

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“EFECTO DE LA CARENCIA DE MACRO-NUTRIENTES (N – P – K
– Ca – Mg - S) EN EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE SACHA
INCHI (*Plukenetia volubilis* L.), EN PUCALLPA UCAYALI”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÓNOMO

GRAÑA SANDOVAL ERIC BLADIMIR

PUCALLPA – PERÚ

2018



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Pucallpa, a los...⁰⁶... días del mes de...^{Diciembre}... del 20...¹²
Siendo las...^{1.05 pm}... horas y de acuerdo a lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los integrantes del Jurado Calificador nombrados por la DECANATURA, con documento:

Memorando Múltiple N° 097 - 2012 - UNW - FCA

Para proceder a la sustentación pública de tesis Titulada:
Efecto de la carencia de Macro Nutrientes (N-P-K-Ca-Mg-S) en el crecimiento del cultivo de Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.), en Pucallpa Ucayali

Presentado por el (la) Bachiller en Ciencias Agropecuarias

Ortiza Sandoval Eric Bladimir..... ante el Jurado
Conformado por los siguientes catedráticos:

ING. Mack Pinchi Ramirez..... (Presidente)

ING. Rita Riva Ruiz..... (Secretario)

ING. Celso Calle Serrano..... (Miembro)

Finalizada la sustentación de la misma se procedió a la evaluación respectiva y en seguida se deliberó llegando a las siguientes conclusiones: el tesista ha sido

Aprobado..... por Unanimidad..... quedando el graduado expedito para que se otorgue el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Siendo las...^{2.50 pm}... Horas del mismo día se dio por concluido la Ceremonia.


.....
Presidente


.....
Secretario


.....
Miembro

DEDICATORIA.

A Dios:

Por guiarme en este arduo camino que es la vida.

A mis padres:

Noemí Sandoval Oñate y Rolando Graña Laos por brindarme su apoyo incondicional en cada momento de mi vida, quienes me inculcaron constancia convicción y responsabilidad.

A mis hermanos:

Marlon, Lourdes, Gaby, Bryan y Julissa,
Por motivarme y apoyarme siempre.

A Eric Alexander Graña Urquia, el gran motor de mi existencia

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.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Ucayali, por impartirme los conocimientos técnicos y científicos que me permitieron formarme como un profesional.

Al Dr. Fernando Pérez Leal, por el asesoramiento acertado durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Pedro Pablo Villegas Panduro, por su valiosa orientación, durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

Al módulo de Hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, por todas las facilidades brindadas durante el desarrollo del experimento, cuya responsabilidad a cargo del técnico Wilfredo Peña Moran.

Al Ing. Roberto, por facilitarme el uso del laboratorio de química, y a mis grandes amigos Glendys Andrade, Juana del Rocio Dionisio, German Cavero, Lenin, por su apoyo desinteresado en todo momento.

La presente tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título de Ingeniero Agrónomo.

Dr. Mack Henry Pinchi Ramírez

.....

Presidente

Ing. Rita Riva Ruiz

.....

Secretario

Ing. Celso Calle Serrano

.....

Miembro

Dr. Fernando Pérez Leal

.....

Asesor

Bach. Eric Bladimir Graña Sandoval

.....

Tesista

ÍNDICE.

RESUMEN.	x
LISTA DE CUADROS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xix
I. INTRODUCCIÓN.	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. EL SACHA INCHI (<i>Plukenetia volubilis</i> L.).....	3
2.1.1. Origen y distribución geográfica.....	3
2.1.2. Clasificación Taxonómica.....	3
2.1.3. Morfología general.....	4
2.1.4. Ecología.....	6
2.1.5. Suelo y drenaje.....	7
2.1.6. Fertilidad de suelos.....	8
2.1.7. Usos y valores nutritivos.....	9
2.1.8. Plagas y enfermedades.....	10
2.1.9. Cosecha.....	11
2.2. NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS.....	12
2.2.1. Nutrición mineral en huertos hidropónicos.....	12
2.2.2. Funciones de los elementos nutritivos.....	14
2.2.2.1. Constituyentes de Moléculas Orgánicas.....	14
2.2.2.2. Reserva Energética.....	14
2.2.2.3. Forma Iónica.....	15
2.2.3. Efecto de los macro elementos en las plantas.....	16
2.2.3.1. Nitrógeno.....	16
2.2.3.2. Calcio.....	19

2.2.3.3. Potasio.....	21
2.2.3.4. Azufre.....	22
2.2.3.5. Fósforo.....	25
2.2.3.6. Magnesio.....	26
III. MATERIALES Y MÉTODO.....	29
3.1. UBICACIÓN.....	29
3.2. DURACIÓN DEL ESTUDIO.....	29
3.3. ECOLOGÍA Y CLIMA.....	29
3.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS.....	30
3.4.1. Materiales.....	31
3.4.2. Insumos.....	31
3.4.3. Equipos.....	31
3.5. METODOLOGÍA.....	31
3.5.1. Obtención de las plantas de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) para el experimento.....	31
3.5.2. Preparación de la Solución Stock y Solución Nutritiva.....	32
3.5.3. Preparación, ubicación y mantenimiento de los recipientes con medios de cultivo.....	36
3.5.4. Repique de las plantas de sachá inchi.....	36
3.5.5. Cambio de la Solución Nutritiva.....	38
3.5.6. Control de plagas y enfermedades.....	38
3.6. VARIABLES EVALUADAS.....	39
3.6.1. Variables independientes.....	39
3.6.2. Variables dependientes.....	39

3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	40
3.7.1. Variables independientes.....	40
3.7.2. Variables dependientes.....	40
3.8. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	42
3.8.1. Modelo Estadístico.....	42
3.9. DATOS REGISTRADOS.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. ANÁLISIS DEL EFECTOS EN EL CRECIMIENTO QUE CAUSA LA AUSENCIA DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES MACRO NUTRIENTES EN EL CRECIMIENTO DE SACHA INCHI (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) A 98 DÍAS DESPUÉS DEL TRASPLANTE A SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	43
4.1.1. Peso fresco de planta.....	43
4.1.2. Peso seco de planta.....	46
4.1.3. Longitud de la parte aérea (altura).....	49
4.1.4. Longitud de raíces.....	51
4.1.5. Diámetro del tallo.....	53
4.1.6. Número de hojas formadas.....	55
4.1.7. Número de hojas en formación.....	56
4.1.8. Peso fresco de raíces.....	58
4.1.9. Peso seco de raíces.....	60
4.1.10. Volumen de raíces formadas.....	62
4.1.11. Pérdida de agua durante el día.....	64
4.1.12. Pérdida de agua durante la noche.....	66
4.1.13. Area foliar.....	68

4.2. SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA QUE CAUSAN CADA UNO DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES MACRO NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE SACHA INCHI (<i>Plukenetia volubilis</i> L.), A LOS 98 DÍAS DE INICIADO LOS TRATAMIENTO.....	70
4.2.1. Síntomas visuales de deficiencia por tratamiento, color, forma, tamaño y localización.....	70
4.2.1.1. T ¹ : Solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon.....	70
4.2.1.2. T ² : Solución nutritiva sin potasio (- K).....	72
4.2.1.3. T ³ : Solución nutritiva sin fósforo (- P).....	75
4.2.1.4. T ⁴ : Solución nutritiva sin calcio (- Ca).....	77
4.2.1.5. T ⁵ : Solución nutritiva sin nitrógeno (- N).....	79
4.2.1.6. T ⁶ : Solución nutritiva sin magnesio (- Mg).....	81
4.2.1.7. T ⁷ : Solución nutritiva sin azufre (- S).....	83
4.2.1.8. T ⁸ : Sin solución nutritiva (Agua desionizada).....	86
V. CONCLUSIONES.....	88
VI. RECOMENDACIONES.....	92
VII. LITERATURA CONSULTADA.....	93
VIII. ANEXO.....	98

RESUMEN.

El estudio de investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado, en el Km. 5.6 margen izquierda de la carretera Federico Basadre (Pucallpa – Lima), fue realizado un ensayo entre los meses de enero a mayo del 2011; denominado: Efecto de la carencia de macro - nutrientes (N – P – K – Ca – Mg - S) en el crecimiento del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en la región de Ucayali, el objetivos de este trabajo fueron determinar los efectos y los síntomas de deficiencia que causan cada uno de los elementos esenciales macro nutrientes en el cultivo de sachá inchi, el diseño empleado fue de completamente al azar; con 8 tratamientos y 4 repeticiones haciendo un total de 32 unidades experimentales; para los promedios se utilizó la prueba de Tukey con un alfa de 5% de significancia para cada variable en estudio, las plantas fueron cultivadas en baldes de cuatro litros con soluciones diferentes, estas fueron: T¹ (solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon), T² (solución nutritiva - K), T³ (solución nutritiva sin fósforo - P), T⁴ (solución nutritiva - Ca), T⁵ (solución nutritiva - N), T⁶ (solución nutritiva - Mg), T⁷ (solución nutritiva - S), T⁸ (agua desionizada).

Las variables evaluadas fueron: a. crecimiento: peso fresco de planta, peso seco de planta y raíces, longitud parte aérea, longitud de raíz, diámetro del tallo, número de hojas formadas y en formación, volumen de raíces formadas, pérdida de agua durante el día y pérdida de agua durante la noche; b. síntomas de deficiencia.

Después del análisis de las variables se pudo observar que existieron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el T⁵ (-N) el que presentó mayor efectos negativos en cuanto al crecimiento, siendo el T⁴ (-Ca)

el más afectado en cuanto a la manifestación de síntomas de deficiencia puesto que este fue el único tratamiento que presentó un 50% de mortandad de las plantas durante los 3 meses que se cultivaron en soluciones nutritivas, estos dos tratamientos estuvieron al mismo nivel de las plantas cultivadas en solución nutritiva de agua desionizada, seguido de los siguientes macronutrientes que mostraron efectos negativos de menos a más en el crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de sachá inchi tenemos al T³ (-P), T² (-K), T⁵ (-Mg), T⁷ (-S), siendo este último el que menos efecto presentó en su crecimiento y desarrollo.

Palabras claves: Macro-nutrientes esenciales, crecimiento, síntomas de deficiencia, Sachá inchi.

ABSTRACT.

The present research work was carried out at the National University of Ucayali, located at km 5.6 left bank of the Federico Basadre highway (Pucallpa - Lima), an essay was conducted between the months of January to May 2011; denominated: Effect of the lack of macro-nutrients (N - P - K - Ca - Mg - S) in the growth of the sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), in the Ucayali region, the objectives of this work were to determine the effects and the symptoms of deficiency that cause each of the essential elements macro nutrients in the culture of sacha inchi, the design used was completely random; with 8 treatments and 4 repetitions making a total of 32 experimental units; for the averages the Tukey test was used with an alpha of 5% of significance for each variable under study, the plants were cultivated in four liter buckets with different solutions, these were: T¹ (complete nutrient solution of Hoagland and Arnon), T² (nutrient solution - K), T³ (nutrient solution without phosphorus - P), T⁴ (nutrient solution - Ca), T⁵ (nutrient solution - N), T⁶ (nutrient solution - Mg), T⁷ (nutrient solution - S), T⁸ (deionized water).

After the analysis of the variables it was observed that there were significant differences between the treatments, being the T⁵ (-N) the one that presented the greatest negative effects in terms of growth, being the T⁴ (-Ca) the most affected in terms of the manifestation of symptoms of deficiency since this was the only treatment that presented a 50% of mortality of the plants during the 3 months that were cultivated in nutritious solutions, these two treatments were at the same level of the plants cultivated in nutritious solution of deionized water, followed by the following macronutrients that showed negative effects from less to more on the growth and symptoms of deficiency in

the plants of sacha inchi we have the T³ (-P), T² (-K), T⁵ (-Mg), T⁷ (-S)), the latter having the least effect on its growth and development.

Keywords: Macro-essential nutrients, growth, deficiency symptoms, Sacha inchi.

LISTA DE CUADROS.

En el texto.		Pág.
Cuadro 1.	Contenido de proteínas y ácidos grasos en sachá inchi y otras oleaginosas.....	10
Cuadro 2.	Muestra clasificación de elementos según consumo.....	13
Cuadro 3.	Estados de oxidación del azufre (Huxtable, 1986).....	23
Cuadro 4.	Composición modificada de la solución de Hoagland para plantas.....	33
Cuadro 5.	Soluciones “stock” de componentes de solución nutritiva de Hoagland y Arnon.....	34
Cuadro 6.	Solución “stock” de micronutrientes (I).....	34
Cuadro 7.	Tabla para preparación de soluciones nutritivas.....	35
Cuadro 8.	Soluciones nutritiva y su contenido de elementos (ppm)	36
Cuadro 9.	Altura, peso de planta y longitud de raíces al inicio del experimento.....	37
Cuadro 10.	Tratamientos en estudio.....	39
Cuadro 11.	Promedio en peso fresco en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.....	44
Cuadro 12.	Promedio del peso seco en gramos de sachá inchi <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones	

	nutritivas	47
Cuadro 13.	Crecimiento promedio de la altura en cm, de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas.....	50
Cuadro 14.	Crecimiento promedio de la raíz en cm de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	52
Cuadro 15.	Crecimiento promedio del diámetro del tallo en mm de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	54
Cuadro 16.	Número de hojas promedio por planta de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas.....	55
Cuadro 17.	Número de hojas en formación promedio por planta de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas....	57
Cuadro 18.	Promedio en peso fresco de raíces en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.....	59
Cuadro 19.	Promedio en peso seco de raíces en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.....	61

Cuadro 20.	Volumen promedio de las raíz en cm ³ de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	63
Cuadro 21.	Promedio en pérdida de agua durante el día en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas (tratamientos).....	65
Cuadro 22.	Promedio en pérdida de agua durante la noche en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	67
Cuadro 23.	Promedio del área foliar de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.....	69
En el Anexo.		
Cuadro 24A.	Análisis de varianza del crecimiento en peso fresco de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	99
Cuadro 25A.	Análisis de varianza del crecimiento en peso seco de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	99
Cuadro 26A.	Análisis de varianza del crecimiento en altura de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	99
Cuadro 27A.	Análisis de varianza del crecimiento de la raíz de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	99

Cuadro 28A.	Análisis de varianza del crecimiento del diámetro del tallo de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	100
Cuadro 29A.	Análisis de varianza del número de hojas de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas...	100
Cuadro 30A.	Análisis de varianza del número de hojas en formación de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas.....	100
Cuadro 31A.	Análisis de varianza del crecimiento en peso fresco de raíces de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	100
Cuadro 32A.	Análisis de varianza del crecimiento en peso seco de raíces de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	101
Cuadro 33A.	Análisis de varianza del volumen de raíces de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	101
Cuadro 34A.	Análisis de varianza de la pérdida de agua durante el día en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	101
Cuadro 35A.	Análisis de varianza de la pérdida de agua durante la noche en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	101
Cuadro 36A.	Análisis de varianza del área foliar de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	102

Cuadro 37A. Datos meteorológicos de Pucallpa año 2011.....	102
---	-----

LISTA DE FIGURAS.

En el texto.	Pág.
Figura 1. Muestra número de semillas germinadas durante los primeros 30 días.....	32
Figura 2. Altura de planta (cm), Longitud de raíces en (cm) y Peso de la planta en (g) usados en los ocho tratamientos.....	38
Figura 3. Comparación del crecimiento en peso fresco de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	46
Figura 4. Comparación del crecimiento en peso seco de <i>Plukenetia volubilis</i> L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.....	48
Figura 5. Comparación del crecimiento en altura de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas (tratamientos).....	51
Figura 6. Comparación del crecimiento de la raíz de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas.....	53
Figura 7. Comparación del crecimiento del diámetro de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas.....	54
Figura 8. Comparación del número de hojas de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas.....	56

Figura 9.	Comparación del número de hojas en formación de <i>Plukenetia volubilis</i> L. con ocho soluciones nutritivas.....	58
Figura 10.	Comparación del crecimiento en peso fresco de raíces de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	60
Figura 11.	Comparación del crecimiento en peso seco de raíces de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	62
Figura 12.	Comparación del volumen de raíz promedio de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	64
Figura 13.	Comparación de la pérdida de agua durante el día en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	66
Figura 14.	Comparación de la pérdida de agua durante la noche en gramos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	68
Figura 15.	Comparación del área foliar de <i>Plukenetia volubilis</i> L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.....	69
Figura 16.	Aspecto de la Hoja de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon.....	71
Figura 17.	Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución completa de Hoagland y Arnon	72
Figura 18.	Aspecto de la hoja de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin K de Hoagland y Arnon.....	73

Figura 19.	Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin K.....	74
Figura 20.	Aspecto de la Hoja de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin P. de Hoagland y Arnon.....	76
Figura 21.	Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin P.....	76
Figura 22.	Aspecto de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Ca.....	77
Figura 23.	Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Ca.....	78
Figura 24.	Aspecto de una planta sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin N.....	80
Figura 25.	Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin N.....	80
Figura 26.	Aspecto de la hoja de una de planta sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Mg.....	82
Figura 27.	Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Mg.....	82
Figura 28.	Aspecto de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin S.....	84
Figura 29.	Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin S.....	84
Figura 30.	Aspecto de un fruto formado de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin S.....	85

Figura 31.	Aspecto de la hoja de una planta de sachá inchi cultivado en agua desionizada.....	86
Figura 32.	Aspecto de una raíz cultivada en agua desionizada.....	87
En el Anexo.		
Figura 33A.	Croquis de distribución de los tratamientos y repeticiones, durante el proyecto de tesis (disposición de los baldes).....	103
Figura 34A.	Muestra plántulas de sachá inchi almacenadas en sustrato de arena y cámara turca.....	103
Figura 35A.	Incorporación de solución nutritiva en un balde con plantas de sachá inchi.....	104
Figura 36A.	Muestra raíces de una planta de sachá inchi con dos semanas de instalación en un balde con solución nutritiva completa.....	104
Figura 37A.	Muestra ubicación de plantas de sachá inchi en parcela experimental.....	105
Figura 38A.	Asesor del proyecto de tesis observando algunos síntomas de deficiencias en sachá inchi.....	105

I. INTRODUCCIÓN.

El Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), es una planta nativa del Perú. Posee el más alto contenido del ácido graso esencial linolénico, que es escaso en la naturaleza y el organismo humano no lo puede sintetizar y es esencial para funciones vitales del ser humano, su carencia produce una serie de enfermedades, esta característica del sachá inchi lo ha convertido en una alternativa de solución para la salud humana (Anaya, 2008).

Contiene el más alto porcentaje de grasas insaturadas 92% y solo el 8% de grasas saturadas. Es también fuente natural rica en omega 6 y 9 (ácido, linolénico y oleico respectivamente), además contiene un 28% de proteínas, 2,6% de fibra, 17,7% de carbohidratos, 555,7kcal/100 de energía, vitamina E y otros componentes esenciales para la salud del ser humano (Hazen, 1980).

Siendo entonces el sachá inchi un cultivo de extraordinario potencial para el desarrollo económico y social de los productores se ha puesto énfasis en el estudio de 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, puesto que la deficiencia de estos afectan el normal crecimiento y desarrollo de las plantas, cuando uno de estos elementos esenciales se encuentran ausentes estos se pueden reconocer por los síntomas característicos que presentan, el presente trabajo de investigación estará orientado en conseguir toda la información necesaria con respecto a este tema y que la información obtenida nos permita dar solución a los problemas que se encuentran relacionados con la nutrición mineral del sachá inchi, teniendo como objetivos general determinar

el efecto de la carencia de macro - nutrientes (N – P – K – Ca – Mg - S) en el crecimiento del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en la región de Ucayali, y como objetivos específicos:

- Determinar los efectos en el crecimiento que causa la ausencia de cada uno de los elementos esenciales macro nutrientes en el crecimiento de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).
- Determinar los síntomas de deficiencia que causan cada uno de los elementos esenciales macro nutrientes en el cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. EL SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.).

