S. P. Hubbell. 1992).

Gullison, R. *et al* (1996) Menciona que la caoba crece en altitudes que van desde 0 a 1.400 msnm, sobre variedad y condición de suelos (aluviales, alcalinos, volcánicos, metamórficos, calcáreos, profundos, ácidos, bien drenados y arcillosos). Puede ser encontrada en suelos periódicamente inundados, en terrenos ligeramente ondulados, en áreas relativamente planas y también en suelos pobres en nutrientes y arcillas.

Negreros, P. 1991 y Itto, (2003) Dan a conocer que la especie caoba ha sido extraída del continente americano desde hace unos 500 años, desde la conquista española a América, esta madera se la explotó y explota hasta la

fecha en todas sus zonas de distribución natural. En la Amazonía brasileña, la comercialización de la caoba comenzó a producirse de manera significativa recién a partir de la década de 60, después de la construcción de carreteras en la región. La disminución de las reservas naturales de caoba en América Central mantuvo el elevado nivel de demanda para dicha especie. La consecuencia de esta extracción ha sido la severa reducción de las reservas naturales de esta especie en América Central (Costa Rica, Panamá, Honduras) y en diversas áreas de la Amazonía Oriental brasileña.

b) Clasificación Taxonómica.

Francis (1991), menciona que esta especie se clasifica como sigue:

División	:	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase	:	Magnoliopsida (Dicotyledoneae)
Orden	:	Sapindales
Familia	:	Meliaceae
Género	:	Swietenia (Jaquin) Especie : macrophylla (King. 1886) Nombre
científico	:	*Swietenia macrophylla* King.
Nombre común	:	Caoba

Los principales nombres comerciales son: Caoba del Sur, Aguano, Ahuano, Mara, Orura, Acajou d' Amérique, Araputang, Mahogany. (Whitmore 1983).

c) Características botánicas, anatómicas y dasonómicas.

Francis, (1991) y Whitmore, (1983).menciona que la caoba es un árbol caducifolio con copa de forma de corona, que con frecuencia alcanza hasta 50 m de alto y diámetros de 2.5 m. La longevidad precisa de la caoba es desconocida, aunque árboles individuales pueden aparentemente vivir por algunas centurias. Tiene fuste recto y neiloide o casi cilíndrico, sin ramas hasta aproximadamente los 25 m. Ramas jóvenes glabras, finamente lenticeladas.

Lamb, F. (1966) Tiene hojas agrupadas en el externo de las ramas, usualmente paripinnadas, a veces imparipinada con folíolo terminal abobado, de 14 hasta un máximo de 40 cm. de largo; raquis glabro. Folíolos opuestos a sub-opuestos, apergaminados, 8 a 18 cm. de largo y de 3 a 5,5 cm. de ancho, con pecioluelos de 0,5 cm. hasta 1,2 cm. de largo, 2 a 8 pares, usualmente oblongo a oblongo lanceolados u ovado lanceolados, algunas veces elíptico ovados, ápices agudos o muy cortamente acuminados, bases irregulares, truncadas, redondeadas o subcordadas. Ambas superficies de los folíolos son glabras, de color verde oscuro brillante.

Whitmore, (1983) Menciona que la caoba tiene flores unisexuales, inflorescencias axilares o subterminales, por lo general más cortas que las hojas, glabras, de 10 a 20 cm de longitud, con ramificaciones laterales cortas. Flores con pedicelos de 1,5 mm. de largo, glabros. Cáliz penta lobulados,

lóbulos anchamente redondeados de 1 a 1,5 mm de largo, márgenes ciliados, pétalos 5, libres de 4,5 a 6 mm de largo y de 2 a 2,5 mm de ancho, oblongos a ovados oblongos, glabros y con margen ciliado. Tubo estaminal cilíndrico. Ovario globoso, glabro, tetra, penta loculares, lóculos con 10 a 14 primordios seminales. Flores pequeñas de color cremoso amarillo.

Ikeda, T. *et al.* (1990) Menciona que el fruto está en cápsula erecta, elongado a ovoide, a veces periforme, marrón grisáceo de superficie lisa o con verrugas muy pequeñas, 10 a 22 cm. de largo y 6 a 10 cm. de diámetro, tetra o penta valvados, siendo las valvas externas leñosas de 6 a 8 mm de grosor (8, 40) Los frutos de la caoba son del tamaño de un puño cerrado con cinco gajos. Dichos frutos maduran durante la estación lluviosa y caen durante la estación seca antes de que recomience la floración, liberando 45 a 60 semillas aladas. La fecundidad aumenta gradualmente con el tamaño del DAP, llegando a 130 cm; un individuo con este diámetro produce 600 cápsulas de frutos en un único año, de aproximadamente 33 semillas cada uno. La intensidad de la fructificación varía considerablemente de un año a otro.

Semillas marrón oscuros brillantes de 7,5 a 12 cm. de largo incluyendo las alas. Las semillas germinan entre el 35 y 90%, en viveros, la germinación se produce entre los 20 a 28 días, en los viveros las plantas permanecen entre 6 a 12 meses hasta que alcancen un desarrollo de 0,5 m. de altura y 2,5 y 5,0 cm. de diámetro en el cuello de la raíz.

Alvarenga, S. & E, Flores. (1988), manifiesta que la viabilidad de la semilla en el momento de la dispersión es generalmente del 90%. Las semillas no tienen mecanismos de latencia a largo plazo, pero pueden sobrevivir de cuatro a seis meses durante el período seco y hasta diez meses en condiciones de sequía y frío. La germinación es "hipogea" y generalmente ocurre dentro de un período de diez días después de que la semilla ha sido plantada, continuando durante tres semanas, con un tiempo promedio de 28 días entre la siembra y la germinación total. La disponibilidad de humedad, conjuntamente con el fin de la estación lluviosa acelera la germinación, aunque los mecanismos exactos permanecen desconocidos. Para que las semillas sean embebidas por el agua, es necesario un período prolongado de humedad; las primeras germinaciones en bosques cerrados ocurren en los micro sitios donde la humedad queda retenida durante las primeras semanas completas de la estación lluviosa. Si las primeras lluvias están separadas por "mini-sequías" a lo largo de algunas semanas, las semillas germinan en poblaciones uniformes dentro de un único árbol porta-semillas. La germinación bajo cobertura cerrada en bosques abiertos ha sido documentada en tasas entre 35-60%, con la humedad aparentemente acelerando la respuesta. La germinación requiere luz abundante, correspondiendo al tamaño mediano para grandes claros. Sin embargo, las semillas son corrientemente encontradas en condiciones de sombra moderada, cerca de los árboles adultos.

Ramos, J,. and J. Grace. (1990) Las semillas sufren la acción de los predadores en el propio árbol, donde monos y araras se alimentan de los frutos dentro de cápsulas. Animales tales como la paca y roedores comen las semillas en el piso. Las semillas son altamente astringentes, sugiriendo que componentes secundarios protectores puedan ser un importante mecanismo de defensa. No se sabe hasta qué punto esa protección se extiende a las mudas.

La caoba es una especie heliófila pero en su juventud tolera la sombra leve, desde los 15 años empieza a fructificar con regularidad llegando a su máximo alrededor de los 30 años.

Muchas semillas germinan después del aprovechamiento forestal en sitios con adecuada humedad del suelo y buen drenaje, pero presenta un débil desempeño en la competencia con la regeneración avanzada de otras especies, excepto después de grandes disturbios.

En otro aspecto, se debe analizar el crecimiento que tendría la especie en plantaciones, las que se ubican siempre en terrenos de hábitat natural, y para ello se expone tablas de desarrollo en promedio para América.

d) Hábitat y ecología

Grogan, J. (1996) Los extremos tolerables de temperatura y altitud para el cultivo de la caoba fluctúan entre los 12ºC a los 37°C y 0 a 1.400 msnm. La mínima precipitación anual aceptable es de alrededor de 800 mm por año, y

puede ser cultivadas en regiones con precipitación hasta los 5.000 mm/año. De hecho las plantaciones con más alto rendimiento son encontradas en regiones con precipitaciones mayores a 2.000 mm/año.

Budowsky, G., (1961) y Combe, J.; Gewald, N.J. (1979) Los árboles de caoba requieren suelos con buenas características agrológicas (fértiles, profundos y bien drenados) para tener un óptimo desarrollo, turnos de rotación entre 25 y 50 años; pero también crece en suelos aluviales, arcillosos y pesados, lateríticos y no tolera anegamientos.

1.2 Historia comercial, principales países productores y consumidores de caoba.

Hoy, H. E. (1946) Desde el siglo XVI la caoba ha sido explotada con fines comerciales en México y América Central, sin embargo, es en las décadas recientes es que los bosques primarios remotos han sido abiertos a la explotación intensiva usando maquinaria para abertura y extracción de los árboles.

En Brasil, las extracciones comerciales comenzaron en la década de los años 20. Los explotadores abrieron centenares de kilómetros de caminos en los bosques primarios para remover poblaciones comerciales de caoba. Hacendados y pequeños agricultores seguían los caminos hacia el interior acelerando las tasas de conversión de bosque en pasto y sistemas agrícolas de corte y quema. Entre 1971 y 2000 aproximadamente 5,7 millones de metros cúbicos de caoba aserrada fueron producidos del bosque amazónico brasilero, con el valor de aproximadamente US$.

3,9 billones. A mitad de los años 1990, poblaciones comerciales fueron casi extintas en el sudeste de Pará y Rondonia, y el frente de explotación siguió en dirección a la porción central y sudoeste de Pará, noroeste de Mato Grosso y sudeste del Amazonas.

1.3 Nutrición mineral

El estudio de la nutrición mineral de la caoba (*Swietenia macrophylla* king) aún no es conocido en nuestro medio, siendo esta una especie maderable nativa de la Amazonía peruana de importancia económica que debe ser estudiada. Al respecto según (Barceló, *et al* 2001), 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 (2001), 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.

1.4 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 criterios 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. Se ha sugerido que algunos otros elementos podrían tener efectos favorables e incluso ser esenciales, pero no existen pruebas concluyentes de esas afirmaciones.

Según (Salisbury 2000), el contenido relativo de cada elemento no es el mismo en las distintas especies de vegetales, ni en una misma especie en distintas condiciones de cultivo, ni tampoco en los distintos órganos de una misma planta.

a) Nitrógeno

Es considerado como el cuarto elemento más abundante en vegetales después de carbono, hidrógeno y oxígeno.

Sívori (1980) menciona que es más común que la mayoría de los suelos sean deficientes en N que en los otros elementos. Los minerales que dan origen al suelo no contienen N, pues este proviene principalmente de la fijación atmosférica, en especial por mecanismos biológicos.

El nitrógeno (N) es necesario para la síntesis de la clorofila y, como parte de la molécula de clorofila, tiene un papel en el proceso de fotosíntesis. La falta de nitrógeno (N) y clorofila significa que el cultivo no utilizará la luz del sol como fuente de energía para llevar a cabo funciones esenciales como la absorción de nutrientes. 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. En el caso de la papa (Solanum tuberosum L.) las plantas muestran un crecimiento desproporcionado de la parte aérea, pero forman tubérculos muy pequeños. Al respecto sostiene que no se conoce aún la causa de este fenómeno, pero es indudable que el traslado de azúcares a los tubérculos se ve afectado de algún modo, y se piensa, además, que las relaciones hormonales de la planta se alteran. El exceso de nitrógeno también retarda la floración y la formación de semillas en algunos cultivos agrícolas. Sin embargo, algunas especies diurnas florecen más rápidamente con un suministro de nitrógeno relativamente alto.

Las plantas que viven en un medio deficiente en nitrógeno casi no crecen. El síntoma de deficiencia en nitrógeno más fácilmente apreciable es el amarillamiento (clorosis) de las hojas, debido a una disminución del contenido en clorofila, especialmente en las hojas viejas. En casos severos, estas hojas se vuelven totalmente amarillas y eventualmente caen de la planta. Las hojas

jóvenes permanecen verdes más tiempo a causa de las formas solubles de N que se trasladan desde las hojas más viejas a medida que los compuestos nitrogenados se degradan. El mismo autor menciona que algunas plantas, entre ellas el tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) Y algunas variedades de maíz (Zea mays L.), muestran una coloración púrpura en los tallos, pecíolos y superficies de las hojas inferiores, debido a la acumulación de antocianinas.

Si se suministra a la planta concentraciones elevadas de nitrógeno se observa una tendencia al aumento del número y tamaño de las células de las hojas, con un aumento general en la producción de hojas (Morton y Watson, 1948; Njoku1957). Basándonos en las observaciones anteriores y en el hecho de que el nitrógeno es un componente esencial de las proteínas, podemos suponer que la disminución del nitrógeno disponible debe provocar una disminución consecuente en la síntesis de proteínas, lo que provoca a su vez una disminución del tamaño de las células y especialmente del ritmo de sus divisiones (Lutman, 1943).

Un problema en constante debate es el efecto del suministro de nitrógeno nítrico versus la forma amoniacal. Las plantas superiores pueden absorber ambas formas de nitrógeno, pero su respuesta varía según la especie y las condiciones del medio. En condiciones de relativa deficiencia de nitrógeno, la absorción de nitrato predomina sobre la de amonio, y del mismo modo influyen la mayor edad de las plantas y un pH bajo. A un pH alrededor de 6,0 algunas especies exhiben tan solo una ligera preferencia por una de las dos formas.

Así, el nabo (*Brassica napus* L.), el zapallo (*Cucúrbita pepo* L.) y el trigo sarraceno (Fagopyrum *esculentum* Moench) prefieren nitrato, mientras que la soja (*Glycine max* L.), el arroz (*Oryza sativa* L.) y el lino (*Linum usitatissimum* L.) prefieren amonio.

La capacidad de las plantas de reducir el nitrato a amonio no depende mayormente de su edad. Los procesos de síntesis disminuyen con el envejecimiento más rápidamente que la capacidad de reducir NO3- y en algunos casos extremos se observa que las raíces absorben nitrato y liberan amonio.

El aumento en la respiración que acompaña a la absorción de nitrato es mayor que con el amonio. Esto se debe primordialmente a que se necesita energía para reducirlo, pero también parece tener efectos favorables más generales. Prueba de eso es el hecho de que las plantas que prefieren nitrógeno amoniacal reaccionan favorablemente ante un pequeño agregado de nitrato.

Por otro lado, según (Barceló *et al* 2001), la clorosis es el síntoma más característico y que, debido a la gran movilidad de este elemento, aparece primero en las hojas viejas.