2.1.1. Origen y distribución geográfica.

El género *Plukenetia volubilis* L. ha sido reportado en Malasia, Nueva Guinea, Borneo, México, etc., El número de especies reportadas en América tropical varía de 7 a 12 (Stanley, 1949).

En América del sur, la presencia de *Plukenetia volubilis* L. ha sido registrada en la Amazonia Peruana, Bolivia y las indias occidentales (Macbride, 1951).

En nuestro país se ha encontrado en Madre de Dios, Huánuco, Oxapampa, San Martín, Rodríguez de Mendoza, Cuenca del Ucayali (Pucallpa, Contamana y Requena), en Putumayo y alrededores de Iquitos y Caballococha, indica la ingesta de hojas crudas o cocidas por los pobladores nativos de la amazonia, particularmente los huitotos (Macbride, 1951).

En San Martín se le encuentra a lo largo de la cuenca del Huallaga hasta Yurimaguas, en el Alto Mayo, Bajo Mayo, sub cuenca del Cumbaza y en áreas del sector Lamas-Shanusi (Macbride, 1951).

2.1.2. Clasificación Taxonómica.

La clasificación botánica según (Gillespie, 1993) es:

División: Fanerógamas.

Sub. División: Angiospermas.

Clase: Dicotiledónea.

Orden: Euphorbiales.

Familia: Euphorbiaceae.

Género: *Plukenetia*.

Especie: volubilis L.

Nombre científico: *Plukenetia volubilis* L.

Nombre común: Sacha inchi, Inca inchi, Sachamaní, etc.

2.1.3. Morfología general.

Es nativa de la selva amazónica , donde ha sido cultivada por los indígenas durante siglos, y crecer en climas cálidos hasta una altura de 1.700 metros (5.500 pies), siempre que haya disponibilidad continua de agua y buen drenaje. Crece mejor en suelos ácidos, francos y aluviales planos, cerca de los ríos, La planta del "sacha inchi" de frutos comestibles y oleaginosos, es trepadora, de abundantes hojas y ramas, alcanza la altura de la planta soporte, por lo tanto no es recomendable que ésta tenga una altura mayor de 2 m para facilitar la cosecha. Si existe una suficiente humedad, la germinación se inicia aproximadamente a las dos semanas de realizada la siembra. Una semana después, aparece la segunda hoja verdadera y el tallo guía (Arévalo, 1995).

La planta alcanza una altura de 2 a 6 m, las son de forma de corazón, de 10 a 12 cm (4" a 4,7") y 8 a 10 cm (3,1" hasta 3,9") de ancho, que tienen pecíolos 2-6 cm (0,8" a 2,3") de largo, Son alternas, de color verde oscuro, oval - elípticas, aseruladas y pinnitinervias, de 09 a 16 cm de largo y 6 a 10 cm. de ancho. El ápice es puntiagudo y la base es plana o semi-arriñonada (Arévalo, 1995).

Florece cinco meses después de haber sido plantados, y lleva las semillas alrededor del octavo mes. Las flores masculinas son pequeñas,

blancas y dispuestas en racimos. Dos flores femeninas se encuentran en la base de la inflorescencia (Arévalo, 1995).

Masculinas: Son pequeñas, blanquecinas, dispuestas en racimos.

Femeninas: Se encuentran en la base del racimo y ubicadas lateralmente de una a dos flores.

Los frutos son cápsulas de 3 a 5 cm de diámetro con 4 a 7 puntos, son de color verde y al madurar marrón negruzco. Por lo general, consta de cuatro lóbulos, pero algunos pueden tener hasta siete. En el interior están las semillas, ovales, de color marrón oscuro, de 1,5 a 2 cm de diámetro y de 45 a 100 gramos de peso. Los cotiledones están abiertas, similares a los de almendras, y cubiertos con una película blanquecina (Arévalo, 1990).

A continuación, se inicia la formación de los frutos completando su desarrollo a los 4 meses después de la floración. Luego se inicia la maduración propiamente dicha de los frutos, cuando éstos, de color verde empiezan a tornarse de un color negruzco, que finalmente se convierte en marrón oscuro o negro cenizo; indicador que está listo para la cosecha.

Este proceso de maduración del fruto dura aproximadamente de unos 15 a 20 días, iniciándose la cosecha a los 7,5 meses después de la siembra y/o trasplante, con una producción continua. En el período de formación del fruto, existe una fase que se podría llamar "estado lechoso", pues es en este estadio en que se vuelve muy apetecible a los insectos chupadores. Adicionalmente se ha observado que antes de este estado, cuando los frutos

han empezado a diferenciarse y tienen aproximadamente 2 cm de diámetro caen verdes o se necrosan y posteriormente caen (Arévalo, 1995).

Fruto: Es una cápsula, de 3,5 a 4,5 cm. de diámetro, con 4 lóbulos aristados (tetralobados) dentro de los cuales se encuentran 4 semillas. Excepcionalmente, algunos ecotipos presentan cápsulas con 5 a 7 lóbulos.

Semilla: Es ovalada, de color marrón oscuro, ligeramente abultadas en el centro y aplastadas hacia el borde. Según los ecotipos, el diámetro fluctúa entre 1,3 y 2,1 cm.

Las semillas de sacha inchi tienen alto valor proteico (27%) y aceite (35 - 60%) de contenido. Su aceite es una de las mayores fuentes vegetales de la familia de los ácidos grasos Omega, un elemento esencial para la vida humana. Contiene Omega 3 (48%), Omega 6 (36%), Omega 9 (9%) y proteínas (27%). Ellos también son ricos en yodo y vitamina E (Hazen, 1980).

2.1.4. Ecología.

Altitud.

Crece desde los 100 msnm en la selva baja y 1500 msnm en la selva alta; alcanzando un comportamiento adecuado en Juan Guerra cerca de la ciudad de Tarapoto, A una altitud de 232 msnm (Arévalo 1995).

Agua.

Es una planta de rápido crecimiento, requiere de disponibilidad permanente de agua, para tener un crecimiento sostenido; siendo mejor si las lluvias se distribuyen en forma uniforme durante los 12 meses (850 a 1000 mm). El riego es indispensable en los meses secos. Periodos relativamente

prolongados de sequía o de baja temperatura, causan crecimiento lento y dificultoso. El exceso de agua ocasiona daños a las plantas o incrementa los daños por enfermedades (Arévalo, 1990).

Temperatura.

Crece y tiene buen comportamiento a diversas temperaturas que caracterizan a la amazonia peruana (mínima 10° C y máxima 36° C), las temperaturas muy altas son desfavorables y ocasionan las caídas de las flores y frutos pequeños, principalmente las recién formadas (Arévalo, 1990).

Luz.

Requiere abundante luz para el proceso de fotosíntesis. A bajas intensidades de la luz, la planta necesita de mayor número de días para completar su ciclo vegetativo; asimismo, cuando la sombra es muy intensa la floración disminuye y por lo tanto la producción se reduce. Con el sistema de tutores vivos (*Amasisa* sp.), manejándose la sombra con podas, el sachá inchi tiene un buen comportamiento (Arévalo, 1995).

Humedad relativa.

La humedad relativa es de un 78% y a una temperatura media de 26 °C, se observaron plantas de sachá inchi prácticamente libre de enfermedades (Figuroa, 1992).

2.1.5. Suelo y drenaje.

Suelo.

De acuerdo a su distribución el cultivo de sachá inchi, tiene un amplio margen de adaptación a diferentes tipos de suelo. Es una planta que crece en suelos ácidos y con alta concentración de aluminio (Arévalo, 1995).

Ensayos realizados en la estación experimental El Porvenir, en suelos arcillosos (más del 50% de arcilla) y franco arenosos (más del 60% de arena), indican que es una planta versátil, que muy fácilmente se adapta a los diferentes tipos de suelo, pudiendo establecerse hasta en colinas. Sin embargo, es necesario resaltar que se deben distinguir los suelos que posibiliten el mejor desarrollo y productividad del sachá inchi, de aquellos donde la planta apenas sobrevive. Por las referencias de los agricultores y observaciones realizadas en el campo, se puede afirmar que crece mejor en los suelos francos y/o aluviales planos con buen drenaje, localizados a orillas de los ríos (Arévalo, 1995).

Drenaje.

Necesita terrenos con drenaje adecuado, que eliminen el exceso de agua tanto a nivel superficial como profundo. Para un buen drenaje se debe considerar la textura del suelo (Arévalo, 1995).

2.1.6. Fertilidad de suelos.

Los nutrientes requeridos aún no han sido determinados, sin embargo si nos referimos a la absorción de éstos, en suelos francos y de buen drenaje, las raíces pueden penetrar más profundamente y como resultado tener un mayor acceso a los nutrientes del suelo (Arévalo, 1995).

El corte, tumba y quema del bosque, hacen que ocurran cambios significativos en las propiedades químicas y físicas del suelo. La magnitud y duración de estos cambios dependen de muchos factores como tipo de vegetación que se ha desboscado, clima y las propiedades del terreno. En suelos ácidos estos cambios son beneficiosos porque aumentan el contenido

de elementos disponibles, tales como: Calcio, Magnesio, Fósforo y Potasio, neutralizándose parte del aluminio intercambiable (Arévalo, 1995).

2.1.7. Usos y valores nutritivos.

El "sacha inchi" es un producto de consumo muy popular en la población nativa y mestiza de algunas áreas rurales de San Martín. La semilla actualmente se consume tostada, cocida con sal, en confituras (turrón), en mantequilla y como ingrediente de diversos platos típicos como: inchi cucho (ají con maní), lechona api (mazamorra de plátano con maní), inchi capi (sopa de gallina con maní o sopa de res con maní), en los cuales reemplaza al maní (Arévalo, 1995).

En algunos lugares se obtienen aceites en forma artesanal para la alimentación y combustible de iluminación.

Los mismos autores mencionan que el contenido de proteínas del "sacha inchi", fue aproximadamente el mismo que para las otras semillas aceiteras encontradas en la Región Andina (Brack, 1999).

El perfil de los aminoácidos en algunos aspectos es mejor que el de las otras semillas aceiteras. Los niveles de leucina y lisina son más bajos que los de la proteína de la soya, aunque igual o mayor que los niveles de la proteína de maní, semilla de algodón o del girasol (Benavides, 1994).

Cuadro 1. Contenido de proteínas y ácidos grasos en sachá inchi y otras oleaginosas.

Contenido de nutrientes	Comparativo de semillas de oleaginosas en %							
	Sachá inchi	Soya	Maíz	Maní	Girasol	Algodón	Palma	Oliva
Proteínas	29	28		23	24	32,9		
Aceite total.	54	19		45	48	16		
Palmítico.	3,85	10,5	11	12	7,5	18,4	45	13
Esteárico	2,54	3,2	2	2,2	5,3	2,4	4	3
Oleico	8,28	22,3	28	43,3	29,3	18,7	40	71
Linoleico	36,8	54,5	58	36,8	57,9	57,7	10	10
Linolenico	48,61	8,3	1			0,5		1

Fuente: Hazen y Stoewesand, Cornell University, Ithaca – USA, 1980.

2.1.8. Plagas y enfermedades.

Debido a que el "sachá inchi" es un cultivo que está en proceso de expansión agrícola, son pocas las plagas que se han detectado causándole daño.

Entre ellas se encuentran las larvas comedoras de hojas, insectos chupadores de fruto en su estado lechoso, hormigas y "grillo topo" (*Grillotalpa* sp); éste último ataca al cultivo en su etapa inicial de desarrollo vegetativo, cortando a la planta en el "cuello". Si el "grillo topo" ataca a plantas muy pequeñas éstas no se recuperan, pero si ataca a plantas que tienen el "cuello" de regular grosor, vuelven a brotar; de igual forma, las hormigas constituyen ligeros problemas, especialmente al inicio de la plantación. Por ello es

importante realizar un buen control de plagas en esta etapa del cultivo, evitándose de esta manera la labor de recalce o resiembra, (Arévalo, 1995).

Se ha observado ataques tempranos de "Nematodo del nudo" (*Meloidogyne* sp), en suelos ácidos, alcalinos, franco arenosos con más del 70% de arena, arcillosos con más del 50% de arcilla y contenido medio de materia orgánica (Arévalo, 1995).

Las plantas atacadas por nemátodos se atrofian y presentan entrenudos cortos, hojas pequeñas, luego se vuelven cloróticas. Asimismo, estos parásitos ingresan a las raíces produciendo heridas por donde fácilmente penetran los hongos (*Fusarium* sp, *Macrophomina* sp.), dañando los tejidos y produciendo la pudrición total de las raíces, causando finalmente la muerte de las plantas (Arévalo, 1995).

2.1.9. Cosecha.

La cosecha del "sacha inchi", bajo cualquier circunstancia de su uso o destino, tiene lugar generalmente cuando los frutos o cápsulas se tornan de un color marrón oscuro o negro cenizo. Se realiza recolectando las cápsulas con la mano, pues éstas se desprenden fácilmente. Algunas veces se producen pérdidas por dehiscencia, por ello es recomendable cosechar cada 15 días. Según (Valles, 1992), la cosecha se estabiliza a partir de los 14 meses. Generalmente, cuando se realiza la cosecha, se encuentran algunas cápsulas inmaduras, que todavía conservan algo de color verde y si se dejan en el campo para la siguiente cosecha, tal vez ya no se cosechen debido a su dehiscencia. Por lo tanto, en estos casos, lo que se recomienda es cosecharlas

y poner las cápsulas inmediatamente al sol, para evitar el ataque de hongos, y así no se deteriore la calidad del producto (Ministerio de Agricultura, 2002).

Es importante también indicar que algunas cápsulas, una vez maduras fisiológicamente caen, por lo que al momento de realizar la cosecha éstas se recogerán del suelo. Se ha observado en cultivos de huerto, especialmente en áreas rurales, plantas que alcanzan 10 años de edad y aún continúan en producción (Arévalo, 1995).

2.2. NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS.

2.2.1. Nutrición mineral en huertos hidropónicos.

Los nutrientes para las plantas cultivadas en huertos hidropónicos son suministrados en forma de soluciones nutritivas que se consigue en el comercio agrícola. Cuando las soluciones nutritivas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto crecimiento, desarrollo y adecuada producción de raíces bulbos, tallos, hojas, flores, frutos, o semillas, la planta crece normalmente, y no presenta síntomas de deficiencia (Pérez, 1998).

Cuando la solución nutritiva carece de un elemento nutritivo esencial las plantas presentan deficiencia en su crecimiento y desarrollo además de los síntomas que los caracterizan según el elemento faltante, (Pérez, 1998).

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.

Además de los elementos que los vegetales extraen del aire y del agua como, (carbono, hidrógeno y oxígeno), ellos consumen en diferentes proporciones como se muestra en el siguiente cuadro (Pérez, 1998).

Cuadro 2. Muestra clasificación de elementos según consumo.

Elementos Mayores	Intermedios	Menores
Nitrógeno	Azufre	zinc
Fosforo	Calcio	Hierro
Potasio	Magnesio	Manganeso
		Cobre
		Molibdeno
		Boro

Además de los elementos esenciales citados hay otros elementos útiles pero no indispensables para la vida de las plantas: cloro, sodio y silicio.

Así mismo se consideran otros elementos que son asimilados innecesario para las plantas; pero necesario para los animales que lo consumen como él: yodo y cobalto, Por otro lado también hay elementos que se asimilan y son tóxicos para la planta como el aluminio.

Es muy importante tener en cuenta que cualquiera de los elementos antes mencionados pueden ser tóxicos para las plantas si se agregan al medio en proporciones excesivas siendo los elementos menores los

que muestran toxicidad tan solo con exceder en pequeñas proporciones a la dosis normal.

2.2.2. Funciones de los elementos nutritivos.

2.2.2.1. Constituyentes de Moléculas Orgánicas.

Como constituyentes moleculares tenemos los siguientes elementos (Salisbury, 2000).

Nitrógeno (N).

Forma parte de la estructura de aminoácidos y proteínas, bases nitrogenadas y ácido nucleicos, enzimas y coenzimas, vitaminas, glicolipoproteínas, pigmentos (Salisbury, 2000).

Constituyente y activador de todas las enzimas. Interviene en procesos de absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis de proteínas y diferenciación celular, herencia (Salisbury, 2000).

Azufre (S).

Forma parte estructural de los aminoácidos (cisteína, metionina, taurina), todas las proteínas, vitaminas y coenzimas, esteroides con polisacáridos. Constituyente del grupo sulfhidrilo y ditiol, activo en enzimas y coenzimas, ferredoxinas. Interviene en los procesos de fotosíntesis, fijación de CO₂, respiración, síntesis de grasas y proteínas, fijación simbiótica de nitrógeno (Salisbury, 2000).

2.2.2.2. Reserva Energética.

Como reserva energética tenemos a los siguientes elementos (Salisbury, 2000).

Fósforo (P).

Forma parte estructural de ésteres de carbohidratos, fosfolípidos, coenzimas, ácidos nucleicos (Salisbury, 2000).

Interviene en los procesos de almacenamiento y transferencia de energía, fijación simbiótica de nitrógeno y en otros procesos con el nitrógeno.

Boro (B).

Forma parte estructural de complejos difenólicos, carbohidratos y azúcares-P. Constituyente de la ATP de membranas celulares, $ATP = ADP + P$, $UDPG + R = UDP + R - G$. Interviene en los procesos de síntesis de ácidos nucleicos y proteínas (Salisbury, 2000).

2.2.2.3. Forma Iónica.

Los elementos que se presentan de forma iónica son los siguientes (Salisbury, 2000).

Potasio (K).

Predominantemente iónica. Constituyente de quinasa pirúvica, síntesis de glutatión, síntesis de succinil CoA, síntesis de glutamilsteína, síntesis de NAD⁺, deshidrogenasa aldehído, etc. Interviene en procesos osmóticos, apertura y cierre de estomas, fotosíntesis y transporte de carbohidratos, respiración, fijación simbiótica de nitrógeno (Bender, 1993).

Magnesio (Mg).

Forma parte estructural de la clorofila (Salisbury, 2000). Constituyente de tioquinasa acética, quinasa pirúvica, hexoquinasa, enolasa, piruvato decarboxilasa, etc.

Interviene en los procesos de absorción iónica, fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, balance electrolítico, estabilidad de los ribosomas, etc.

Calcio (Ca).

Forma parte estructural de los pectatos (lámina media), carbonatos, oxalatos, fitatos, calmoludinas. Constituyente ATPasa (aspirasa), alfa amilasa, fosfolipasa D, nucleasa. Interviene en los procesos de estructura y funcionamiento de las membranas, absorción iónica, reacciones con hormonas vegetales y activación enzimática (Salisbury, 2000).

Cloro (Cl).

Forma parte estructural de la acutumina y acutumidina, etc. Activador de la fotólisis del agua. Interviene en los procesos de la fotosíntesis (Salisbury, 2000).

2.2.3. Efecto de los macro elementos en las plantas.

2.2.3.1. Nitrógeno.

Los minerales se nutren fundamentalmente de las formas minerales de nitrógeno de suelo y solo en algunos casos pueden nutrirse también, del nitrógeno libre que existe en la atmósfera (Bonilla, 2008).

Según (Sívori, 1980) es más común que la mayoría de los suelos sean deficientes en N que en los otros elementos.

Absorción del nitrato por las raíces.

La absorción de NO_3 está sujeta a una regulación positiva o de inducción y negativa. La última parece depender del nivel de N de la planta.

Ha sido sugerido que el ciclo de los aminoácidos entre los tallos y las raíces sirve para proveer la información necesaria respecto del nivel de N en la planta, que le permite a las raíces regular la absorción de N (Cooper, 1989).

El transporte de NO_3 al citoplasma a través del plasmalema es un proceso termodinámicamente desfavorable, tanto en términos de gradiente de potencial eléctrico (interior negativo) y un gradiente de potencial químico (Henriksen, 1993).

La absorción del NO_3 en las plantas terrestres está mediada al menos por tres sistemas de transporte que coexisten en las membranas plasmáticas de las células radicales. Estos sistemas pueden ser divididos en dos clases, referidos como sistemas de transporte de alta (STAA) y baja afinidad (STBA) por el NO_3 (baja y alta K_m , respectivamente). Por otra parte, los STAA pueden ser constitutivos (STAAC) o inducibles (STAAI). Los STBA están involucrados en la absorción de altas concentraciones de NO_3 ($> 0.2\text{mM}$), mientras que los STAAI y los STAAC están saturados con una baja concentración de NO_3 externa (aproximadamente $100 \mu\text{M}$). En raíces de cebada, la actividad de los STBA es expresada sin una exposición previa al NO_3 y este sistema de transporte estaría regulado negativamente por el nitrógeno acumulado en la planta (Vidmar, 2000).

El movimiento pasivo del nitrato a través de las membranas plasmáticas es probablemente vía canales iónicos; un canal permeable al nitrato el cual permite el flujo de aniones hacia la célula ha sido identificado en

la membrana plasmática de protoplastos de trigo. Tal canal podría tener un rol en el sistema de absorción constitutivo. Aparentemente aunque la absorción pasiva sólo produzca concentraciones micromolares de nitrato en el citoplasma, éstas serían suficientes para inducir el transporte y asimilación del nitrato, sin la necesidad de un receptor de nitrato fuera de la célula (Miller, 1996).

Fotosíntesis y el metabolismo del nitrógeno.

El hecho de que los aminoácidos estén constituidos por esqueletos carbonados y nitrógeno pone en evidencia la relación entre la fotosíntesis y el metabolismo del nitrógeno. Esta relación no sólo está dada por el requerimiento de esqueletos carbonados sintetizados por fotosíntesis para la incorporación del amonio, sino también debido a la dependencia de algunas reacciones del metabolismo del nitrógeno de ATP y NADPH, producido en la fotosíntesis (Liu, 2009).

Por otra parte, en los tejidos no fotosintéticos, los requerimientos energéticos son obtenidos por la degradación de los azúcares transportados desde las hojas (Navarro, 2000).

A nivel de la regulación de la actividad y síntesis de las enzimas del metabolismo del carbono y del nitrógeno, se pone en evidencia la relación entre ambos procesos. La luz afecta la fotosíntesis pero también controla la expresión de la nitrato y nitrito reductasa y la sacarosa fosfato sintetasa (SPS), enzima responsable de la síntesis de sacarosa (Huber, 1992).

La acumulación de los productos finales de la fotosíntesis aumenta la actividad de la NR (Huber, 1992). Por otra parte, la SPS responde a la disponibilidad de nitrato (Kaiser, 1994).

En consecuencia, existe un rápido ajuste del ritmo de reducción del nitrato a fluctuaciones en la disponibilidad de carbohidratos, regulando en definitiva, los flujos del carbono y nitrógeno en las células vegetales (Reuveny, 1980).

Síntomas de deficiencia.

Las plantas que crecen a bajos niveles de nitrógeno son de color verde claro y muestran una clorosis general, principalmente en hojas viejas. Las hojas jóvenes permanecen verdes por períodos más largos, ya que reciben nitrógeno soluble de las hojas más viejas. Algunas plantas como el tomate y el maíz, exhiben una coloración purpúrea en los tallos, pecíolos y cara abaxial de las hojas, debido a la acumulación de antocianinas. La relación vástago/raíz es baja, ya que predomina el crecimiento radicular sobre el foliar. El crecimiento de muchas plantas deficientes en nitrógeno es raquítico (Bernal, 2008).

2.2.3.2. Calcio.

Estado natural del calcio.

El calcio libre no se encuentra en forma natural, sino formando compuestos que constituyen el 3,63% de las rocas ígneas y 3,22% de la corteza terrestre. Se puede encontrar como calcita en la piedra caliza,

tiza, conchas y corales. Los minerales primarios de calcio son la anonita) y piroxenos (Taiz, 1998).

Hay Pequeñas cantidades de calcio en los borosilicatos. El calcio que es más utilizado por la nutrición de la planta incluye las fracciones solubles en agua e intercambiable. En suelos fértiles el calcio intercambiable puede constituir de 70 a 80% de las bases cambiables totales (Salisbury, 2000).

Características generales del calcio.

Las plantas acumulan Ca^2 especialmente en hojas, donde se deposita en forma irreversible; es un elemento esencial para el crecimiento de meristemos, especialmente de los ápices radicales. En las plantas la fracción principal de Ca^2 está en las paredes celulares o en las vacuolas como sales de ácidos orgánicos. El calcio es un componente fundamental de la lámina media de la pared celular donde cumple una función cementante como pectato cálcico (Salisbury, 2000).

Síntomas de deficiencia.

La deficiencia de calcio está generalmente asociada a efectos de acidez del suelo y muchas veces es difícil diferenciar una de la otra. El calcio se absorbe como el catión divalente Ca^2 y es casi inmóvil y es por esto que las deficiencias se observan primeramente en los tejidos jóvenes. Las deficiencias de calcio parecen tener dos efectos en la planta: causan una atrofia del sistema radical y le dan una apariencia característica a la hoja. Las hojas se muestran cloróticas, enrolladas y rizadas. Se presentan raíces pobremente desarrolladas, carentes de fibras y pueden tener apariencia gelatinosa. Los síntomas se observan cerca de los ápices de crecimiento de

raíces y tallos. La carencia de calcio también inhibe la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Salisbury, 2000).

Síntomas de exceso del calcio en las plantas.

El exceso de calcio en el suelo origina inmovilización de algunos elementos (hierro, boro, cinc y manganeso), al encontrarse el calcio como carbonato, lo que produce un aumento del ph. que favorece la precipitación de dichos elementos, produciéndose una inmovilización de estos y su déficit nutricional para la planta al ser impedida su absorción por el sistema radicular, se ha observado también inhibición de la asimilación del potasio (Salisbury, 2000).

2.2.3.3. Potasio.

El potasio se absorbe en forma de K^+ (Salisbury, 2000).

Funciones fisiológicas.

El potasio es un activador en gran cantidad de procesos, los cuales son necesarios para la conservación del estado del agua de la planta y de la presión de la turgencia de las células, así como para la apertura y el cierre estomático.

El potasio promueve la acumulación y la rápida translocación de los carbohidratos elaborados recientemente (Salisbury, 2000).

Síntomas de deficiencia.

En el campo el suministro de potasio por el suelo, puede ser adecuado para el crecimiento de los cultivos, siempre y cuando el suministro de nitrógeno y fósforo sean bajos; pero es insuficiente si aumentan estos elementos. De tal forma que se observan signos de carencia de K^+ , si se

utilizan fertilizantes con nitrógeno y fósforo, produciéndose la muerte prematura de las hojas. Así como el nitrógeno y el fósforo, el potasio se traslada de los órganos maduros hacia los jóvenes; de tal forma que la deficiencia de este elemento se observa primero como un amarillamiento ligero en hojas viejas. En las dicotiledóneas las hojas se tornan cloróticas, pero a medida que progresa la deficiencia aparecen manchas necróticas de color oscuro. La deficiencia de K^+ se conoce comúnmente como quemadura. En muchas monocotiledóneas, como es el caso de los cereales, las células de los ápices y bordes foliares mueren primero, propagándose la necrosis hacia la parte más joven de la base foliar. Ejemplo, el maíz deficiente de potasio, presenta tallos débiles y las raíces se hacen susceptibles a infecciones por patógenos que causan su pudrición (Salisbury, 2000).

2.2.3.4. Azufre.

Puede decirse que el azufre es un elemento olvidado. A pesar de ser requerido por las plantas en cantidades parecidas a las del fósforo (Tisdale, 1990) no se le considera un macroelemento; a pesar de ser tan importante como el nitrógeno en la determinación de la cantidad y calidad de la biomasa de un cultivo (Rending, 1976) se le clasifica aún en muchos textos como "elemento secundario".

El azufre es también, en sus diferentes formas gaseosas, un elemento importante en la regulación del nivel de O_2 en la atmósfera (Huxtable, 1986). El azufre es uno de los elementos más abundantes sobre la Tierra y es un elemento esencial para los seres vivos.

El azufre pertenece al grupo VIA del sistema periódico en donde se encuentra junto con el oxígeno, el selenio, el telurio y el polonio; en

forma natural el azufre es una mezcla de los cuatro isótopos ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S y ^{35}S . La abundancia natural de cada uno de ellos es de 95,1%, 0,74%, 4,2% y 0,016%, respectivamente (Huxtable, 1986). El azufre se encuentra en estados, siendo el estado más oxidado (SO_4) el generalmente utilizado por las plantas como fuente de azufre del suelo, tal como se observa en el cuadro.

Cuadro 3. Estados de oxidación del azufre (Huxtable, 1986).

Estado de oxidación	Ejemplo	Fórmula	ΔG (kJ mol ⁻¹)
+6	Sulfato	SO_4^{-2}	0
+5	Ditionato	$\text{S}_2\text{O}_6^{-2}$	139
+4	Sulfito	SO_3^{-2}	200
+4	Disulfito	$\text{S}_2\text{O}_5^{-2}$	-
+3	Ditionito	$\text{S}_2\text{O}_4^{-2}$	327
+2	Tiosulfato	$\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$	497
0	Azufre elemental	S	502
-2	Sulfuro	S^{-2}	715

Para estar disponibles para las plantas las formas reducidas de azufre deben ser primero oxidadas; este cambio en el estado de oxidación del azufre desde el extremo reducido hasta el oxidado es una actividad realizada principalmente por microorganismos del suelo (que pueden ser especialistas o no), presentando el conjunto de reacciones un esquema análogo al encontrado para el nitrógeno (Wainwright, 1984).

En términos de las reacciones microbianas reductivas y oxidativas las formas más importantes del azufre son el sulfuro, el tiosulfato, el sulfito, el sulfato y los politionatos ditionato y ditionito (Wainwright, 1984).

Absorción y asimilación de azufre por las plantas.

Si no se toma en cuenta la absorción de dióxido de azufre (SO_2) de la atmósfera, actividad que puede representar un aporte importante de azufre para muchas plantas (Rennenberg, 1984), la mayor parte del, azufre tomado por las plantas del suelo es absorbido en forma de SO_4^{-2} e incorporado al aminoácido cisteína en los tejidos fotosintéticos.

La reducción asimilativa del azufre del sulfato es un proceso dependiente de la luz llevado a cabo en los cloroplastos (Anderson, 1981).

La absorción de sulfato por las raíces es, en su mayor parte, un proceso metabólico mediado por proteínas acarreadoras las cuales son sujetas a un control negativo de su actividad por medio del monitoreo de la concentración intracelular de sulfato y de los productos del metabolismo del azufre. Sin embargo, tal parece que dichos mecanismos regulatorios son incapaces de evitar la presencia de SO_4^{-2} intracelular en exceso (Rennenberg, 1982).

Como resultado de esto las plantas presentan mecanismos alternos de regulación como el descrito en el modelo de (Rennenberg, 1982) en forma de un ciclo intracelular del azufre el cual, según los autores, tendría como función la regulación de la cantidad de cisteína libre en las células.

Beneficios de la fertilización con azufre.

Los requerimientos de azufre por los cultivos son variables de acuerdo al tipo de suelo en que crecen así como a la cantidad de biomasa acumulada por las plantas. Además de los incrementos en el rendimiento la fertilización con azufre puede dar lugar a los siguientes efectos favorables (Wainwright, 1984).

Incremento en la concentración de proteína cruda en forrajes, disminución en el valor del cociente nitrógeno azufre así como en la concentración de nitrato libre en los forrajes, mejoramiento de la calidad harinera de los cereales, incremento en el contenido de aceite en oleaginosas, mayor uniformidad y calidad de hortalizas, mayor vida útil de parcelas de leguminosas forrajeras, aumento en la calidad comercial de árboles de navidad, incremento en la resistencia al frío, incremento en la tolerancia a la sequía, control de ciertos patógenos del suelo y aumento en la tasa de descomposición de los residuos vegetales y abono verde (Wainwright, 1984).

2.2.3.5. Fósforo.

Forma de absorción.

Las plantas absorben el fósforo en forma iónica, como H_2PO_4^- , aunque excepcionalmente pueden tomarlo en forma de HPO_4^- (Salisbury, 2000).

Funciones fisiológicas.

El P es un componente de ciertas enzimas y proteínas, adenosina trifosfato (ATP), ácido ribonucleico (ARN) y ácido

desoxirribonucleico (ADN); el ATP participa en varias reacciones de transferencia de energía, el ARN y el ADN son componentes de la información genética; también el P forma parte del ácido fítico, principal forma de P en las semillas (Salisbury, 2000).

Síntomas de deficiencia.

Las deficiencias de fósforo se parecen mucho a las de nitrógeno. En cereales se caracteriza por un retardo en el crecimiento, las raíces se desarrollan poco y se produce enanismo en hojas y tallos. Es frecuente la acumulación de antocianina en la base de las hojas y en las hojas próximas a morir, que le dan una coloración púrpura y se reduce el número de tallos. El proceso de maduración de las plantas se retarda, mientras que las que tienen abundante fósforo maduran con más rapidez. El fosfato se redistribuye fácilmente en muchas plantas y se mueve de las hojas viejas hacia las jóvenes en las que se almacena; se acumula también en flores en proceso de desarrollo y en semillas. Como resultado de esto, las deficiencias de fósforo se observan primero en hojas maduras (Salisbury, 2000).

2.2.3.6. Magnesio.

Estado natural del Magnesio.

En la litósfera el contenido promedio de magnesio es de 2.65%, presentando variaciones de acuerdo al origen geológico del suelo. El Magnesio lo encontramos presente en el suelo bajo formas no intercambiables y solubles en agua. La forma no intercambiable la encontramos en minerales como la biotita, serpentina, clorita monmorillonita y vermiculita y en los

carbonatos como la dolomita) Y magnesita. En la Materia orgánica del suelo, hay una pequeña porción de magnesio asociada a esta. El contenido total de magnesio en los suelos no calcáreos puede variar entre 0,1 al 1%. Las pérdidas de magnesio en el suelo, son menores que las presentadas en el calcio (Salisbury, 2000).

Características generales del magnesio.

Las concentraciones de magnesio en los tejidos vegetales son variables y altas.

Más del 70% del magnesio se difunde libremente en la solución celular, asociado generalmente a componentes negativos como proteínas y ácidos nucleicos a través de enlaces iónicos. La propiedad más importante del magnesio es su solubilidad. Las proporciones aproximadas de magnesio en las plantas varían entre 0,05 a 0,7% en base a peso seco (Salisbury, 2000).

Funciones del magnesio en las plantas.

El magnesio Favorece la formación de proteínas y vitaminas, aumenta la capacidad de resistencia de la planta en medios adversos (frío, calor, sequía, plagas y enfermedades), facilita la fijación de nitrógeno atmosférico en las leguminosas, actúa como cofactor de todas las enzimas que activan el proceso fotosintético, constituyente fundamental de la molécula de clorofila y disminuye los efectos de los macronutrientes fundamentales (N, P, K), en las plantas (Salisbury, 2000).

Síntomas de deficiencia del magnesio en las plantas.

El déficit de magnesio en la planta, provoca la reducción de la fotosíntesis, lo cual se traduce en una inhibición o reducción de la clorofila, apareciendo clorosis de las hojas con amarillamiento y manchas pardas; siendo las partes viejas las primeras afectadas. Cabe decir que las gramíneas especialmente no son muy susceptibles a las deficiencias de magnesio, sin embargo por acumularse en órganos de reserva los cultivos de hortalizas, leguminosas y frutales son muy sensibles a la falta de este elemento nutritivo. Los terrenos arenosos tienden a tener especial carencia en este elemento (Salisbury, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODO.

3.1. 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" de Latitud Sur, 74° 34' 4" Longitud Oeste y 154msnm.

3.2. DURACIÓN DEL ESTUDIO.

El presente trabajo tuvo una duración neta de 124 días, contados a partir del 4 de enero del 2011, fecha en que se realizó siembra de las semillas de sachá inchi para de esta forma obtener plantas que posteriormente serían instaladas en las soluciones nutritivas, el 05 de mayo del 2011 fecha se realizó la última evaluación.

3.3. 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. La temperatura media anual de 25,1 °C con muy poca variación entre las máximas (36,5 °C) 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 registrados en la Universidad Nacional de Ucayali durante los meses del experimento se encuentran en el (Cuadro 37A). La mayor temperatura media que se presentó durante el experimento fue de 28,6 °C en el mes abril y el menor promedio fue de 22,7 °C en el mes de febrero; la precipitación mensual más alta fue de 311,8 mm en el mes de febrero y la más baja fue en el mes de abril con 165,8 mm todo el mes. La precipitación total acumulada de enero a marzo fue de 902,7 mm, la humedad relativa más alta se registró en enero y marzo con 89,0% y la más baja fue en abril con 87%; mayor hora de sol hubo en abril con 246,1 horas, menor horas de sol octubre con 150,0 horas; mayor evaporación en enero 143,2 mm, menor evaporación en abril con 95,4 mm; mayor evapotranspiración en abril con 139,5 mm, menor evapotranspiración en febrero con 132,9 mm; mayor velocidad de viento con 1,6 m/seg en octubre con orientación noroeste, menor velocidad de viento en agosto y setiembre con 1 m/seg con orientación sureste y noreste en el mes de agosto y orientación sur en el mes de setiembre (Universidad Nacional de Ucayali, 2011).

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

3.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS.

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

3.4.1. Materiales.

Los materiales usados fueron los siguientes: Baldes de plásticos de 4 litros, Tapa perforada con dos orificios, Pipetas (7), para cada solución respectivamente, Baldes de plásticos de 100 litros y de 10 litros, plumones, Cuaderno de campo, lápiz, etiquetas, gigantografía, esponja, regla, plantones de sachá inchi

3.4.2. Insumos.

Los insumos usados fueron los siguientes: Sales minerales, Agua desionizada, soluciones Stock.

3.4.3. Equipos.

Los equipos usados fueron los siguientes: Balanza de precisión, balanza analítica, vernier, cámara fotográfica, estufa.

3.5. METODOLOGÍA.

3.5.1. Obtención de las plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) para el experimento.

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

Las semillas botánicas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), procedieron de las parcelas experimentales de la Universidad Nacional de Ucayali recolectadas el 03 enero del 2011.

La siembra se realizó el 04 de enero del 2011, inicialmente se sembraron 800 semillas de estas solo 492 germinaron en un periodo de 30 días iniciándose la germinación a los 6 días después de la siembra, obteniéndose un 61% de germinación.

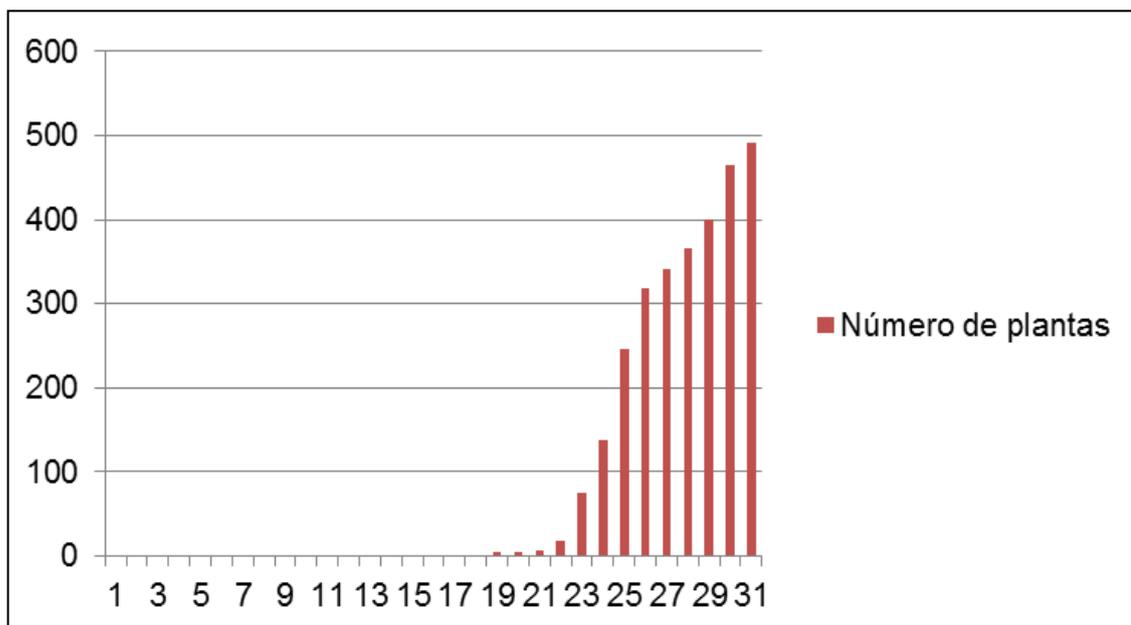


Figura 1. Muestra número de semillas germinadas durante los primeros 30 días.