En casos de extrema deficiencia todas las hojas aparecen amarillentas. Frecuentemente se forman pigmentos antociánicos. En las que puede observarse una coloración púrpura en los pecíolos y nervaduras de las hojas.

b) Fósforo

Según (Sívori *et al* 1980), 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 H2PO-4, y pH elevado, la forma HPO=4. 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-fosfatosfos (AMP, ADP, ATP) y Piridina nucleótidos (NAD, NADP), fosfolípidos, por lo que participa en todas las reacciones energéticas del metabolismo, procesos anabólicos y trasferencia 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 fitico, principal forma de reserva de fósforo de las semillas. Su presencia en los azucares – 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.

Las plantas deficientes en P tienen forma achaparrada y, en contraste con aquellas carentes de N, presentan a menudo un color verde bastante oscuro. También suelen acumular antocianinas, que producen una coloración rojiza en la base de los tallos en las plantas herbáceas. El desarrollo de estas plantas a menudo se retrasa, a diferencia de aquellas ricas en fosfato. Existe aparentemente una correlación estrecha entre P y N respecto a esto, pues cada uno de dichos elementos actúa en sentido opuesto.

En la mayoría de las plantas el fosfato es fácilmente redistribuido de un órgano a otro: se moviliza de las hojas viejas a las nuevas y a las flores y semillas en crecimiento, donde se acumula. Como resultado, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más maduras por la movilidad de este elemento.

La mayor parte del fósforo necesario en los cultivos anuales se absorbe durante los primeros estadios del desarrollo de las plantas. Así, en los cereales, un 80% del P total se absorbe hasta el momento en que la planta posee un 25% de su materia seca total. La nutrición fosforada del resto del follaje y las raíces se realiza mayormente a expensas de la redistribución posterior.

Muchos de los síntomas de deficiencia, en fósforo pueden ser confundidos con los de la deficiencia en nitrógeno. Además, los síntomas no son tan pronunciados como los correspondientes al nitrógeno. De modo parecido a la

deficiencia en nitrógeno, la deficiencia en fósforo puede provocar la caída prematura de las hojas y la pigmentación antociánica púrpura o roja.

A diferencia del nitrógeno, las plantas que carecen de fósforo pueden presentar zonas necróticas (muertas) sobre las hojas, pecíolos o frutos, un aspecto general achaparrado, y las hojas pueden adquirir una coloración característica oscura o azul verdosa (Hewitt, 1966).

Por otro lado, según Barceló *et al* (2001), Uno de los primeros síntomas se observan en muchas especies es la coloración verde azulada de las hojas. Otro síntoma muy general es la formación de pigmentos antociánicos adquiriendo las hojas coloración púrpura. En el maíz, es color púrpura aparece en los bordes de la hoja, mientras que en tomate aparece en las venas de la hoja. Debido a la gran movilidad del fósforo, son las hojas viejas las primeras en presentar los síntomas. Se reduce el crecimiento de las plantas y en condiciones de extrema carencia las plantas presentan un aspecto achaparrado.

c) Potasio

Según (Sívori *et al.,* 1980), 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, y los síntomas de deficiencia se observan primero en las hojas inferiores, más viejas. En las dicotiledóneas, estas hojas se vuelven al principio algo cloróticas y rápidamente comienzan a desarrollar lesiones necróticas dispersas. En muchas dicotiledóneas, así como en los cultivos de cereales, las células de los márgenes y ápices de las hojas son las primeras en morir, necrosis ésta que se expande hacia las partes más bajas de la hoja y finalmente se observa en casi todo el largo del borde. A diferencia del N y del P, el K no forma parte estructural estable de ninguna molécula dentro de las células de la planta, a pesar de lo cual, la planta necesita grandes cantidades de este elemento para un crecimiento y desarrollo normales. Es un elemento esencial porque actúa como activador de muchas enzimas. En su ausencia, estas no pueden actuar como catalizadores eficaces para las relaciones metabólicas. La síntesis de proteínas es un proceso que requiere grandes cantidades de potasio, aunque la exacta reacción química en que interviene no ha sido aun definida con certeza. Esto probablemente explique el hecho, conocido desde antaño, de que las plantas deficientes en K tienen un contenido bajo en proteínas, pero rico en los aminoácidos.

Una de las enzimas activadas por el K es la piruvato-cinasa de la respiración, en la cual el elemento se halla muy fuertemente unido en forma iónica a la

molécula de la enzima y le hace adquirir una estructura tal que le permite actuar como catalizador, con lo cual determina que se produzca la degradación normal de los glúcidos. También es mayor la relación polisacáridos/monosacáridos de las plantas deficientes, lo que indica que el potasio es esencial para la formación de compuestos de alto peso molecular.

La deficiencia en potasio puede afectar procesos tan diversos como la respiración, fotosíntesis, aparición de clorofila y contenido en agua de las hojas, aunque el papel especifico de potasio en las plantas es desconocida hasta ahora (Nason y Mc Elory, 1963).

Los síntomas externos de deficiencia en potasio son fáciles de reconocer sobre las hojas de las plantas. Al principio se presenta un moteado de manchas cloróticas, seguido por el desarrollo de zonas de necrosis en la punta y los bordes de la hoja. Debido a la movilidad del potasio, estos síntomas suelen aparecer primero en las hojas más maduras. Asimismo, en muchos casos, el ápice de la hoja presenta una tendencia a incurvarse hacia abajo y, en el caso de la judía y de la patata, las regiones marginales pueden enrollarse hacia la parte interna en dirección a la superficie superior (Hewitt, 1966). En general, una planta deficiente en potasio crece achaparrada, debido a un pronunciado acortamiento de los entrenudos.

Por otro lado, según (Barceló *et al* 2001), El síntoma más característico de la deficiencia de potasio es la aparición de un moteado de manchas cloróticas seguido por el desarrollo de zonas necróticas en la punta y los bordes de las

hojas. Debido a la movilidad de este elemento, los síntomas aparecen primero en las hojas maduras; en algunas especies las hojas presentan coloración verde oscura o verde azulada confundiéndose con la deficiencia de fósforo.

d) Calcio

Sívori *et al* (1980), 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 pécticos de la laminilla media. Se piensa que esos pectatos de calcio actúan cementando entre sí las células de un tejido, lo cual de ser cierto, podría explicar por qué la deficiencia de calcio causa una inhibición notoria en el crecimiento de brotes y también la muerte de los ápices de las raíces, donde la división celular es más activa. El tabique que divide dos células hijas constituye la laminilla media y es rico en sustancia pécticas. Posiblemente el Ca desempeñe una función esencial en su síntesis y estabilidad. Atribuir este papel al Ca concuerda con la observación de que ciertos hongos y algas unicelulares que no poseen laminilla media requieren muy poco calcio.

En las plantas superiores el calcio es necesario también en las membranas para mantener sus estructuras normales y sus Características diferenciales de permeabilidad. Por último, el Ca es parte esencial de la α-amilasa, la enzima que hidroliza el almidón.

En algunos casos las plantas pueden crecer con niveles relativamente bajos de calcio.

Para obtener plantas normales en soluciones nutritivas con muy bajo contenido de calcio es necesario reducir el nivel de algunos otros cationes como el Mg, Cu y Fe, pues de otro modo éstos resultan tóxicos. Un suministro elevado de Ca puede ayudar a desintoxicar la planta de otros elementos, como ocurre con el exceso de cobre.

Algunas enzimas, como la amilasa, parecen requerir calcio como activador; pero en otros casos se ha observado que, por el contrario, tienen poco efecto estimulante, posiblemente por interferencias debidas al magnesio.

Devlin (1980), Un papel bien conocido desempeñado por el calcio en las plantas es su participación en las paredes celulares en forma de pectato cálcico. La lámina media de las membranas celulósicas de las células vegetales está formada básicamente por pectatos de calcio y magnesio. Se admite que el calcio es importante en la formación de membranas celulares y de estructuras lipídicas.

Barceló et al (2001), refieren que los síntomas de deficiencia en calcio son fáciles de observar y muy espectaculares. Las regiones meristemáticas de los tallos, hojas y raíces son atacadas fuertemente y pueden acabar muriendo, cesando el crecimiento de estos órganos. Las raíces pueden acortarse y en los bordes de las hojas jóvenes aparece clorosis seguida de necrosis. También es un síntoma característico la malformación de las hojas jóvenes, siendo el síntoma más fácil de reconocer la forma de gancho que adquieren las puntas de las hojas. Debido a la inmovilidad del calcio dentro de la planta, los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes. Las deficiencias de calcio son más frecuentes en los suelos ácidos, de tal forma que la deficiencia en este elemento va acompañada por niveles tóxicos de iones hidrógeno y de iones metales pesados como aluminio y manganeso, que son solubles en medio ácido. Las raíces dañadas por la deficiencia de calcio son más susceptibles a la infección de bacterias y hongos.

e) Magnesio

Sívori *et al* (1980), 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, y en su ausencia se desarrolla clorosis entre las nervaduras, comenzando por las hojas viejas. 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 (1980), 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.

Por otro lado, según Barceló et al (2001), La clorosis internerval en las hojas es uno de los síntomas más característicos de la deficiencia en este elemento, aunque la variedad de síntomas en diferentes especies es tan grande que se hace difícil el poder dar síntomas generales de deficiencia en magnesio. A veces se producen también, como en el algodón, pigmentos antociánicos en las hojas. Los síntomas, cualesquiera que sean, se presentan primero en las hojas maduras, dato indicativo de su movilidad dentro de la planta.

f) Azufre

De acuerdo con (Sívori *et al* 1980), el S 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 S04= 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.

No se encuentran con frecuencia deficiencias de S en las plantas cultivadas, pues la mayoría de los suelos están bien dotados de sulfatos, pero los síntomas consisten en un amarillamiento generalizado en todas las hojas afectadas. El S no se redistribuye fácilmente desde los tejidos maduros, por lo cual las deficiencias se suelen notar primero en las hojas más jóvenes.

El contenido de las plantas en azufre varía considerablemente. Su función más importante y evidente es la participación en la estructura de las proteínas como parte integrante de los aminoácidos sulfurados: cistina, cisteínas y metionina (Devlin, 1980).

Los síntomas visibles de deficiencia en azufre son en cierto modo parecidos a los de la deficiencia en nitrógeno. Al igual que en las plantas deficientes en

nitrógeno, se presenta una clorosis general, seguida en algunas especies por la producción de pigmentos antociánicos (Eaton, 1951). A diferencia de la deficiencia en nitrógeno, las plantas deficientes en azufre presentan la clorosis empezando por las hojas más jóvenes. Sin embargo, en condiciones especialmente severas, todas las hojas pueden sufrir una cierta pérdida de color verde (Gilbert, 1951).

1.5 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 (Bosco *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.

- **Circulación de nutrientes en los ecosistemas forestales**

  Un sistema forestal depende del continuo reciclaje de los minerales para continuar su desarrollo. La disponibilidad de nutrientes para las plantas está determinada por la proporción en que los nutrientes circulan dentro del sistema y la cantidad de insumos que éste recibe (Lampkin, 2001).

  Normalmente, los ecosistemas forestales se encuentran en un estado de equilibrio en el cual, una vez que la biomasa foliar alcanza su máximo nivel, la cantidad de nutrientes consumidos por la vegetación equivale aproximadamente a la cantidad reintegrada al suelo por la caída de las hojas y la mortalidad. Las incorporaciones de nutrientes al sistema a través de la precipitación y la mineralización son más o menos iguales a las pérdidas producidas por el escurrimiento profundo y la lixiviación. Todas las prácticas silvícolas tienden a alterar este estado de equilibrio: mientras más grande sea el cambio que sufre la cubierta vegetal, más probable será el cambio en el equilibrio de los nutrientes; y entre más elevado es el nivel de aprovechamiento, más nutrientes salen del sitio y más probable será la necesidad de reponer los nutrientes perdidos mediante la fertilización (Daniel *et al.*, 1982).

El ciclo de nutrientes en un ecosistema forestal consta de la entrada de los mismos al ecosistema (meteorización de la roca madre, fijación biológica de nitrógeno, aportes atmosféricos y transferencias por biota),el flujo de nutrientes entre las plantas y el suelo (absorción radicular y foliar, retranslocación, pluviolavado, pérdidas por herbivoría, caída de hojarasca y descomposición) y las salidas de dichos nutrientes del ecosistema (lixiviación, escorrentía, emisión de gases, transferencias por biota y explotación de recursos). Cada proceso es un precursor del anterior, y el flujo de nutrientes sigue una serie de pasos interconectados.

CAPITULO II

MARCO METODOLOGICO

2.1 MATERIALES Y METODOS

2.1.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el módulo de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado en el Km. 6 de la Carretera Federico Basadre, Región Ucayali, Provincia de Coronel Portillo, Distrito de Callería, ciudad de Pucallpa a 8° 23' 37,3" de latitud sur, 74° 34' 4" longitud oeste y 154 msnm.

2.1.2 Duración del estudio

El presente trabajo tuvo una duración neta de 90 días en fase experimental, contados a partir del 25 de agosto del 2012, fecha en se colocó las plántulas de caoba en las soluciones nutritivas, hasta la fecha 22 de diciembre del 2012, fecha en que se realizó la última evaluación.

2.1.3 Ecología y clima

El ecosistema de la Región Ucayali, se clasifica en bosque húmedo tropical, y según la clasificación de bosques amazónicos pertenece al ecosistema estacional de Bosque casi siempre verde estacional (Cochrane y Sánchez 1982). Temperatura media anual de 25.1 C° con muy poca variación entre las máximas (36,5 oC) y mínimas (17,4 C°) durante el año. La precipitación anual es de 1872 mm (promedio de 25 años). El promedio de horas de sol varía notablemente, siendo los meses de Julio, Agosto y Setiembre los meses de menor precipitación y mayor número de horas de sol. Los meses de octubre, noviembre y marzo los de mayor precipitación.

Los datos climatológicos indican que la mayor temperatura media que se presentó durante el experimento fue de 28,6 C° en el mes de septiembre y el menor promedio fue de 27,5 C° en el mes de noviembre; la precipitación mensual más alta fue de 177,1 mm en el mes de diciembre y la más baja fue en el mes de septiembre con 33,4 mm todo el mes. La precipitación total acumulada de septiembre a diciembre fue de 535,7 mm, la humedad relativa más alta se registró en octubre y noviembre con 86,0 % y la más baja fue en septiembre con 81%; mayor hora de sol hubo en septiembre con 246,1 horas, menor horas de sol noviembre con 150,0 horas; mayor evaporación en septiembre 143,2 mm, menor evaporación en octubre con 95,4 mm; mayor evapotranspiración en septiembre con 139,5 mm, menor evapotranspiración en noviembre con 132,9 mm; mayor velocidad de viento con 1,6 m/seg en octubre con orientación noroeste, menor velocidad de viento en septiembre con 1 m/seg con orientación sureste y noreste en el mes de septiembre y orientación sur en el mes de setiembre (Estación meteorológica de la UNU, 2012 - 2013).