3.5.2. 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 4. 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 ₂ O	236.16	1,000	236.16	4	k	6,000	235
NH ₄ H ₂ PO ₄	115.08	1,000	115.08	2	Ca	4,000	160
MgSO ₄ ·7H ₂ O	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	2	Cl	50	1.77
H ₃ BO ₃	61.83	12.5	0.773	2	B	25	0.27
MnSO ₄ ·H ₂ O	169.01	1	0.169	2	Mn	2	0.11
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	287.54	1	0.288	2	Zn	2	0.13
CuSO ₄ ·5H ₂ O	249.68	0.25	0.062	2	Cu	0.5	0.03
H ₂ MoO ₄ (85% MoO ₃)	161.97	0.25	0.04	2	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 ₂ O	262.86	0.25	0.066	2	Ni	0.5	0.03
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	284.2	1,000	284.2	1	Si	1,000	28

Fuente: (Epstein, 1972).

Cuadro 5. Soluciones “stock” de componentes de solución nutritiva de Hoagland y Arnon.

Si	Sustancia	g/l	Mol.	Concentración de elementos (ppm)					
				Ca	N	K	Mg	S	P
A	Ca(NO ₃) ₂ H ₂ O	236.16	1	40080	28020
B	KNO ₃	101.10	1	---	14010	39160	---	---	---
C	SO ₄ Mg	120.37	1	---	---	---	24310	32060	---
D	KH ₂ PO	135.15	1	---	---	391.60	---	---	30970
E	Ca (H ₂ PO ₄) ₂	2.7	0.01	400	---	---	---	---	640
F	K ₂ SO ₄	87.5	0.5	---	---	391.60	---	16030	---
G	Ca SO ₄ 2H ₂ O	1.72	0.01	400	---	---	---	320	---
H	Mg(NO ₃) ₂	148.33	1	---	28020	---	24310	---	---
I	Micro nutri.								
J	Fe-EDTA								

Cuadro 6. Solución “stock” de micronutrientes (I).

Sustancias	g/l	Concentración de elementos (ppm)						
		Mn	Cl	B	Zn	S	Cu	Mo
MnCl ₂ H ₂ O	1.81	502	628	---	---	---	---	---
H ₃ BO ₃	2.86	---	---	439	---	---	---	---
ZnSO ₄ -7H ₂ O	0.1	---	---	---	29.2	14.2	---	---
SO ₄ Cu-H ₂ O	0.1	---	---	---	---	12.9	25	---
H ₂ MoO ₄ H ₂ O	0.1	---	---	---	---	---	---	53

J: Fe- EDTA 26,10 g. l⁻¹ } Diluir en 700 ml de agua destilada conteniendo
 Fe SO₄ 7H₂O 24,90 g. l⁻¹ } 268 ml de Na OH (40 g l⁻¹) y Completarlo a 1 litro.

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 7. Tabla para preparación de soluciones nutritivas.

Tratamientos	Cantidades de soluciones "stock" en mililitros para separar 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
Agua desio.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000
												1000

Estas soluciones fueron renovadas y cambiadas en su respectivo recipiente cada 14 días como máximo.

Cuadro 8. Soluciones nutritiva y su contenido de elementos (ppm).

Tratamiento 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
T1 Completo	200 140	195 70	48 64	39 31.9	---- --	--- ---	--- ---	--- ---
T2 Sin k	300 210	--- ---	48 64	-- ---	20 32	--- ---	--- ---	--- ---
T3 Sin p	300 210	--- ---	48 64	-- ---	---- --	780 320	--- ---	--- ---
T4 Sin Ca	--- ---	585 210	48 64	39 31.9	---- --	--- ---	--- ---	--- ---
T5 Sin N	--- ---	--- ---	12 16	-- ---	20 32	780 320	80 60	--- ---
T6 Sin Mg	200 140	195 70	-- --	39 31.9	06	390 160	--- ---	--- ---
T7 Sin S	200 140	195 70	-- --	39 31.9	0.6	--- ---	--- ---	48 56
T8 H ₂ O Desionizada.	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	--- --

3.5.3. 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 las respectivas unidades experimentales, 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 14 días según tratamiento midiendo el pH antes y después del cambio respectivamente.

3.5.4. Repique de las plantas de sachá inchi.

Para extraer las plántulas de sachá inchi 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 del balde sujetándolas con la esponja sintética (espuma fenólica) en la parte del cuello de la planta.

Las plantas usadas para los ocho tratamientos tenían 25 días después de la siembra y contaban con dos hojas verdaderas.

Cuadro 9. Altura, peso de planta y longitud de raíces al inicio del experimento.

N°	Altura de la planta en (cm.)	Longitud de raíces en (cm.)	Peso de la planta en (gr.)
1	24	15	3.76
2	25	16	3.78
3	26	18	4.18
4	26	17.5	4.38
5	24	15.3	3.9
6	22	19	4.03
7	27	19	4.59
8	24	19	4.42
9	24	16	3.82
10	25	16	3.85
11	26	15	4.11
12	26	15	4.12
13	27	16	4.36
14	24	16	4.00
15	24	15.4	3.89
16	25	16	4.41
17	25	19	4.63
18	26	18	4.57
19	27	19	4.56
20	24.5	16	4.6
21	24	15	4.46
22	25	15	4.38
23	26	17	4.63
24	26	15.3	4.7
25	25.5	15	4.06
26	24.5	15	4.00
27	24	15	4.33
28	24	15	4.14
29	25	17	4.66
30	24	15	4.69
31	26.5	15	4.44
32	24	19	4.57

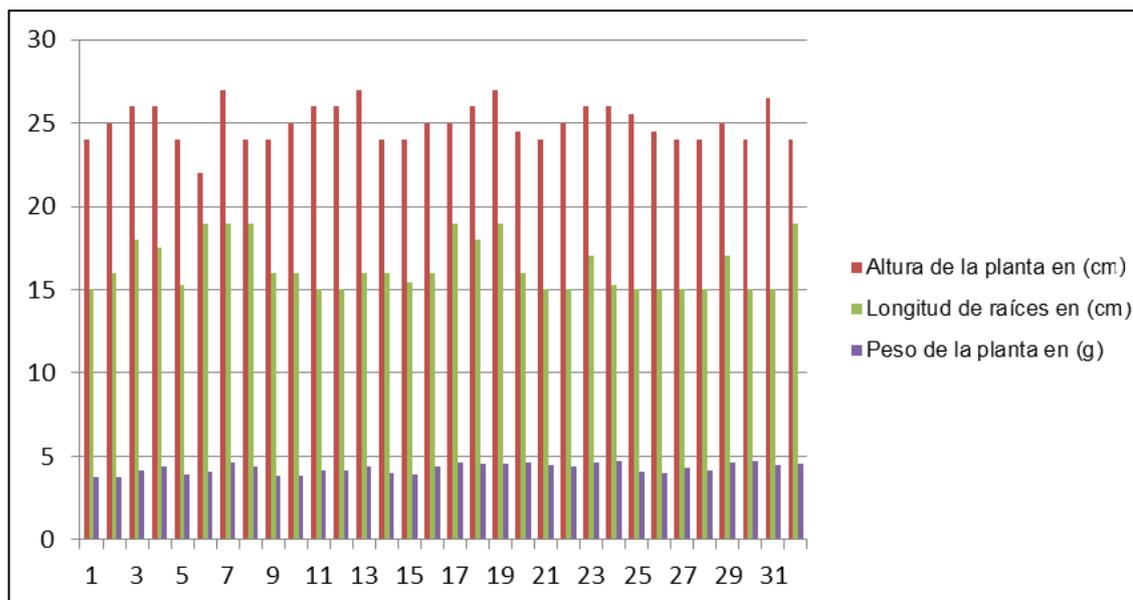


Figura 2. Altura de planta (cm), Longitud de raíces en (cm) y Peso de la planta en (g) usados en los ocho tratamientos.

3.5.5. Cambio de la Solución Nutritiva.

Esta labor se realizó cada 14 días contados desde el primer día del trasplante; haciendo un total de 6 cambios de solución nutritiva durante el desarrollo del experimento.

3.5.6. Control de plagas y enfermedades.

El control de plagas no se realizó durante el desarrollo del experimento, puesto que no se presentaron plagas que pudieran afectar significativamente el desarrollo del experimento, la única especie de insecto que se presentó fue el grillo *Grillus sp.* quien causo daño durante el primer mes de instalación del experimento, donde solo causo daño al tratamiento T⁷ (-S), observándose daños en las hojas de este tratamiento, además se realizó la siembra de culantro *Coriandrum sativum* en el perímetro de la parcela, esta

práctica se realizó con la intención de alejar a las plagas puesto que este cultivo tiene propiedades biosidas o repelentes.

3.6. VARIABLES EVALUADAS.

Las variables evaluadas fueron las siguientes.

3.6.1. Variables independientes.

La variable independiente se describe el siguiente cuadro.

Cuadro 10: Tratamientos en estudio.

Tratamiento	Descripción	Repeticiones
T1	Solución nutritiva completa	4
T2	Solución nutritiva sin Potasio (- K)	4
T3	Solución nutritiva sin Fósforo (- P)	4
T4	Solución nutritiva sin Calcio (- Ca)	4
T5	Solución nutritiva sin Nitrógeno (- N)	4
T6	Solución nutritiva sin Magnesio (- Mg)	4
T7	Solución nutritiva sin Azufre (- S)	4
T8	Agua desionizada	4

3.6.2. Variables dependientes.

Las variables dependientes que se evaluaron fueron dos:

Crecimiento. Se evaluaron, peso fresco de planta, peso fresco de raíces, peso seco de plantas, peso seco de raíces, longitud parte aérea de la planta, longitud raíz, diámetro del tallo, número de hojas formadas, número de hojas en formación, volumen de raíces formadas.

Síntomas de deficiencia en tallos, hojas, raíces. Se evaluaron, volumen de raíces formadas, color, forma, tamaño, brotación, localización (parte joven o parte adulta afectada).

3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

3.7.1. Variables independientes.

Cada unidad experimental está formada por dos plantas de sachá inchi, de los cuales se obtuvo el promedio por unidad experimental.

3.7.2. Variables dependientes.

- **Crecimiento:**

Peso fresco de planta.

Se determinó en gramos, esta evaluación se realizó al final del experimento.

Peso fresco de planta. Se determinó en gramos, esta evaluación se realizó al final del experimento.

Peso seco de planta. 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.

Peso seco de raíces. 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.

Longitud de la parte aérea 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 14 días; para lo cual se utilizó una regla. La primera evaluación se realizó al momento del trasplante y luego semanalmente hasta el final del experimento.

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 al final del experimento.

Número de hojas formadas. Se realizó un conteo del número de hojas de cada planta cada 15 días. Las evaluaciones se realizaron a partir del trasplante.

Número de hojas en formación. Se realizó un conteo del número de hojas que estaban en formación de cada planta cada 15 días. Las evaluaciones se realizaron a partir del trasplante.

Volumen de raíces formadas. Se determinó en cm^3 , sumergiendo en agua todas las raíces en un vaso de precipitado, utilizando el método de vasos comunicantes graduados. Se realizó al final del experimento, el resultado es el promedio por planta.

- **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, brotación, y localización.

3.8. DISEÑO ESTADÍSTICO.

En el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño completamente al azar, con 8 tratamientos y 4 repeticiones, teniendo un total de 32 unidades experimentales.

Para los promedios se utilizaron la prueba de Tukey al 5% de significancia para cada variable en estudio. Se utilizó un balde de cuatro litros de capacidad con 2 plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) respectivamente, como unidad experimental.

3.8.1. Modelo Estadístico.

Se utilizó un diseño completamente al azar, el que constaba de 8 tratamientos y cuatro repeticiones, haciendo un total de 32 unidades experimentales.

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Y_{ij} = Cualquier observación en estudio.

U = Media general.

T_i = Efecto del i – esimo tratamiento en estudio.

E_{ij} = Error o residual.

3.9. DATOS REGISTRADOS.

Los datos registrados durante la ejecución de esta tesis fueron: Presencia de plagas y/ enfermedades, Datos climatológicos (temperatura, humedad, etc.), Fecha de inicio y final del experimento, Consumo de agua al final del experimento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

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

4.1. ANÁLISIS DEL EFECTOS EN EL CRECIMIENTO QUE CAUSA LA AUSENCIA DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES MACRO NUTRIENTES EN EL CRECIMIENTO DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) A 98 DÍAS DESPUÉS DEL TRASPLANTE A SOLUCIÓN NUTRITIVA.

4.1.1. Peso fresco de planta.

De acuerdo al análisis de varianza, tal como se observa en el (Cuadro 24A), se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 15,92%, el cual indica una mayor concentración de los datos, es decir, que el índice de dispersión es adecuado para efectuar comparaciones entre las distintas muestras. Asimismo, el coeficiente de determinación $R^2 = 0,987$, nos indica que el 98,7% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 1,3% se debe a otros factores.

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo el mayor peso fresco, seguido del siguiente orden: T⁷ (- S), T⁶ (- Mg), T² (- K), T⁴ (- Ca), T³ (- P), T⁵ (- N), T⁸ (agua desionizada) como se observa en el cuadro 11.

Estos resultados concuerdan con la afirmación de (Salisbury, 2000) al indicar que la deficiencia de un elemento nutritivo en la planta dará como consecuencia irregularidades en su metabolismo y en el crecimiento de la planta, pudiendo ocasionar pérdida de peso y afectar así mismo a otros parámetros. Según (Barceló, 2001) los macronutrientes también llamados elementos mayores, porque la planta los requiere en mayores proporciones, son el N, P, K, Ca, Mg, y S, y su contenido en los vegetales se expresa en valores porcentuales.

Cuadro 11. Promedio en peso fresco en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.

Tratamiento	Peso promedio en g	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	144,82	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	82,30	b
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	51,61	c
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	22,98	d
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	5,80	e
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	5,38	e
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	3,99	e
T8 = Agua desionizada.	2,74	e

A los elementos minerales (Barceló, 2001), los clasificó en cuatro grupos: ubicando en el Grupo I al N, S, P por ser componentes biológicos de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, e intermediarios metabólicos, y en el Grupo II al K, Ca, y Mg que son activadores enzimáticos o elementos requeridos para la activación de enzimas específicos.

Por otro lado se menciona que 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. De acuerdo con (Salisbury, 2000) las concentraciones internas que se estiman como “adecuadas” solo deberían considerarse como unas normas de utilidad, debido a la variabilidad que existe entre las especies y las etapas de crecimiento de los vegetales. Sobre este tema se menciona que se han entregado numerosos tipos de datos similares para cultivos de frutos y nueces, y obtuvieron lo mismo resultados, para cultivos de plantas ornamentales en invernadero (Shear, 1980).

La prueba de medias del cuadro 11, nos indica que existe diferencia significativa entre el tratamiento T1 en relación a los tratamientos, T⁷, T⁶, T², T⁴, T³, T⁵, T⁸, donde el T⁷ y el T⁶ mostraron promedios intermedios de 82.30 y 51.61 gramos, asimismo los tratamientos T², T⁴, T³, T⁵ y T⁸, mostraron los menores crecimientos en peso fresco.

Este resultado revela que el cultivo de sacha inchi sembrado en soluciones nutritivas carentes de un macroelemento o en ausencia de uno estos son afectados significativamente en relación al peso fresco de las plantas, siendo el T⁸ y el T⁵ los tratamientos con menor peso fresco promedios

que fluctuaban de 3.99 y 2.74 gramos, de estos resultados se puede inferir que después del testigo T8 (agua desionizada), el T⁵ (-N) es el elemento que más requiere la planta en la ganancia de peso fresco, seguido del T³ (-P) quien solo obtuvo una ganancia de peso de 5.38 gramos de peso fresco en 3 meses de cultivo en solución nutritiva, también se pudo observar que T⁴ (-Ca) obtuvo valores similares a los 3 primeros pues solo obtuvo una ganancia en peso de 5.8 gramos durante el tiempo en que cultivo en solución nutritiva (Figura 3).

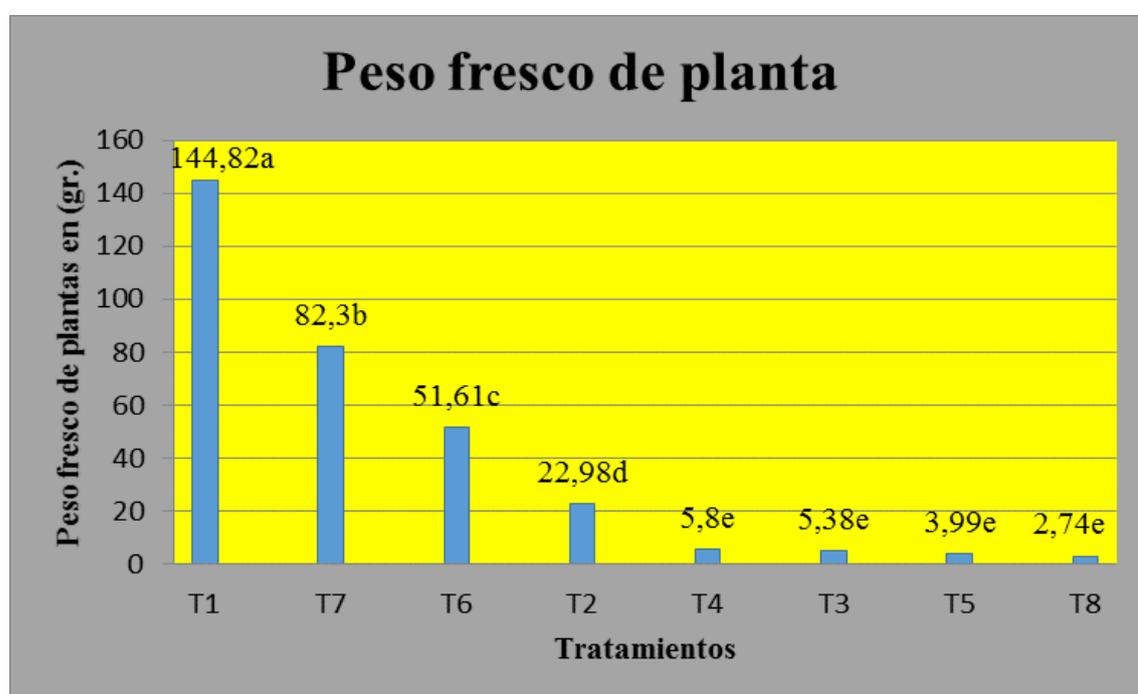


Figura 3. Comparación del crecimiento en peso fresco de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

4.1.2. Peso seco de planta.

Los resultados del análisis de varianza, tal como se observa en el (Cuadro 25A), en relación al peso seco de plantas de sachá inchi *Plukenetia volubilis* L., se observa que existe diferencias altamente significativas ($P < 0,0001$) entre los tratamientos; con un coeficiente de variabilidad de 15,65% y

coeficiente de determinación $R^2= 0,988$, éste último nos indica que los valores de la variable de respuesta es explicada en 98,8% por el tratamiento aplicado y el 1,2 por ciento es debido a otros factores.

Cuadro 12. Promedio del peso seco en gramos de sachá inchi *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Peso promedio en g	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	42,448	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	24,18	b
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	14,38	c
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	5,788	d
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	1,580	e
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	1,498	e
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	1,150	e
T8 = Agua desionizada.	0,851	e

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P<0,05$), se encontró que existe diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de donde el mayor peso seco se obtuvo en el T¹ con 42,45 gramos en solución nutritiva completa, seguido en el orden siguiente: T⁷ (- S) con 24,18 gramos, T⁶ (- Mg) con 14,38 gramos, T² (- K) con 5,79 gramos, T⁴ (- Ca) con 1,58 gramos, T³ (- P) con 1,5 gramos, T⁵ (- N) con 1,15 gramos, T⁸ (agua desionizada) con 0,85 gramos, como se observa en el cuadro 12. Al

igual que el peso fresco, el peso seco también mide el crecimiento de las plantas, así mismo el peso seco es un parámetro de medida de la eficiencia del proceso de fotosíntesis y del funcionamiento fisiológico del vegetal (Salisbury, 2000).

También se vuelve a observar que el T⁸ y el T⁵ obtuvieron la menor cantidad de peso seco con tan solo 0,85 y 1,15 gramos, mientras que el T⁷ y el T⁶ tuvieron mejor comportamiento en relación a los demás tratamientos con 24,18 y 14,38 gramos respectivamente, pero no superando al T¹ con 42,45 gramos.

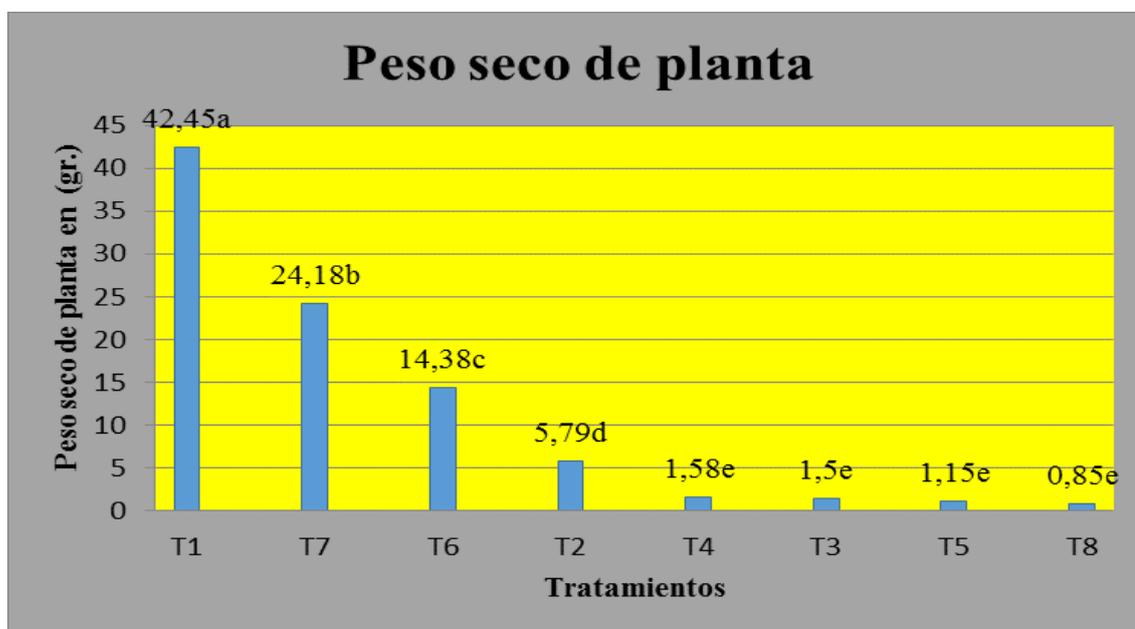


Figura 4. Comparación del crecimiento en peso seco de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

En relación a la materia seca los resultados demuestran que el cultivo de sachá inchi carentes de un macroelemento o en ausencia de uno de estos son afectados significativamente en relación al peso fresco de las plantas, siendo el T⁸ (agua desionizada) y el T⁵ (-N) los tratamientos con menor

peso fresco promedios que fluctuaban de 3,99 y 2,74 gramos, de estos resultados se puede inferir que después del testigo T8 (agua desionizada), el T⁵ (-N) es el elemento que más requiere la planta en la ganancia de peso fresco, seguido del T³ (-P) quien solo obtuvo una ganancia de peso de 5.38 gramos de peso fresco, también se pudo observar que T⁴ (-Ca) obtuvo un peso de 5.8 gramos durante el tiempo en que cultivo en solución nutritiva, estos resultados coinciden con lo mencionado por (Bonilla, 2008), quien dijo que los macronutrientes son elementos constituyentes de las biomoléculas estructurales (N, P, S), tales como proteínas, lípidos o carbohidratos, o pueden actuar como osmolitos (K), sus concentraciones en los tejidos de las plantas pueden variar considerablemente dependiendo de la especie, la edad de la planta y el nivel de otros elementos.

4.1.3. Longitud de la parte aérea (altura).

De acuerdo al análisis de varianza, ver (Cuadro 26A), se puede observar que existe diferencias altamente significativas, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 9,83%, Asimismo cuenta con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,98$, nos indica que el 98% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 2% se debe a otros factores.

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo la mayor altura en relación a los demás tratamientos alcanzando 209,5 cm durante los 3 meses de cultivo en solución nutritiva, seguido del T⁷ (-S) quien alcanzó una altura de 188.25 cm mostrando un buen comportamiento a pesar

que haberse observado los síntomas de deficiencia en la planta, el T⁶ (-Mg) si mostro diferencia significativa con el T¹ alcanzando una altura de 181,25 cm de altura pudiendo observar que las plantas que carecen de este elemento son afectadas significativamente en su crecimiento.

Cuadro 13. Crecimiento promedio de la altura en cm, de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Longitud promedio en cm	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	209,50	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	188,25	ab
T6 = Solución nutritiva sin magnesio	181,25	b
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	136,25	c
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	58,25	d
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	38,25	ed
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	33,25	ed
T8 = Agua desionizada.	26,0	e

El T² (-K) un elemento relacionado con el balance hídrico de las plantas, respiración y fotosíntesis se ve afectado significativamente en su crecimiento alcanzando 136,25 cm de altura siendo superado por el T⁶ (-Mg), T⁷ (-S) y el T¹ solución completa.

Pero los tratamientos que se vieron severamente afectados en su crecimiento por la deficiencia de estos son T³ (-P), T⁴ (-Ca), T⁵ (-N), T⁸ agua

desionizada, alcanzando valores de 58,25, 38,25, 33,25, 26,0 cm encontrándose diferencias altamente significativas en relación al T¹.

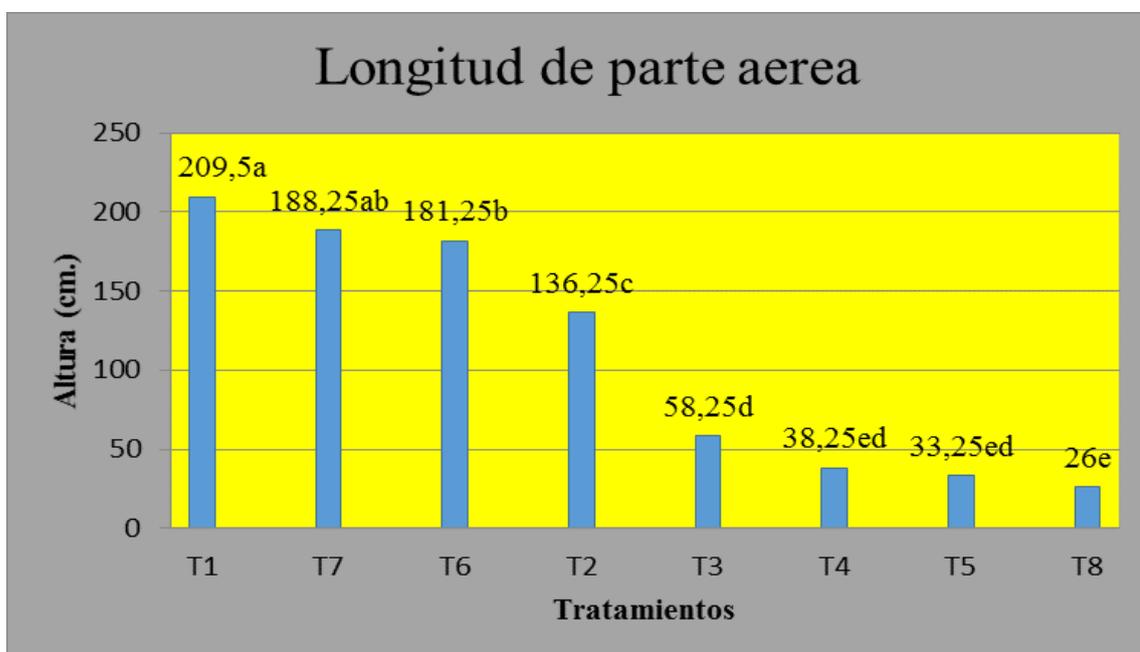


Figura 5. Comparación del crecimiento en altura de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

4.1.4. Longitud de raíces.

Los resultados del análisis de varianza, como se observa en el (Cuadro 27A), en relación a la longitud de raíces de sachá inchi *Plukenetia volubilis* L., se observa que existe diferencias altamente significativas ($P < 0,0001$) entre los tratamientos; con un coeficiente de variabilidad de 10,85% y coeficiente de determinación $R^2 = 0,93$, éste último nos indica que los valores de la variable de respuesta es explicada en 93% por el tratamiento aplicado y el 7 por ciento es debido a otros factores.

Los resultados del cuadro 14, nos indican que el mayor crecimiento radicular lo encontramos en el T⁸ con 33,0 cm esto se debe a que

esta solución solo contaba con agua desionizada por lo que se puede presumir que la planta desarrollo más su sistema radicular en busca de los elementos esenciales más necesarios para asegurar su nutrición, y de cierta manera en el orden de prioridades en la nutrición mineral del sachá inchi *Plukenetia volubilis* L.

Cuadro 14. Crecimiento promedio de la raíz en cm de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Longitud promedio en cm.	Significancia
T8= Agua desionizada.	33,000	a
T5= Solución nutritiva sin nitrógeno.	26,000	b
T3= Solución nutritiva sin fósforo.	19,250	c
T1 = Solución nutritiva completa.	17,000	cd
T6= Solución nutritiva sin magnesio.	16,600	cd
T2= Solución nutritiva sin potasio.	16,075	cd
T7= Solución nutritiva sin azufre.	14,250	ed
T4= Solución nutritiva sin calcio.	10,250	e

También nos indica que después del T⁸ los tratamientos que mostraron un mayor crecimiento radicular fueron T⁵ (-N) con 26 cm, T³ (-P) con 19,25 cm, T¹ solución nutritiva completa con 17 cm de longitud, seguido del T⁶ (-Mg), T² (-K), T⁷ (-S), con 16,6, 16,075 y 14,25 cm de longitud, siendo el T⁴ (-Ca) el tratamiento que más se vio severamente afectado en el crecimiento

radicular llegando a medir 10,25 cm de longitud en tres meses de cultivo en solución nutritiva.

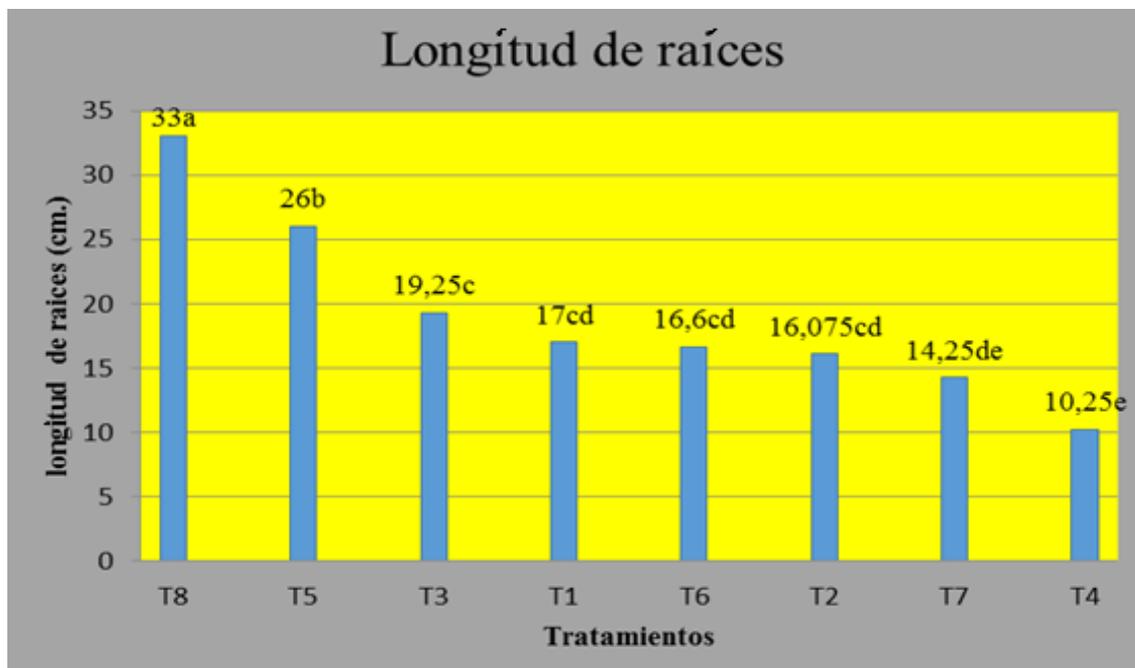


Figura 6. Comparación del crecimiento de la raíz de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

4.1.5. Diámetro del tallo.

De acuerdo al análisis de varianza, como se observa en el (Cuadro 28A), se puede observar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 6,50%, Asimismo cuenta con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,968$, nos indica que el 96,8% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 3,2% se debe a otros factores.

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo el

mayor diámetro en comparación a los demás tratamientos obteniendo 11,95 mm, superando significativamente al T⁷ (-S), T⁶ (-Mg), T² (-K), T³ (-P), quienes obtuvieron 10,2; 9,62; 7,6; 6,12mm de diámetro respectivamente.

Cuadro 15. Crecimiento promedio del diámetro del tallo en mm de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Diámetro promedio en mm	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	11,95	a
T7= Solución nutritiva sin azufre.	10,20	b
T6= Solución nutritiva sin magnesio.	9,62	b
T2= Solución nutritiva sin potasio.	7,60	c
T3= Solución nutritiva sin fósforo.	6,12	d
T4= Solución nutritiva sin calcio.	6,07	d
T5= Solución nutritiva sin nitrógeno.	5,45	de
T8= Agua desionizada.	4,71	e

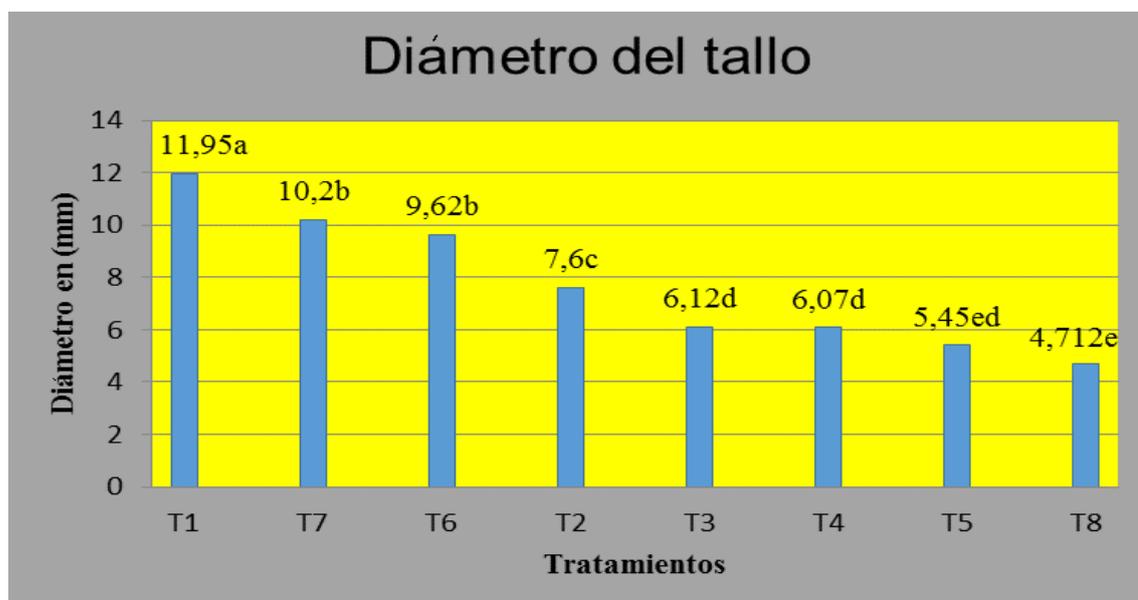


Figura 7. Comparación del crecimiento del diámetro de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

Donde los tratamientos T⁴ (-Ca), T⁵ (-N), T⁸ agua desionizada, los que obtuvieron los menores resultados existiendo diferencias altamente significativas en relación al T¹ solución nutritiva completa obteniendo valores de 6,07; 5,45; 4,712 mm de diámetro durante el tiempo en que se cultivaron en soluciones nutritivas.

4.1.6. Número de hojas formadas.

Los resultados del análisis de varianza, como se observa en el (Cuadro 29A), en relación al número de hojas formadas en sachas inchi *Plukenetia volubilis* L., se observó que existe diferencias altamente significativas ($P < 0,0001$) entre los tratamientos; con un coeficiente de variabilidad de 10,52% y coeficiente de determinación $R^2 = 0,99$, éste último nos indica que los valores de la variable respuesta es explicada en 99% por el tratamiento aplicado y el 1 por ciento es debido a otros factores.

Cuadro 16. Número de hojas promedio por planta de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Número de hojas promedio / planta	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	77,25	a
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	39,75	b
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	32,75	c
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	21,25	d
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	12,00	e
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	6,75	ef
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	5,50	f
T8 = Agua desionizada.	4,00	f

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo el mayor número de hojas/ planta con 77,25, seguido del T⁶ (-Mg) con 39,75, T⁷ (-S) con 32,75 y T² (-K) con 21,25 hojas por planta existiendo diferencias significativas en relación al T¹.

Los tratamientos que se vieron severamente afectados en el número de hojas por la ausencia de un macronutrientes fueron el T³ (-P), T⁴ (-Ca), T⁵ (-N), T⁸ (agua desionizada), quienes obtuvieron valores de 12, 6,7, 5,5, 4 hojas por planta respectivamente, notándose que existe diferencias altamente significativas en relación al T¹.