En el Módulo de propagación se tomaron los datos de temperatura y humedad cada 15 días y la temperatura promedio fue de 20,5 oC como mínimo y 29,5 C° máximo, con humedad relativa de 78 % en promedio.

2.1.4 Materiales, Insumos y equipos.

Los materiales, insumos y equipos usados en el desarrollo de esta tesis fueron los siguientes:

a) Materiales

- Baldes de plásticos de 4 litros
- Pipetas (7), para cada solución respectivamente
- Baldes de plásticos de 100 litros y de 10 litros
- Libreta de campo.
- Esponja
- Regla
- Semilla de caoba

b) Insumos

- Sales minerales (Ver cuadros No 02 y 03)
- Agua destilada
- Soluciones Stock

c) Equipos

- Balanza de precisión en g.
- Balanza analítica
- Vernier
- Cámara fotográfica
- Estufa.

2.1.5 Metodología.

a) Obtención de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) para el experimento.

Estas fueron obtenidas del Centro de Investigación Hidropónico de la Universidad Nacional de Ucayali, estas plantas tenían un mes de almacigado en sustrato de arena, con un sistema de riego por nebulización y cama turca.

Las semillas botánicas de caoba procedieron del distrito de Purús.

b) Preparación de la Solución Stock y Solución Nutritiva.

Se prepararon las soluciones concentradas según Hoagland y Arnon, aquellas también llamadas "soluciones Stock" o "soluciones madres" para luego ser utilizadas en diferentes proporciones las soluciones nutritivas del experimento.

Cuadro 1: Composición modificada de la solución de Hoagland para plantas.

Composición modificada de la solución de Hoagland para plantas.							
Componentes	**Molecular peso**	**Concentración de solución stock**	**Concentración de solución stock**	**Volumen de solución stock por litro de solución final.**	**Elemento**	**concentración final de elemento**	
	g mol–1	**mM**	**g L–1**	**Ml**		**mM**	**Ppm**
Macronutrientes							
KNO_3	101.1	1,000	101.1	6	N	16,000	224
$Ca(NO_3)2.4H_2O$	236.16	1,000	236.16	4	k	6,000	235
NH_4H2PO_4	115.08	1,000	115.08	2	Ca	4,000	160
$MgSO_4.7H_2O$	246.48	1,000	246.49	1	p	2,000	62
					S	1,000	32
					Mg	1,000	24
Micronutrientes							
KCl	74.55	25	1.864		Cl	50	1.77
H_3BO_3	61.83	12.5	0.773		B	25	0.27
$MnSO_4.H_2O$	169.01	1	0.169		Mn	2	0.11
$ZnSO_4.7H_2O$	287.54	1	0.288	2	Zn	2	0.13
$CuSO_4.5H_2O$	249.68	0.25	0.062		Cu	0.5	0.03
H_2MoO_4 (85% MoO_3)	161.97	0.25	0.04		Mo	0.5	0.05
NaFeDTPA (10% Fe)	468.2	64	30	0.3–1.0	Fe	16.1–53.7	1.00–3.00
Opcional							
$NiSO_4.6H_2O$	262.86	0.25	0.066	2	Ni	0.5	0.03
$Na_2SiO_39H_2O$	284.2	1,000	284.2	1	Si	1,000	28

Fuente: Epstein 1972.

Cuadro 2: Soluciones "stock" de componentes de solución nutritiva de Hoagland y Arnon.

Si	Sustancia	g/1	Mol.	Concentración de elementos (ppm)					
				Ca	N	K	Mg	S	P
A	$Ca(NO_3)_2H_2O$	236.16	1	40080	28020	.....	.....	.....	.....
B	KNO_3	101.10	1	—	14010	39160	—	—	—
C	SO_4Mg	120.37	1	—	—	—	24310	32060	—
D	KH_2PO	135.15	1	—	—	391.60	—	—	30970
E	$Ca(H_2PO_4)_2$	2.7	0.01	400	—	—	—	—	640
F	K_2SO_4	87.5	0.5	—	—	391.60	—	16030	—
G	$Ca\ SO_4\ 2H_2O$	1.72	0.01	400	—	—	—	320	—
H	$Mg(NO_3)_2$	148.33	1	—	28020	—	24310	—	—
I	Micro nutrí.								
J	Fe-EDTA								

Cuadro 3: Solución "stock" de micronutrientes (I).

Sustancias	g/l	Concentración de elementos (ppm)						
		Mn	Cl	B	Zn	S	Cu	Mo
$\mathbf{Mn}Cl_2H_2O$	1.81	502	628	---	---	---	---	---
H_3BO_3	2.86	—	—	439	---	—	---	---
$\mathbf{Zn}SO_4\text{-}7H_2O$	0.1	—	—	—	29.2	14.2	---	---
$SO_4\mathbf{Cu}\text{-}H_2O$	0.1	—	—	—	—	12.9	25	---
$H_2\mathbf{Mo}O_4H_2\ O$	0.1	—	—	—	—	—	—	53

J: Fe- EDTA 26,10 g. l 1
Fe SO4 7H2O 24,90 g. l1

} Diluir en 700 Ml de agua destilada conteniendo 268 Ml de Na OH (40 g l1) y Completarlo a 1litro.

Se prepararon soluciones que llevan todos los elementos esenciales nutritivos, también denominadas completas y carentes de alguno de estos siendo en ese caso deficitaria en dicho elemento, que permitió la aparición de la deficiencia característica.

Para la preparación de la solución fue necesario que los materiales a usar sean limpios, para lo cual se lavaron con detergente y luego se enjuagaron varias veces, primero con agua de caño y luego con agua destilada.

Las soluciones fueron puestas en recipientes de plásticos cuidando que en su estructura no tengan elementos tóxicos ni elementos esenciales.

Se utilizó agua desionizada para hacer el medio nutritivo, así como para las soluciones Stock, las que se prepararon siguiendo el orden mostrado en el siguiente cuadro:

Cuadro 4: Tabla para preparación de soluciones nutritivas

Características De la solución nutritiva	Cantidades de soluciones "stock" en mililitros para preparar 1 litro de soluciones nutritiva											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Agua
Completo	5	5	2	1	-	-	-	-	1	1	-	985
Sin k	7.5	-	2	-	50	-	-	-	1	1	-	938.5
Sin p	7.5	-	2	-	-	20	-	-	1	1	-	968.5
Sin Ca	-	15	2	1	-	-	-	-	1	1	-	980
Sin N	-	-	0.5	-	50	20	200	-	1	1	-	727.5
Sin Mg	5	5	-	1	1	10	-	-	1	1	-	976
Sin S	5	5	-	1	-	-	-	2	1	1	-	985

Estas soluciones fueron renovadas y cambiadas en su respectivo recipiente cada 15 días como máximo.

Cuadro 5: Soluciones nutritiva y su contenido de elementos (ppm).

Solución nutritiva	A		B		C		D		E		F		G		H	
	Ca	N	K	N	Mg	S	K	P	Ca	P	K	S	Ca	S	Mg	N
< Completo	200	140	195	70	48	64	39	31.9	—	–	—	—	—	—	—	—
Sin k	300	210	—	—	48	64	–	—	20	32	—	—	—	—		
Sin p	300	210	—	—	48	64	–	—	—	–	780	320	—	—	—	—
Sin Ca	—	—	585	210	48	64	39	31.9	—	–	—	—	—	—	—	—
Sin N	—	—	—	—	12	16	–	—	20	32	780	320	80	60	—	—
Sin Mg	200	140	195	70	–	–	39	31.9	06		390	160	—	—	—	—
Sin S.	200	140	195	70	–	–	39	31.9	0.6		—	—	—	—	48	56
H_2O Desioniz.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

c) Preparación, ubicación y mantenimiento de los recipientes con medios de cultivo.

Previamente se prepararon los medios de cultivo con soluciones nutritivas, y se distribuyeron en los respectivos recipientes según tratamientos, luego se procedió a poner la tapa perforada con las plántulas sujetadas con esponjas sintéticas a la altura del cuello.

Los recipientes con las plántulas fueron colocados en un lugar asignado en el invernadero donde se observaba diariamente a las plantas y se tuvo el cuidado de mantener diariamente el nivel inicial de la solución nutritiva, añadiendo agua destilada para luego cambiar con las mismas soluciones cada

15 días según tratamiento midiendo el pH y la conductividad eléctrica antes y después del cambio respectivamente.

d) Repique de las plántulas de caoba.

Para extraer las plántulas de caoba de la cámara turca se tuvo que remojar el sustrato y lavar las raíces de las plantas con agua destilada; luego se realizó el repique en cada uno de los hoyos de la tapa del balde sujetándolas con la esponja sintética (espuma fenólica) en la parte del cuello de la planta.

Las plantas usadas para los 7 tratamientos tenían 25 días, después de la germinación, contaban con dos hojas verdaderas, median en promedio 16 cm.

e) Cambio de la Solución Nutritiva.

Esta labor se realizó cada 15 días contados desde el primer día del trasplante; haciendo un total de 6 cambios de solución nutritiva durante el desarrollo del experimento.

2.1.6 Variables evaluadas.

a) Variables independientes.

T1 - Solución nutritiva completa

T2 - Solución nutritiva sin Nitrógeno (- N)

T3 - Solución nutritiva sin Fósforo (- P)

T4 - Solución nutritiva sin Potasio (- K)

T5 - Solución nutritiva sin Calcio (- Ca)

T6 - Solución nutritiva sin Magnesio (- Mg)

T7 - Solución nutritiva sin Azufre (- S)

b) Variables dependientes

Crecimiento:

- Peso fresco de la parte aérea
- Peso seco de la planta aérea
- Peso fresco de la raíz
- Peso seco de la raíz
- Altura de la planta
- Longitud de la raíz
- Diámetro del tallo
- Numero de hojas
- Volumen de raíces formadas

Síntomas de deficiencia en: Tallos, hojas y raíces.

- Color
- Forma
- Tamaño
- Brotacion
- Localización (Parte joven o parte adulta afectada).

2.1.7 Operacionalización de las variables.

a) Variables dependientes.

❖ **Crecimiento:**

- **Peso fresco de la parte aérea**.- Se determinó en g, esta evaluación se realizó al final del experimento.
- **Peso seco de la parte aérea.-** Se determinó en g, luego de determinar el peso fresco se secó en estufa a 75 °C por 48 horas, esta evaluación se realizó al final del experimento.
- **Peso fresco de la raíz**.- Se determinó en g, esta evaluación se realizó al final del experimento.
- **Peso seco de la raíz.-** Se determinó en gramos, luego de determinar el peso fresco se secó en estufa a 105 °C por 24 horas, esta evaluación se realizó al final del experimento.
- **Altura de la planta**. Se determinó en cm y consistió en medir la altura desde el cuello hasta el punto más alto del tallo principal de la planta cada 15 días; para lo cual se utilizó una regla.
- **Longitud de raíz**. Se midió en cm, esta medición se hizo con una regla, y las evaluaciones se hicieron al final del experimento.
- **Diámetro del tallo**. Se determinó en mm y consistió en medir el diámetro del tallo a 2 cm del cuello de la planta con un vernier. La evaluación se realizó cada 15 días.

- **Número de hojas.** Se realizó un conteo del número de hojas formado y en formación de cada planta cada 15 días y al final del experimento.
- **Volumen de raíces formadas.** Se determinó en cm3, sumergiendo en agua todas las raíces en una probeta de 500 ml.

❖ **Síntomas de deficiencia.**

Para determinar los síntomas de deficiencia se utilizaron los términos establecidos para la caracterización según el manual de prácticas de Fisiología Vegetal (Pérez, 1998) y se observaron tallos, hojas y raíces, para determinar las diferencias según la respuesta al tratamiento aplicado, teniendo en cuenta el color, forma, tamaño, brotes, y localización.

2.1.8 Diseño Estadístico.

En el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño completamente al azar, con 7 tratamientos y 4 repeticiones, teniendo un total de 28 unidades experimentales. Para los promedios se utilizaron la prueba de tukey al 0.05 % de significancia para cada variable en estudio. Se utilizó baldes de cuatro litros de capacidad con 2 plantas de caoba respectivamente, como unidad experimental.

Esquema del Análisis de varianza

Cuadro 6: Análisis de varianza

FV	GL
TRATAMIENTO.	6
ERROR	21
TOTAL	27

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUCIÓN

3.1. RESULTADOS

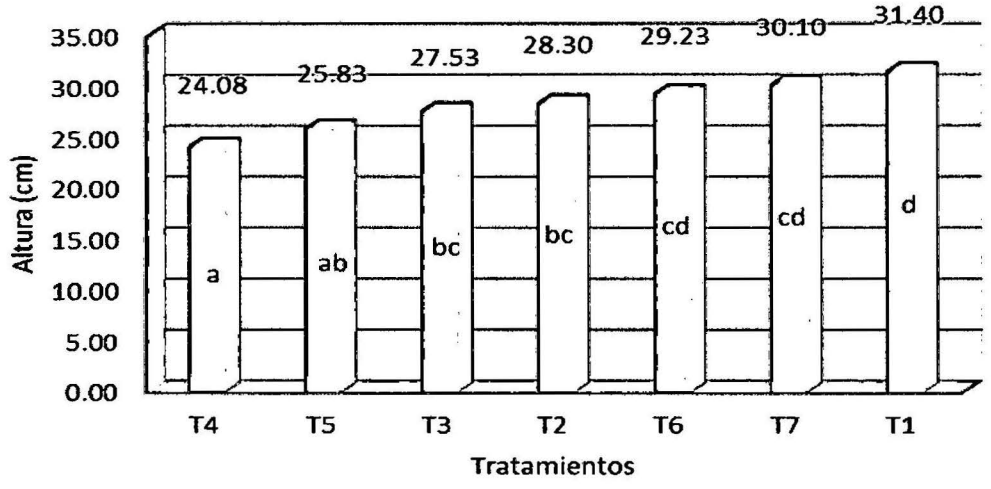
En cuanto a los efectos de la carencia de macronutrientes (N, P, K. Ca, Mg, S), y sus síntomas en el cultivo de caoba, en la región de Ucayali Pucallpa se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1.1 Análisis del efecto en el crecimiento que causa la ausencia de cada uno de los elementos esenciales macro nutrientes en el crecimiento de planta de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) a 90 días después del trasplante a solución nutritiva.