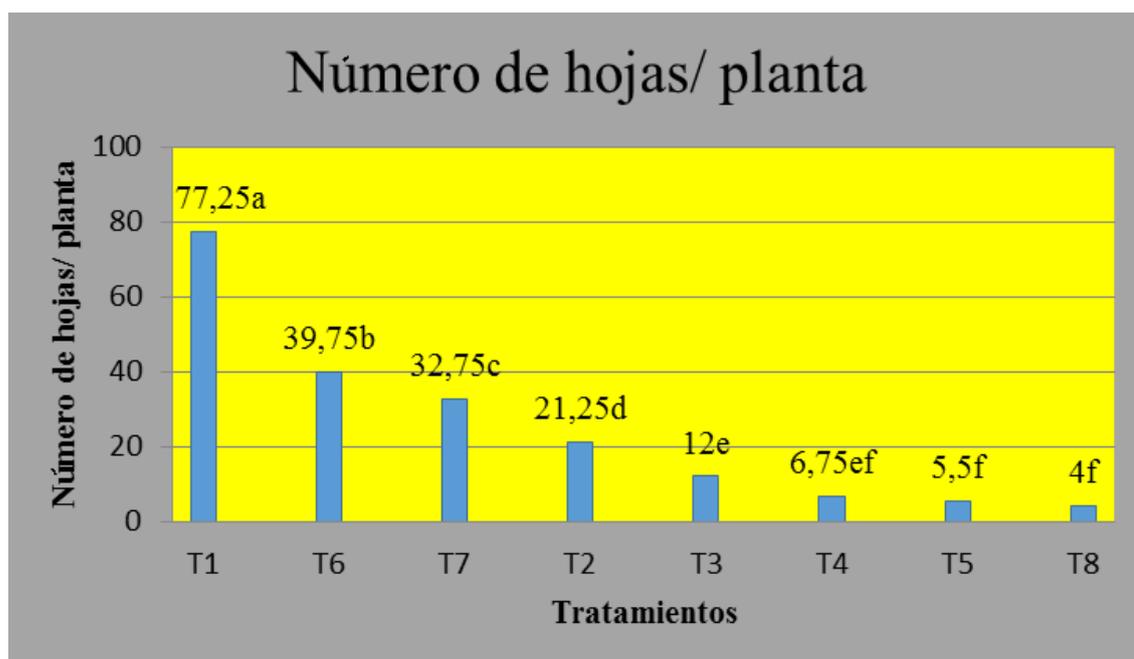


Figura 8. Comparación del número de hojas de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

4.1.7. Número de hojas en formación.

Los resultados del análisis de varianza, como se observa en el (cuadro 30A), en relación al número de hojas en formación, en el cultivo de

sacha inchi *Plukenetia volubilis* L., donde se observa que existe diferencias altamente significativas ($P < 0,0001$) entre los tratamientos; con un coeficiente de variabilidad de 21,22 % y coeficiente de determinación $R^2 = 0,985$, éste último nos indica que los valores de la variable de respuesta es explicada en 98,5% por el tratamiento aplicado y el 1,5 por ciento es debido a otros factores.

En el cuadro 17, se observa el crecimiento promedio en número de hojas en formación de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas. De mayor a menor crecimiento son: 57,5 hojas en T¹ solución nutritiva completa, T² (-K) con 10,5 hojas en formación por planta, T⁶ (-Mg) también con 10,5 hojas en formación por planta, T⁷ (-S) con 9,75 hojas en formación por planta, seguido del T³ (-P) con 5,25 hojas en formación por planta, T⁵ (-N) con 1,25 hojas en formación por planta, T⁴ (-Ca) con 0,75 hojas en formación por planta y finalmente el T⁸ quien no poseía ninguna hoja en forma puesto que solo contaba con agua desionizada.

Cuadro 17. Número de hojas en formación promedio por planta de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Número de hojas promedio / planta	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	57,50	a
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	10,50	b
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	10,50	b
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	9,75	b
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	5,25	bc
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	1,25	c
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	0,75	c
T8 = Agua desionizada.	0,00	c

También se pudo observar que existía diferencia significativa entre el tratamiento T¹ solución nutritiva completa en relación a los demás tratamientos T² (-K), T⁶ (-Mg), T⁷ (-S), son similares de acuerdo a la figura 9, el T³ (-P), T⁵ (-N), T⁴ (-Ca), T⁸ agua desionizada, respectivamente, pero que entre los tratamientos T² (-K), T⁶ (-Mg), T⁷ (-S) no existía diferencias significativas entre estos tratamientos, los tratamientos que mostraron menor formación de hojas fueron T³ (-P), T⁵ (-N), T⁴ (-Ca), T⁸, mostrándonos el orden de prioridad que requiere este cultivo al momento de formar hojas para seguir su normal crecimiento.

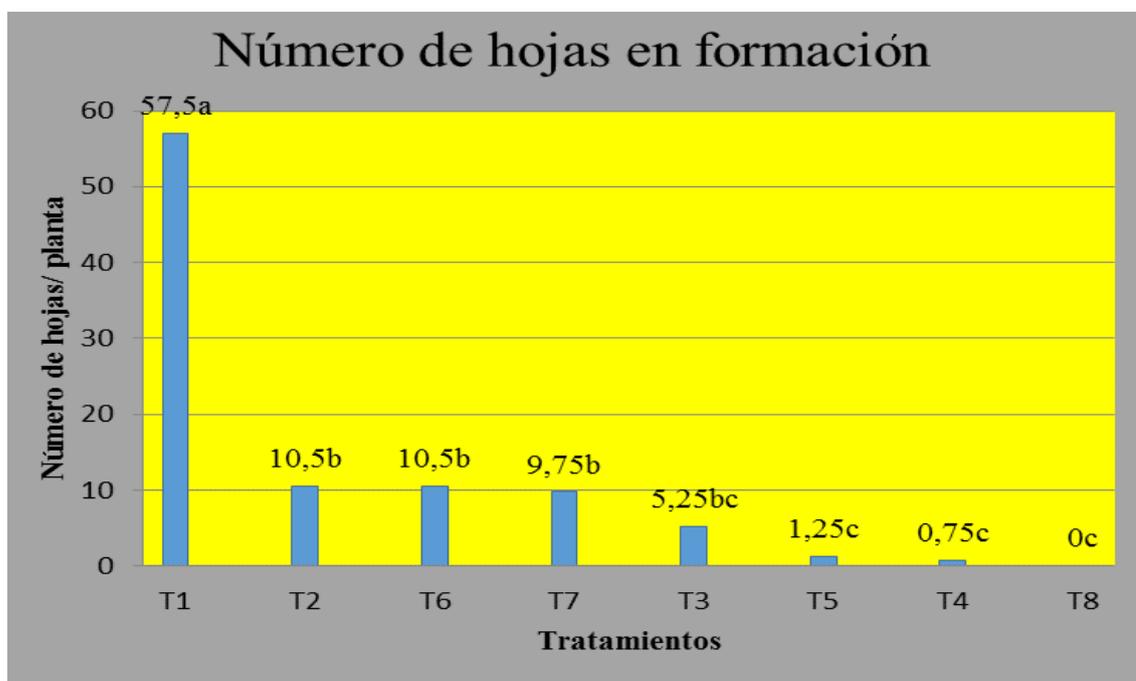


Figura 9. Comparación del número de hojas en formación de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

4.1.8. Peso fresco de raíces.

De acuerdo al análisis de varianza, tal como se observa en el (cuadro 31A), se pudo observar que existe diferencia significativa entre los

tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 15,16%, Asimismo cuenta con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,94$, nos indica que el 94% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 6% se debe a otros factores.

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo el mayor peso fresco en raíces con 74,11 gramos, seguido del siguiente orden: T⁷ (-S) con 47,38 gramos, T⁵ (-N) con 39,03 gramos, T⁶ (-Mg) con 38,57 gramos, son similares, el T² (-K) con 27,17 gramos, T⁴ (-Ca) con gramos, T⁸ agua desionizada con 17,21 gramos y finalmente el T³ (-P) con 10,43 gramos.

Cuadro 18. Promedio en peso fresco de raíces en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.

Tratamiento	Peso fresco promedio de raíces en g	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	74,11	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	47,38	b
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	39,03	cb
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	38,57	cb
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	27,17	cb
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	24,43	d
T8 = Agua desionizada.	17,21	ed
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	10,43	e

También se pudo observar que entre los tratamientos T⁵ (-N) y T⁶ (-Mg) no se encontraron diferencias significativas, pudiéndose notar que T⁵ (-N)

se ubicó en tercer lugar en ganancia de peso de raíces por lo que se puede presumir que el sachá inchi en ausencia de este elemento usara gran parte de su biomasa en producir raíces que le permitan obtener el elemento faltante que más requiere en ese momento que este caso fue el nitrógeno.

También se observó en la figura 10, que el tratamiento que menor peso obtuvo fue el T³ (-P) quien fue superado por el T⁸ agua desionizada a pesar de haberse comportado este último como el tratamiento más afectado por la ausencia de nutrientes, pudiéndose suponer que la carencia de fósforo afecta severamente el desarrollo radicular, en peso de las plantas de sachá inchi.

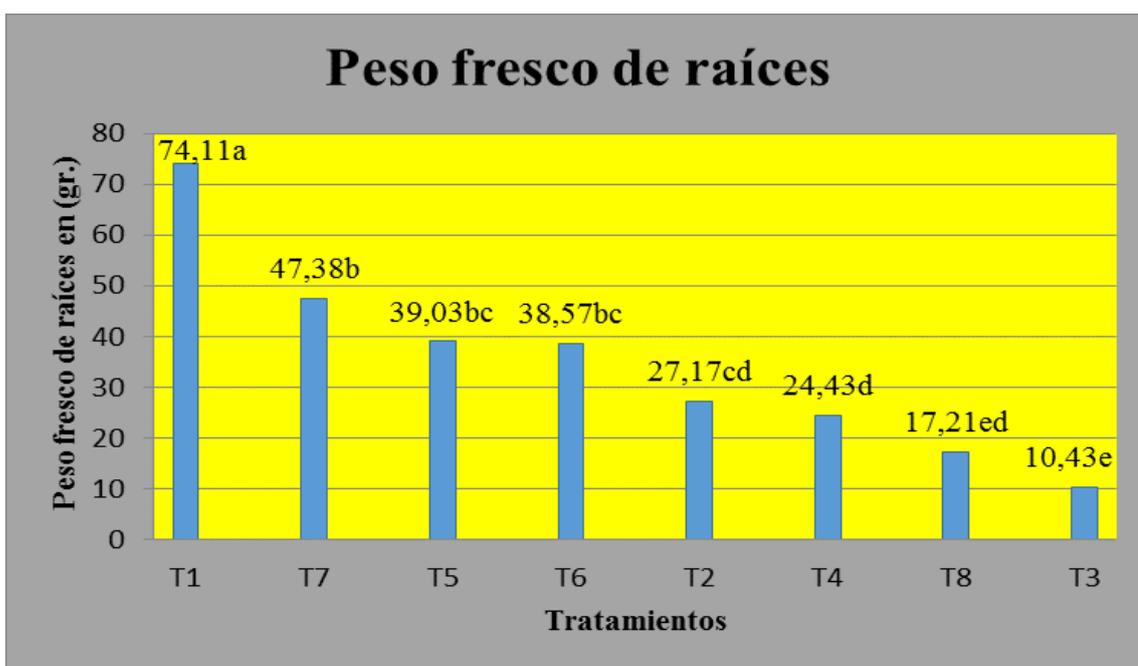


Figura 10. Comparación del crecimiento en peso fresco de raíces de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

4.1.9. Peso seco de raíces.

Los resultados del análisis de varianza, tal como se observa en el (cuadro 32A) en relación al peso seco de raíces de sachá inchi *Plukenetia*

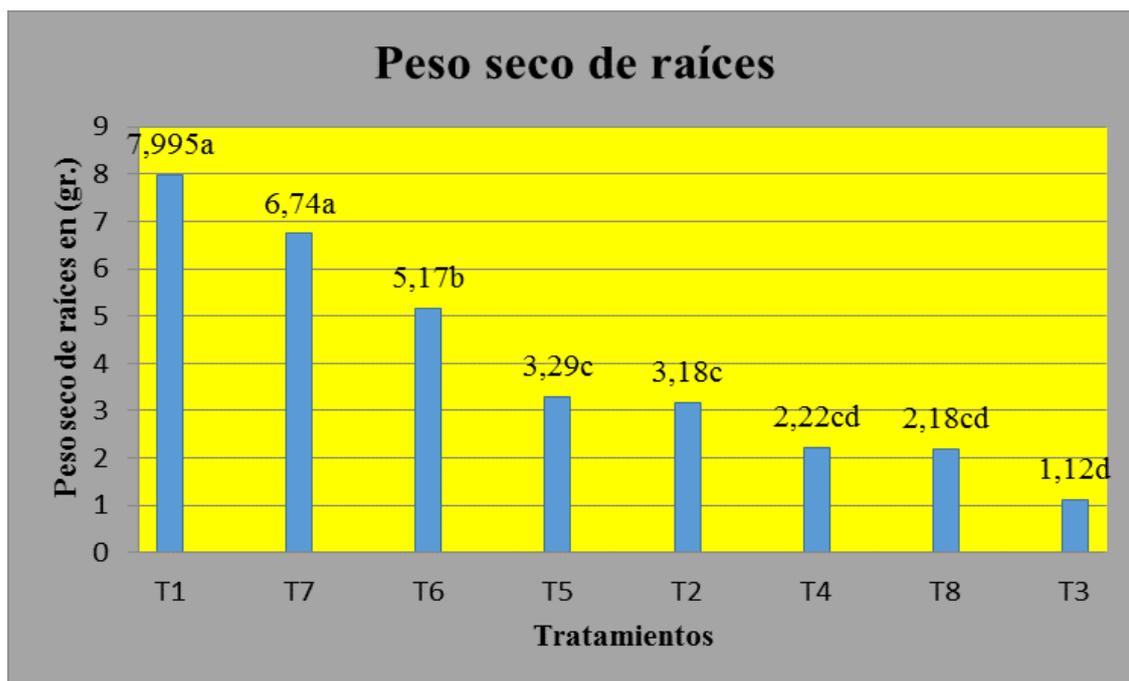
volubilis L. se observó que existe diferencias altamente significativas ($P < 0,0001$) entre los tratamientos; con un coeficiente de variabilidad de 14,78% y coeficiente de determinación $R^2 = 0,95$, éste último nos indica que los valores de la variable de respuesta es explicada en 98,8% por el tratamiento aplicado y el 5 por ciento es debido a otros factores.

Cuadro 19. Promedio en peso seco de raíces en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.

Tratamiento	Peso seco promedio en g	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	79,95	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	6,74	a
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	5,17	b
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	3,29	c
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	3,18	c
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	2,22	cd
T8 = Agua desionizada.	2,17	cd
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	1,12	d

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que existe diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de donde el mayor peso seco se obtuvo en el T¹ con 7,995 gramos, seguido del T⁷ (-S) con 6,74 gramos, no existiendo entre ambos

tratamientos diferencias significativas en relación al peso seco de la raíces de sachá inchi, el T⁶ (-Mg) con 5,17 gramos, T⁵ (-N) con 3,29 gramos, T² (-K) con 3,18gramos, T⁴ (-Ca) con 2,22 gramos, T⁸ agua desionizada con 2,17 gramos y finalmente el T³ (-P) quien logró alcanzar un peso seco de 1,12 gramos, indicándonos que fue el tratamiento más afectado en relación a ganancia de



materia seca acumulada en las raíces.

Figura 11. Comparación del crecimiento en peso seco de raíces de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

4.1.10. Volumen de raíces formadas.

De acuerdo al análisis de varianza, tal como se observa en el (cuadro 33A), se puede observar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 17,82%, Asimismo cuenta con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,93$, nos indica que

el 93% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 7% se debe a otros factores.

En el cuadro 20, se observa el volumen promedio de las raíz en cm^3 de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas, de mayor a menor crecimiento son: $75,75\text{cm}^3$ de raíces en T¹ solución nutritiva completa, el T⁷ (-S) con $39,00\text{ cm}^3$, T² (-k) con $30,00\text{cm}^3$, T⁴ (-Ca) con $28,75\text{cm}^3$, T⁶ (-Mg) con $28,75\text{cm}^3$, son similares, T⁵ (-N) con $25,25\text{cm}^3$, T⁸ con $17,5\text{cm}^3$ y el T³ (-P) con $9,75\text{cm}^3$.

Cuadro 20. Volumen promedio de las raíz en cm^3 de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Volumen promedio de raíces en cm^3	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	75,75	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	39,00	b
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	30,00	bc
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	28,75	bc
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	28,75	bc
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	25,25	c
T8 = Agua desionizada.	17,50	cd
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	9,75	d

Al observar, ver (Cuadro 33A), se pudo observar que entre los tratamientos T² (-k), T⁴ (-Ca), T⁶ (-Mg), no existía diferencia significativas en relación al volumen de raíces, nuevamente se volvió a observar que el T³ (-P)

se vio severamente afectado al ser cultivado en solución nutritiva en ausencia de este elemento.

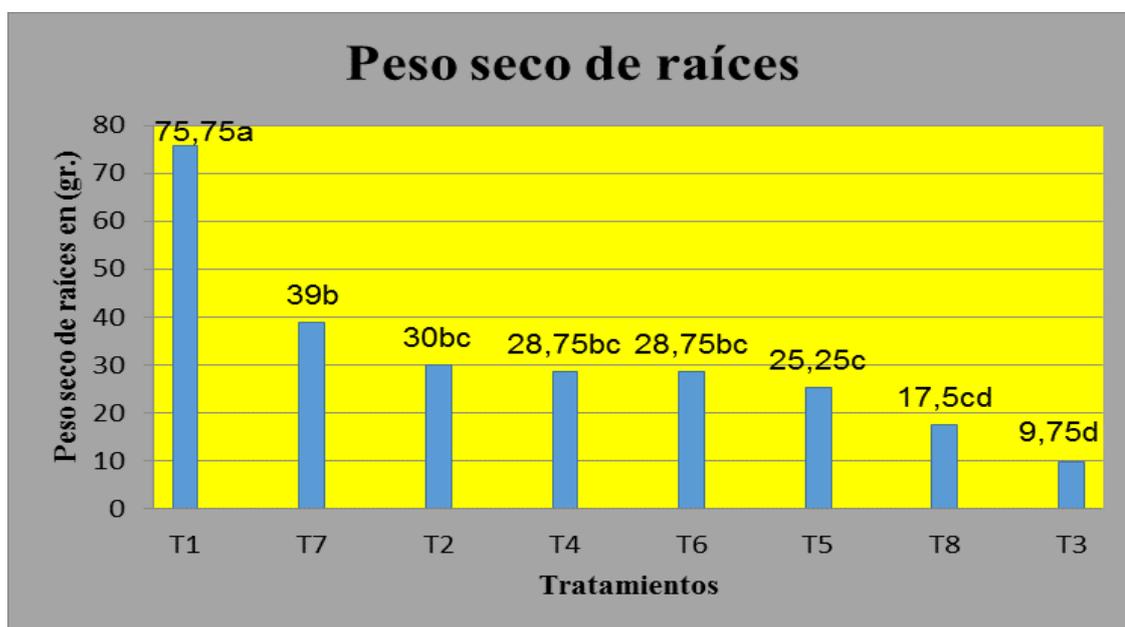


Figura 12. Comparación del volumen de raíz promedio de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

4.1.11. Pérdida de agua durante el día.

De acuerdo al análisis de varianza, tal como se observa en el (Cuadro 34A), se puede observar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 9,93%, el cual indica una mayor concentración de los datos, es decir, que el índice de dispersión es adecuado para efectuar comparaciones entre las distintas muestras. Asimismo, el coeficiente de determinación $R^2 = 0,95$, nos indica que el 95% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 5% se debe a otros factores.

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo la mayor pérdida de agua con 471,50 gramos, seguido del siguiente orden, T⁷

(-S) con 273,00 gramos, T⁶ (- Mg) con 247,50 gramos, T² (- K) con 150,50 gramos, T³ (- P) con 70,00 gramos, T⁵ (- N) con 48,50 gramos, T⁴ (- Ca) con 36,50gramos, T⁸ (agua desionizada) con 26,75 como se observa en la figura 13.

Cuadro 21. Promedio en pérdida de agua durante el día en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas (tratamientos).

Tratamiento	Perdida de promedio agua en gramos	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	471,50	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	273,00	b
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	247,50	b
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	150,50	c
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	70,00	d
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	48,50	de
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	36,50	de
T8 = Agua desionizada.	26,75	e

El cuadro 21, nos muestra que el T⁷ (- S) con 273,00 gramos, T⁶ (- Mg) con 247,50 gramos, no mostraron diferencias significativas en relación a la pérdida de agua por efecto de la ausencia de un macronutriente durante el tiempo que se cultivó en solución nutritiva, asimismo se observó que los tratamientos que menos pérdida de agua tuvieron fueron el T⁵ (- N) con 48,50 gramos, T⁴ (- Ca) con 36,50 gramos no existiendo diferencias significativas entre ambos tratamientos en relación a al consumo de agua, el T⁸ (agua desionizada) con 26,75 gramos fue el tratamiento que menos consumo de agua

mostró puesto que este tratamiento fue el más afecta por la ausencia de sales durante el tiempo en que se cultivaron.