Cuadro 7: Resumen de los resultados de las variables de crecimiento evaluados.

	T1 (Sol.completa)	T2 (-N)	T3 (-P)	T4 (-K)	T5 (-Ca)	T6 (-Mg)	T7 (-S)
Altura de la planta (cm)	31.40 d	28.30 bc	27.53 bc	24.08 a	25.83 ab	29.23 cd	30.10 cd
Longitud de la raíz (cm)	12.95 a	11.45 a	16.53 a	12.83 a	15.00 a	13.53 a	12.75 a
Diámetro del tallo (mm)	6.08 a	5.63 a	5.60 a	5.08 a	4.78 a	5.50 a	5.98 a
Número de hojas/planta	21 b	20 b	18 ab	9 a	8 a	18 ab	20 b
Peso seco de la raíz (g)	4.98 b	1.03 a	0.48 a	0.53 a	0.68 b	3.88 b	2.90 b
Peso seco de la parte aérea (g)	7.03 c	3.86 b	1.61 a	1.49 a	1.57 a	6.00 c	6.00 c
Volumen de la raíz formadas(cm^3)	14.50 b	13.25 ab	7.25 a	13.25 ab	7.75 a	11.25 ab	10.50 ab

a) Altura de la planta (cm)



Los valores con igual letras no representan diferencia significativa entre promedios.
T1 (solución nutritiva completa), T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg) y T7 (- S).

GRÁFICO 1: Altura de la planta por tratamiento y el resultado de la prueba de promedio Tukey (0.05).

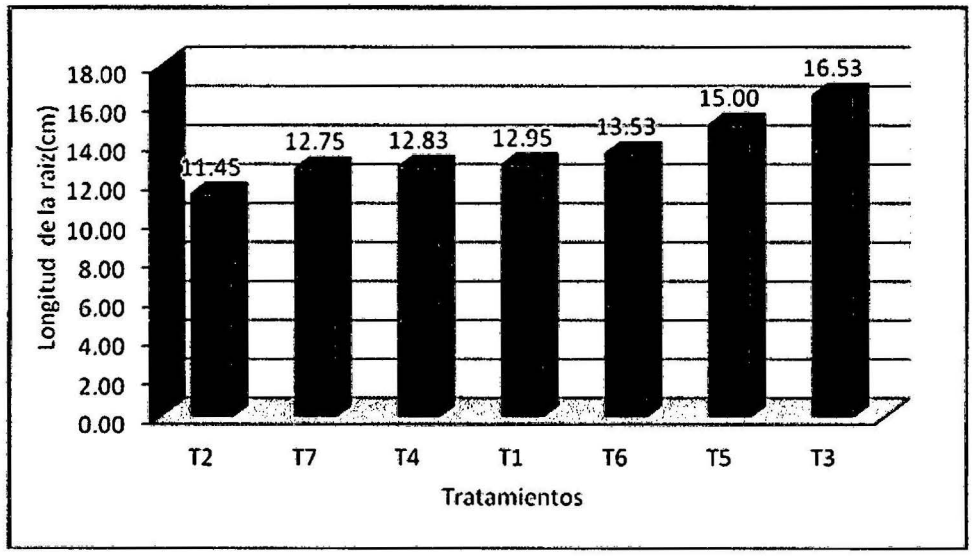
El grafico 1 muestra que el T1 (solución nutritiva completa) obtuvo mayor altura , lo cual es muy lógico pues este tratamiento conto con todo los nutrientes y se esperó un mayor crecimiento en altura de la planta, el resultado del T7 (-S) y T6 (-Mg), no son significativamente diferente ante el resultado del T1, lo que nos lleva a decir que la variable altura de la planta no se vio afectado por la carencia de azufre, ni magnesio, lo cual concuerda a lo reportado por (Graña, 2013), quien trabajo con plantas de sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L) y (Avilán, 1976), que trabajo con Merey (*Anacardium occidentale*- L.) y guanábana (*Anona muricata* L.), los cuales obtuvieron un comportamiento similar en altura de la planta, en la omisión del elemento magnesio, no obstante la omisión de azufre en el merey causo un limitado

crecimiento mas no así en el las plantas de sacha inchi y guanábana. La omisión de nitrógeno en la solución nutritiva afecto significativamente la altura de la planta, mas no fue tan drástico en comparación a lo reportado por (Marrone, 2009) en *Jatropa curcas*, el cual observo que las plantas bajo deficiencia de nitrógeno solo crecieron 13.3 cm en altura de la planta, siendo el menor resultados en comparación a la omisión de otros macronutrientes, Sin embargo se sabe que el nitrógeno es un elemento importante en la nutrición de planta tal como menciona (Natr, 1972; Peuke *et al.*, 1994; Lexa y Cheeseman, 1997), que indican que el nitrógeno es requerido en grandes cantidades por las plantas, la carencia de nitrógeno afecta la fotosíntesis, disminuyendo el contenido de clorofila y de las proteínas que participan en los procesos fotosintéticos.

La omisión de potasio como también la omisión calcio, afectaron drásticamente la variable altura de la planta, lo cual es un reflejo en lo importante que significa el potasio en la nutrición mineral de la planta ante esto, (Bennet, 1993), indica que el K funciona como un estabilizador del pH celular, contrarresta las cargas negativas de los ácidos orgánicos y aniones inorgánicos, y es activador para más de 60 enzimas en el tejido meristemático, también actúa en la producción del ATP, en la síntesis de almidón y proteínas, y en el proceso de fotosíntesis y el metabolismo de los carbohidratos, ante los resultados obtenidos por el la omisión de calcio (Marschner, 1986); citado por (Ericsson, 1995), menciona que el calcio funciona como componente estructural de la pared celular y la membrana plasmática, llevándonos a

pensar que la poca altura de la planta fue en consecuencia de la escasa división celular.

b) Longitud de la raíz (cm)



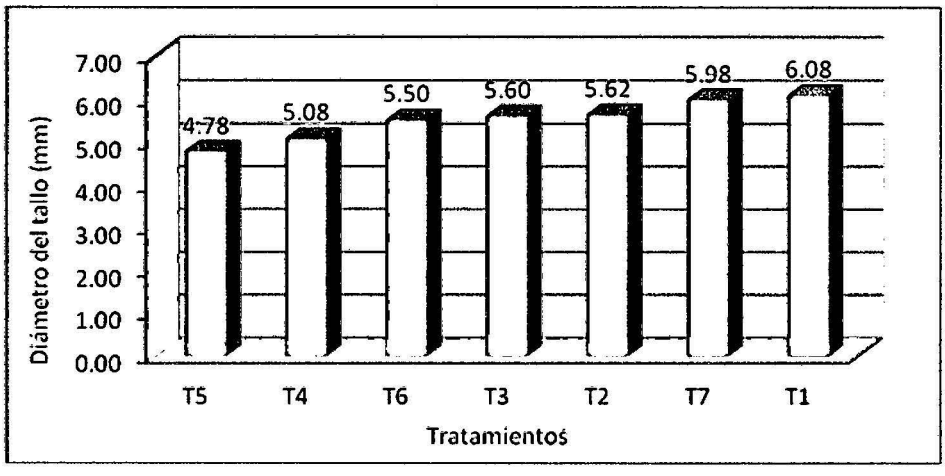
T1 (solución nutritiva completa), T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg), T7 (- S).

GRÁFICO 2: Longitud de la raíz por tratamiento.

En la prueba de promedio efectuado no se encontró diferencia significativa entre los resultados de los tratamientos, pudiendo observar que el mayor crecimiento radicular lo encontramos en el T3 (- P) con 16.53 cm, este comportamiento en parte se deba a que la planta bajo deficiencia de este elemento reacciono creciendo un poco más que las demás plantas, probablemente con la finalidad de obtener el nutriente fosforo, además cabe mencionar que las raíces eran largas y muy delgadas, un comportamiento muy parecido obtuvo (Graña, 2013), Trabajando con plantas de sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L), observando que la omisión de nitrógeno y la

omisión de fosforo fueron un desencadenante para que la raíz crezca más que la solución nutritiva completa, las plantas bajo deficiencia de nitrógeno solo crecieron 11.45 cm, el cual es el menor resultado ante los demás tratamiento, no concordando a los resultado obtenidos por (Graña, 2013) , T5 (- Ca) con 15.00 cm, T6 (-Mg) con 13.53 cm, T4 (- K) con 12.83 cm y T7 (- S) con 12.75 cm y obtuvieron resultados intermedios, por otro lado se encuentra el T1 (solución nutritiva completa) con 12.95 cm con un crecimiento radicular intermedio, lo que hace pensar que cuando la nutrición de la planta está relativamente balanceada el crecimiento radicular es moderado. Las diferencias existentes en los resultados por los tratamientos es muy minúsculo, lo que nos indicada que la carencia de un elementos nutritivo del grupo de los macronutrientes, no afecta significativamente la variable longitud de la raíz en un planta de caoba en la etapa de plantón en hidroponía.

c) Diámetro del tallo.



T1 (solución nutritiva completa), T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg), T7 (- S).

GRÁFICO 3: Diámetro del tallo de la planta por tratamiento.

En el análisis de varianza efectuado, no se encontró diferencia significativa entre los resultado de los tratamientos, lo que nos lleva a decir que los tratamientos T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg), T7 (- S) no afectaron significativamente la variable diámetro del tallo.

La variación de los resultado en los tratamientos en cuanto a la variable diámetro del tallo, son un tanto minúsculos, existiendo una diferencia de 1.30 mm entre el mayor resultado obtenido por el T1 (solución nutritiva completa) con 6.08 mm y el menor resultado obtenido por el T5 (- Ca) con 4.78 mm, así mismo (Gallegos *et al.* 2001), trabajando con tres especies del género *Pinus sp,* encontraron que la omisión del nitrógeno, potasio y fosforo afectaron la variable diámetro del tallo siendo el efecto más severo la omisión del elemento fosforo el cual hizo reportar los resultados más bajos en comparación con el tratamiento control (solución nutritiva completa), no obstante (Graña., 2013), en plantas de sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L), observo que la omisión de los elementos macronutrientes si afecto significativamente la variable diámetro del tallo, siendo muy extremo el efecto en la omisión de nitrógeno, calcio y fosforo, los cuales reportaron los resultados más bajos. La no significancia de los resultados obtenidos por los tratamiento, en parte se deba a que es muy prematuro su manifestación en esta etapa la planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) que es una especie forestal.

d) Número hojas por planta.

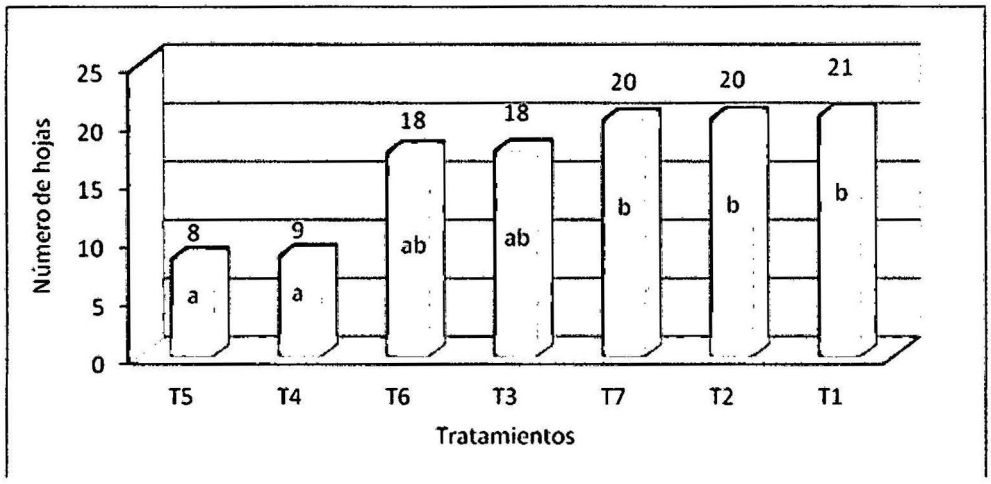


GRÁFICO 4: Número de hojas de la planta por tratamiento y el resultado de la prueba de promedio Tukey (0.05).

Los valores con igual letra no representan diferencia significativa entre tratamientos.

T1 (solución nutritiva completa), T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg), T7 (- S).

De los tratamientos que más afectaron la variable número de hojas por planta, se muestran al T4 (-K) con 9 hojas/planta y T5 (-Ca) con 8 hojas/planta, este resultado en cuanto a este variable es coherente de acuerdo a los síntomas que mostraban las plantas de caoba que fueron sometidos a dichos tratamientos como es el necrosamiento apical en el caso de la omisión del potasio y la caída de foliolos en el caso de la omisión del calcio.

Los tratamientos T3 (-P), T6 (-Mg), T2 (-N) y T7 (-S) obtuvieron resultados no significativo ante el T1 (solución nutritiva completa), lo que nos lleva plantear que la omisión de dichos elemento macronutrientes no afecta drásticamente a dicha variable.

Por otro lado (Graña. 2013), observo en plantas de sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L), que la omisión de los elementos macronutrientes afecto significativamente en la variable número de hojas, siendo el efecto negativo mayor en la omisión del nitrógeno y calcio.

e) Peso seco de raíces (g)

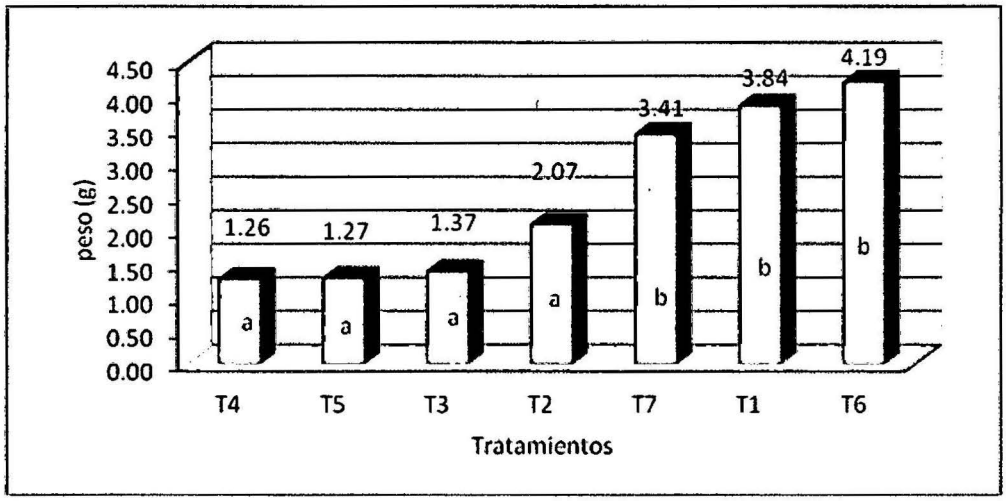


GRÁFICO 5: Peso seco de la raíz por tratamiento y el resultado de la prueba de promedio Tukey (0.05).