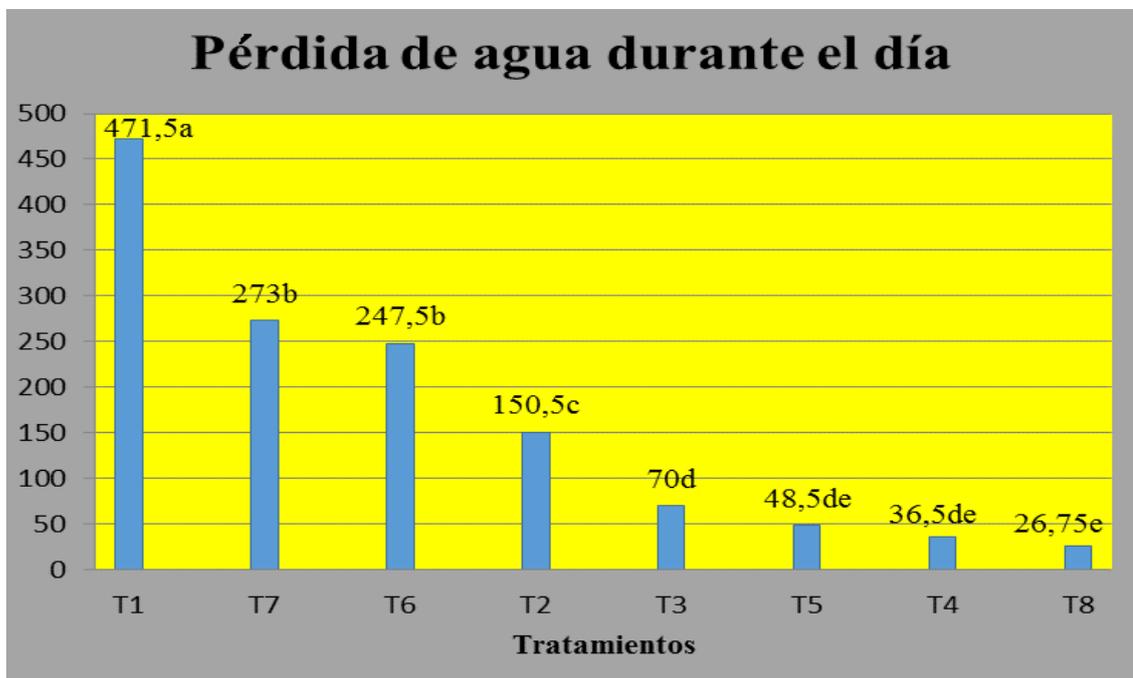


Figura 13. Comparación de la pérdida de agua durante el día en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

4.1.12. Pérdida de agua durante la noche.

De acuerdo al análisis de varianza, tal como se observa en el (Cuadro 35A), se pudo observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 8,24%, Asimismo cuenta con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,987$, nos indica que el 98,7% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 1,3% se debe a otros factores.

En el cuadro 22, los resultados nos indican que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo la mayor pérdida de agua con 66,25 gramos de agua durante la noche, seguido del siguiente orden, T⁷ (- S) 44,00 gramos, T⁶ (- Mg) con 38,25 gramos, T⁴ (- Ca) con 25,25 gramos T² (- K) con 24,75

gramos, T⁵ (- N) con 12,75 gramos, T⁸ (agua desionizada) con 11,50, T³ (- P) con 11,25 gramos.

Cuadro 22. Promedio en pérdida de agua durante la noche en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

Tratamiento	Pérdida promedio de agua en gramos	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	66,25	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	44,00	b
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	38,25	c
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	25,25	d
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	24,75	d
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	12,75	e
T8 = Agua desionizada.	11,50	e
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	11,25	e

El cuadro 22, nos muestra que el T¹ con solución nutritiva completa superó a todos los tratamientos existiendo diferencia significativa en relación al primero, asimismo se pudo observar que los T⁴ (- Ca) con 25,25 gramos T² (- K) con 24,75 gramos de consumo de agua de noche no mostraron diferencias significativas entre ambos tratamientos, también se observó que el T⁵ (- N) con 12,75 gramos, T⁸ (agua desionizada) con 11,50, T³ (- P) con 11,25

gramos obtuvieron valores inferiores a los demás tratamientos sobresaliendo entre ellos el T³ quien obtuvo la menor pérdida de agua.

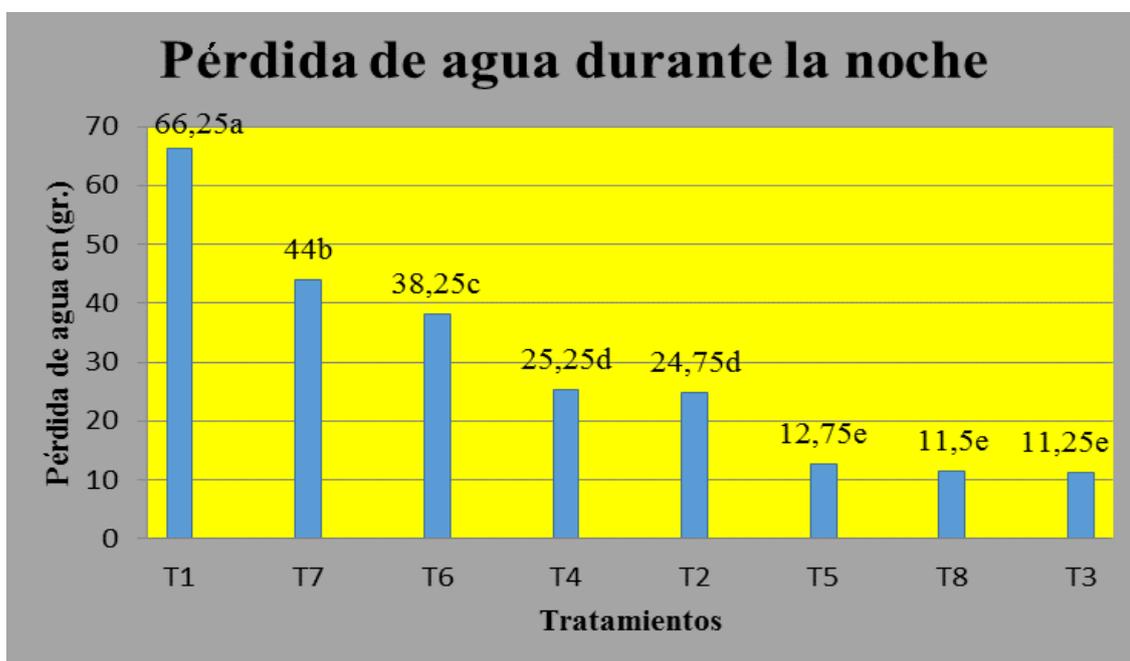


Figura 14. Comparación de la pérdida de agua durante la noche en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

4.1.13. Area foliar.

De acuerdo al análisis de varianza, tal como se observa en el (Cuadro 36A), se puede observar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad de 4,175%, el cual indica una mayor concentración de los datos, es decir, que el índice de dispersión es adecuado para efectuar comparaciones entre las distintas muestras. Asimismo, el coeficiente de determinación $R^2 = 0,998$, nos indica que el 99,8% de los valores de la variable es explicada como efecto de los tratamientos y el 0,2% se debe a otros factores. Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey ($P < 0,05$), se encontró que el T¹ con solución nutritiva completa obtuvo la mayor area foliar, 2788,24 cm²,

seguido del siguiente orden, T⁷ (-S) con 2594,38 cm², T⁶ (- Mg) con 1072,94 cm², T² (- K) 816,31 cm², T³ (- P) con 564,26 cm², T⁵ (- N) con 201,89 cm², T⁴ (- Ca) con 280,43 cm², T⁸ (agua desionizada) con 97,23 cm², como se observa en el cuadro 23.

Cuadro 23. Promedio del área foliar de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas ordenados de mayor a menor según la prueba de Tukey.

Tratamiento	Área foliar promedio en cm ² .	Significancia
T1 = Solución nutritiva completa.	2788,24	a
T7 = Solución nutritiva sin azufre.	2594,38	ab
T6 = Solución nutritiva sin magnesio.	1072,94	c
T2 = Solución nutritiva sin potasio.	816,31	cd
T3 = Solución nutritiva sin fósforo.	564,26	d
T4 = Solución nutritiva sin calcio.	280,43	e
T5 = Solución nutritiva sin nitrógeno.	201,89	e
T8 = Agua desionizada.	97,23	f

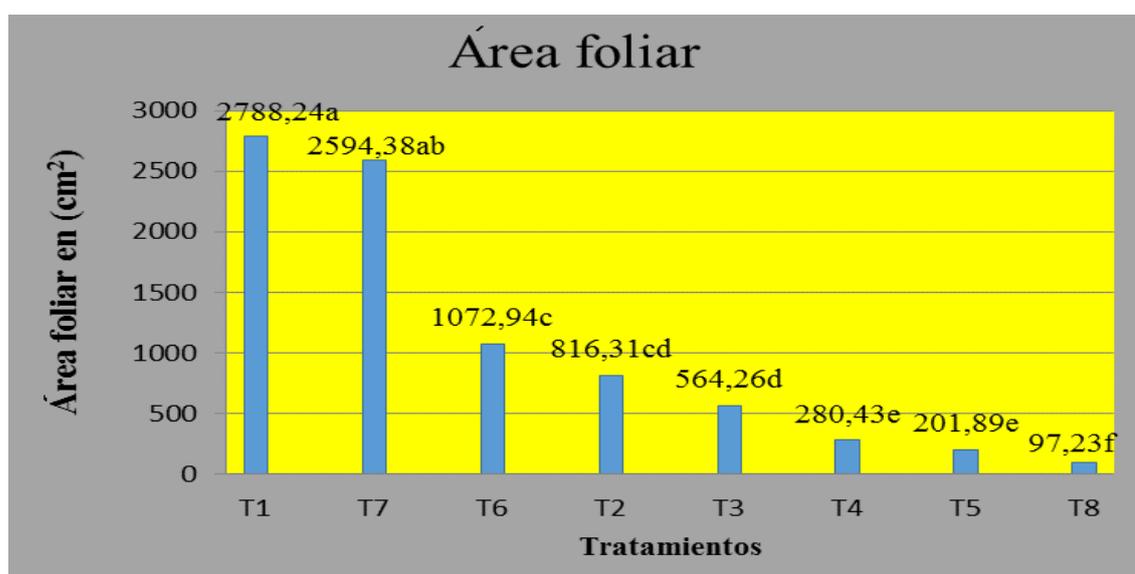


Figura 15. Comparación del área foliar de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

4.2. SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA QUE CAUSAN CADA UNO DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES MACRO NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE SACHA INCHI (*Plukenetia volúbilis* L.), A LOS 98 DÍAS DE INICIADO LOS TRATAMIENTO.

4.2.1. 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, 2000), permitiendo con ello generar modelos de nutrición mineral eficiente del cultivo (Le, 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 involucrados (Epstein, 1972).

4.2.1.1. T¹: Solución nutritiva completa (Houglan y Arnon).

La solución nutritiva se le consideró como testigo, 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

ligeramente aserradas, 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 verde oscuro a ligeramente claro hacia el ápice, con entrenudos largos y de color verde desde el tercio inferior al medio encontrándose en el tercio superior entrenudos más cortos; las raíces presentaron un desarrollo normal siendo estas largas, abundantes y con presencia de numerosas raíces absorbentes.

Observándose la presencia de flores masculinas y femeninas iniciándose la floración a los 60 días después de aplicarse la solución nutritiva completa el 87.5% de las plantas en estudio ver.



Figura 16. Aspecto de la Hoja de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon.



Figura 17. Aspecto de las raíces de una planta de sacha inchi cultivado en una solución completa de Hoagland y Arnon.

4.2.1.2. T²: Solución nutritiva sin potasio (- K).

Los efectos causados por la deficiencia de potasio se observaron inicialmente en las hojas inferiores, estos se presentaron como pequeños manchas circulares cercanas al borde del ápice de las hojas, este síntoma se presentó inicialmente en uno de las plantas aproximadamente a los 25 días después de aplicarle la solución nutritiva sin potasio, posteriormente estas pequeñas manchas se van tornando de un color marrón pajizo hasta necrosarse esto debido a que las células de los ápices y bordes foliares mueren primero, formándose una especie de quemadura, presentando una ligera clorosis en la hojas bajas.

Este síntoma inicialmente se presenta solo en el tercio inferior de la planta, para que posteriormente se traslade al tercio medio de la planta afectando incluso a las hojas bajas de los botes y finalmente causando daños a las hojas del tercio superior después de 70 días de haberse aplicado la solución, también se pudo observar que las hojas que presentan este síntoma tienden a defoliarse o a caerse con facilidad.



Figura 18. Aspecto de la hoja de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin K. de Hoagland y Arnon.

Los tallos principales y las ramas plagiotrópicas presentaron entrenudos medianamente desarrollados y ramas moderadamente delgadas en comparación al T¹, presentando follaje poco abundante.

Además se observó que la presencia de raíces largas y medianamente abundantes.

En este tratamiento también se observó la presencia de flores a los 2 meses aproximadamente, pero ninguno de estos llegó a formar un fruto.



Figura 19. Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin K.

En cuanto al potasio el T² (-K) un elemento relacionado con el balance hídrico de las plantas tal como se observó en los parámetros evaluados anteriormente, el potasio activa muchas enzimas que son esenciales en la fotosíntesis y la respiración (Salisbury, 2000) y actúa como osmorregulador, controlando en las células guarda la apertura de los estomas (Bender, 1993). También participa en la producción de ATP, la

síntesis de almidón y proteínas, y en el proceso de la fotosíntesis y el metabolismo de los carbohidratos (Navarro, 2000).

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

Las hojas más antiguas de la parte inferior son las más afectadas, este síntoma se presentó inicialmente en una de las plantas a los 30 días después de la aplicación de la solución nutritiva sin fósforo, las hojas presentaban una ligera clorosis, en donde la acumulación de antocianinas en las hojas bajas con el paso del tiempo fue mínima, las nervaduras centrales se mostraron un tanto cloróticas y las hojas presentaron un ligero color púrpura, este síntoma inicialmente se presentó en tercio inferior de la planta llegando a observarse en el tercio superior de la planta (Ver Figura 20), los tallos y ramas de estas plantas también se vieron seriamente afectados puesto que presentaban tallo principal delgado diámetros inferior al testigo, pocas ramas y algunos brotes, donde la distancia entre los brotes eran cortos, comprometiendo gravemente la altura de la planta, asimismo se observó que las raíces se mostraron largas y poco abundantes.

Las plantas de sachá inchi se vieron severamente afectadas con la deficiencia de fósforo puesto que las plantas eran pequeñas y estas a la vez presentaron el menor volumen de raíces en relación a los demás tratamientos, sobre esto mencionan, que las plantas de cebollín, carentes de P, mostraron bajo crecimiento (Bender, 1993) y menor número de hojas, especialmente a partir de 113 dds, con hojas completamente delgadas, pequeñas y puntiagudas y en un 60% de estas se observaron puntas amarillas.



Figura 20. Aspecto de la Hoja de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin P. de Hoagland y Arnon.



Figura 21. Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin P.

4.2.1.4. T⁴: Solución nutritiva sin calcio (- Ca).

Los síntomas se presentaron inicialmente en las hojas jóvenes apicales que al principio suelen estar 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, este síntoma se observó aproximadamente a los 25 días después de aplicarse la solución nutritiva sin Ca, y se presenta en el tercio superior de la planta, 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 síes que presentan y finalmente las plantas que presentan los síntomas más severos mueren a los 80 días después de aplicarse la solución nutritiva sin Ca.



Figura 22. Aspecto de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Ca.



Figura 23. Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Ca.

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.

En cuanto al calcio se pudo observar que fue el tratamiento más afectado en cuanto a los síntomas, donde este se vio afectado severamente en la raíces, T⁴ (-Ca) con 2,22 gramos después de ser cultivado en solución nutritiva, sobre esto mencionan que las principales funciones del Ca en la planta es formar parte de la estructura de la protopectina, como agente cementante para mantener las células unidas, estando localizado en la lámina media y en la pared primaria celular, además, participa en la regulación de la absorción de nitrógeno, la traslocación de los carbohidratos y proteínas, la

neutralización de los ácidos orgánicos y la activación de algunas enzimas, tales como amilasa y fosfolipasa (Navarro, 2000).

4.2.1.5. T⁵: Solución nutritiva sin Nitrógeno (- N).

Este se presentó inicialmente en forma de clorosis generalizada que empieza por las hojas más viejas, hacia las más jóvenes, este síntoma se observó aproximadamente a los 16 días después de aplicarse la solución nutritiva sin N, siendo el segundo en manifestarse después del T⁸ que solo contenía agua desionizada, asimismo se puede observar la presencia de ligeras manchas necróticas cercanas al ápice de las hojas, conforme los síntomas se van agudizado la planta termina por dejar de crecer, las hojas se presentan cada vez más pequeñas y más cloróticas, casi no se observa presencia de brotes, ni la presencia de entrenudo y nudos entre el tallo y si se presentan son muy cortos y delgados. Las raíces se muestran largas y poco abundantes.

El T⁵ (-N) fue el tratamiento más afectado en cuanto a su crecimiento tal como se muestra en el cuadro 16, sobre esto (Wild, 1992) menciona que el nitrógeno forma parte de un gran número de compuestos orgánicos, incluidas hormonas de crecimiento; participa en la estructura de todas las proteínas, de los ácidos nucleicos, y además se encuentra como constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos y en varias coenzimas (Navarro, 2000).



Figura 24. Aspecto de una planta sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin N.



Figura 25. Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin N.

Las plantas de cebollín con deficiencia de N fueron más pequeñas, mostraron hojas más delgadas, cortas y un color verde pálido comparadas con el testigo. Se formó 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 (Bernal, 2008). Los síntomas iniciaron en la parte inferior de las hojas maduras (Kaiser, 1994) donde se generó progresivamente una coloración amarilla en la medida que la deficiencia se acentuaba (Bender, 1993).

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

Los síntomas se presentaron a los 20 días después de aplicarse la solución nutritiva sin Mg, inicialmente se observó clorosis internerval en las hojas bajas del tercio inferior, afectando también la nervadura central observándose manchas necróticas de color marrón pajizo a marrón oscuro tal como se observa en la figura 26, luego cuando los síntomas se agudizan esta clorosis internerval se presenta hasta el tercio medio de la planta provocando que las hojas caigan con mucha facilidad.

Los tallos y las ramas presentaron un desarrollo relativamente normal afectando un poco el diámetro del tallo de las plantas, asimismo las raíces se mostraron medianamente largas y poco abundantes ver (figura 27). También se observó la presencia de flores en este tratamiento siendo este el más precoz de todos presentándose a los 50 días después de aplicar la solución nutritiva sin Mg. Pero a diferencia del tratamiento completo estas flores nunca llegaron a formar un fruto, puesto que estos caían con mucha facilidad.



Figura 26. Aspecto de la hoja de una de planta sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Mg.



Figura 27. Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin Mg.

En cuanto al tratamiento T⁶ (-Mg) donde se observó clorosis internerval algunos autores mencionan que es un componente específico de la clorofila (porfirina magnésica) en la que un átomo de magnesio está ligado a cuatro anillos pirrólicos (Wild, 1992). Cumple un rol específico como activador de enzimas involucradas en la respiración, fotosíntesis y síntesis de ADN y ARN (Taiz, 2006). Actúa como cofactor de la mayor parte de las enzimas que intervienen en la fosforilación, y su importancia es grande en la transferencia de la energía (Wild, 1992).

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

El síntoma de deficiencia de este elemento fue el último que se observó aproximadamente a los 37 días después de aplicarse la solución nutritiva completa, estos se presentaron inicialmente en las hojas jóvenes apicales con clorosis generalizada tanto en las hojas jóvenes como en la nervadura central, se pudo observar que las planta que mostraron este síntoma tenían hojas más grandes y verdes que las del tratamiento completo T¹ en especial la de la hojas bajas o del tercio medio, posteriormente la clorosis llegó a afectar a todas las hojas del tercio medio y/o superior tal como se ve en la (figura 28), la carencia de este elemento no afectó significativamente la altura de esta planta ni la distancia de los nudos y entrenudos, este tratamiento también fue el que más daño recibió por parte de insectos masticadores tales como el *Grillus sp.*

Asimismo se observó la presencia de flores en la planta aproximadamente a los 60 días llegando estos a formar frutos, las raíces

también tuvieron un desarrollo normal pero mostrándose inferior en peso, longitud, volumen y materia seca en relación al T¹.



Figura 28. Aspecto de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin S.



Figura 29. Aspecto de las raíces de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin S.



Figura 30. Aspecto de un fruto formado de una planta de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva sin S.

El tratamiento que menos se vio afectado tanto en síntomas como en su crecimiento fue el T⁷ (S), sobre esto se menciona, que los compuestos orgánicos azufrados participan en la biosíntesis de lípidos, clorofilas, carotenos y ácidos orgánicos, aminoácidos sulfurados como cisteína, cistina y metionina y además, en la formación del acetilcoenzima A, eslabón básico de conexión entre glucólisis y el ciclo de Krebs (Navarro, 2000), y la interacción del nitrógeno y azufre influye en la pungencia (aroma) de las plantas *Allium* (Liu, 2009), compuestos que pueden ser importantes como repelentes contra herbívoros (Öpik, 2005), y siendo el sachá inchi un cultivo de gran interés para el sector agroindustrial por la calidad de su aceite.

También se observó que después del tratamiento completo y T⁷ (-S), este fue el tratamiento que mostró menos efecto negativo en su crecimiento sobre, menciona que la deficiencia absoluta de Mg disminuyó la concentración de este elemento en las hojas en un 68,7%

comparado con el testigo, pero se generó un aumento de los elementos N, P, Ca y S en este tratamiento, dentro de los cuales, el Ca puede parcialmente reemplazar el Mg en varias funciones.

4.2.1.8. T⁸: Sin solución nutritiva (Agua desionizada).

Los síntomas de deficiencia de este tratamiento aparecieron a las dos semanas mostrándose una clorosis generalizada de la planta iniciándose en las hojas bajas y finalmente afectando a todas las hojas e incluso generando clorosis internervales, disminución del tamaño de las hojas, del tallo, afectando gravemente el diámetro del tallo, no se observó presencia de brotes, ramas, nudos, ni entrenudos, incluso después de tres meses de cultivo en agua desionizada.



Figura 31. Aspecto de la hoja de una planta de sachá inchi cultivado en agua desionizada.

No existió presencia de hojas en formación, las hojas mostraban clorosis fuertemente marcada, y la lámina foliar se mostraba más delgada en relación a los demás tratamientos, las raíces se mostraban largas incluso mayor que las del T¹ y poco abundantes.



Figura 32. Aspecto de una raíz cultivada en agua desionizada.

V. CONCLUSIONES.

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones.

1. En cuanto a los parámetros evaluados y estudiados se encontró diferencias altamente significativa entre los tratamientos T¹, versus T², T³, T⁴, T⁵, T⁶, T⁷, T⁸, observando que las plantas cultivadas en solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon se mostraron superior a todos los demás tratamientos cultivados con la ausencia de un macronutriente, estos a su vez se mostraron superior a las planta que fueron cultivadas solamente con agua desionizada en casi todos los parámetros evaluados.
2. El tratamiento que más efectos negativos mostró como consecuencia de la ausencia de un macronutriente fue el tratamiento que se cultivó en solución nutritiva sin Ca, puesto que fue el único tratamiento en el que se obtuvo un 50% de plantas muertas después de haberse cultivado 3 meses en solución nutritiva completa como efecto de la ausencia de calcio, seguido del T⁸ que solo contenía agua desionizada, T⁵ (-N), T³ (-P), T² (-K), T⁶ (-Mg), T⁷ (-S), siendo este último el tratamiento que mejor se comportó en relación al T¹ cultivados con solución nutritiva completa.
3. Las plantas de sachá inchi que fueron cultivadas en solución nutritiva sin fósforo T³ (-P) presentaron el menor peso fresco en raíces con 10.43 gramos, el menor peso seco en raíces con 1.12 gramos y el menor volumen de raíces con 9.750 cm³, en relación a todos los tratamientos siendo superada incluso por el T⁸ (agua desionizada), en estos tres

parámetros, por lo que se puede inferir que el fósforo es el elemento limitante en cuanto al crecimiento en peso fresco, seco y volumen de raíces se refiere.

4. Con respecto al peso fresco y peso seco de las plantas de sachá inchi se pudo concluir que el tratamiento sin nitrógeno T⁵ (-N) fue el que alcanzó el menor peso en gramos con 3.99 y 1.15 gramos, siendo superados por casi todos los tratamientos con excepción del T⁸ (agua desionizada) quien alcanzó valores menores pero similares en ambos parámetros no existiendo diferencias significativas entre ambos tratamientos y por ende en la acumulación de nutrientes que le permitan un normal crecimiento.
5. Las plantas de sachá inchi que presentaron menor longitud de la parte aérea en los tratamientos T⁸ (agua desionizada) con 26 cm. y T⁵ (-N) con 33.25 cm., también mostraron un mayor crecimiento en cuanto a la longitud de raíces, obteniendo valores de 33 y 26 cm. respectivamente, superando en longitud al T¹ cultivado en solución nutritiva completa quien contaba con 17 cm. existiendo diferencia altamente significativas entre estos tratamientos en cuanto a esta variable, por lo que se puede inferir que mientras menor sea el suministro de nitrógeno a la planta más largas serán sus raíces y menor su crecimiento en longitud en cuanto a la parte aérea.
6. En cuanto a la longitud de la parte aérea se pudo demostrar que existe una estrecha relación con su diámetro, puesto que las plantas que

contaban con una mayor longitud también obtenían los mayores diámetros.

7. El tratamiento que se mostró más susceptible al ataque plagas fue el T⁷ (-S) puesto que este fue el tratamiento que más ataque sufrió por parte de insectos masticadores en la etapa inicial del cultivo en solución nutritiva, por lo que se puede determinar que este elemento está íntimamente relacionado con la resistencia o tolerancia de este cultivo a plagas.
8. Las plantas de sacha inchi que fueron cultivadas en solución nutritiva completa T¹, mostraron una mayor precocidad en cuanto a floración y fructificación, ya que estos iniciaron la floración a los 60 días después de haberse agregado la solución nutritiva encontrándose un 87.5% de las plantas con flores, y al cabo de 3 meses de cultivo se pudo observar la presencia de frutos formados en un 50% de las plantas en estudio, otros tratamientos en los que se pudo ver la presencia de flores fueron el T² (-K) a los 2 meses aproximadamente, T⁶ (-Mg) a los 50 días siendo este el más precoz de todos los tratamiento en mostrar presencia de flores pero ninguno de los dos tratamientos anteriores llegó a formar un fruto viable, T⁷ (-S) también mostró presencia de flores aproximadamente a los 60 días después de cultivarse en esta solución nutritiva, observándose la presencia de frutos formados a los 3 meses.
9. Las plantas cultivadas en solución nutritiva completa T¹, presentaron el mayor número de hojas en formación con 57,5 hojas y el mayor número de hojas formadas con 77,25 hojas funcionales, mostrando diferencias

altamente significativas con respecto a los demás tratamientos, asimismo se observó que los tratamientos T⁴ (-Ca), T⁵ (-N) y T⁸ (agua desionizada) mostraron los menores resultados en cuanto a estas dos variables.

VI. RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los resultados y conclusiones obtenidos se recomienda lo siguiente.

1. Seguir estudiando los efectos de la carencia de macronutrientes en el cultivo de sachá inchi, haciendo énfasis en la fertilización de diferentes niveles de calcio, tanto en soluciones nutritivas como en condiciones de campo definitivo pues este macro nutriente es el único elemento que causa muerte en plantas de sachá inchi.
2. Se debe seguir evaluando plantas de sachá inchi con 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.
3. Repetir el experimento utilizando otras sales químicamente puras y ver como se comportan las plantas de sachá inchi en relación a la absorción de estos nutrientes, como afecta su crecimiento y su desarrollo.
4. Seguir evaluando por más tiempo la pérdida de agua, puesto que no se conoce exactamente cuáles son los requerimientos hídricos de este cultivo.

VII. LITERATURA CONSULTADA.

- Anaya, Y. (2002). *Proyecto1 Omega. Cultivo del Inca Inchi*. Agroindustrias Amazónicas. Lima. 14p.
- Arévalo, G. (1990). *Colección caracterización y mantenimiento de germoplasma de oleaginosas nativas. En Tarapoto. Estación experimental el porvenir. Informe anual. Perú. 265p.*
- Arévalo, G. (1995). *Informes de Resultados de Investigación. Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología. E.E. "El Porvenir". 8p.*
- Anderson, J. (1981). *Light-energy-dependent processes other than CO₂ assimilation. In: The Biochemistry of Plants vol. 8. Photosynthesis. Academic Press, Inc. New York. 473p.*
- Barceló, C. (2001). *Fisiología Vegetal. Edic. Pirámide. Madrid. (Grupo Anaya), S. A.). 126p.*
- Benavides, J. (1994). *Caracterización del Aceite y Proteína del Cultivo de Sacha Inchi o Maní del Monte (Plukenetia volubilis L.) como alternativa para la alimentación humana y animal. 12p.*
- Bender, D. (1993). *En: Bennett, W.F. (ed.). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS Press, St. Paul, MN. 131p.*

- Bernal D. (2008). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*
“Caracterización de las deficiencias de macronutrientes en plantas de
cebollín” (*Allium schoenoprasum* L.). Vol. 2 - No.2 – 192p.
- Bonilla, I. (2008). *Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los
elementos minerales. En: Azcón-Bieto, A. y M. Talón. (eds.).
Fundamentos de la fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana,
Madrid. 121p.*
- Brack, A. (1999). *Plukenetia volúbilis* L. *Diccionario Enciclopédico de Plantas
Útiles del Perú*. PNUD. Cuzco – Perú. 550p.
- Cooper, H. (1989). *Cycling amino-nitrogen and other nutrients between
shoots and roots in cereals. A possible mechanism integrating shoot and
root in the regulation of nutrient uptake. Journal Experimental botany,
762p.*
- Epstein, E. (1972) *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives.*
Wiley, New York. 84p.
- Gillespie, L. (1993). *A synopsis of neotropical Plukenetia (Euphorbiaceae)
including two new species. Systematic Botany. 592p.*
- Hazen, Y. (1980). *Resultados de análisis del aceite y proteína del cultivo de
sacha inchi. Universidad de Cornell. USA. 6p.*

- Henriksen, G. (1993). *Investigation of the apparent induction of nitrate uptake in barley (Hordeum vulgare L.) using NO₃⁻ selective microelectrodes.* Plant Physiol. 103p.
- Huber, S. (1992). *Comparative studies of the light modulation of nitrate reductase and sucrose –phosphate synthase activities in spinach leaves.* Plant Physiol. 706p.
- Huxtable, R. (1986). *Biochemistry of Sulfur.* Plenum Press, New York 5 p.
- Kaiser, W. (1994). *Modulation of nitrate reductase in vivo and in vitro: Effects of phosphoprotein phosphatase inhibitors, free Mg²⁺ and 5' AMP.* Planta 364 p.
- Le, B. (1998). *Modeling plant nutrition of horticultural crops a review.* Scientia Hort. 82p.
- Liu, S. (2009). *Effect of nitrogen and sulfur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (Allium fistulosum L.).* Scientia Hort. 121p.
- Miller, A. (1996). *Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells.* Journal Experimental Botany. 854p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, P. (2002). *Estadística Agraria Trimestral. Sistema de Información Agraria (SIAG), julio-setiembre 2002.* Lima. 34p.
- Navarro, S. (2000). *Química agrícola. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.* 207p.

- Öpik, H. (2005). *The physiology of flowering plants*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 71p.
- Pérez, L. (1995) *Manual De Practicas De Fisiología Vegetal*. 22p.
- Pérez, L. (1998). *Manual De Practicas De cultivos Hidropónicos*, 9p.
- Navarro, S. (2000). *Química agrícola*. Ediciones. Mundi-Prensa, Madrid. 207p.
- Rendig, V. (1976). *Effects of sulfur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars, and N/S ratios in young corn (Zea mays L.) plants*. Plant Soil 423p.
- Rennenberg, H. (1984). *The fate of excess sulfur in higher plants*. Annu. Rev. Plant Physiol. 153p.
- Rennenberg, H. (1982.). *Evidence for an intracellular sulfur cycle in cucumber leaves*. Planta 154p.
- Reuveny, Z. (1980). *Regulatory coupling of nitrate and sulfate assimilation pathways in cultured tobacco cells*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 6672p.
- Sabino, H. (2007). *Azufre como nutriente y agente de defensa contra plagas y enfermedades*. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute 65p.
- Salisbury, F. (2000). *Fisiología de las plantas*. Editorial Paraninfo Thomson Learning, Madrid 215p.

- Shear, G, (1980). *Principios de nutrición mineral*. Editorial Piramide Nac, Madrid. 213p.
- Sivori, E. (1980). *Fisiología Vegetal*, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires. 234p.
- Taiz, L. (1998). *Plant Physiology*. Segunda Edición. Sinauer Associates, Inc., Publishers. 792p.
- Taiz, L. (2006). *Plant physiology*, 4a ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 456p.
- Tisdale, S. (1990). *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Publishing Company, New York. 22p.
- Universidad Nacional de Ucayali. (2011). *Datos meteorológicos 2011, Ucayali*. Estación Meteorológica.
- Wainwright, M. (1984). *Sulfur oxidation in soils*. Adv. Agron. 396p.
- Wild, A. (1992). *Nutrición mineral de las plantas cultivadas*. En: Wild, A. (ed.). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 119p.
- Vidmar, J. (2000). *Regulation of high-affinity nitrate transporter genes and high-affinity nitrate influx by nitrogen pools in roots of barley*. Plant Physiol. 318p.

VII. ANEXO.

Cuadro 24A. Análisis de varianza del crecimiento en peso fresco de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	73016,55	10430,94	257,66	0,0001
Error	24	971,58	40,48		
Total	31	73988,13			

$R^2 = 0,987$; C.V. = 15,92%

Cuadro 25A. Análisis de varianza del crecimiento en peso seco de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	6,313,43	901,918	279,39	0,0001
Error	24	77,475	3,228		
Total	31	6,390,90			

$R^2 = 0,988$; C.V. = 15,65%

Cuadro 26A. Análisis de varianza del crecimiento en altura de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	170206,0	24315,14	212,40	0,0001
Error	24	2747,5	114,48		
Total	31	172953,5			

$R^2 = 0,98$; C.V. = 9,83%

Cuadro 27A. Análisis de varianza del crecimiento de la raíz de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	1449,92	207,13	48,43	0,0001
Error	24	102,64	4,28		
Total	31	1552,56			

$R^2 = 0,93$; C.V. = 10,85%

Cuadro 28A. Análisis de varianza del crecimiento del diámetro del tallo de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	188,54	26,934	106,95	0,0001
Error	24	6,044	0,2518		
Total	31	194,583			

$R^2 = 0,968$; C.V. = 6,50%

Cuadro 29A. Análisis de varianza del número de hojas de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	17379,97	2482,85	361,69	0,0001
Error	24	164,75	6,865		
Total	31	17544,718			

$R^2 = 0,99$; C.V. = 10,52%

Cuadro 30A. Análisis de varianza del número de hojas en formación de *Plukenetia volubilis* L. con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	10045,87	1,435,125	223,66	0,0001
Error	24	154,0	64,16		
Total	31	10199,87			

$R^2 = 0,985$; C.V. = 21,22%

Cuadro 31A. Análisis de varianza del crecimiento en peso fresco de raíces de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	11219,75	1602,82	57,62	0,0001
Error	24	667,58	27,82		
Total	31	11887,33			

$R^2 = 0,94$; C.V. = 15,16%

Cuadro 32A. Análisis de varianza del crecimiento en peso seco de raíces de *Plukenetia volubilis* L. tratadas con ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	163,435	23,348	67,26	0,0001
Error	24	24	8,33	0,347	
Total	31	171,766			

$R^2 = 0,95$; C.V. = 14,78%

Cuadro 33A. Análisis de varianza del volumen de raíces de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	10955,47	1565,07	48,61	0,0001
Error	24	772,75	32,198		
Total	31	11728,22			

$R^2 = 0,93$; C.V. = 17,82%

Cuadro 34A. Análisis de varianza de la pérdida de agua durante el día en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	683372,22	9,762,460	361,47	0,0001
Error	24	6481,75	270,073		
Total	31	689853,97			

$R^2 = 0,95$; C.V. = 9,93%

Cuadro 35A. Análisis de varianza de la pérdida de agua durante la noche en gramos de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	10460,50	1494,36	257,09	0,0001
Error	24	139,50	58,125		
Total	31	10600,00			

$R^2 = 0,987$; C.V. = 8,24%

Cuadro 36A. Análisis de varianza del área foliar de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en ocho soluciones nutritivas.

F.V	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamientos	7	11951852,11	1707407,44	1789,23	0,0001
Error	24	22902,44	954,27		
Total	31	11974754,55			

$R^2 = 0,998$; C.V. = 4,175%

Cuadro 37A. Datos meteorológicos de Pucallpa año 2011.

Datos meteorológicos de Pucallpa año 2011						
Meses del año	Temperatura en °C		Pluviometría mm		H.R.	Evaporación mm
	Máxima	Mínima	Día	Mes	Mes	Mes
Enero	31.14	23.1	11	204.9	85	110.3
Febrero	29.0	22.7	20	311.8	91	88.5
Marzo	29.4	23.8	15	272.9	90	91.3
Abril	31.0	22.8	18	165.8	87	84.4
Mayo	29.9	22.5	15	219.4	88.3	88.2
Junio	30.0	21.8	11	133.9	88	70.5
Julio	31.0	21.4	3	33.6	82	95.1
Agosto	32.2	21.1	4	59.1	77.8	104
Setiembre	32.2	22.2	8	150.6	80	193.3
Octubre	30.8	22.9	13	260.5	85.8	89.4
Noviembre	31.8	23.1	12	178.1	84.5	94
Diciembre	30.1	23.1	21	390.0	89.6	91.4
Total	368.5	270.5	151.0	2380.6	1029	1201.1
Promedio	30.7	22.5	12.6	198.4	85.8	100.0

Fuente: Centro Meteorológico de la Universidad Nacional de Ucayali.

T8R1	T7R3
T2R4	T6R4
T5R2	T8R2
T6R2	T5R4
T4R4	T1R4
T7R1	T2R2
T3R4	T7R4
T6R1	T3R1
T1R1	T8R3
T2R1	T3R3
T5R1	T2R3
T3R2	T4R3
T8R4	T6R3
T4R2	T7R2
T1R3	T4R1
T5R3	T1R2

Figura 33A. Croquis de distribución de los tratamientos y repeticiones, durante el proyecto de tesis (disposición de los baldes).



Figura 34A. Muestra plántulas de saha inchi almacenadas en sustrato de arena y cámara turca.



Figura 35A. Incorporación de solución nutritiva en un balde con plantas de sachá inchi.



Figura 36A. Muestra raíces de una planta de sachá inchi con dos semanas de instalación en un balde con solución nutritiva completa



Figura 37A. Muestra ubicación de plantas de sachá inchi en parcela experimental.



Figura 38A. Asesor del proyecto de tesis observando algunos síntomas de deficiencias en sachá inchi.