Los valores con igual letra no representan diferencia significativa entre promedios.
T1 (solución nutritiva completa), T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg), T7 (- S).

De los resultados en cuanto a estas dos variables evaluadas encontramos que la carencia de nitrógeno (N), calcio (Ca), potasio (K), y sobre todo el fosforo (P), fueron las que más afectaron la variable peso seco y peso fresco de la raíz, no obstante la omisión del elemento nutritivo S y Mg, no afectaron significantemente en la variable peso fresco peso seco de la raíz, inclusive el T6 (-Mg), obtuvo un resultado minúsculamente mayor al T1 (solución nutritiva completa).

En lo referente a la respuesta obtenida por la omisión del fosforo en la variable peso seco de la raíz de la planta de caoba es muy aceptable de acuerdos a los antecedentes encontrados, así (Gallegos *et al.,* 2001), trabajando con tres especies del género *Pinus sp,* obtuvo resultados inferiores con la omisión de fosforo. en sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L) (Graña., 2013), observo que la omisión potasio, calcio y fosforo afecto negativamente en el peso fresco y peso seco de la raíz, siendo mayor el daño en el caso del fosforo, así mismo (Fuentes *et al.*,2006), en sábila (*Aloe vera)* encontró que la omisión de nitrógeno, potasio y sobre todo la de fosforo afectaron fuertemente la variable peso seco de la raíz. De los resultado obtenidos y los antecedentes podemos decir que el fosforo es fundamental en el desarrollo radicular de la planta, y que las omisiones de nitrógeno, potasio y calcio también afectan pero en menor grado en comparación con la del fosforo.

f) Peso seco de la parte aérea.

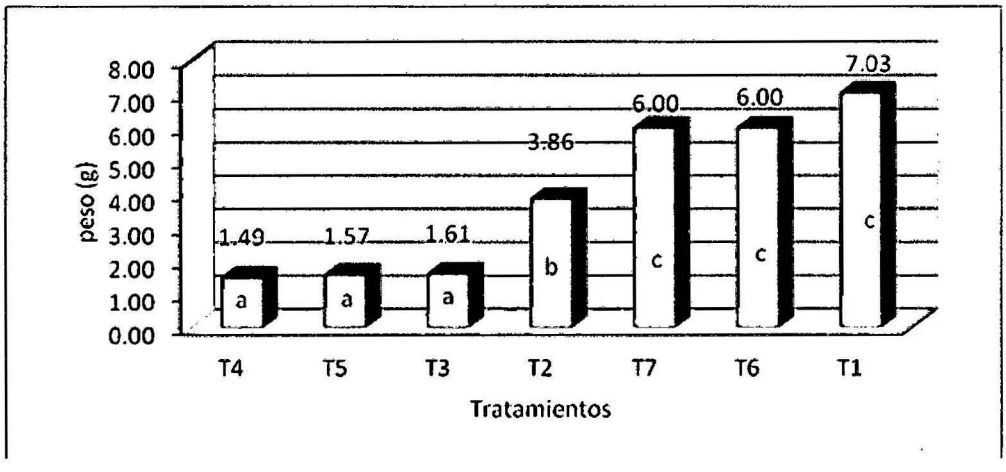


GRÁFICO 6: Peso seco de la parte aérea de la planta por tratamiento y el resultado de la prueba de promedio Tukey (0.05).

Los valores con igual letra no representan diferencia significativa entre promedios.
T1 (solución nutritiva completa), T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg), T7 (- S).

De los resultados obtenidos, se observa que la carencia nitrógeno (N), fosforo (P), calcio (Ca) y potasio (K), fueron las que más afectaron la variable peso fresco y peso seco de la parte aérea siendo mayor el efecto en la carencia de potasio y calcio lo cual se debería a lo manifestado por (Sívori *et al.*, 1980), que menciona que el potasio es requerido por la mayoría de las plantas en cantidades relativamente grandes, indicando además que 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, en lo referente al calcio (Devlin, 1980), indica que un papel bien conocido desempeñado por el calcio en las plantas es su participación en las paredes celulares en forma de pectato cálcico. La lámina media de las membranas celulósicas de las células vegetales está formada básicamente por pectatos de calcio, así mismo el Ca es parte esencial de la α-amilasa, la enzima que hidroliza el almidón.

Concerniente a esta variable, (Carvajal *et al.*, 2006), trabajando con sábila (*Aloe vera)*, observo que la omisión de potasio, nitrógeno y sobre todo fosforo, reportaron los resultados más bajos, más los macronutrientes magnesio, azufre y calcio, afectaron en menor grado, (Avilán, 1976), en merey (*Anacardium occidentale* L.) obtuvo una pobre ganancia de materia seca en las omisiones de, nitrógeno, azufre y sobre todo en la del fosforo, no obstante sucedió lo contrario en las omisiones de potasio, magnesio y calcio fueron muy superiores al solución nutritiva completa, tanto

así que el resultados en la omisión del calcio fue de 73 gr y la del control (solución nutritiva completa) fue de 32.25 gr. sin duda es algo anormal este reporte, sin embargo estas mismas plantas mostraron sintomatología de deficiencia. En el caso nuestro las omisiones de magnesio, azufre fueron casi similares al T1 (solución nutritiva completa). Se puede mencionar que hay mucha variación entre el resultado obtenido por (Avilán, 1976), en merey y el nuestro en caoba, de ello se puede decir lo siguiente, se trata de dos especias diferentes, el merey es una arbusto y la caoba es un árbol, y por lo cual las requerimientos en nutrientes en sus diferentes etapas y la respuesta a su deficiencia pueden variar y este sería el caso.

g). Volumen de raíces formadas (cm^3).

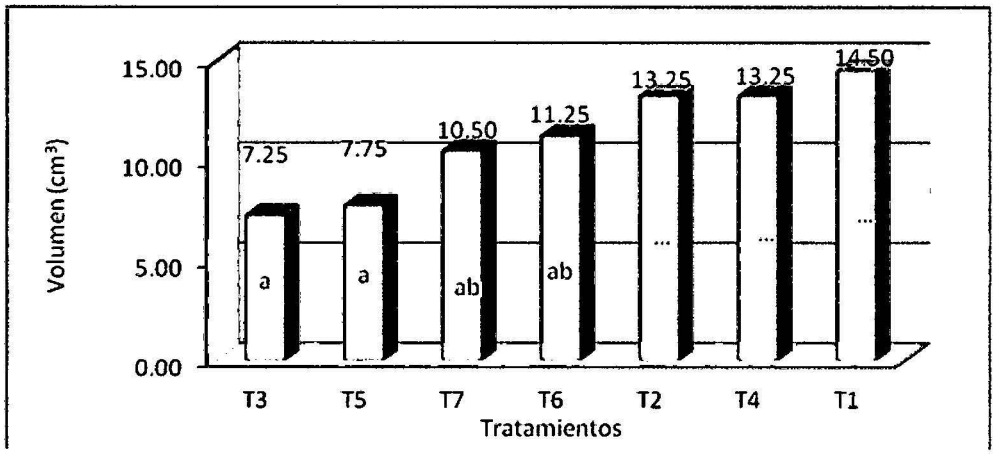


GRÁFICO 7: Volumen de la raíz por tratamiento y el resultado de la prueba de promedio Tukey (0.05).

Los valores con igual letra no representan diferencia significativa entre promedios.
T1 (solución nutritiva completa), T2 (- N), T3 (- P), T4 (- K), T5 (- Ca), T6 (-Mg), T7 (- S).

De los tratamientos faltantes de un elemento de macronutriente, se observa que la carencia del calcio (Ca) y sobre todo fosforo (-P) afectaron en la variable volumen de

la raíz, esto era de esperarse ya que en las anteriores variables evaluadas a la raíz, la carencia de fosforo (P) y calcio, ya mostraban los resultados más bajos.

3.1.2 Síntomas de deficiencia que causan cada uno de los elementos macro nutrientes en la planta Caoba (*Swietenia macrophylla* King).

Síntomas visuales de deficiencia por tratamiento: color, forma, tamaño y localización.

El conocimiento de los síntomas de deficiencias minerales le permite determinar qué tipo de deficiencia nutricional puede tener el cultivo, establecer la mejor forma de aplicación y el momento más adecuado para fertilizar (Salisbury y Ross, 2000), permitiendo con ello generar modelos de nutrición mineral eficiente del cultivo (Le Bot *et al.*, 1998). Si la concentración de un elemento nutriente esencial en el tejido vegetal está por debajo del nivel necesario para un óptimo crecimiento, indica que la planta es deficiente en ese elemento, y se produce así una alteración en la ruta metabólica en la que participa dicho elemento, afectando además otros procesos inmediatamente in,volucrados (Epstein y Bloom, 2005).

T1.- Características de la planta de Caoba, cultivada en una solución nutritiva completa de Hougland y Arnon.

La solución nutritiva se le consideró como testigo normal, para comparar las deficiencias de los diferentes tratamientos. Durante el tiempo que se cultivaron en solución nutritiva no se observaron síntomas de deficiencia en cuanto a color, forma, tamaño y localización, el aspecto general de las plantas tenía una apariencia y

tamaño normal en relación a los demás tratamientos, estas tenían hojas enteras de color verde oscuro a verde, hojas de mediano a grandes, con nervaduras pronunciadas de color verde claro. No hubo presencia de manchas necróticas o cloróticas ni presencia enfermedades en las hojas; el tallo tenía un color marrón claro ligeramente verde claro en el ápice; las raíces presentaron un desarrollo normal siendo no tan largas, no muy abundantes y con presencia de numerosas raíces absorbentes.

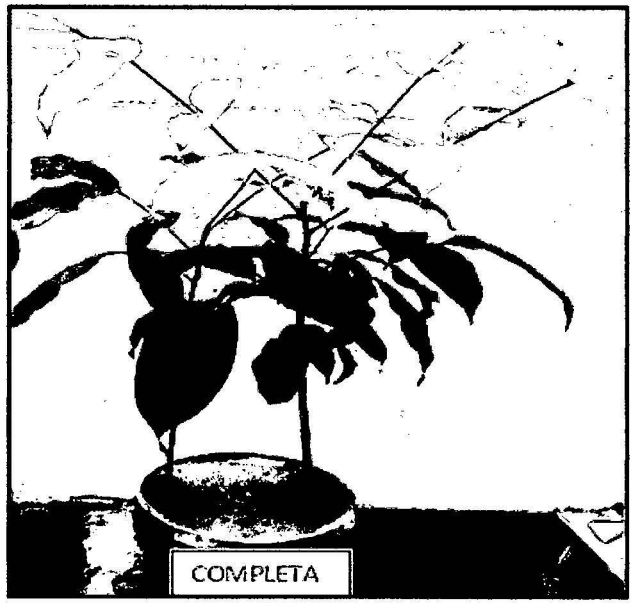


Foto 1: Aspecto de la parte aérea de una planta de caoba cultivada en solución nutritiva completa.



Foto 2: Aspecto de las raíces de una planta de caoba cultivado en solución nutritiva completa.

T2.- Solución nutritiva sin Nitrógeno (- N).

El síntoma de la deficiencia de nitrógeno se presentó a los 31 días después de la aplicación de la solución nutritiva sin nitrógeno siendo el segundo en manifestarse después del T4 (- K), la sintomatología se presentó en las hojas más antiguas en forma de clorosis que posteriormente mostraron una senescencia prematura en comparación con los otros tratamientos, otra característica fue que estas hojas cloróticas antiguas también mostraron secciones de colores rojos, muy parecido a lo observado en la sintomatología de la deficiencia de fosforo, conforme transcurrían los días, la sintomatología de la clorosis se manifestó en las hojas jóvenes que provoco defoliación, al término del ensayo se pudo observar que la sintomatología se

agudizaba, dejando de crecer, las hojas se presentaron cada vez más pequeñas y más cloróticas, así mismo las raíces se muestran largas y poco abundantes.

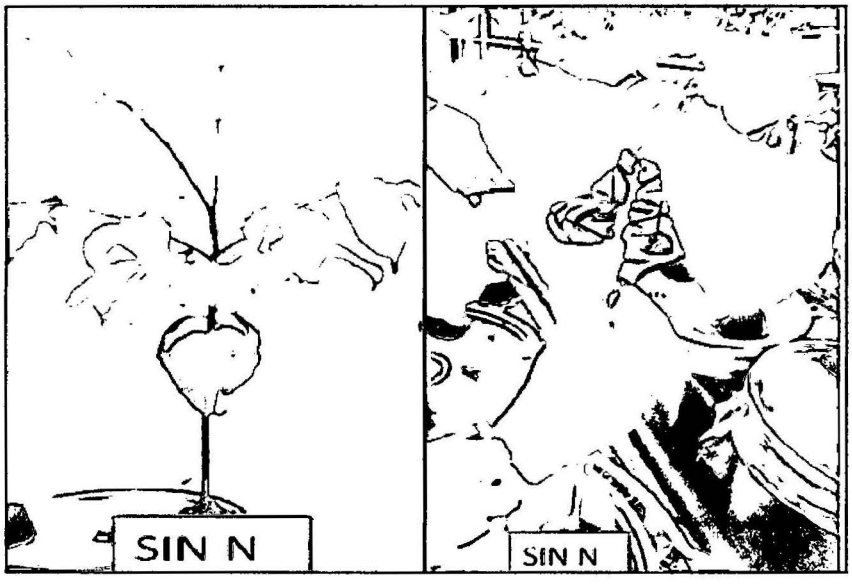


Foto 3: Aspecto de la hoja de una planta de caoba cultivado en una solución nutritiva sin N.

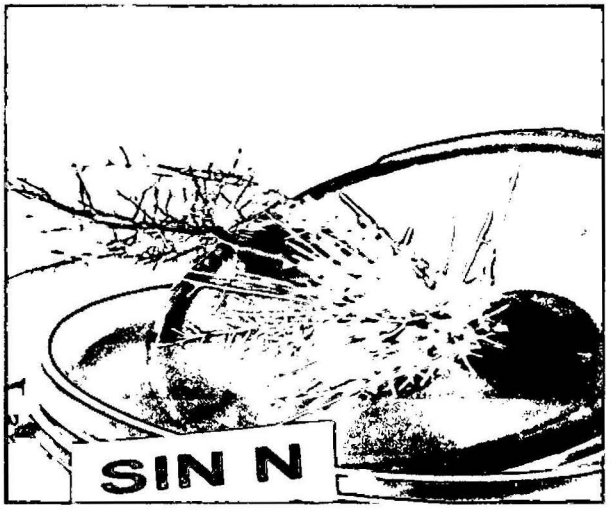


Foto 4: Aspecto de las raíces de una planta de caoba cultivado en una solución nutritiva sin N.

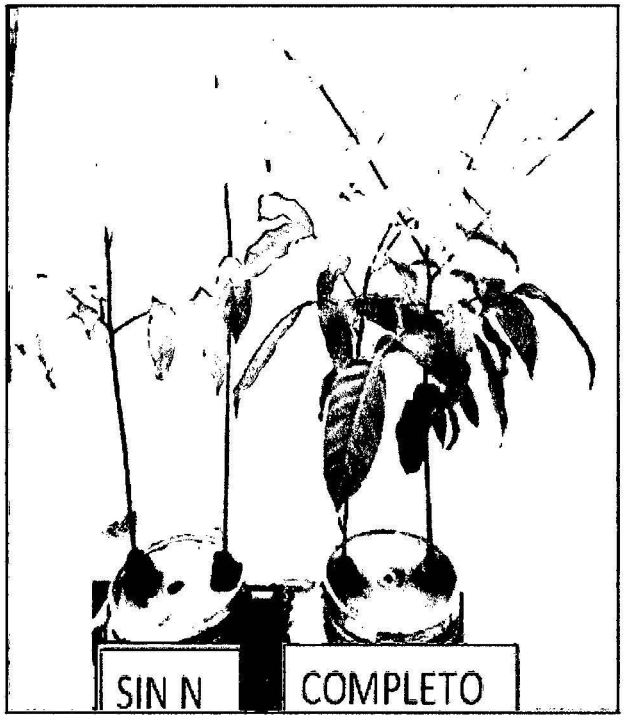


Foto 5: Aspecto de una planta de caoba cultivada en solución nutritiva completa versus una planta de caoba cultiva en solución nutritiva sin N.

La sintomatología observada en lo que respecta la clorosis en las hojas más antiguas y posterior clorosis generalizada, poco desarrollo de la planta de caoba, es coherente de acuerdo a (Natr, 1972; Peuke *et al.*, 1994; Lexa y Cheeseman, 1997), que indican que el nitrógeno es requerido en grandes cantidades por las plantas, la carencia de nitrógeno afecta la fotosíntesis, disminuyendo el contenido de clorofila, incrementando la resistencia estomática y del mesófilo a la difusión de CO2, y disminuyendo el contenido de proteínas que participan en los procesos fotosintéticos.

La coloración rojiza manifestada en las hojas más adultas bajo deficiencia de N, según (Peuke *et al.*, 1994a; Taiz y Zeiger, 1998) puedo ser causada por una acumulación de antocianinas. Estos compuestos, que no requieren N, se sintetizan en exceso debido a que los carbohidratos no son utilizados en la síntesis de aminoácidos y otros componentes nitrogenados.

Graña. (2013), en plantas de sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L), observo que la omisión de nitrógeno, como sintomatología hizo que las plantas manifestaran una clorosis basal en las hojas del primer ciclo, mientras que las maduras mostraron un mayor número de puntas (ápices) amarillas las cuales se necrosaron a medida que se acercó su senescencia, así mismo (Gallegos *et al.*, 2001) en tres especies de *Pino sp* observo una clorosis generalizada, su manifestación se dio al final del ensayo, en lo concerniente al desarrollo de la planta también se vio afectado, sobre todo al crecimiento de la parte aérea, viéndose la raíz poco afectada.

T3.- Solución nutritiva sin fósforo (- P).

El síntoma característico de la deficiencia de fosforo se presentó a los 45 días después de la aplicación de la solución nutritiva sin fósforo, las hojas más antiguas de la planta presentaban cierta coloraciones irregulares de color purpura y verde oscuro cercanas a las nervadura principal y secundarias, esta última coloración posteriormente pasarían tornarse de un color purpura, las coloraciones irregulares fueron creciendo hasta que al final que toda la hoja se tornara de un color rojizo, culminando esta sintomatología con la caída del foliolo. con el paso de los días fue mayor esta sintomatología y progresiva hacia las hojas más jóvenes, tanto es así que

al final del ensayo algunas de las plantas mostraron una defoliación total, otra característica en los foliolos es que las nervaduras principal y secundarias se mostraron cloróticas, la altura de la planta también se vio afectado, asimismo se observó que las raíces se mostraron largas y delgadas de un color oscuro con un aspecto de haber sido chamusqueado, el número de raíces es poco abundantes y con presencia escasa o nula de raíces suculentas.



Foto 6: Aspecto de la hoja de una planta de caoba cultivada en una solución nutritiva sin P.



Foto 7: Aspecto de las raíces de una planta de caoba cultivado en una solución nutritiva sin P.

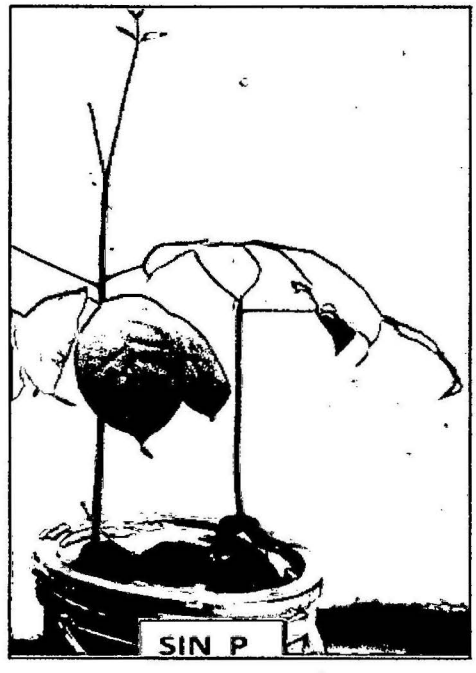


Foto 8: Aspecto de una planta de caoba cultivada en solución nutritiva sin P a los 76 días de tratamiento.

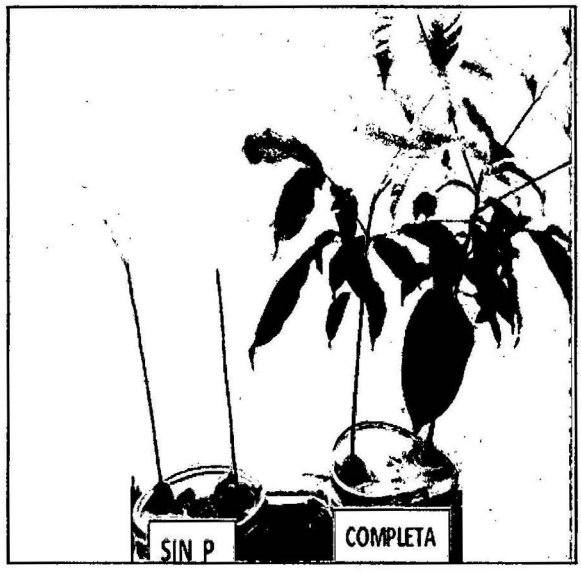


Foto 9: Aspecto una planta de caoba cultivada en solución nutritiva completa versus una planta cultiva en solución nutritiva sin P a los 90 días de recibido el tratamiento.

El poco desarrollo presentado por las plantas de caoba bajo la deficiencia de fosforo es justificable según (Botía y Medina, 2002) y (Angulo, 2006), quienes describen agobio, raquitismo y disminución en el tamaño de las hojas bajeras en plantas deficientes de fósforo, debido a que este elemento es indispensable para la formación de las células que componen los tejidos.

La sintomatología mostrada en los foliolos por la carencia de fosforo en las plantas de caoba, como es la coloración purpura tanto en las nervaduras principales y secundarias, que posteriormente los foliolos terminaron mostrando una coloración rojiza, ante esto (Marschner, 1995), indica que bajo deficiencia de fosforo señala como síntomas comunes la aparición de un color verde oscuro, coloración púrpura o

necrosis; así mismo (Fredeen *et al.*, 1989) menciona que otros síntomas frecuentes son un retardo en el crecimiento y poca expansión foliar.

Marrone (2009), en *Jatropa curcas*, observo que las plantas carentes en fosforo, presentaron un reducido tamaño, los foliolos presentaron amarillamiento, necrosis y caída de las mismas, en algunos casos se presentaron colores rojizos en la nervadura de las hojas inferiores y superiores.

T4.- Solución nutritiva sin potasio (- K).

Los efectos causados por la deficiencia de potasio fueron muy severas en comparación con los otros elementos macronutrientes, el día 29 de iniciado el experimento, más del 50 % de las plantas con este tratamiento, mostraban un reducido desarrollo del ápice, que posteriormente terminarían mostrando signos de necrosamiento, las hojas jóvenes eran escasas y en algunos caso las plantas no mostraban ni una hoja joven, en consecuencia de la muerte del ápice, se observó la emisión de brotes laterales en la mayoría de las plantas afectadas, los mismos que no lograron desarrollarse en ramas laterales, al término del ensayo algunas de las plantas lograron emitir brotes apicales minúsculos en comparación con T1 (Solución nutritiva completa).

El tallo de las plantas, eran poco desarrollados mostrándose delgadas en comparación al T1 (Solución nutritiva completa).

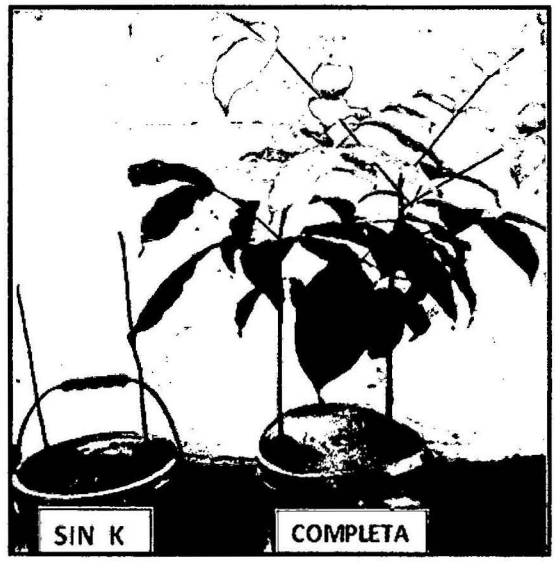
En lo referente a las raíces estas fueron casi similares en tamaño al T1 (Solución nutritiva completa), pero medianamente abundantes.



Foto 10: Aspecto de la parte aérea de una planta de caoba cultivada en una solución nutritiva sin K.



Foto 11: Aspecto de las raíces de una planta de caoba cultivado en una solución nutritiva sin K.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
BIBLIOTECA CENTRAL
U N U

Foto 12: Aspecto una planta de caoba cultivada en solución nutritiva completa Vs. una planta cultiva en solución nutritiva sin K.

Podemos decir que la omisión de potasio en la solución nutritiva fue el segundo elemento nutritivo que más afecto en el desarrollo de la planta de caoba, por lo cual (Sívori *et al.,* 1980) mencionan que el potasio pese a no forma parte estructural estable de ninguna molécula dentro de las células de la planta, la planta necesita grandes cantidades de este elemento para un crecimiento y desarrollo normal, (Natr, 1972) hacen referencia que el potasio es el principal elemento implicado en la osmorregulación, por la apertura estomática, la turgencia y el crecimiento activo de órganos jóvenes pueden verse afectados por su deficiencia. (Marschner *et al.*, 1996) refieren que la ausencia de este nutriente también afecta la fotosíntesis, disminuyendo la concentración de clorofila y varios pasos de la misma. Es el encargado de la carga de los fotoasimilados al floema en un proceso de cotransporte, contribuyendo sustancialmente al volumen del flujo en los tubos

cribosos e incrementando el transporte de fotosintatos desde la fuente hacia los sumideros.

La sintomatología que más se evidencia en la omisión de potasio fue la baja estatura, necrosis de la zona meristematica de la planta y la necrosis de los brotes axilares, el cual coincide a lo manifestado por (Barceló *et al.*, 2001), quienes indican que una planta deficiente en potasio presenta un aspecto achaparrado debido al acortamiento de los entrenudos y en condiciones extremas, las yemas terminales y laterales llegan a morir.

Marrone (2009), en piñón colorado (*Jatropa curcas)*, observo que las plantas bajo deficiencia de potasio, mostraban necrosis o quemado en los bordes de las hojas viejas, así mismo (vernal *et al.*, 2008) en plantas de cebollín (*Allium schoenoprasum* L.), noto que las plantas con deficiencia de K expresaron hojas entorchadas hacía el ápice y un 50% de puntas amarillas, produciéndose necrosis del tejido foliar en dirección basipétala especialmente en las hojas más viejas, (Vernal *et al.*, 2008) en mora *(Rubus glaucus)* observo entrenudos cortos, hojas enrolladas hacia adentro, posterior necrosis, las hojas se vuelven amarillentas, hojas más aserradas que las normales.

T5.- Solución nutritiva sin calcio (- Ca).

El síntoma de la deficiencia de calcio se presentó a los 40 días después de la aplicación de la solución nutritiva sin calcio, los síntomas consistieron inicialmente a nivel de las hojas jóvenes, que al principio se mostraron cloróticas con una superficie que se mostraba un tanto rugoso, seguido de estos síntomas se observó la muerte

de las hojas más tiernas con signos claros de necrosis, posteriormente las hojas formadas que presentaban los síntomas de clorosis, mostrarían necrosamiento a nivel del raquis, culminando con la caída de las hojas, quedando solo el peciolo en el tallo, el cual fue una diferencia frente a los demás tratamientos que también presentaron caída de hojas.

El efecto de la carencia de calcio fue letal en dos plantas cultivadas con este tratamiento. Las raíces de estas plantas también se vieron afectadas notándose deformación de los puntos de crecimiento de las raíces absorbentes, mostrándose estas cortas y poco abundantes.

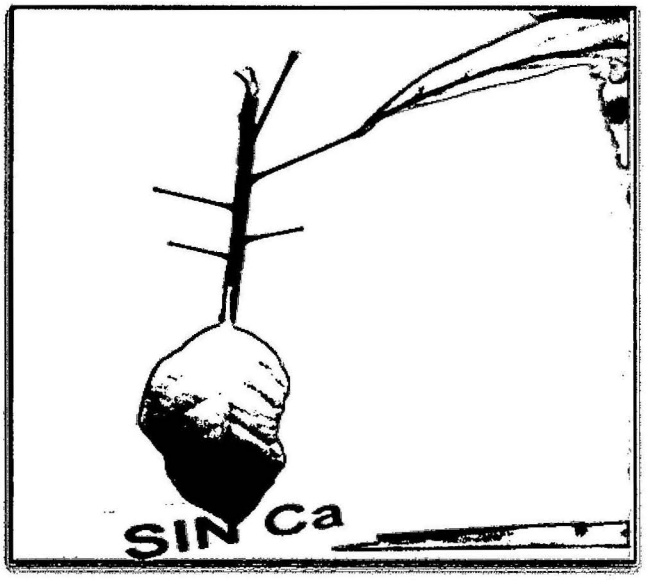


Foto 13: Aspecto de la hoja de caoba cultivado en solución nutritiva sin Ca.



Foto 14: Aspecto de la hoja de caoba cultivado en solución nutritiva sin Ca.

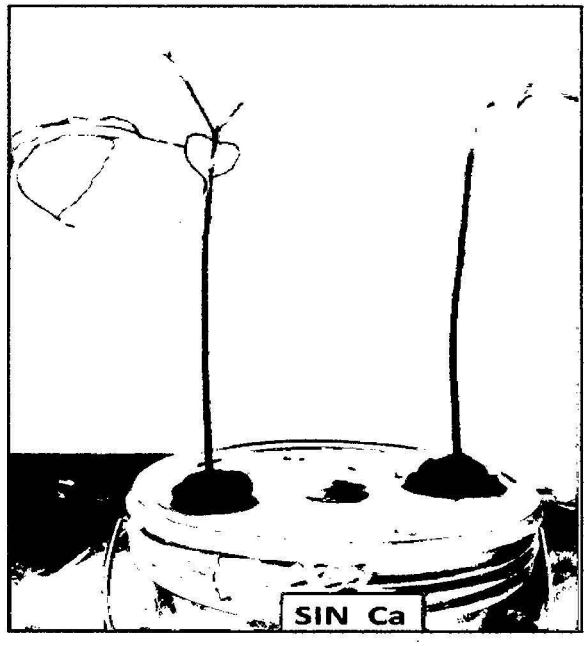


Foto 15: Aspecto de una planta en cultiva en solución nutritiva sin Ca.

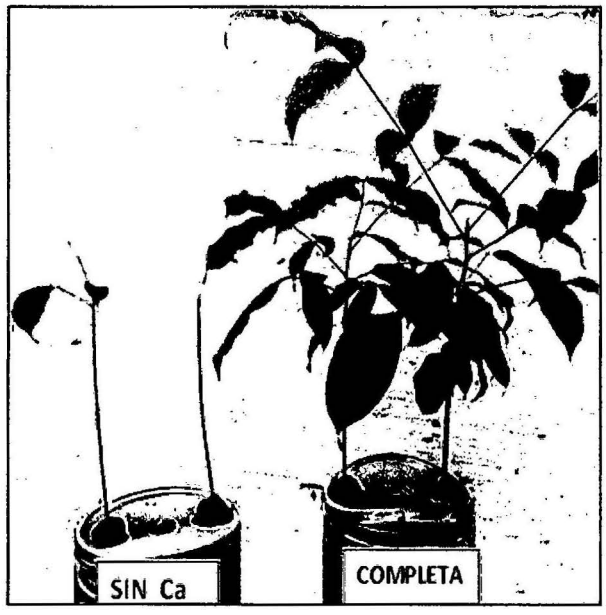


Foto 16: Aspecto de una planta de caoba cultivada en solución nutritiva completa versus una planta de caoba cultiva en solución nutritiva sin Ca.

En lo referente a lo observado se ajusta a lo que menciona, (Barceló *et al.*, 2001), que indican que los síntomas de deficiencia en calcio son fáciles de observar y muy espectaculares, las regiones meristemáticas y apicales del tallo, de las hojas y de las raíces resultan fuertemente afectadas y pueden acabar muriendo, por lo cual cesa el crecimiento de estos órganos, las raíces pueden acortarse, engrosarse.

Graña. (2013), en plantas de sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L), observo que la omisión de calcio provoco que las hojas jóvenes apicales que al principio estuvieron curvadas, ligeramente enrolladas y curvadas hacia abajo dirigiéndose el ápice en dirección al peciolo, asimismo toda la lámina termina deformándose, notándose una ligera clorosis internerval, posteriormente cuando los síntomas se agudizan se

observa necrosis de la zonas meristemáticas provocando muerte regresiva en tallos y ramas presentándose pocos brotes y entrenudos muy cortos, finalmente las plantas que presentan los síntomas llegaron a morir. Las raíces de estas plantas también se ven seriamente afectadas notándose deformación de los puntos de crecimiento de las raíces absorbentes, mostrándose estas cortas y poco abundantes.

(Sívori *et al.* 1980), refiere que el calcio se encuentra en las paredes celulares, donde se cree que forma sales relativamente insolubles al reaccionar con los ácidos pécticos de la laminilla media. Se cree que esos pectatos de calcio actúan cementando entre sí las células de un tejido, lo cual de ser cierto, podría explicar por qué la deficiencia de calcio causa una inhibición notoria en el crecimiento de la misma planta, la de los brotes y la muerte en las zonas donde la división celular es más activa.

T6.- Solución nutritiva sin magnesio (- Mg).

La sintomatología se presentaron a los 46 días después de aplicarse la solución nutritiva sin Mg, inicialmente se observó una ligera clorosis en las hojas bajeras (adultas) posteriormente la clorosis se manifestó en las hojas jóvenes. Fue el tratamiento que menos síntomas mostro.

Los tallos y las ramas presentaron un desarrollo relativamente normal, el diámetro del tallo fue afectando un poco, en las plantas, asimismo las raíces se mostraron medianamente largas.

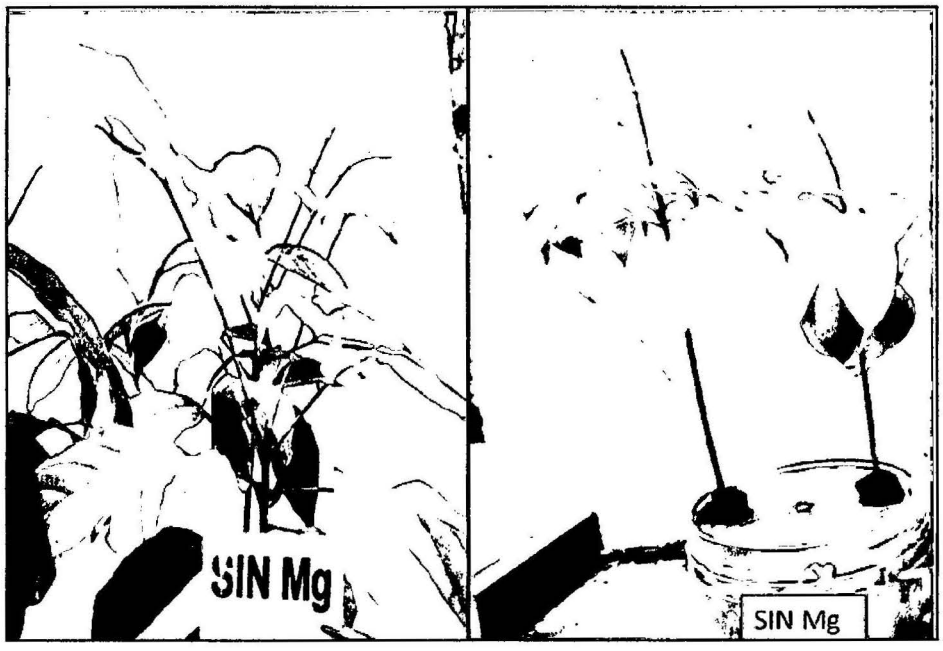


Foto 17: Aspecto de una de planta de caoba y sus hojas cultivado en solución nutritiva sin Mg.

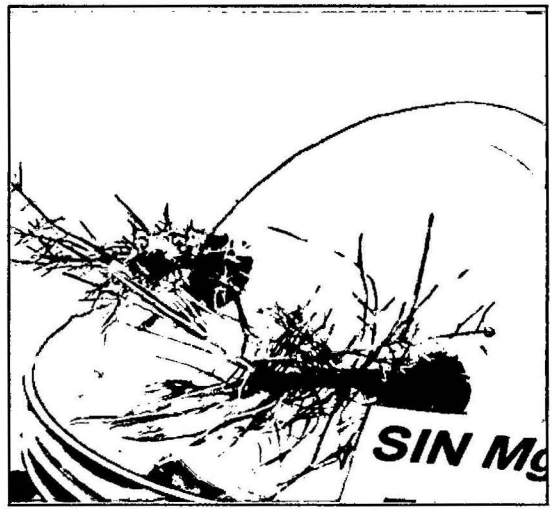


Foto 18: Aspecto de las raíces de una planta de caoba cultivado en solución nutritiva sin Mg.

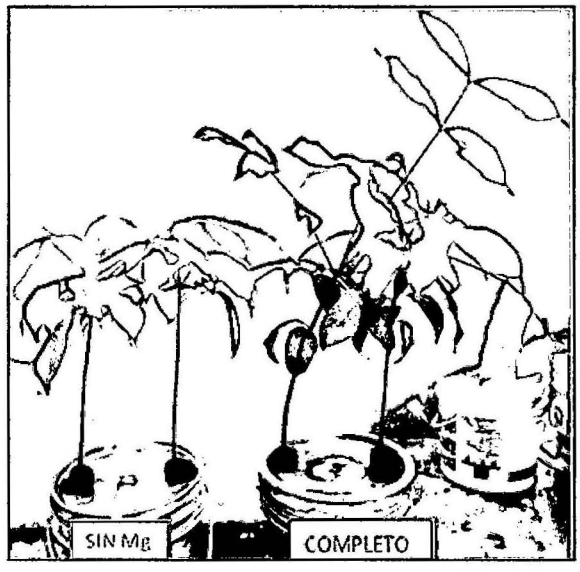


Foto 19: Aspecto de una planta de caoba cultivada en solución nutritiva completa versus una planta de caoba, cultivado en solución nutritiva sin Mg.

En lo referente los pocos síntomas observados, (Sívori *et al.*, 1980), refieren que el magnesio es parte integrante de la molécula de clorofila y por ello esencial, y en su ausencia se desarrolla clorosis entre las nervaduras, comenzando por las hojas viejas.

Las plantas que vegetaban en solución sin magnesio evidenciaban la carencia de este elemento después de 2 meses del inicio del ensayo, presentando un buen desarrollo sin paralización de su crecimiento.

Avilán (1976), en merey (*Anacardium occidentale* L.), observó cómo sintomatología por la omisión de magnesio que las hojas inferiores se mostraban numerosas con pequeñas manchas amarillas entre las nervaduras principales y laterales. EL amarillamiento comenzaba cerca de la nervadura principal y luego se dirigía hacia los

bordes, quedando limitada por las dos nervaduras laterales. En fuses más avanzadas las manchas comenzaron a oscurecer en su región central mostrando el aparecimiento de necrosis la cual se propagó para la periferia de las manchas, así mismo (Avilán, (1974), en parcha granadina *(Passiflora quadrangularis* L.*)*, la sintomatología por la carencia de magnesio, se presentó tardíamente, caracterizándose en forma general por una clorosis internerval en las hojas inferiores, la cual posteriormente se fue acentuando, el crecimiento de la planta no fue afectado.

T7.- Solución nutritiva sin azufre (- S).

El síntoma de deficiencia de este elemento se observó aproximadamente a los 50 días después de aplicarse la solución nutritiva sin azufre, estos se presentaron primeramente en las hojas jóvenes apicales con clorosis generalizada, así mismo la nervadura central y secundarias también presentaron clorosis, posteriormente los foliolos más antiguos presentarían zonas cloróticas, que se inició cerca al área de la unión del peciolo con el foliolo, posteriormente esta clorosis abarcaría mayores áreas de la hoja, por ultimo estos foliolos más antiguos terminaron mostrando senescencia prematura en comparación con el T1(solución nutritiva completa), la carencia de este elemento no afecto significativamente la altura, numero de hojas, diámetro del tallo, peso fresco y seco del tallo y de la raíz.



Foto 20: Aspecto de la hoja de una planta de caoba cultivado en solución nutritiva sin S.



Foto 21: Aspecto de las raíces de una planta de caoba cultivado en solución nutritiva sin S.

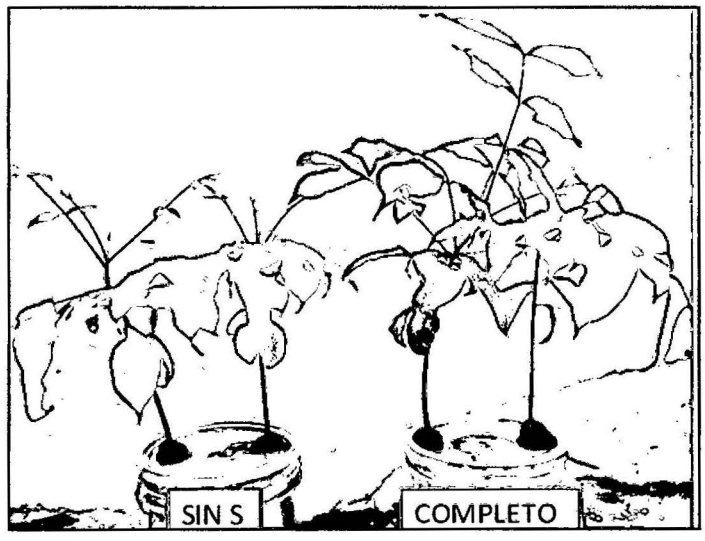


Foto 22: Aspecto de una planta de caoba (Azufre vs. S.comp.)

Sin duda la omisión de azufre en la planta de caoba no causo un efecto tan impactante en comparación a la omisión de calcio, potasio, fosforo y nitrógeno, la sintomatología de la variación en la coloración de las hojas de caoba de verde normal a verde claro, se observa también en *Glicine max* (Bennett, 1993), y *Spinacia oleracea* (Dietz, 1989). (Dietz, 1989; Azcón-Bieto y Talón, 2000) hacen referencia que en consecuencia de la deficiencia de magnesio la sintomatología puede estar relacionada con la pérdida de clorofila, lo cual probablemente provoco los tonos de verde más claros, e implico probablemente una degeneración de los cloroplastos, reducción de la tasa de fotosíntesis y pérdida de material, como el glutatión, compuesto de almacenamiento y transporte de azufre orgánico. (Fitzgerald *et al.*, 1999), ha señalado que puede ocurrir inhibición de la síntesis de proteínas, en particular de las enzimas carboxilantes. A pesar de todas estas funciones llevadas a

cabo por el azufre, (Ericsson, 1995) señala que bajo deficiencia de azufre la fijación de carbono es menos afectada que el crecimiento de nuevas estructuras, lo cual explica el crecimiento casi normal de la planta de caoba durante el experimento.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos se concluye que:

- La variable altura de la planta, se vio seriamente afectado con el T4 (-K) con 24,08 cm y T5 (-Ca) con 25,83 cm, que obtuvieron las plantas de menor tamaño, el T3 (-P) con 27,53 cm y T2 (-N) con 28,30 cm, afectaron pero en menor grado, no así el T6 (-Mg) con 29,23 cm y el T7 (-S) con 30,10 cm, no afectaron significativamente la altura de la planta.

- La variable longitud de la raíz, la ausencia de los tratamientos T4 (-K) con 12,83 cm, T2 (-N) con 11,45 cm, T3 (-P) con 16,53 cm, T5 (-Ca) 15,00 cm, T6 (-Mg) con 13,53 cm y T7 (-S) con 12,75 cm, no afectaron significativamente, notándose que la carencia de fosforo hizo que la planta obtuviera la raíz de mayor tamaño, pero muy flácidas y delgadas, con signos de necrosamiento.

- La variable diámetro del tallo, el T2 (-N) con 5,63 mm, T3 (-P) con 5,60 mm, T4 (-K) con 5,08 mm, T5 (-Ca) con 4,78 mm, T6 (-Mg) con 5,50 mm y T7 (-S) con 5,98 mm, no afectaron significativamente en el tiempo evaluado.

- La variable número de hojas por plantas, se encontró que el T5 (-Ca) con 8 hojas, T4 (-K) con 9 hojas, afectaron significativa, lo cual era de esperarse deacuerdo al efecto negativo que causaron estos dos macroelementos en otras variables avaluadas, el T2 (-N) con 20 hojas, T3 (-P) con 18 hojas, T6 (-Mg) con 18 hojas y T7 (-S) con 20 hojas no afectaron significativamente.

- La variable peso seco de la raíz y volumen de raíces, se vieron significativamente afectado por la omisión de T3 (-P) con 0.48 g y 7.25 cm^3 presentaron los menores resultados en relación a los demás tratamientos, por lo que se puede inferir que el fosforo es el elemento limitante en cuanto al crecimiento en peso fresco, seco y volumen de raíces se refiere.

- En cuanto a la variable peso seco de la parte aérea, el T4 (-K) con 1.49 g, y con el T5 (-Ca) con 1.57 g, fueron las obtuvieron los pesos más bajos, afectando significativamente, evidenciándose que estos dos macroelementos son fundamentales en el normal crecimiento de la planta de caoba, el T3 (-P) con 1.61 g, y el T2 (-N) con 3.86 g también afectaron pero en menor grado, no así el T6 (-Mg) 6.00 g y el T7 (-S) 6.00 g, que hicieron que las plantas obtengan pesos muy cercanos al T1 (solución nutritiva completa) con 7.03 g, sin mostrar significancia.

- ❖ La omisión de K, Ca, P y N mostraron mayor sintomatología, puesto que en ellos se evidencio un menor desarrollo de la planta, más no así las omisiones de Mg y S no afectaron el normal crecimiento de la planta de caoba.

4.2 RECOMENDACIONES.

1. Seguir estudiando los efectos de la carencia de macronutrientes en la especie forestal caoba (*Swetenia macrophylla* King.), haciendo énfasis en la fertilización de diferentes niveles de calcio y potasio, tanto en soluciones nutritivas como en condiciones de campo definitivo puesto que la carencia de estos macronutrientes, en el cultivo inicial bajo condiciones de hidroponía, causaron un desarrollo limitado de la planta y en el caso del calcio incluso la muerte de la planta misma.

2. Se debe seguir evaluando plantas de caoba en solución nutritiva completa por más de tres meses puesto que aún no se tiene datos de cuanto estas soluciones pueden incrementar el rendimiento de este cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarenga, S., & E. M. Flores. 1988. Morfología y germinación de la semilla de caoba, *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae). *Revista deBiologia Tropical* 36(2a): 262-267.
- Angulo, R. 2006. Lulo: el cultivo. Capítulo 1: Generalidades del cultivo y Capitulo 2: Propagación. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Conciencias y Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales. Bogotá. 99p
- Aoki, H., 1982. Consideraciones sobre la preservación de cerrados. Anales del congreso nacional sobre especies nativas. Revista del Instituto Forestal, Sao Paulo, Brasil. Braun-Blanquet, J,.1979 : Fitosociología, bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume Ediciones, Madrid, España.
- Avilán, L. 1974. Efectos de la deficiencia de macronutrientes sobre el crecimiento y la composición química de la parcha granadina (*Passiflora quadrangularis* L.) cultivada en soluciones nutritivas. Agron. Trop. 24(2): 133-140.
- 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.
- Bell C, Clarkson D, John W (1995) Partitioning and redistribution of sulphur during S-stress in *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro. J. Exp. Bot. 46: 73-81.
- Bennett, W. (1993) Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. APS Press. St Paul, EEUU. 197 pp.
- Bonilla, I. 2008. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. pp. 102-121. En: Azcón-Bieto, A. y M. Talón. (eds.). Fundamentos de la fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.
- Budowsky, G., 1961: Estudios de la sucesión forestal en Costa Rica y Panamá. Panamá.

- Buitrón, X.; Mulliken, T., 2001: El apéndice III de CITES y el comercio de la caoba (*Swietenia macrophylla*). TRAFFIC International. Quito, Ecuador.
- Chudnoff, M. 1979. Tropical Timbers of the World. Madison, Wisconsin: US Products Laboratory, USDA Forest Service. 831 pp.
- Combe, J.; Gewald, N.J. 1979: Guia de campo de los ensayos forestales de CATIE en Turrialba, Costa Rica.
- Dietz K (1989) Leaf and chloroplast development in relation to nutrient availability. J. Exp. Bot. 134: 544-550.
- Epstein, E. (1972) Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Wiley, New York.
- Epstein, E. y A.J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectivas. 2a ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.
- Ericsson T (1995) Growth and shoot: root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. Plant Soil 168-169: 205-214.
- Gallegos, V; Navarro, R.M; Alcántara, E. 2001. Deficiencias nutritivas en plantas de una savia de tres especies del género *Pinus sp.* en cultivo hidropónico. Dpto. de Ingeniería Forestal, Departamento de Agronomía. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. Apdo. 3048, 14080-Córdoba. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 10 (1).
- Graña, E.B, 2012. Efecto de la carencia de macro-nutrientes (N – P – K – Ca – Mg - S) en el crecimiento del cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* l). Tesis para Optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Pucallpa Ucayali - Perú.

- Grogan, J. E. 1996. Mahogany (*Swietenia macropylla* King) in south Pará, Brazil: report on field studies, october 1995 through January 1996. Yale School of Forestry & Environmental Studies.
- Gullison, R.E., and S. P. Hubbell. 1992b. Regeneracion natural de la mara (*Swietenia macropylla*) en el bosque Chamines, Bolivia. Ecologia en Bolivia 19: 43-56.
- Gullison, R.E., S. N Panfil, J. J. Struose, and S. P. Hubbell. 1996. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macropylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. Botanical Journal of the Linnean Society 122: 9-34.
- Hoy, H. 1946. Mahogany industry of Peru. Economic Geography 22:1-13.
- Fredeen A, Madhusudana I, Terry N (1989) Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in Glycine max. Plant Physiol. 89: 225-230.
- Fuentes-Carvajal, Andreína; Veliz, José A; Imery Buiza, José. Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo vegetativo de aloe vera. INCI, Caracas, v. 31, n. 2, feb. 2006. Disponible en <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000200007&lng=es&nrm=iso>. Accedido en 03 enero 2013.
- Itto , 2003. Racionalizando el comercio de la Caoba. Serie técnica Nº 22. 58 pgs.
- Ikeda, T., A. Taketani, and A. Yokota. nd. Infestation of Meliaceous trees by the mahogany shoot borer in plantation areas of the Peruvian Amazon. Unknown source.
- Lamprecht, H., 1957 a: Swietenia macrophilla King. Capítulo silvicultura.Descripciones de árboles forestales. IFLA Bol. Nro. 1.
- Lamb, F. B. 1966. Mahogany of Tropical America: its Ecology an Management. Ann Arbor: University of Michigan. 220pp.

- Lexa, M & Cheeseman, M. (1997). Growth and nitrogen relations in reciprocal grafts of wild-type and nitrate reductase- deficient mutants of pea (Pisum sativum L. var. Juneau). J. Exp. Bot. 48: 1241-1250.
- Marrone, J., 2009. Efecto de las deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*). Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura. Zamorano Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamorano, Honduras.
- Martorell, L. F. 1943. Forests and Forest entomology. Caribbean Forester 4: 132-134.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2a ed. Academic Press. Londres, RU. 889 pp.
- Miller, N. G. 1990. The genera of Meliaceae in the southeastern United States. Journal of the Arnold Arboretum 71: 453-486.
- Natr L (1972) Influence of mineral nutrients on photosynthesis of higher plants. Photosynthetica 6: 80-99.
- Negreros-Castilho, P. 1991. Ecology and Management of Mahogany (*Swietenia macropylla* King) Regeneration in Quintana Roo, Mexico. Ph.D. dissertation, Iowa States University.
- Nelson, B. W. 1994. Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. Remote Sensing Reviews 10: 105-125.
- Ramos, J., and J. Grace. 1990. The effects of shade on the gas exchange of seedling of four tropical trees from Mexico. Functional Ecology 4(5): 667-678.
- Record, S. J., and R. W. Hess. 1947. Timbers of the New World. New Haven: Yale University Press. 640 pp.

- Veríssimo, A. & Lima, E. 1998. Caracterização da atividade madeireira na Amazônia. Manuscrito, IMAZON, Belém, 33 p.
- 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
- Pérez, F. 1998. Hidroponía: Cultivo de Planas con soluciones nutritivas.Universidad Nacional de Ucayali. 1998. 116p.
- Pérez, F. 1998. Guía de prácticas de Fisiología Vegetal. Universidad Nacional de Ucayali.1998. p.20-62.
- Pérez, F. (1988). Cultivo de planta con soluciones nutritivas PP. 1-50.
- Sabino, H.; J. Lavres y M. Ferreira. 2007. Azufre como nutriente y agente de defensa contra plagas y enfermedades. Informaciones Agronómicas. International Plant Nutrition Institute 65(1), 1-4.
- Salisbury F.B. and Ross, C. 1993.Plant Physiology.California USA.Wadworth Publishing Company Inc.
- Salisbury, F. B.; Ross, W. Cleon.2000. Fisiología Vegetal I. Células: agua, soluciones y superficies. Paraninfo, Thonson Learning. Capítulo 6 Madrid, España. Pp. 187-193.
- Sivori, E.M.; Montaldi, E.R.; Caso O.H. Fisiología Vegetal, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires. 1980.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. Segunda Edición. Sinauer Associates, Inc., Publishers. pp. 792.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant physiology, 4a ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

ANEXO

Cuadro 8: ANOVA de las variables dependientes de crecimiento.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ALTURA DE LA PLANTA	Inter-grupos	151.574	6	25.262	16.741	.000
	Intra-grupos	31.690	21	1.509		
	Total	183.264	27			
LONGITUD DE LA RAIZ	Inter-grupos	67.540	6	11.257	2.093	.097
	Intra-grupos	112.933	21	5.378		
	Total	180.473	27			
DIAMETRO DEL TALLO	Inter-grupos	5.144	6	.857	1.536	.215
	Intra-grupos	11.718	21	.558		
	Total	16.861	27			
NUMERO DE HOJA/PLANTA	Inter-grupos	702.982	6	117.164	4.610	.004
	Intra-grupos	533.688	21	25.414		
	Total	1236.670	27			
PESO SECO DE LA RAIZ	Inter-grupos	40.063	6	6.677	22.894	.000
	Intra-grupos	6.125	21	.292		
	Total	46.188	27			
PESO SECO DE LA PLANTA	Inter-grupos	516.632	6	86.105	52.054	.000
	Intra-grupos	34.738	21	1.654		
	Total	551.370	27			
VOLUMEN DE LA RAIZ	Inter-grupos	188.929	6	31.488	4.537	.004
	Intra-grupos	145.750	21	6.940		
	Total	334.679	27			



Foto 23: Plántula de caoba que fueron sometidos a los tratamientos.



Foto 24: Experimento recién instalado.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
BIBLIOTECA CENTRAL
U N U

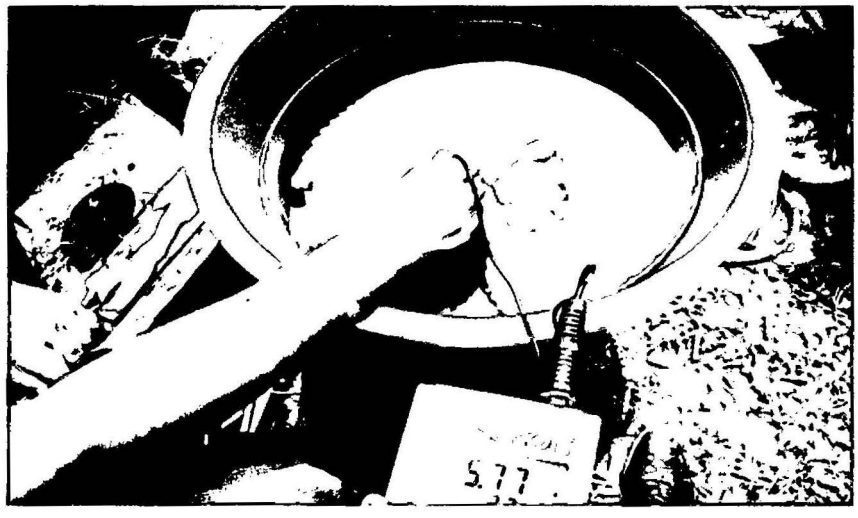


Foto 25: Medición del Ph y conductividad eléctrica.



Foto 26: Corte de la raíz y la parte aérea de la planta para su posterior secado en la estufa.